



RADEX

RUNDSCHAU

RADENTHEIN, IM JUNI 1993

Inhalt

Heft 1/2

- | | |
|--|-----|
| <p>Beurteilung des Gefährdungspotentials von Abfällen
 Evaluation of the Hazardous Potential of Waste
 <i>E. Wogroly, Wien</i></p> | 231 |
| <p>Autorisieren, Zertifizieren und Prüfen
 Authorization, Certification and Testing
 <i>Hans Kolb, Hannes Missethon, Christian Trummer, Leoben</i></p> | 236 |
| <p>Schonung von Ressourcen durch die Verwendung von Hochofen- und
 Stahlwerksschlacken
 Saving Resources by Utilising Blast Furnace Slag and Steelslag
 <i>Jürgen Geiseler und Heribert Motz, Duisburg</i></p> | 240 |
| <p>Minimierung der Halden durch Ausnützung der Verwertungspotentiale von
 hüttenpezifischen Nebenprodukten
 Minimising Dumps by taking Advantage of the Recycling Potential of By-products
 Specific to the Metallurgical Industry
 <i>Werner Koller, Linz</i></p> | 247 |
| <p>Nutzbarmachen von Wertstoffen durch Behandlung und/oder Wiedereinsetzung von
 Hüttenwerksreststoffen
 Recovery of Valuable Materials from Steel Plant Dusts by Processing and/or Recycling
 as Iron Feed
 <i>G. Strohmeier, Frankfurt/Main</i></p> | 253 |
| <p>Schlacken für die Baustoffindustrie
 Slag for the Building Industry
 <i>Hans Kolb, Willi Leopold, Leoben</i></p> | 261 |



-
- Praktische Erfahrungen mit IFE permanentmagnetischen Hochintensitätsscheidern
im Gießereisandrecycling
Practical Experience with the IFE Permanent Magnet, High Intensity Separation
when Recycling Casting Sand
R. Schennach, Waidhofen/Ybbs 270
-
- Voraussetzungen und Grenzen des stofflichen Recyclings
Conditions and Limitations of Material Recycling
Günter Fleischer, Berlin 274
-
- Möglichkeiten und Grenzen der Shreddertechnologie beim stofflichen Recyclen
von Konsumgütern
The Possibilities and Limits of the Shreading Technology when Recycling
Consumer Materials
Franz Schmieg, Schriesheim 279
-
- Automobil-Recycling – heute und morgen
Automobile Recycling – Today and Tomorrow
H. A. Franze, München 289
-
- Verschiedene Verfahren des metallurgischen Recyclings –
Die thermische Schrottbehandlung
Various Methods of Metalurgical Recycling
Egbert Paul, Stuttgart 296
-
- Das „Totalrecycling von Altfahrzeugen“ – Das Konzept der Studiengesellschaft
zur Entsorgung von Altfahrzeugen m.b.H. (EVA)
“Total Recycling of Scrap Cars” – Concept of the Study Committee for the Disposal
of Scrap Cars (“EVA”)
W. Nieder, Linz 308
-
- Umweltschutz aus industrieller Sicht
Logistics give the Ecologists Responsibility
Friedrich Macher, Wien 315
-
- Umweltschutz und Umwelttechnologiedatenbanken in der EG, Österreich und Osteuropa
Environmental Protection and Environmental Data Bank in the EEC-Countries, Austria
and Eastern Europe
Gerhard Burian, Wien 326
-

Erfassung, Erkundung und Bewertung von Verdachtsflächen im Rahmen des
Altlastensanierungsgesetzes

Locating, Reconnaissance and Evaluation of Potentially Contaminated Sites within
the Law of Reclaiming Contaminated Sites

Martin Schamann, Wien

329

Erkundung und Risikoabschätzung von Altstandorten

Surveillance and Hazard Evaluation of Old Industrial Sites

Georg Walach, Leoben, Reinhard Gnilsen, Wien

334

Auswirkung industrieller Rückstände auf die kommunale Entsorgungs- und
Abfallbeseitigungstechnik

Effects of Industrial Residuals on the Municipal Garbage Collection and Refuse
Disposal

Peter Spillmann, Braunschweig

337

Umweltrecht in der EG und in Österreich

Environmental Regulations in the European Community and Austria

Elisabeth M. Freytag, Wien

346

Möglichkeiten der Implementierung eines QS-Systems für die Deponierung
von Abfallstoffen

Possibilities of Implimentating a QS-System for Depositing Waste

Hannes Missethon, Christian Trummer, Leoben

354

Der Einsatz von Wertanalyse und Qualitätszirkel in der betrieblichen
Abfallwirtschaft

The Deployment of Value Analysis and Quality Circle in Industrial Waste
Management

Susanne Hrinkov, Wien

362

Deponiebau im alpinen Raum

Erecting Deposit Sites in the Alps

H. Ehrle, Graz, P. Gruber, Großarl

365

Beurteilung des Gefährdungspotentials von Abfällen

E. Wogrolly, Wien*)

Die Grundvoraussetzung ist die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung und der daraus resultierenden Eigenschaften der Abfälle, was durch eine qualitative und quantitative Analyse gemäß ÖNORM S 2110 und durch Eluierung gemäß ÖNORM S 2072 geschehen kann.

Die Zuordnung eines Abfalls zu einer Schlüsselnummer hat nach der Wirkung der jeweils bestimmenden Komponente zu erfolgen. Es ergibt sich in der Praxis sehr häufig die Möglichkeit, den Abfall unter verschiedenen Schlüsselnummern einzuordnen. In solchen Fällen ist diejenige Schlüsselnummer

vorzuziehen, die den Abfall in bezug auf seine gefährlichen Eigenschaften genauer beschreibt.

Um das Gefährdungspotential eines Abfalls wirklich und richtig einschätzen zu können, ist im allgemeinen eine komplette Kenntnis der chemischen Zusammensetzung und der physikalischen Eigenschaften notwendig.

In jüngster Zeit wurde von der CEN ein eigener Normenausschuß gegründet, TC292 „Characterization of Waste“, in dem Österreich das Sekretariat und den Vorsitz der Arbeitsgruppe zur Ausarbeitung von europäischen Normen für die Analyse von Abfällen zugeteilt erhalten hat.

Evaluation of the Hazardous Potential of Waste

Basically, one must be aware of the chemical analysis of waste and the properties relating to it. This can be accomplished by applying a quantity and quality analysis according to ÖNORM S 2110 and leaching procedure according to ÖNORM S 2072.

The determination of constituents in the waste allows its assignment to a key number. Practically speaking, it often happens that a certain waste can be allocated with various key numbers. In these cases, the key number should be selected

which most likely represents its hazardous properties. In order to realistically evaluate the hazardous potential of a certain type of waste, it is essential to have complete knowledge of its chemical composition and physical properties.

Quite recently, CEN established a technical committee TC 292 "Characterisation of Waste" with Austria representing the convenorship and secretarial responsible for the elaboration of European standards on waste analysis.

Appréciation du potentiel de danger des déchets

La condition de base est la connaissance de la composition chimique et des propriétés qui en découlent, des déchets, ce qui peut être obtenu par une analyse qualitative et quantitative selon la ÖNORM S 2110 et par élution selon la ÖNORM S 2072.

L'attribution d'un numéro clé à un déchet doit s'effectuer d'après l'effet du composant déterminé à chaque fois. Dans la pratique il est très souvent possible que le déchet soit classé sous différents numéros clés. Dans de tels cas, il faut donner la préférence au numéro clé qui décrit avec le plus de pré-

sion le déchet du point de vue de ses propriétés dangereuses. Pour pouvoir déterminer réellement et exactement le potentiel de danger d'un déchet, il est généralement nécessaire d'avoir une connaissance complète de sa composition chimique et de ses caractéristiques physiques.

La CEN a récemment créé sa propre commission des normes, TC292 «Characterization of Waste», dans laquelle l'Autriche s'est vue confier le Secrétariat et la Présidence du groupe de travail pour la mise au point de Normes européennes concernant l'analyse des déchets.

Abfälle entstehen bei der Produktion, Konsumation und Reinigung. Eine komplette Vermeidung wird in letzter Konsequenz nur möglich sein, wenn wir diese drei Tätigkeiten vollkommen einstellen. Mit dem Entstehen von Abfällen wird also weiterhin zu rechnen sein (siehe auch Abfallwirtschaftsgesetz bzw. EG-Verordnung 75/442 vom 18. März 1991).

Wobei die Norm unter Abfall Stoffe versteht, deren sich der Besitzer entledigen will oder entledigt hat oder deren Behandlung durch besondere Vorschriften geregelt ist.

Die ÖNORM S 2100 wurde zu dem Zweck geschaffen, Schlüsselnummern für Abfälle aufzustellen und Hinweise für die mögliche Behandlung (Entsorgung, Verwertung, Beseitigung) zu geben. In dieser Norm sind also Abfälle aufgelistet (einschließlich Fehlchargen und Rückstände aus Produktionsvorgängen) und in Form eines Kataloges zusammengestellt. Die Bezeichnung der Abfälle ist praxisbezogen, und es wurde bewußt nicht die

*) Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. E. Wogrolly
Technologisches Gewerbemuseum
Höhere Technische Bundeslehr- und Versuchsanstalt
Wexstraße 19-23
A-1200 Wien

IUPAC-Nomenklatur verwendet. Wobei zu sagen ist, daß sich die Arbeitsausschüsse bemüht haben, wo immer möglich, die Schlüsselnummer des deutschen LAGA-Abfallkataloges zu verwenden, um eine internationale Handhabung zu erleichtern. Eine vollständige Aufzählung aller Abfallarten ist selbstverständlich nicht möglich, genauso wie aufgrund schwankender Stoffzusammensetzungen eine eindeutige Bezeichnung und Zuordnung auch nicht immer möglich ist. Deshalb dürfen und sollen nicht angeführte – es wurden auch einige vergessen – bzw. neu bekanntwerdende Abfälle entsprechend den Klassifikationsgrundsätzen einer bestehenden Schlüsselnummer zugeordnet werden.

Klassifikationsgrundsätze

Die Zuordnung eines Abfalls zu einer Schlüsselnummer hat nach der Wirkung der jeweils bestimmenden Komponente zu erfolgen. Es ergibt sich in der Praxis sehr häufig die Möglichkeit, den Abfall unter verschiedenen Schlüsselnummern einzuordnen. In solchen Fällen ist diejenige Schlüsselnummer vorzuziehen, die den Abfall in bezug auf seine gefährlichen Eigenschaften genauer beschreibt. Die Grundvoraussetzung ist die Kenntnis der chemischen Zusammensetzung und der daraus resultierenden Eigenschaften der Abfälle, was durch eine qualitative und quantitative Analyse gemäß ÖNORM S 2110 und durch Eluierung gemäß ÖNORM S 2072 geschehen kann. Dazu ist zu bemerken, daß sich neuerdings die CEN bemüht, Europa-Nummern auf diesem Gebiete zu erarbeiten; es wurde ein eigenes TC „Characterization of Wastes“ gegründet (Tab. 1–3).

Parameter	Einheit	IIIa	IIIb ¹⁾
Calcium	mg/l	²⁾	²⁾
Magnesium	mg/l	²⁾	²⁾
Aluminium	mg/l	²⁾	²⁾
Antimon	mg/l	1,0	5,0
Arsen	mg/l	1,0	5,0
Barium	mg/l	10,0	50,0
Beryllium	mg/l	0,05	0,5
Bor	mg/l	10,0	100
Blei	mg/l	2,0	10,0
Cadmium	mg/l	0,5	⁹⁾
Chrom (gesamt)	mg/l	10,0	50
Chrom (VI)	mg/l	³⁾	³⁾
Eisen	mg/l	²⁾	²⁾
Cobalt	mg/l	2,0	10,0
Kupfer	mg/l	10,0	⁹⁾
Mangan	mg/l	²⁾	²⁾
Nickel	mg/l	10,0	50,0
Quecksilber	mg/l	0,05	⁹⁾
Selen	mg/l	0,5	5

Tab. 1

Parameter	Einheit	IIIa	IIIb ¹⁾
pH-Wert		5,5-12	⁹⁾
Filtrattrockenrückstand	mg/l	10.000	20.000
Summe der polyzyklischen Kohlenwasserstoffe (PAK [als C])	mg/l	0,005	⁹⁾
Phenol ⁴⁾	mg/l	20,0	100
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB [O ₂])	mg/l	100	⁵⁾
Kohlenwasserstoffe gesamt	mg/l	50,0 ⁶⁾	100 ⁷⁾
austreibbare organische Halogenverbindungen (POX [Cl])	mg/l	1,0	5,0
adsorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX [Cl])	mg/l	1,0	10,0
anionenaktive Tenside ⁸⁾	mg/l	⁵⁾	⁵⁾
Flüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (BTX)	mg/l	1,0	2,0

Tab. 2

ÖNORM S 2072

Parameter	Einheit	IIIa	IIIb ¹⁾
Silber	mg/l	0,5	5
Thallium	mg/l	2,0	⁹⁾
Vanadium	mg/l	2,0	20,0
Zink	mg/l	10,0	100
Zinn	mg/l	10,0	100
Fluor	mg/l	20,0	50,0
Ammonium (NH ₄)	mg/l	²⁾	²⁾
Chlorid	mg/l	²⁾	²⁾
Cyanid (gesamt) leicht freisetzbar	mg/l	20,0	⁹⁾
Cyanid (frei)	mg/l	2,0	10,0
Nitrat (NO ₃)	mg/l	²⁾	²⁾
Nitrit (NO ₂)	mg/l	²⁾	²⁾
Phosphat (PO ₄)	mg/l	²⁾	²⁾
Sulfat (SO ₄)	mg/l	²⁾	²⁾

¹⁾ maximal 3 Parameter dürfen auf die nachfolgenden Werte angehoben werden

²⁾ begrenzt durch den löslichen Anteil

³⁾ begrenzt durch Chrom gesamt

⁴⁾ wasserdampfvlüchtige Phenole (als Phenolindex)

⁵⁾ Parameter für die Eluatklasse nicht relevant

⁶⁾ KW gesamt zusätzlich begrenzt mit 0,5% der Masse (TS)

⁷⁾ KW gesamt zusätzlich begrenzt mit 3% der Masse (TS)

⁸⁾ anionenaktive Tenside: berechnet als Tetrapropylenbenzolsulfonat (TBS)

⁹⁾ keine Erhöhung gegenüber Grenzwert IIIa zulässig

Tab. 3

Als Eluierungsverfahren wurde das in den deutschen Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (S4) mit destilliertem oder entionisiertem Wasser, in Spezialfällen auch mit 0,1 n HCl, ausgewählt. Die Elution hat über 24 Stunden bei Raumtemperatur in Gefäßen zu erfolgen, die über Kopf gedreht werden können. Das Masseverhältnis Abfall zu Wasser muß 1:10 die Mindestmenge des zu untersuchenden Abfalls, bezogen auf die Trockensubstanz, 100 g betragen. Gleichwertige Eluierungsverfahren wie sanftes Schütteln oder Rühren sind zulässig.

Viele Abfälle lassen sich nach dieser Vorschrift aber nicht eluieren. Die Schwierigkeiten liegen vornehmlich darin, daß man aus ihnen keine repräsentative Probemenge von 100 g herstellen kann, wie z. B. aus den FNA an normalem Hausmüll!

Ein Beispiel, das den FNA gerade in letzter Zeit intensiv beschäftigte, sind mit Holzschutzmittel

imprägnierte Maste und Eisenbahnschwellen, die im ganzen ein völlig anderes Eluatverhalten zeigen wie etwa im zerkleinerten Zustand gemäß S 4-Verfahren.

Für solche Fälle, für die durch das vorgeschriebene Eluierungsverfahren keine verwertbare Aussage über mobilisierbare Schadstoffe gewonnen werden kann, hat man sich bemüht, Eluatklassen sinngemäß festzulegen. Diese Eluatklassen sind im Abfallkatalog in der letzten Spalte angegeben.

Es sei nochmals darauf hinweisen, daß die Schlüsselnummern mit dem LAGA-Katalog weitgehend übereinstimmen. In der ÖNORM S 2100 wurden zusätzlich noch die einzelnen Abfallgruppen mit dreistelligen Schlüsselnummern versehen (Tab. 4), um Abfallarten, die nicht wörtlich angeführt sind, dennoch zuordnen zu können, wenn wenigstens die Herkunft – was ja meist der Fall ist – bekannt ist.

Abfallbehandlung

Die Norm gibt Hinweise für eine mögliche Behandlung der Abfälle, sind es im wesentlichen die vier Hauptarten der Abfallbehandlung:

1. Die chemisch-physikalische Behandlung.
2. Die biologische Behandlung.
3. Die thermische Behandlung.
4. Die Deponierung.

Bei jedem dieser Behandlungsprozesse bleiben Rückstände, d. h. es entsteht Abfall mit dem Charakteristikum, daß er immer eine andere Schlüsselnummer hat als vor der Behandlung.

ad 1): Die Behandlung des Abfalls erfolgt mit dem Ziel, seine chemischen, physikalischen bzw. biologischen Eigenschaften zu verändern. Beispiele für eine C/P-Behandlung sind: Neutralisieren, Fällern, Extrahieren, Reduzieren, Oxidieren, Eindampfen, Destillieren, Desinfizieren.

ad 2): Kompostieren, Verrotten, Ausfaulen.

ad 3): Verbrennen, Pyrolysieren, Cracken, Sintern, Ausglühen, Schmelzen, Verglasen.

ad 4): Über die Ablagerung von Abfällen wird später noch ausführlicher berichtet werden. Es sei lediglich darauf hingewiesen, daß wir 5 verschiedene Standortklassen nach geologischen und hydrologischen sowie nach geomechanischen und hydromechanischen Gesichtspunkten in der Norm definiert wurden (ÖNORM S 2070) und je nach Ausstattung 6 verschiedene Bauklassen (ÖNORM S 2071). Die ÖNORM S 2075 ermöglicht dann die Zuordnung der einzelnen Abfälle je nach ihrem Gefährdungspotential an die einzelnen Deponietypen.

Wobei das über das Eluat zu bestimmende Gefährdungspotential eines der Beurteilungskriterien für die Deponiefähigkeit von festen und pastösen Abfällen ist. Ein weiteres Kriterium ist die Beurteilung nach den Inhaltsstoffen eines Abfalls (gem. ÖNORM S 2110).

Abfallkatalog

Schlüssel- Nummer	Bezeichnung	C/P	BB	TB	D	zugeordnete Eluatklasse und Hinweise
11	Nahrungs- und Genußmittelabfälle					
111	Abfälle aus der Nahrungsmittelproduktion					
11102	überlagerte Lebensmittel	-	K	+	K	EK IIIb
11103	Spelze, Spelzen- und Getreidestaub	-	+	K	K	EK IIIb
11104	Würzmittelrückstände	-	K	+	K	EK IIIb
11110	Melasse	-	K	+	-	
11111	Teig	-	+	+	K	EK IIIb
11112	Rübenschnitzel, Rübenschwänze	-	+	+	K	EK IIIb
11114	sonstige schlammförmige Nahrungsmittelabfälle	-	K	K	K	EK IIIb
11115	Rückstände aus der Konserven- und Tiefkühlfabrikation (Fleisch, Fisch)	-	K	+	-	TKV ¹⁾
11116	überlagerte Lebensmittelkonserven; Glas und Metall	-	-	K	K	EK IIIb
11117	Rückstände aus der Konserven- und Tiefkühlfabrikation (Obst, Gemüse, Pilze)	-	K	K	K	EK IIIb
114	Abfälle aus der Genußmittelproduktion					
11401	überlagerte Genußmittel	-	K	K	K	EK IIIb
11402	Tabakstaub, Tabakgrus, Tabakrippen	-	K	+	K	EK IIIb
11404	Malztreber, Malzkeime, Malzstaub	-	+	+	K	EK IIIb
11405	Hopfentreber	-	+	+	K	EK IIIb
11406	Ausputz- und Schwimmgerste	-	+	+	K	EK IIIb
11407	Obst-, Getreide- und Kartoffelschlempe	-	+	+	K	EK IIIb
11411	Trub und Schlamm aus Brauereien	-	K	+	K	EK IIIb
11413	Schlamm aus der Weinbereitung	-	K	+	K	EK IIIb
11414	Schlamm aus Brennereien	-	K	+	K	EK IIIb
11415	Trester	-	+	+	K	EK IIIb
11416	Fabrikationsrückstände von Kaffee (z. B. Röstgut und Extraktionsrückstände)	-	K	K	K	EK IIIb
11417	Fabrikationsrückstände von Tee	-	K	K	K	EK IIIb
11418	Fabrikationsrückstände von Kakao	-	K	K	K	EK IIIb
11419	Hefe oder hefeähnliche Rückstände	-	+	K	K	EK IIIb
11421	Spül- und Waschwasser mit schädlichen Verunreinigungen, organisch belastet	+	K	+	-	
11422	Schlamm aus der Tabakverarbeitung	-	K	K	K	EK IIIb
11423	Rückstände und Abfälle aus der Fruchtsaftproduktion	-	K	K	K	EK IIIb
117	Abfälle aus der Futtermittelproduktion					
11701	Futtermittel	-	K	K	K	EK IIIb
11702	überlagerte Futtermittel	-	K	K	K	EK IIIb
11703	überlagerte Futtermittelkonserven; Glas und Metall	-	-	K	K	EK IIIb

¹⁾ TKV = Tierkörperverwertung

Tab. 4

Eine wichtige Sache ist auch die Vorbehandlung des Abfalls für das jeweilige Behandlungsverfahren oder für die Deponierung. Die ÖNORM S 2100 spricht von Konditionierung und versteht darunter alle Verfahren, die dazu dienen, einen Abfall für ein bestimmtes Behandlungsverfahren geeignet zu machen. Z. B. Verfestigen, Entwässern, staubfrei machen, Befeuchten, Zerkleinern, Kompaktieren, Verpacken usw.

Das Sammeln und Transportieren von Abfällen ist im Sinne dieser ÖNORM keine Vorbehandlung. Und besonders wichtig: Die Schlüsselnum-

mer des Abfalls bleibt bei der Konditionierung praktisch unverändert.

Betrachtet man beispielsweise die Abfallgruppen 591 bis 598 bzw. 711 (Tab. 5), kann man erkennen, daß in manchen Fällen keine der vier Behandlungsarten zulässig ist. Hier findet man unter der Rubrik Hinweise die Angabe „Sonderbehandlung“ und für radioaktive Abfälle den Hinweis auf die Strahlenschutzverordnung (ein spezielles Gesetz in Österreich).

Abschließend sei noch einmal darauf hingewiesen, daß auch die NORM als oberste Maxime das

Recycling von Abfällen auch von gefährlichen anstrebt. Es heißt bereits in der Vorbemerkung zu ÖNORM S 2100: „Eine möglichst weitgehende

Verwertung der Abfälle unter Berücksichtigung ökologischer und wirtschaftlicher Aspekte ist anzustreben.“

Mindestanforderungen an Standortklassen und Deponiebauklassen in Relation zu Eluatklassen gemäß ÖNORM S 2072

Standortklassen gemäß ÖNORM S 2070 und S 2074 Teil 1	Deponiebauklassen gemäß ÖNORM S 2071					
	1 ¹⁾	2 ¹⁾	3	4	5	6
1	Ia	Ib	Ib ²⁾	IIa	IIa	IIa
2	Ia	Ib	IIa	IIa ²⁾	IIb ²⁾	IIIa ²⁾
3	Ia	Ib	IIa ²⁾	IIb ²⁾	IIIa ²⁾	IIIa ²⁾
4	Ib	Ib	IIb	IIIa	IIIb	IIIb
5	Ib	Ib ³⁾	IIIa	IIIa ²⁾	IIIb	IIIb

¹⁾ Bei Ablagerungen unterhalb des höchsten jeweils gemessenen Grundwasserstandes (HGW) gelten die Grenzwerte I_c der Tabelle 1 der ÖNORM S 2072.

²⁾ In Einzelfällen können unter Berücksichtigung spezieller örtlicher Gegebenheiten, zusätzlicher deponiebautechnischer Sicherheitsvorkehrungen und Kontrollmöglichkeiten diese Eluatwerte um jeweils eine Stufe hinaufgesetzt werden (z. B. IIb statt IIa, IIIa statt IIb).

³⁾ Die Gegebenheit des Untergrundes gemäß Standortklasse 5 ($k \leq 10^{-3}$ m/s) ermöglichen die Ablagerung von Abfällen der Eluatklasse IIa ohne künstliche Dichtung gegen den Untergrund, wenn eine freie Sickerwasservorflut vorhanden ist und eine Sickerwassersammlung und -ableitung gemäß den Bedingungen der Deponiebauklassen 3 bis 5 eingerichtet wird.

Achtung: Diese ÖNORM wird demnächst vom zuständigen Ausschuss des österreichischen Normungsinstitutes überarbeitet bzw. geändert.

59	Andere Abfälle chemischer Umwandlungs- und Syntheseprodukte					
591	Abfälle von Explosivstoffen					
59101	pyrotechnische Abfälle	-	-	-	-	Sonderbehandl.
59102	Sprengstoff- und Munitionsabfälle	-	-	-	-	Sonderbehandl.
59103	mehrfach nitrierte organische Chemikalien	-	-	-	-	Sonderbehandl.
593	Laborabfälle und Chemikalienreste					
59305	Laborabfälle und Chemikalienreste	+	-	K	-	
594	Detergentien- und Waschmittelabfälle					
59401	Fabrikationsrückstände aus der Waschmittelherstellung	+	-	K	K	EK IIIb
59402	flüssige Tenside	-	-	+	-	
59403	feste Tenside	-	-	+	-	
59404	Sulfonseifen, Sulfonsäuren	+	-	K	-	
59405	Reinigungs- und Spezialwaschmittelabfälle, sofern es sich um industriell bzw. gewerblich eingesetzte Spezialreinigungsmittel handelt, oder wenn sie wassergefährdend, ätzend oder brennbar sind	+	-	K	-	
595	Katalysatoren					
59507	Katalysatoren und Kontaktmassen	+	-	K	K	EK IV
598	Abfälle von gefaßten Gasen					
59801	Gase in Patronen	-	-	K	-	
59802	Gase in Stahldruckflaschen	-	-	-	-	Sonderbehandl.
59803	Druckgaspackungen (Spraydosen) mit mehr als 45% Masseanteil an brennbarem Inhalt oder mit mehr als 250 g brennbaren Stoffen sowie mit chemisch instabilen Stoffen	-	-	-	-	Sonderbehandl.
711	Radioaktive Abfälle⁷⁾					
71101	radioaktive Abfälle	-	-	-	-	Sonderbehandl.

⁷⁾ gemäß Strahlenschutzverordnung

Autorisieren, Zertifizieren und Prüfen

Hans Kolb*), Hannes Missethon, Christian Trummer**)

Die ursprüngliche Zielsetzung des Gesetzgebers für staatlich autorisierte Untersuchungs-, Erprobungs- und Materialprüfanstalten (Lex Exner vom 9. September 1910) war das Recht, Zeugnisse auszustellen, die als öffentliche Urkunden anzusehen sind. Für private Institute war und ist eine stete Überprüfung hinsichtlich technischer und personeller Eignung der Anstalten notwendig.

Dies wurde durch eine strenge Begutachtung und in bestimmten Zeitabständen durch Überprüfung des Personals bzw. der Prüfeinrichtungen erzielt.

In Europa sind – ausgehend von Deutschland – mit der Einführung der Normen für Qualitätssicherungssysteme DIN ISO 9000–9004 im Jahre 1987 bzw. die gleichlautenden Normen EN 29000–29004 ab 1990, die Anforderungen an Firmen, Prüfanstalten bzw. Labors festgelegt worden. Diese Normen wurden ebenfalls 1990 ergänzt durch die EN 45001–45014, welche die Zertifizierung bzw. Akkreditierung von Instituten regeln.

Authorization, Certification and Testing

The initial object of the Government was to authorize state authorized Testing, proving and material testing bodies to issue certificates which could be classed as an official document.

In the case of private institutes, there is a necessity for them to undergo a state approved inspection with regard to the technical and personnel suitability.

This is achieved by carrying out stringent checks on personnel and testing equipment at certain intervals.

Germany introduced standards for a quality safety system in 1987 with the numbers DIN ISO 9000–9004. In Europe, the same numbered standards e.g. EN 29000–29004 have been enforced since 1990 and are applicable to companies, testing bodies and laboratories. These standards were extended in 1990 to include EN 45001–45014 which relates to certification and attestation of institutes.

Examples of the various types of testing laboratories and institutes are shown and compared with Austrian establishments.

Autoriser, certifier et essayer

Le but initial poursuivi par le législateur pour les institutions d'étude, d'essai et de vérification des matériaux autorisées par l'Etat (Lex Exner du 9 septembre 1910) était le droit de délivrer des certificats qui devaient être considérés comme des pièces officielles. Pour les instituts privés, il était et il est toujours nécessaire d'effectuer des contrôles portant sur la conformité technique et sur le personnel des institutions. Ceci fut obtenu au moyen d'une appréciation sévère et d'un contrôle effectué à des intervalles déterminés sur le personnel et les installations d'essai.

Les exigences imposées aux entreprises, aux institutions d'essai ou aux laboratoires ont été fixées, en Europe, à commencer par l'Allemagne, avec l'introduction des normes des systèmes de sécurité de qualité DIN ISO 9000–9004 en 1987 ou des normes de même teneur EN 29000–29004 depuis 1990. Ces normes furent également complétées en 1990 par les normes EN 45001–45014 qui règlent la manière de certifier ou d'accréditer les Instituts.

Von einem gemeinsamen europäischen Markt kann erst gesprochen werden, wenn alle Hemmnisse im Handel zwischen den Staaten abgebaut sind. Diese Hemmnisse reichen von unterschiedlichen Sprachen bis hin zu Unterschieden im Begriff der Qualität und der Normen. Die Überwin-

nung dieser Barrieren ist Hauptziel der EG-Politik.

In Österreich sowie in allen EG-Ländern sind Institutionen historisch gewachsen, welche Prüfungen bzw. Zeugnisse von Produkten bzw. Leistungen im Interesse der Wirtschaft durchführen bzw. ausstellen dürfen. Die meisten dieser Institutionen sind Gesellschaften oder Vereine, welche die Überprüfungen nach verschiedenen Regeln bzw. Produktspezifikationen durchführen – und dies mit oder ohne gesetzlichem Auftrag.

Einer dieser Vereine ist der TÜV Wien, welcher seinen Ursprung in der Vermeidung der verheerenden Kesselexplosionen hatte. Heute ist diese Kesselüberwachung in unserer Gesetzgebung

*) Dr. Hans Kolb
ARP/Aufbereitung-Recycling-Prüftechnik G.m.b.H.
Johann-Sackl-Gasse 65–67
A-8700 Leoben

**) Dipl.-Ing. Hannes Missethon
cand.-Ing. Christian Trummer
QAS/Quality-Assurance Systems Leoben
Peter-Tunner-Straße 18
A-8700 Leoben

EN 45001	Allgemeine Kriterien zum Betreiben von Prüflaboratorien
EN 45002	Allgemeine Kriterien zum Begutachten von Prüflaboratorien
EN 45003	Allgemeine Kriterien für Stellen, die Prüflaboratorien akkreditieren
EN 45011	Allgemeine Kriterien für Stellen, die Produkte zertifizieren
EN 45012	Allgemeine Kriterien für Stellen, die QS-Systeme zertifizieren
EN 45013	Allgemeine Kriterien für Stellen, die Personal zertifizieren
EN 45014	Allgemeine Kriterien für Konformitätserklärungen von Anbietern

Abb. 1
Europannormen (EN) 45001-45014

voll verankert und die Tätigkeit des Vereines hat einen gesetzlichen Auftrag. Zu beachten ist aber, daß der TÜV Wien als eine staatlich autorisierte Versuchsanstalt und als Verein berechtigt ist, öffentliche Urkunden auszustellen und Prüfungen von Anlagen und Personen durchzuführen.

Die rechtliche Basis der Autorisation liegt im „Lex Exner“ aus dem Jahre 1910, wo die gesetzlichen Voraussetzungen für Untersuchungs-, Erprobungs- und Materialprüfanstalten festgehalten sind. Diese Voraussetzungen gelten automatisch bei allen Universitätsinstituten und bei den großen Museen als erfüllt. Private Institute müssen eine Zulassungsprüfung hinsichtlich technischer und personeller Eignung und eine regelmäßige Überprüfung durchführen lassen. Die Autorisation gilt nur für das überprüfte Sachgebiet und wird vom Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten in Vorbereitung für die zu erwartende internationale Zertifizierung sehr streng gehandhabt.

Für die Belange der Prüflabors ist in Österreich eine Regierungsvorlage ausgearbeitet worden, welche noch heuer verabschiedet werden soll, da der Termin für die EG-Einführung der 1. Jänner 1993 ist. Danach sollen die in den Europannormen 45001-45014 enthaltenen Regeln für die Zer-

Allgemeine Kriterien zum Betreiben von Prüflaboratorien

ZIEL: Diese Europäische Norm wurde mit dem Ziel erstellt, das Vertrauen in diejenigen Prüflaboratorien zu stärken, die dieser Norm entsprechen

- Unparteilichkeit, Unabhängigkeit und Integrität
- Technische Kompetenz
 - Verwaltung und Organisation
 - Personal
 - Räumlichkeiten und Einrichtungen
 - Verfügbarkeit
 - Räumlichkeiten und Umgebung
 - Einrichtungen
 - Arbeitsweise
 - Prüfverfahren und Prüfanweisungen
 - Qualitätssicherungssystem
 - Prüfberichte
 - Aufzeichnungen
 - Handhabung der Proben oder Prüfgegenstände
 - Sicherstellung der Vertraulichkeit
 - Unteraufträge

Abb. 2
Europannorm (EN) 45001

tifizierung bzw. Akkreditierung eine gesetzliche Basis erhalten. Danach sollen Prüflabors in Österreich, wie in der EG, nach diesen Richtlinien arbeiten. Alle derzeit autorisierten Prüf- und Versuchsanlagen müssen in Zukunft diesen Europannormen (EN) gerecht werden. Die Normen, welche zur Anwendung kommen, zeigt Abb. 1. Die wichtigste darin enthaltene Norm ist die EN 45001, deren Inhalt in Abb. 2 zusammengefaßt ist.

Eines der wesentlichsten Kriterien zum Betreiben von Prüflaboratorien ist das in der Norm geforderte Qualitätssicherungssystem, welches in der entsprechenden Normenserie beschrieben ist.

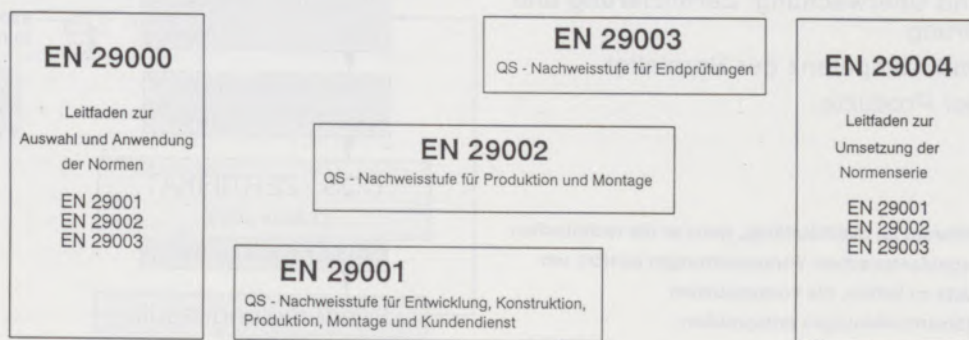


Abb. 3
Normenserie Europannorm (EN) 29000-29004

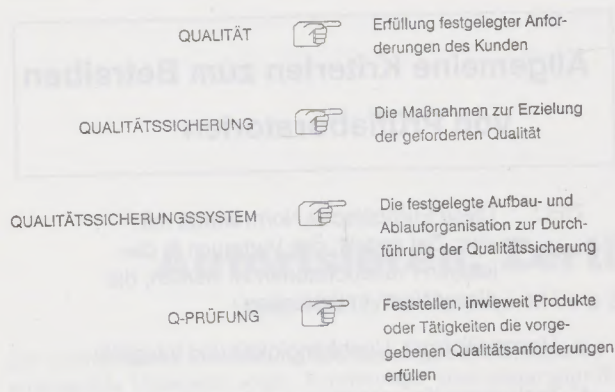


Abb. 4
Definitionen

- Österreichische Vereinigung zur Zertifizierung von QS - Systemen ÖQS
- TÜV
- Bureau Veritas
- Norske Veritas
- Lloyd

Abb. 6
Zertifizierungsstellen

Diese Normenserie EN 29000 und 29004 (Abb. 3) dient zur Auswahl und Umsetzung des entsprechenden Qualitätssicherungssystems für das Prüflabor. Sie ist die Basis für die Dokumentation der Qualitätssicherung und in weiterer Folge Basis für die Zertifizierung.

Bevor wir uns aber mit dem Zertifizierungsablauf beschäftigen, gilt es, den Begriff Qualität abzuklären (Abb. 4). Der erste Schwerpunkt liegt im Erheben von Kundenforderungen, d. h. ein gemeinsames mit dem Kunden erarbeitetes Pflichtenheft oder exakt in Checklisten dokumentierte Spezifikationen sind Grundvoraussetzung für die Erfüllung von Kundenforderungen.

Immer mehr an Wichtigkeit gewinnt nicht nur die technische Kunden-Lieferanten-Beziehung, sondern auch Belange, wie Termintreue, gut lesbare Prüfberichte usw.

Die organisatorischen Voraussetzungen im Unternehmen bestimmen neben den technischen Voraussetzungen die Qualitätsfähigkeit eines Unternehmens (Abb. 5). Die Akzeptanz von Produkten und Dienstleistungen läßt sich nicht nur durch gegenseitige nationale Normen und Vorschriften allein erreichen. Wichtig für das Gelingen des gemeinsamen Marktes ist das Vertrauen in die fremdländischen Konformitätsnachweise. Basis dafür ist folgendes Konzept:

- Die Qualität und Kompetenz der Stellen für Prüfung und Überwachung, Zertifizierung und Akkreditierung.
- Qualität und Kompetenz der Hersteller.
- Qualität der Produkte.

Ein Lieferant ist qualitätsfähig, wenn er die technischen und organisatorischen Voraussetzungen besitzt, um Produkte zu liefern, die vorgegebenen Qualitätsanforderungen entsprechen.

Abb. 5
Qualitätsfähigkeit

Nun gibt es in Österreich seit rund 3 Jahren die verschiedensten Stellen, welche die Qualitätssicherungssysteme zertifizieren (Abb. 6).

Diese Zertifizierung hat in Österreich derzeit noch keine offizielle Gültigkeit, da jene Stelle fehlt, welche die Zertifizierungsinstitute akkreditiert.

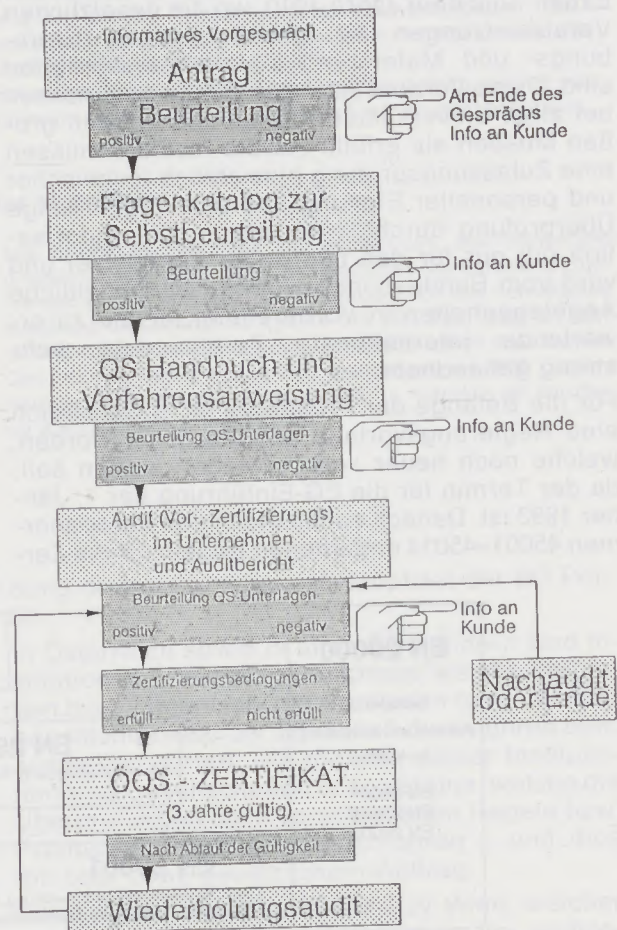


Abb. 7
Ablauf für ÖQS-Audits und Zertifizierung

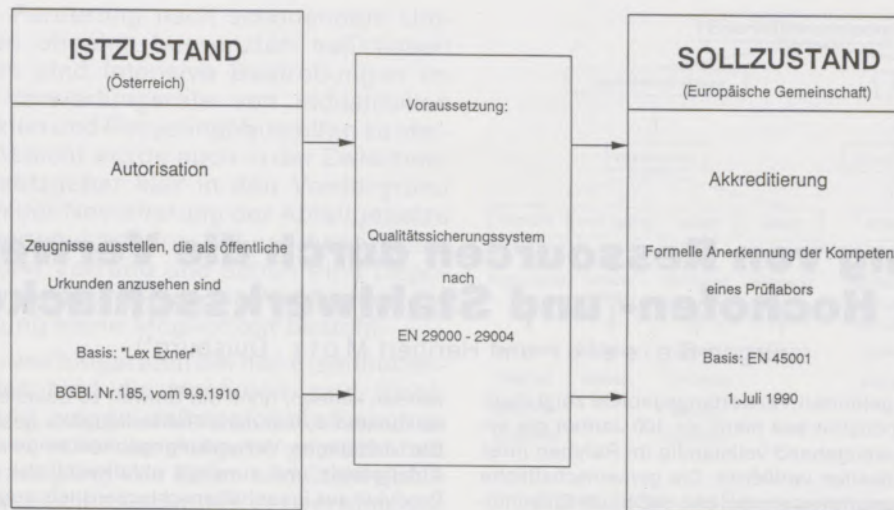


Abb. 8
Ist-Zustand/Soll-Zustand von Prüflabors

Es ist jedoch zu erwarten, daß diese Stelle im Herbst 1992 gesetzlich verankert wird.

Hat ein Unternehmen ein dokumentiertes Qualitätssicherungssystem nach EN 29000–29004 aufgebaut, so ist für die Zertifizierung nach dem in Abb. 7 wiedergegebenen Ablauf vorzugehen.

Die Zertifizierung wird zukünftig als Grundvoraussetzung in einer partnerschaftlichen Kunden-Lieferanten-Beziehung gesehen. Dies gilt insbesondere auch für Prüfinstitute. Der derzeitige Istzustand (Abb. 8) soll in Kürze übergeleitet werden zu akkreditierten, in ganz Europa anerkannten Prüflabors.

Schonung von Ressourcen durch die Verwendung von Hochofen- und Stahlwerksschlacken

Jürgen Geiseler und Heribert Motz, Duisburg*)

Die Vielzahl der aufgeführten Verwertungsgebiete zeigt deutlich, daß die Stahlindustrie seit mehr als 100 Jahren die erzeugten Schlacken weitgehend vollständig im Rahmen ihrer technischen Möglichkeiten verwertet. Die gemeinschaftliche Anwendungsforschung hat es ermöglicht, daß heute Eisenhüttenschlacken zu annähernd 98% auf den verschiedensten Gebieten mit zum Teil höchsten Anforderungen eingesetzt

werden können, ohne die Umwelt zu belasten; im Gegenteil, es konnten vorhandene Rohstoffquellen geschont werden. Die vielfältigen Verwertungsgebiete zeigen aber auch, daß Abfallgesetz und sonstige abfallrechtliche Regelungen auf Produkte aus Eisenhüttenschlacken nicht angewendet werden können. Eisenhüttenschlacken sind heute ein „genormtes Produkt“, sie sind ein Wirtschaftsgut und damit kein Abfall.

Saving Resources by Utilising Blast Furnace Slag and Steelslag

Considering the number of utilisation possibilities, it can be clearly seen that the steel industry has made use of their slag, to the best of their technical ability, for more than 100 years. The unified research of application possibilities has made it possible to utilise almost 98% of metallurgical slags without any burden on the environment. On the contrary in fact, avail-

able raw material resources are being spared. The wide range of utilisation possibilities show that the laws and regulations on waste from the steel industry are not always applicable. Slag from the steel industry is a standard economical product and not waste.

Protection des ressources par l'emploi de laitiers de hauts fourneaux et d'acières

Le grand nombre de domaines d'application montre nettement que depuis plus de 100 ans la sidérurgie utilise les laitiers produits pratiquement en totalité dans le cadre de ses possibilités techniques. La recherche sur l'utilisation effectuée en commun a donné la possibilité d'utiliser les laitiers de sidérurgie à environ 98% dans les domaines les plus variés avec, en partie, des exigences les plus élevées, sans causer aucun dommage à l'environnement; bien au contraire,

on pourrait ainsi ménager les sources de matières premières existantes.

Les domaines d'utilisation variés montrent toutefois également que la loi sur les déchets et autres règlements du droit sur les déchets ne peuvent s'appliquer aux produits obtenus avec les laitiers sidérurgiques. Ceux-ci sont aujourd'hui des «produits normalisés», c'est-à-dire qu'il s'agit d'un produit de commerce et par conséquent pas un déchet.

1. EINLEITUNG

Im Jahr 1988 betrug in der damaligen Bundesrepublik Deutschland der Verbrauch von natürlichen Mineralstoffen etwa 560 Mio. t, von denen etwa die Hälfte für die Unterhaltung und den Bau von Straßen eingesetzt wurde (1).

Dem Verbrauch von natürlichen Rohstoffen im Straßenbau steht nach einer Erhebung aus dem Jahr 1988 in Deutschland eine Erzeugung von etwa 128 Mio. t industrieller Nebenprodukte und Recyclingbaustoffen gegenüber (2). Diese gliedern sich im wesentlichen in

- Eisenhüttenschlacken,
- Nebengestein der Steinkohle,
- Kraftwerksrückstände,

- Müllverbrennungssasche,
- Recyclingbaustoffe.

Als Recyclingbaustoffe werden nur Stoffe bezeichnet, die bereits als Baustoffe eingesetzt worden waren und wiederverwendet werden sollen.

Im Mittel werden von diesen industriellen Nebenprodukten und Recyclingbaustoffen annähernd 41% wiederverwendet, wobei die Verwertungsrate jedoch in Abhängigkeit vom jeweiligen Produkt schwanken. So wird zum Beispiel bei den Eisenhüttenschlacken zurzeit eine Verwertungsrate von ca. 98% und bei den Müllverbrennungssaschen eine Verwertungsrate von ca. 36% erreicht.

Eine mittlere Verwertungsrate von 41% bedeutet aber auch, daß die restliche Menge auf Deponien abgelagert werden muß. Angesichts des immer knapper werdenden Deponieraums sowie der

*) Prof. Dr.-Ing. Jürgen Geiseler, Dr.-Ing. Heribert Motz, Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Bliersheimerstraße 62, D-4100 Duisburg 14

berechtigten Forderung nach schonendem Umgang mit den ohnehin begrenzten natürlichen Mineralstoffen sind intensive Bestrebungen im Gange, die Verwertungsrate von industriellen Nebenprodukten und Recyclingbaustoffen zu steigern. Diese Absicht wurde auch in der Zwischenzeit vom Gesetzgeber klar in den Vordergrund gestellt. Nach der Novellierung der Abfallgesetze in verschiedenen Ländern geben diese einer Verwertung den Vorrang und sehen eine Deponierung unter anderem nur dann vor, wenn für eine Verwertung keine Möglichkeit besteht.

Die hohen Verwertungsraten bei den Eisenhüttenschlacken, das sind die Hochofen- und Stahlwerksschlacken, zeigen, daß es sich die Eisenhüttenindustrie seit jeher zur Aufgabe gemacht hat, die bei der Erzeugung von Eisen und Stahl gebildeten Schlacken einer sinnvollen Verwertung, vor allem im Bereich des Bauwesens, zuzuführen. Der Beginn dieser Aktivitäten liegt in Deutschland mehr als 100 Jahre zurück. Bereits 1862 wurde entdeckt, daß die granuliert Hochofenschlacke, der Hüttensand, hydraulische Eigenschaften besitzt und für die Zementproduktion verwendet werden kann. Dies belegen zum Beispiel auch Normen über Eisenportlandzement und Hochofenzement, die erstmals im Jahre 1909 bzw. 1917 veröffentlicht wurden.

Eine umfassende Verwertung von Eisenhüttenschlacken setzt voraus, daß ständig neue Anwendungsmöglichkeiten entwickelt und erprobt werden, um die erforderlichen Eignungsnachweise für den jeweiligen Verwendungszweck zu erbringen. Erst wenn dieser Nachweis erbracht ist, kann die Umsetzung in die Praxis erfolgen. Da dieses Vorgehen oft erheblicher Anstrengungen bedarf, haben sich bereits 1954 die deutschen Hüttenwerke in der Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken mit dem Ziel zusammengeschlossen, gemeinschaftliche Anwendungsforschung zu betreiben und Eisenhüttenschlacken vollständig auf qualitativ hochwertigen Gebieten zu nutzen.

2. KENNZEICHNUNG VON HOCHOFEN- UND STAHLWERKSSCHLACKEN

Die Stahlherstellung erfolgt im allgemeinen in einem zweistufigen Verfahren, wobei sich der Herstellung von Roheisen im Hochofen die Stahlherzeugung im Stahlwerk anschließt. In beiden Prozessen werden Schlacken gebildet, Hochofenschlacken bei der Herstellung von Roheisen und Stahlwerksschlacken bei der Herstellung von Stahl. Hochofen- und Stahlwerksschlacken werden als Eisenhüttenschlacken bezeichnet.

Eisenhüttenschlacken und ihre bautechnischen Eigenschaften sind heute in einer Vielzahl von Normen, zum Beispiel in der DIN 4301, in Lieferbedingungen und Merkblättern definiert (3) bis (6). Eisenhüttenschlacken dürfen nicht verwechselt werden mit Aschen, den nichtmetallischen Rückständen bei der Verbrennung. Da beide Produkte heute im Bauwesen vor allem im Straßenbau zum

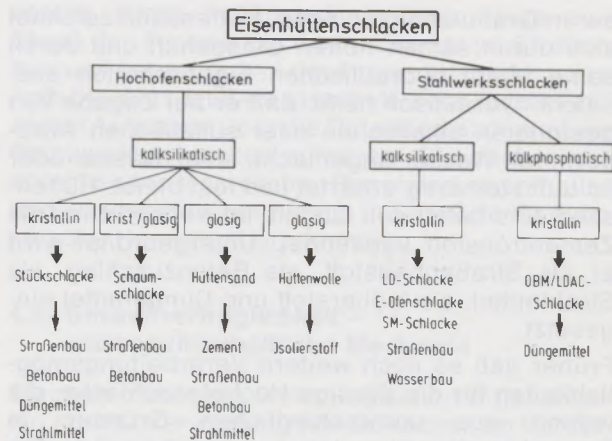


Abb. 1
Eigenschaften und Hauptverwertungsgebiete von Eisenhüttenschlacken

Einsatz kommen, ist eine klare Unterscheidung, nicht zuletzt wegen der unterschiedlichen Produkteigenschaften, unbedingt erforderlich. Abb. 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Eisenhüttenschlacken einschließlich ihrer Eigenschaften und Hauptverwertungsgebiete.

2.1. Hochofenschlacken

Hochofenschlacken haben heute eine kalksilikatische Grundzusammensetzung, gekennzeichnet durch etwa 40% CaO, 35% SiO₂, 11% Al₂O₃ und 9% MgO. Aufgrund unterschiedlicher Abkühlungsbedingungen der flüssigen kalksilikatischen Hochofenschlacke lassen sich unterschiedliche Produkte herstellen.

Wird die flüssige Hochofenschlacke in Beete abgegossen, kühlt sie sehr langsam ab, sodaß sich ein kristallines Gefüge ausbilden kann. Es entsteht die Hochofenstückschlacke. Als typische Mineralphasen dominieren dabei Melilith und Merwinit. Freie Oxide gibt es in Hochofenschlacken nicht. Alle oxidischen Komponenten liegen als Verbindung oder Mischkristall vor. Hochofenstückschlacke wird durch Brechen, Sieben und Mahlen zu Sand, Splitt, Schotter und Mineralstoffgemischen weiterverarbeitet. Wesentliche Eigenschaften der Hochofenstückschlacke sind ihre Raumbeständigkeit und Festigkeit. Verwendet wird Hochofenstückschlacke im Straßenbau, als Betonzuschlag, als Strahlmittel und in fein gemahlener Form als Düngemittel.

Wird die flüssige Hochofenschlacke mit wenig Wasser abgekühlt, entsteht der sogenannte Hüttenbims. Der Hüttenbims unterscheidet sich von der Hochofenstückschlacke durch eine relativ hohe Porosität, die zu einer niedrigen Rohdichte meist unter 0,9 g/m³ führt. Hüttenbims wird als Straßenbaustoff vor allem in Moorgebieten und als Leichtzuschlag für Beton verwendet.

Hüttensand entsteht bei sehr schneller Abkühlung der flüssigen Hochofenschlacke mit Was-

ser in Granulationsanlagen. Hüttensand zeichnet sich durch seinen hohen Glasgehalt und durch seine latent hydraulischen Eigenschaften aus. Latent hydraulisch heißt, daß er bei Zugabe von geeigneten alkalischen oder sulfatischen Anregern, mit Wasser angemacht, unter Wasser oder an Luft steinartig erhärtet und fest bleibt. Hüttensand wird daher seit langem im wesentlichen als Zementrohstoff verwendet. Untergeordnet wird er als Straßenbaustoff, als Betonzuschlag, als Strahlmittel, als Isolierstoff und Düngemittel eingesetzt.

Früher gab es noch weitere Verarbeitungsmöglichkeiten für die flüssige Hochofenschlacke, die jedoch aus unterschiedlichen Gründen in Deutschland nicht mehr angewandt werden. Sie kann mit Luft verdüst werden. Dabei entstehen feine, glasige Fäden und Fasern, die als Hüttenwolle bezeichnet werden. Diese Hüttenwolle wird ähnlich wie Mineral- oder Glaswolle vor allem zu Isolierstoffen verschiedenster Art verarbeitet.

2.2. Stahlwerksschlacken

Bei den kristallinen Stahlwerksschlacken muß unterschieden werden zwischen den kalkphosphatischen und kalksilikatischen Schlacken.

Die im LDAC-Verfahren erzeugten Phosphatschlacken sind gekennzeichnet durch einen CaO-Gehalt von etwa 50% und einen P_2O_5 -Gehalt von etwa 15%. Diese Schlacke wird ausschließlich als Düngemittel – Thomasmehl – eingesetzt.

Die kalksilikatischen LD-Schlacken weisen bei Gesamtkalkgehalten von etwa 50% Freikalkgehalte bis 10% auf. Der Gesamtgehalt an Eisen liegt bei etwa 16%.

Die bei der Herstellung von un- und niedriglegierten Stählen entstehenden Elektroofenschlacken haben im Vergleich zu den LD-Schlacken niedrigere Kalk- und Freikalkgehalte, allerdings sind die MgO-Gehalte infolge der Reaktion mit der feuerfesten Ausmauerung höher.

Stahlwerksschlacken enthalten immer freie Oxide, insbesondere freies CaO sowie freies MgO. Kennzeichnende Mineralphasen der kalkphosphatischen Schlacken sind Silikophosphat-Mischkristalle, Tetracalciumphosphat sowie eisenoxidhaltige Phasen, Wüstit und Calciumferrit. In Frischschlacken des LD- und Elektroofenverfahrens dominiert Dicalciumsilikat.

LD- und Elektroofenschlacken werden heute überwiegend nach Aufbereitung im Straßen-, Wege- und Wasserbau eingesetzt.

3. ERZEUGTE MENGEN AN EISENHÜTTENSCHLACKEN

Die Menge der insgesamt erzeugten Hochofenschlacken (Thomasroheisenschlacke und Stahlroheisenschlacke) hat von ca. 16,6 Mio. t im Jahre 1960 auf heute etwa 9 Mio. t abgenommen. Ent-

sprechendes gilt für die Stahlwerksschlacken, deren jährliche Erzeugung sich von etwa 9 Mio. t im Jahr 1974 auf etwa 5 Mio. t im Jahr 1989 verringert hat. Die wesentliche Ursache für diese Abnahme liegt in den erheblich verringerten spezifischen Schlackenmengen. Während bei den Hochofenschlacken die spezifische Schlackenmenge von etwa 1000 kg/t Roheisen im Jahr 1950 auf heute etwa 250 kg/t Roheisen abgenommen hat, hat sich diese bei den Stahlwerksschlacken von etwa 200 kg/t Stahlroheisen auf heute etwa 115 kg/t Stahlroheisen verringert.

Welche Mengen an Schlacken zukünftig erzeugt werden, hängt von der Stahlproduktion ab, die konjunkturellen Schwankungen unterworfen ist. In Deutschland gehen wir aber davon aus, daß zukünftig jährlich etwa 8 Mio. t Hochofenschlacken und 4 bis 5 Mio. t Stahlwerksschlacken erzeugt werden.

Bei den Hochofenschlacken beträgt das Verhältnis von Hochofenstückschlacke zu Hüttensand heute etwa 65% zu 35%. Für die Zukunft ist abzu-sehen, daß eine Tendenz zur Steigerung der Hüt-tensandproduktion besteht. Es wird erwartet, daß in einigen Jahren jeweils 50% Hochofenstück-schlacke und Hüttensand erzeugt werden.

Insgesamt wurden in den letzten 35 Jahren allein in Deutschland etwa 650 Mio. t Eisenhütten-schlacken erzeugt. Diese konnten nahezu voll-ständig genutzt werden. Zum Teil wurden zusätz-lich bestehende Halden aus Hochofenstück-schlacken abgebaut.

4. EIGENSCHAFTEN

Die Zuordnung von Eisenhütten-schlacken zu möglichen Verwertungsgebieten setzt voraus, daß zunächst die technologischen Eigenschaften dieser Schlacken und deren Umweltverträglich-keit bekannt sind. Die Stahlindustrie kontrolliert seit über 20 Jahren regelmäßig die Qualitäts-eigenschaften ihrer Schlacken. Heute liegt eine Vielzahl von Laboruntersuchungen und Praxis-versuchen vor.

4.1. Technologische Eigenschaften

Die wichtigsten technologischen Eigenschaften von Hochofen- und Stahlwerksschlacken sind in technischen Regelwerken beschrieben. Es sind im wesentlichen Dichte, Festigkeit und Verwitte-rungsbeständigkeit. Diese Eigenschaften sind vor allem bei einer Verwendung der kristallinen Schlacken im Bereich des Bauwesens von größ-ter Bedeutung. Bei der Hochofenstückschlacke werden die vier Qualitätsklassen A, B, C und D unterschieden. Wesentliche Kennzeichen dieser Güteklassifizierung sind die Festigkeit und die Dichte der Schlacken, wobei von D nach A die Porosität abnimmt und die Festigkeit zunimmt. Diese Merkmale der Hochofenstückschlacke wer-den vor allem durch die Erstarrungsbedingungen

in Verbindung mit dem Gasgehalt der flüssigen Schlacken beeinflusst. Mit den in den letzten Jahren zurückgehenden spezifischen Schlackemengen entgasen die heutigen Hochofenschlacken beim Erstarren stärker als in früheren Jahren. Heute wird Hochofenstückschlacke daher nur noch in den Qualitätsklassen B bis D erzeugt, Hochofenstückschlacke A wird nur noch aus alten Haldenbeständen gewonnen (7).

In Abb. 2 sind für Hochofenstückschlacke B, LD-Schlacke und Elektroofenschlacke die wichtigsten technologischen Eigenschaften denen der Natursteine, Basalt und Granit, gegenübergestellt. Es zeigt, daß vor allem die aufbereiteten LD- und Elektroofenschlacken sehr gute technologische Eigenschaften aufweisen, die durchaus mit denen von Natursteinen vergleichbar sind. Dies gilt insbesondere für den Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel. Die Absplitterungen nach Frost-Tau-Wechsel sind bei LD- und Elektroofenschlacken zum Teil noch geringer als bei Basalt und Granit.

Dennoch müssen beim Einsatz von Eisenhütenschlacken im Bauwesen einige wichtige Besonderheiten berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere für die Stahlwerksschlacken, bei denen sich im Vergleich zum Naturgestein zum einen die höhere Dichte ungünstig auf die Transportkosten auswirken kann. Zum anderen muß bei Stahlwerksschlacken die Raumbeständigkeit ständigen Kontrollen unterliegen, weil die in diesen Schlacken in unterschiedlichen Mengen auftretenden freien Oxide, der freie Kalk und das freie Magnesiumoxid, unter Zutritt von Wasser hydratisieren und durch die damit verbundene Volumenvergrößerung Schäden hervorrufen können. Die Forschungsgemeinschaft Eisenhütenschlacken hat sich daher in den letzten Jahren verstärkt mit der Entwicklung von Prüfverfahren für die Prüfung der Raumbeständigkeit von Stahlwerksschlacken

befaßt. Diese Prüfungen gehören heute zum Stand der Technik bei ihrem Einsatz im Straßenbau und haben sich in der Praxis besonders deshalb bewährt, weil sie innerhalb sehr kurzer Prüfzeiten Aussagen über die Raumbeständigkeit von Stahlwerksschlacken zulassen. Sie sind in entsprechenden technischen Regelwerken enthalten und wurden darüber hinaus in Entwürfe für europäische Normen übernommen.

4.2. Umweltverträglichkeit – wasserwirtschaftliche Merkmale

Standen früher die technologischen Eigenschaften bei der Verwertung von Schlacken im Vordergrund, so müssen heute zunächst Aussagen zur Umweltverträglichkeit getroffen werden. Der Umweltverträglichkeit der Schlacken widmete sich die Stahlindustrie bereits zu Zeiten, als dieser Begriff noch nicht in der täglichen Diskussion war. Aufgrund von jahrelangen Erfahrungen liegen nicht nur Ergebnisse aus immer wiederkehrenden Laboruntersuchungen, sondern auch aus zahlreichen Untersuchungen unter Bedingungen in der Praxis vor.

Will man Aussagen über eventuelle Umweltbeeinträchtigungen von industriellen Nebenprodukten gewinnen, ist es unerlässlich, sie einem Prüfverfahren zu unterziehen, das Aussagen zur Umweltverträglichkeit liefert. Dabei taucht immer wieder der Gedanke auf, die Feststoffgehalte solcher Materialien zur Bewertung heranzuziehen. Für das Umweltverhalten eines Stoffs ist jedoch nur von Bedeutung, welche Mengen an umweltrelevanten Elementen auslaugbar sind. So sind zum Beispiel viele toxische Elemente so fest im Kristallgitter von Mineralien eingebunden, daß sie selbst unter äußerst extremen Bedingungen und in langen Zeiträumen nicht ausgelaugt werden. In Deutschland und in vielen anderen europäischen Ländern werden deshalb die Anteile an auslaugbaren Bestandteilen für die Beurteilung der Umweltverträglichkeit herangezogen (8).

Zur Bestimmung der Auslaugbarkeit von industriellen Nebenprodukten wurden zahlreiche Untersuchungsverfahren entwickelt oder aus anderen Einsatzgebieten übernommen, die mit gewissen Einschränkungen geeignet sind, Aussagen über Schadstoffe und Gefährdungspotentiale zu liefern. Von der großen Zahl unterschiedlicher Auslaugverfahren sind besonders die Durchlaufverfahren zu erwähnen, bei denen Wasser durch eine mehr oder weniger verdichtete Schüttung des Mineralstoffs hindurchsickert. Daneben gibt es Standverfahren, bei denen ein Mineralstoff in dem Auslaugemedium – meist Wasser – steht. Weiterhin kommen Bewegungsverfahren zum Einsatz. Dabei handelt es sich um Verfahren, bei denen eine konstante Materialmenge mit einem Mehrfachen an Elutionslösung in einer Flasche meist über eine vorgegebene Zeit geschüttelt oder gerührt wird. Da alle hier erwähnten Auslaugverfahren mit unterschiedlichen Versuchsbe-

Merkmal	Mineralstoff					TL-Min StB 83
	HOS B	LDS	EOS	Basalt	Granit	
Rohdichte (g/cm ³)	2,1-2,4	3,0-3,7	3,2-3,8	2,8-3,1	2,6-2,8	
Schlagzertrümmungswert an Splitt SZ _{g/12} (Gew.-%)	22-34	10-22	10-22	9-20	12-27	D ¹⁾ < 18 B ¹⁾ < 22 T < 34
Druckfestigkeit (N/mm ²)	-	> 100	> 100	> 250	> 120	
Verwitterungsbeständigkeit						
↓ Wasseraufnahme (Gew.-%)	1,0-4,0	0,3-1,0	0,3-1,0	≤ 0,5	0,3-1,2	< 0,5
↓ Widerstand gegen Frost-Tau-Wechsel Absplitterung < 5 mm (Gew.-%)	1-3	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	0,8-2,0	< 3,0
Polierbarkeit - PSV	46-56	54-57	58-63	45-55	45-55	

D = Deckschichten; B = Binderschichten; T = Tragschichten

1) Grenzwerte nach ZTV bit - StB

Abb. 2

Technologische Eigenschaften von Mineralstoffen

dingungen arbeiten – dies gilt für die Prüfzeit, für die Prüfkörnung und vor allem für das Wasser/Feststoffverhältnis –, fallen die Ergebnisse sehr unterschiedlich aus und sind deshalb nicht miteinander vergleichbar. Die Ergebnisse von Auslaugeuntersuchungen können somit nicht unabhängig vom Prüfverfahren verglichen und beurteilt werden.

In der Vergangenheit hat sich immer mehr das in der DIN 38 414 genormte S4-Verfahren (9), ein Bewegungsverfahren, durchgesetzt, weil dieses Verfahren bereits über viele Jahre angewandt wird und die damit gesammelten Daten somit eine gute Grundlage für Vergleichs- und Beurteilungsmöglichkeiten liefern. Bei diesem Verfahren wird die zu untersuchende Mineralstoffprobe mit der zehnfachen Wassermenge 24 Stunden lang über Kopf geschüttelt.

Obwohl die Umweltverträglichkeit auf allen Gebieten ständig an Bedeutung gewinnt, gibt es immer noch keine allgemeingültigen Bewertungskriterien zur Beurteilung der in Eluaten ermittelten Gehalte. Aufgrund fehlender Anforderungen werden in zunehmendem Maße bestehende Richtlinien herangezogen; so ist es in Deutschland zum Beispiel weit verbreitet, die in S4-Eluaten ermittelten Konzentrationen anhand der in der Trinkwasserverordnung aufgeführten Werte zu beurteilen. Es gibt allerdings keine logische oder wissenschaftliche Begründung dafür, daß nur solche Eluate umweltverträglich sind, die den Vorschriften der Trinkwasserverordnung entsprechen.

In Abb. 3 sind für Hochofenstückschlacke, Hütten sand, LD-Schlacke und Elektroofenschlacke die Auslaugung von Spurenelementen sowie der pH-Wert im Eluat angegeben.

Diese im Labor und die seit Jahren in der Praxis gewonnenen Ergebnisse zeigen, daß die Eisenhüttenschlacken keine Beeinträchtigung der Umwelt darstellen. Die im S4-Eluat ermittelten Schwermetallkonzentrationen liegen alle unterhalb der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung. Die erhöhten pH-Werte werden bei Durchführung des S4-Verfahrens gewonnen, weil eine Einwirkung der Atmosphäre praktisch ausgeschlossen ist. In Praxisversuchen wurden immer niedrigere pH-Werte festgestellt, die im Neutralbereich oder im schwach alkalischen Bereich liegen. Allerdings sollte beim Einsatz von Stahlwerksschlacke in stehende Gewässer das Verhältnis von Schlackenmenge zu Wassermenge so bemessen werden, daß der pH-Wert im neutralen bis leicht basischen Bereich liegt.

Neben den in Abb. 3 aufgeführten Parametern stand unter anderem auch immer wieder die Frage im Vordergrund, inwieweit Schlacken Dioxine enthalten können.

Schlacken sind anorganische industrielle Nebenprodukte aus thermischen Prozessen, die so hoch erhitzt wurden, daß sie eine bestimmte Zeit homogen schmelzflüssig waren. Sie werden überwie-

Element	HOS	HS	LDS	ES	TVO
As	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,04
Cd	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,005
Co	<0,002	n.b.	<0,005	<0,005	
Cr	0,001	0,001	0,007	0,01	0,05
Cu	0,001	0,001	<0,002	<0,002	
F	0,2	0,2	<0,5	<0,5	1,5
Hg	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,001
Ni	0,004	<0,002	<0,005	0,005	0,05
Pb	<0,001	<0,001	<0,002	<0,002	0,04
S _{ges}	170	30	3	5	
SO ₄	150	30	<10	15	240
Se	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Zn	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1	
pH	11	10	12	12	6,5-9,5

Abb. 3

Umweltverträglichkeit von Eisenhüttenschlacken
(Auslaugung nach DIN 38 414-S4)
Angaben in mg/l – Mittelwerte

gend als produktionsspezifisches Nebenprodukt in metallurgischen Prozessen erzeugt. Wegen der metallurgischen Aufgaben, die sie zu verrichten haben, weisen sie eine definierte chemische Zusammensetzung auf. Diese Zusammensetzung wird während des metallurgischen Prozesses durch gezielte Zugabe bestimmter Schlackenbildner eingestellt. Die bei der Roheisen- und Rohstahlerzeugung gebildete Schlacke liegt in einem Temperaturbereich von ca. 1600° C. Sie ist homogen schmelzflüssig und verbleibt während des Prozesses in diesem Temperaturbereich. Dioxine sind unter diesen Bedingungen nicht zu erwarten. Entsprechende Untersuchungen wurden von Laboratorien durchgeführt. Das Ergebnis dieser Untersuchungen war, daß Eisenhüttenschlacken Dioxinkonzentrationen von weniger als 1 ng/kg TE enthalten. Diese Meßwerte sind so niedrig, daß sie sogar unterhalb der Hintergrundkonzentration von unbelasteten Böden liegen.

Neben den Aussagen zum Dioxingehalt mußte die Stahlindustrie auch Stellung zur Radioaktivität der Schlacken nehmen. Auch hierzu wurden von anerkannten Prüfinstituten umfangreiche Gutachten erstellt. Diese kamen zu der Aussage, daß Eisenhüttenschlacken hinsichtlich ihrer Radioaktivität als unbedenklich anzusehen sind.

Da bei der Verwertung von Schlacken und anderen industriellen Nebenprodukten nicht für jede Baumaßnahme umfangreiche Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit durchgeführt werden können, hat in Deutschland das Bundesland Nordrhein-Westfalen „Anforderungen an die Verwendung von aufbereiteten Altbaustoffen (Recycling-Baustoffen) und industriellen Nebenprodukten im Erd- und Straßenbau aus wasserwirtschaftlicher Sicht“ (10) erarbeitet. Diese Anforderungen sehen vor, daß die genannten Stoffe regelmäßig im Rahmen einer Güteüberwachung hinsichtlich ihrer Umweltverträglichkeit untersucht werden. Grundlage für die Untersuchung bildet das in der DIN 38 414 genormte S4-Verfahren zur Bewertung des Auslageverhaltens. Weiterhin wurden aufgrund von umfangreichen Voruntersuchungen und des bereits vorhandenen Datenmaterials für

Parameter	Dimension	Mineralstoff			
		HOS	HS	LDS	ES
ph-WERT ¹⁾	--	9-12,5	9-12,5	10-13	10-13
el. Lf.	mS/m	250	100	500	500
CSB	mgO ₂ /kg	2000 ²⁾	200 ²⁾	-	-
Cr VI	mg/kg	-	-	0,2	0,3
SO ₄	mg/kg	5000	1000	-	-

HOS: Hochofenstüchschlacke HS: Hüttensand LDS: LD-Schlacke ES: Elektroofenschlacke

1) Kein Grenzwert; für Reststoffe typischer Bereich

2) Wert entspricht Thiosulfatschwefel

Abb. 4

Prüfung von Eisenhüttenschlacken in Nordrhein-Westfalen
Grenzwerte im Rahmen der Güteüberwachung

die einzelnen industriellen Nebenprodukte und Recyclingbaustoffe, wie zum Beispiel Schlacken oder Müllverbrennungaschen, Leitparameter festgelegt. Abb. 4 enthält die für Hochofenschlacke, Hüttensand, LD-Schlacke, Elektroofenschlacke festgelegten Leitparameter und Grenzwerte. Diese müssen regelmäßig im Abstand von sechs Monaten untersucht werden, wobei die in Abb. 4 dargestellten Grenzwerte eingehalten werden müssen.

Aus Abb. 4 geht hervor, daß für Hochofenschlacken und Stahlwerksschlacken im Rahmen der Überprüfung der wasserwirtschaftlichen Merkmale nur vier bzw. drei Parameter überprüft werden müssen, weil diese Schlacken beim Herstellungsprozeß in ihrer Zusammensetzung kaum Schwankungen unterliegen und somit als homogene Baustoffe eingeschätzt werden können.

5. WICHTIGSTE EINSATZMÖGLICHKEITEN

Die Verwertung von Eisenhüttenschlacken erfolgt heute im wesentlichen als Düngemittel, als Baustoff und als metallurgischer Kreislaufstoff. Im folgenden wird nur auf die beiden Gebiete Düngemittel und Baustoffe eingegangen und der Bereich der metallurgischen Kreislaufstoffe ausgeklammert, weil dieses interne Recycling in den letzten Jahren aufgrund der steigenden Ansprüche an die Stahlqualität sehr stark rückläufig ist.

5.1. Düngemittel

Im Bereich der Land- und Forstwirtschaft wird Hochofenschlacke in gemahlener oder granulierter Form als Kalkdünger – Hüttenkalk – eingesetzt. Hüttenkalk ist wegen seines MgO-Gehalts und der Spurennährstoffe seit Jahrzehnten ein beliebtes Düngemittel für die Land- und Forstwirtschaft. Für die Forstkalkung wird zunehmend ungemahlener Hüttensand per Hubschrauber ausgebracht, weil durch die glasige Form und das grobe Kornspektrum (bis 3 mm) des Hüttensands die basisch wirksamen Bestandteile langsamer freigesetzt werden und es somit zu einer scho-

nenden Anhebung des pH-Werts im Waldboden kommt.

Die kalkphosphatischen Stahlwerksschlacken werden ausschließlich zur Herstellung von Düngemitteln, dem Thomasphosphat, eingesetzt. Der Wertinhalt dieses Düngers liegt vor allem in dem nach dem Ausbringen im Boden nicht wasserlöslichen, aber pflanzenverfügbaren Phosphatgehalt; er wird ergänzt durch die übrigen Komponenten CaO, MgO und Kieselsäure sowie weitere Spurennährstoffe.

Auch die kalksilikatischen Schlacken des LD-Verfahrens werden seit vielen Jahren zu den Kalkdüngern „Thomaskalk“ und „Konverterkalk“ verarbeitet. Sie haben annähernd die gleichen düngewirksamen Gehalte an CaO, SiO und MgO wie das Thomasphosphat, ihr P₂O₅-Gehalt liegt jedoch im allgemeinen zwischen 4 und 8% bzw. unter 3%.

5.2. Baustoffe

Im Bereich des Bauwesens kommt die Hochofenstüchschlacke hauptsächlich für den Straßenbau in Betracht. In Abb. 5 sind die für die einzelnen Güteklassen A bis D möglichen Einsatzgebiete im Straßenbau für Hochofenstüchschlacke, Hüttenbims und Hüttensand angegeben. Hochofenstüchschlacken der Güteklassen B und C werden heute hauptsächlich als Mineralstoff für Tragschichten ohne Bindemittel eingesetzt. Sie haben sich vor allem durch die von der Porosität verursachte raue Oberfläche bewährt, die zu einer hohen Standfestigkeit dieser Mineralstoffgemische führt. Weiterhin sind solche Mineralstoffgemische unempfindlich gegenüber Wassergehaltsschwankungen. Es ergeben sich damit vor allem während der Bauphase erhebliche Vorteile gegenüber anderen Mineralstoffen. Ein weiterer Vorzug von Mineralstoffgemischen aus Hochofenstüchschlacke ist deren nachträgliche Verfestigung durch carbonatische und hydraulische Reaktionen. Damit wird ein Anstieg der Tragfähigkeit erreicht.

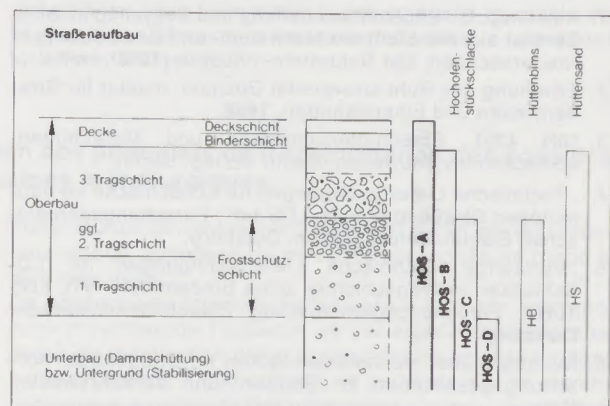


Abb. 5

Anwendungsbereiche für Hochofenschlacke im Straßenbau

Der zeitliche Verlauf der Verfestigung von Mineralstoffgemischen aus Hochofenstückschlacke kann durch die Zugabe von Hüttensand beschleunigt werden. Diese Vorteile wurden in der Zwischenzeit in Deutschland in einem „Merkblatt über selbsterhärtende Schottertragschichten aus Hochofenstückschlacke und Hüttensand“ (11) beschrieben. Dieses Merkblatt bietet die Möglichkeit, die Asphaltüberdeckung solcher selbsterhärtender Schottertragschichten um 2 cm zu verringern, sodaß mit dieser Bauweise auch ein wirtschaftlicher Vorteil verbunden ist.

Schließlich liegen seit einigen Jahren auch günstige Ergebnisse mit Mineralstoffgemischen aus Hochofenstückschlacke, Hüttensand und Stahlwerksschlacke vor. Aber nicht nur im Straßenbau, sondern auch im Wege-, Platz- und Gleisbau hat sich die Hochofenstückschlacke seit Jahren bewährt.

Ein weiteres Verwertungsgebiet für den Einsatz von Hochofenstückschlacke ist die Verwendung als Zuschlag für Beton. Besonders vorteilhaft ist dabei, daß Hochofenstückschlacke für die Herstellung von Beton mit hoher Hitzebeständigkeit zum Beispiel in Kokereien eingesetzt werden kann.

Hüttensand eignet sich durch seine niedrige Rohdichte vor allem zur Verbesserung der Tragfähigkeit in moorigen Gebieten. Er wird deshalb in den Niederlanden in großen Mengen eingesetzt.

Das wichtigste Anwendungsgebiet für Hüttensand ist aufgrund seiner latent hydraulischen Eigenschaften die Herstellung von Zement. Aus Hüttensand, Portlandzementklinker und Gips oder Anhydrit werden die Hüttenzemente, Eisenportlandzement (EPZ) und Hochofenzement (HOZ), erzeugt. Ihr Hüttensandgehalt beträgt 6 bis 35% bzw. 36 bis 80%.

Als besonderer Vorteil beim Einsatz von Hüttenzementen wirkt sich aus, daß

- diese mit erheblich niedrigerem Energieaufwand gegenüber Portlandzement hergestellt werden können,
- sie besonders widerstandsfähig gegen betonangreifende, insbesondere sulfathaltige Wässer sind und
- sie einen besonders hohen Widerstand gegen das Eindringen der die Stahlbewehrung angreifenden Chloride haben.

Stahlwerksschlacken werden heute im Bereich des Bauwesens hauptsächlich im Bereich des Wege- und Platzbaus sowie im Wasser- und Straßenbau eingesetzt. Die Verwendung in den beiden letztgenannten Gebieten setzt allerdings voraus, daß sie ausreichend raumbeständig sind, wobei diese Eigenschaft neben anderen technologischen Eigenschaften kontinuierlich im Rahmen einer Güteüberwachung geprüft werden muß. Werden dabei die entsprechenden Anforderungen erfüllt, können Stahlwerksschlacken sowohl für Tragschichten ohne Bindemittel als auch für Asphalttschichten mit höchster Verkehrsbeanspruchung eingesetzt werden. Vorteilhaft wirkt sich dabei ihre hohe Festigkeit und ihr hoher Verschleißwiderstand aus (4), (5).

Beim Einsatz im Wasserbau ist die hohe Rohdichte von Stahlwerksschlacken bei der Herstellung von Sohl- und Uferbefestigungen besonders vorteilhaft, weil damit dem Wellenschlag und der Strömung großer Widerstand entgegengesetzt wird. So hat sich LD-Schlacke beim Bau der Oosterschelde in den Niederlanden als Baustoff zur Sohlstabilisierung hervorragend bewährt. Auch kam in Deutschland die Bundesanstalt für Wasserbau in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Gewässerschutz in Koblenz im Rahmen eines Gutachtens zu dem Ergebnis, daß LD-Schlacken mit Basalt vergleichbare Eigenschaften haben.

Literaturverzeichnis

1. Kiekenap, B.: Baustoffbeschaffung und Recycling im Straßenbau aus der Sicht der Naturstein- und Bauindustrie in Niedersachsen; Die Naturstein-Industrie (1988), Heft 2.
2. Erhebung der Ruhr-Universität Bochum; Institut für Straßenwesen und Eisenbahnbau, 1988.
3. DIN 4301: Eisenhüttenschlacken und Metallhüttenschlacken im Bauwesen; Beuth Verlag, Berlin.
4. „Technische Lieferbedingungen für LD-Schlacke im bituminösen Straßenbau – TL LDS bit“; Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Duisburg.
5. „Vorläufige Technische Lieferbedingungen für LD-Schlacken in Tragschichten ohne Bindemittel – VTL LDS ToB“; Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Duisburg.
6. Merkblatt über Hochofenschlacken im Straßenbau; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.
7. Geiseler, J.: Verwertung von Stahlwerksschlacken; Stahl u. Eisen 111 (1991), Heft 1.
8. Geiseler, J.: Umweltverträglichkeit von Eisenhüttenschlacken; Referat auf der 4. Vortragsveranstaltung der Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken am 11. 12. 1985, Düsseldorf.
9. DIN 38 414: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Teil 4; Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S4) Ausgabe 10/1984, Beuth Verlag GmbH, Berlin 30.
10. Anforderungen an die Verwendung von aufbereiteten Altbaustoffen (Recycling-Baustoffen) und industriellen Nebenprodukten im Erd- und Straßenbau aus wasserwirtschaftlicher Sicht; RdErl. d. Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft – IV A 3 – 953 – 26308 – und des Ministeriums für Stadtentwicklung und Verkehr – III B 6 – 32 – 15/102 – vom 30. 4. 1991; Ministerialblatt NW – Nr. 45 vom 18. Juli 1991, S. 906 ff., S.-MBL. NW. 74.
11. Merkblatt über selbsterhärtende Schottertragschichten aus Hochofenstückschlacke und Hüttensand; Ausgabe 1987, Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken, Duisburg.

Minimierung der Halden durch Ausnützung der Verwertungspotentiale von hüttenpezifischen Nebenprodukten

Werner Koller, Linz*)

Dem kumulierenden Wachstum von Halden entgegenzuwirken ist geboten, wollen wir nicht in den von uns geschaffenen Abfallbergen eines Tages ersticken.

In einem integrierten Hüttenwerk, wie z. B. dem der VOEST-Alpine Stahl Linz fallen viele Stoffe an, die zum Abfall würden, wenn sie nicht durch ein gezieltes Auslese- und Aufbereitungsverfahren wiederverwertbar gemacht werden.

Besondere Beachtung der am Standort Linz anfallenden Nebenprodukte der Stahlerzeugung sei auf den hohen Verwertungsgrad gelegt, der sich durch Wiedereinbindung in unsere metallurgischen Prozesse und durch die Vermarktung nach anwendergerechter Aufbereitung ergibt. Wertvoller – weil ohnehin knapp bemessener – Haldenraum kann geschont werden. Verhaldungskosten können gesenkt werden, ebenso Belastungen aus Transport, Beladung, Straßenbenutzung und Rekultivierungsmaßnahmen.

Die hierbei mengenmäßig dominierenden Schlacken entstehen im metallurgischen Schmelzprozeß und haben mit Rück-

ständen aus Verbrennungsanlagen, welche als Asche zu bezeichnen sind, nichts zu tun.

Wir sprechen von Eisenhüttenschlacken als Sammelbegriff für Hochofen- und Stahlwerksschlacke. Grundbedingung für die Verwertung ist eine klare Definition, denn Hersteller und Kunde verknüpfen damit Eigenschaften und Qualitätsmerkmale der daraus erzeugten Produkte.

1991 wurden 80% des internen Schutttaufkommens in unserer eigenen Schutt-Recyclinganlage wiederverwertet.

Filterstaub und Gichtstaub aus Stahlwerks- und Hochofenentstaubung werden nach interner Behandlung fremdentsorgt bzw. deponiert. Einkauf und Lagerwirtschaft nehmen bei Bestellung der Ware und Verpackung bereits Bedacht auf Entsorgungsprobleme und verpflichten Lieferanten zur Rücknahme. In den Betrieben unseres Werkes wurden Einrichtungen zur Abfalltrennung geschaffen, um ein ordentliches Recycling zu betreiben.

Minimising Dumps by taking Advantage of the Recycling Potential of By-products Specific to the Metallurgical Industry

Something has to be done about the ever increasing waste dumps if we do not want to, one day, suffocate in our own rubbish. In an integrated metallurgical industry like for instance the Voest Alpine Stahl Linz, many items would end up as waste if they were not recycled by specific selection and processing. Great attention is being paid to the recycleability of by-products from steel manufacture, created at Linz, which could be reintroduced into the metallurgical process or marketed after necessary preparation. The valuable and limited space of waste dumps can be saved. The cost of dumps can be decreased together with the burden of transportation, loading, unloading, road use and recultivation.

The dominant quantity of slag is created by the metallurgical smelting process and has nothing to do with waste, such as ash, from firing plants.

What we are talking about is metallurgical slag, a general expression for blast furnace and steelwork slag. Basically, one needs a clear definition of the by-product so that the client and producer have a clear picture of the characteristics and qualities of the achievable products.

In 1991, 80% of rubble, debris and old asphalt was recycled in our own rubble recycling plant.

Filter dust and blast furnace flue dust from steelworks and blast furnace dust extractors was disposed of e.g. deposited. Purchasers and stockists are aware of the troubles with the disposal of packing materials and are obliging suppliers to accept their return.

Installations have been made in our company to enable the various types of waste to be separated which in turn allows for efficient recycling.

Réduction à un minimum des crassiers par utilisation des potentiels de transformation des sous produits spécifiques des usines métallurgiques

Il est nécessaire d'entreprendre une action contre la croissance cumulée des crassiers, si nous ne voulons pas être étouffés un jour par les montagnes de déchets que nous avons créés.

Dans une usine sidérurgique complète comme par exemple la VOEST-Alpine Stahl Linz, on peut trouver de nombreux

matériaux qui deviendraient des déchets s'ils n'étaient rendus réutilisables au moyen de procédés appropriés de triage et de préparation.

On accorde une attention particulière à Linz sur sous produits provenant de l'industrie de l'acier, afin d'atteindre un degré de réutilisation élevé, obtenu par réintroduction dans notre processus métallurgique, et par mise sur le marché conforme à la demande des utilisateurs. On peut ainsi épargner l'espace des crassiers qui est précieux et strictement mesuré. Les frais de mise au crassier peuvent être réduits,

*) Dr. Werner Koller, Voest Alpine Stahl Linz GmbH, Turmstraße 45, Postfach 3, A-4031 Linz

ainsi que des charges telles que le transport, la chargement, l'utilisation des routes et les mesures de remise en culture. Les laitiers se forment en quantité dominante au cours du processus de fusion métallurgique, et n'ont rien à faire avec les résidus des installations de combustion qui doivent être désignés sous le nom de cendres.

Nous parlons de laitiers sidérurgiques en tant que conception globale pour les laitiers de hauts fourneaux et les scories d'aciéries. La condition principale pour leur utilisation est d'en avoir une claire définition, car le producteur et le client y relient les caractéristiques et les marques de qualité des produits que l'on en obtient.

En 1991, 80% des débris de construction, de restes de con-

struction en morceaux et de débris de démolition en asphalte, ont été réutilisés grâce à notre propre installation de recyclage de débris de construction.

Les poussières de filtres et de gueulard provenant du dépoussiérage de l'aciérie et du haut fourneau sont envoyés ou déposés à l'extérieur, après un traitement effectué à l'intérieur. Lors de la commande des marchandises et de l'emballage, l'économie d'achat et de stockage tient compte des problèmes de décharge et oblige le fournisseur à la reprise.

Dans les ateliers de notre usine, on a installé des dispositifs pour la séparation de déchets afin de réaliser un recyclage convenable.

„Halden“ – dieses Wort weckt mannigfache Assoziationen wie Abfall, Landschaftsbeeinträchtigung, Umweltbelastung, Mist, Wegwerfgesellschaft und dergleichen, ist also vielfach negativ besetzt. Nicht zu Unrecht.

Halden entstehen, weil regional anfallende Stoffe als unbrauchbarer Rest auf zugewiesenen Plätzen abgelagert werden. Technologischer und sozialer Fortschritt bringen einerseits bessere Nutzung der Einsatzstoffe im Erzeugungsprozeß, führen andererseits zum Zunehmen des Wegwerfens (z. B. Verpackungen, unrentables Reparieren u. ä.).

Diesem kumulierenden Wachstum von Halden entgegenzuwirken ist daher geboten, wollen wir nicht in den von uns geschaffenen Bergen eines Tages ersticken. Der Gesetzgeber unterstreicht diese Forderung mit dem Abfallwirtschaftsgesetz, welches die Erstellung eines Abfallwirtschaftskonzeptes auferlegt, und dem Altlastensanierungsgesetz.

Im Abfallwirtschaftsgesetz sind die Grundsätze definiert (Abb. 1).

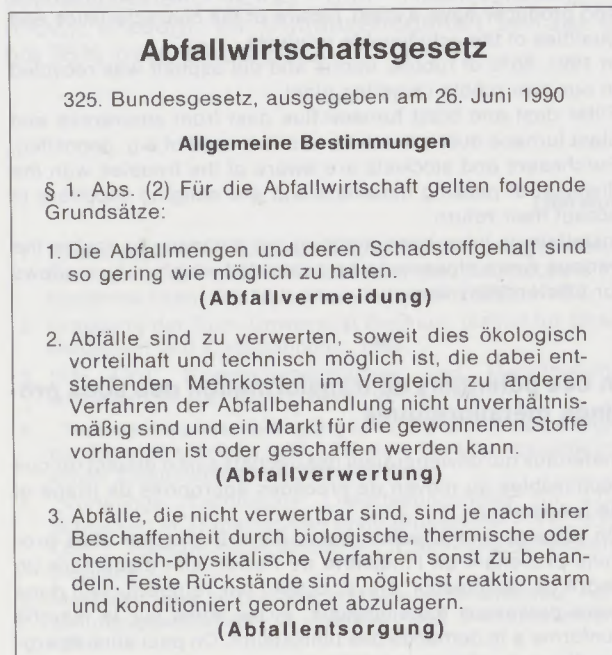


Abb. 1

Unser Abfallwirtschaftskonzept trägt dem Rechnung und zeigt die strategische Zielsetzung auf (Abb. 2).

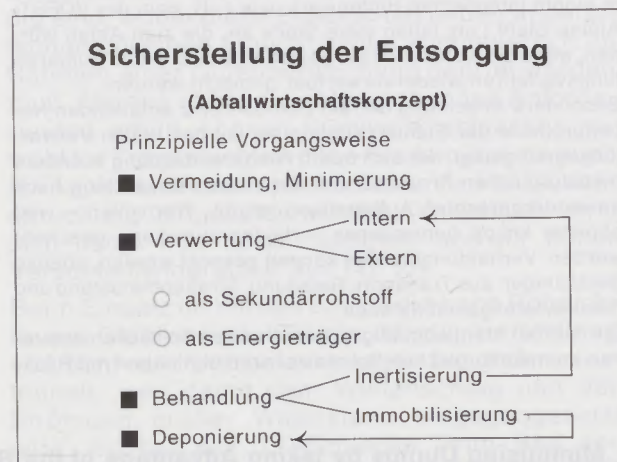


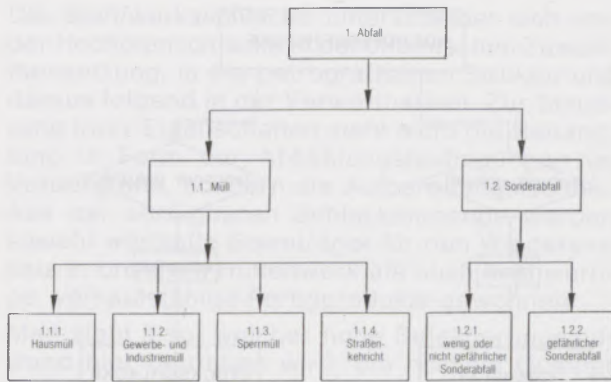
Abb. 2

Im Altlastensanierungsgesetz schließlich ist geregelt, daß pro Tonne deponierten Abfalls ein Altlastenbeitrag von S 40,- an das Finanzamt zu entrichten ist, für gefährliche Abfälle S 200,-. Mit Jahresmitte 1992 soll sich dieser Betrag verfünffachen. Diese Maßnahmen unterstützen das ökologische Erfordernis, Halden durch Reduktion der Abfälle zu minimieren.

Zwangsweise führt das Thema Halden zum Abfallbegriff. In einem integrierten Hüttenwerk wie z. B. dem der VOEST-ALPINE Stahl Linz fallen viele Stoffe an, die zum Abfall würden, wenn sie nicht durch gezielte Auslese- und Aufbereitungsverfahren wiederverwertbar gemacht würden. Es ist daher angezeigt, die Definition „Abfall“ nochmals zu präzisieren (Abb. 3 und 4).

Wie problematisch die eindeutige Zuordnung tatsächlich ist, sei am Beispiel unseres jahrelang praktizierten Exportes von Hochofenschlacke für die Zementindustrie in die BRD erläutert.

Im Abfallwirtschaftsgesetz ist festgelegt, daß der Export von Abfall einer besonderen Genehmigung des Bundesministeriums für Umwelt und Familie bedarf. Wir wurden aufgefordert, einen diesbezüglichen Antrag zu stellen. Im Hochofen-



Begriffsplan Abfallarten
Abb. 3

Abfallwirtschaftsgesetz

325. Bundesgesetz, ausgegeben am 26. Juni 1990

Begriffsbestimmungen

§ 2. Abs. (1) Abfälle im Sinne dieses Bundesgesetzes sind bewegliche Sachen,

1. deren sich der Eigentümer oder Inhaber entledigen will oder entledigt hat, (subjektiver Abfallbegriff) oder
2. deren Erfassung und Behandlung als Abfall im öffentlichen Interesse (§ 1 Abs. 3) geboten ist. (objektiver Abfallbegriff)

Abb. 4

prozeß fällt Schlacke nicht als Abfall, sondern als Produkt an, welches verkaufsfähig ist. Nach vielen Telefonaten, Erläuterungen und Behördengesprächen konnten wir schließlich per Feststellungsbescheid die Klarstellung erreichen, daß unsere Schlacke nicht Abfall ist.

Am Standort Linz wird hinsichtlich der anfallenden Nebenprodukte besondere Beachtung auf den hohen Verwertungsgrad gelegt, der sich durch Wiedereinbindung in metallurgische Prozesse und durch Vermarktung nach anwendergerechter Aufbereitung ergibt.

Damit gelingt es, die letztlich der Deponie zuzuführende Materialmenge sehr niedrig zu halten. Wertvoller – weil ohnehin knapp bemessener – Haldenfreiraum kann geschont werden.

Verhaldungskosten – sowohl werksintern als auch in Form eingangs zitiertes externer Abgaben – können gesenkt werden, ebenso Belastungen aus Transport, Beladung, Straßenbenutzung und Rekultivierungsmaßnahmen (Abb. 5 und 6).

Mengenmäßig dominiert hier die Schlacke.

Deswegen zu den Schlacken generell noch einige Bemerkungen:

Die Gewinnung von Eisen bzw. Stahl beruht in den wesentlichen Verfahrensschritten auf der

schmelzmetallurgischen Trennung des spezifisch schwereren Grundwerkstoffes Eisen von seinen Begleitelementen, eben den Schlacken, deren Anpassung an die qualitativen Erfordernisse vorgenommen wird. Schlacken sind eine metallurgische Notwendigkeit, um den vom Roheisen oder Rohstahl verlangten hohen Qualitätsanspruch zu erfüllen. In seinem Ursprung ist das Wort Schlacke ein rein hütten technischer Terminus und wird von „schlagen“ (slaggen) abgeleitet, weil die Eisenschlacken früher von den teigigen Eisenklumpen mit dem Hammer abgeschlagen wurden. Die Bezeichnung Schlacke ist hüttenmännisch gesehen eindeutig, in der Öffentlichkeitsarbeit aber weniger glücklich gewählt, weil sich daraus viele Mißverständnisse und manche Fehlurteile dann herleiten, wenn unter dem Begriff Schlacke fälschlicherweise eine ganze Reihe

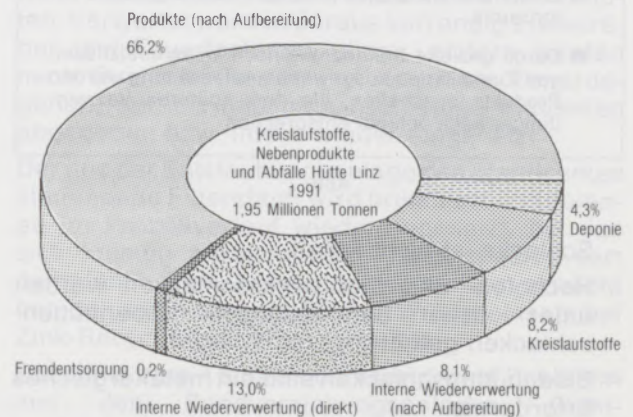
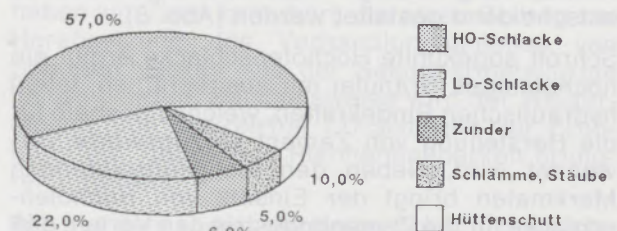


Abb. 5
Kreislaufstoffe, Nebenprodukte und Abfälle

VOEST - ALPINE STAHL LINZ Nebenprodukte

Anfall



Verbleib

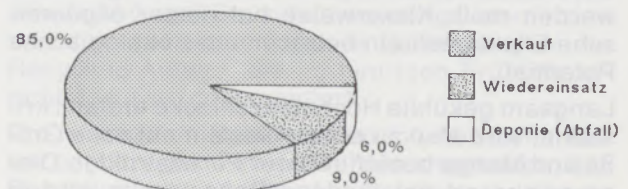


Abb. 6

verschiedenartiger Stoffe mit zufälliger Zusammensetzung verstanden wird. Rückstände aus Verbrennungsanlagen haben mit Schlacken nichts zu tun und werden als Asche bezeichnet. Schlacken entstehen ausschließlich im metallurgischen Schmelzprozeß.

Wir sprechen hier von Eisenhüttenschlacken als Sammelbegriff für Hochofen- und Stahlwerksschlacke. Eine wesentliche Grundbedingung für die Verwertung von Schlacken ist die klare Definition. Hersteller und Kunde verknüpfen damit Eigenschaften und Qualitätsmerkmale der daraus erzeugten Produkte (Abb. 7).

- Schlacke ist nicht Abfall.
- Hochofen- und Stahlwerksschlacken werden unter dem Sammelbegriff Eisenhüttenschlacken geführt.
- Eisenhüttenschlacken sind ein metallurgisches Erfordernis.
- Durch gezielte Behandlung noch im schmelzflüssigen Zustand und ausgewählte Aufbereitung werden Produkte geschaffen, die dem späteren Verwendungszweck optimal entsprechen.

Abb. 7

- Schlacke ist nicht Abfall.
- Hochofen- und Stahlwerksschlacken werden unter dem Sammelbegriff Eisenhüttenschlacken geführt.
- Eisenhüttenschlacken sind ein metallurgisches Erfordernis.
- Durch gezielte Behandlung noch im schmelzflüssigen Zustand und ausgewählte Aufbereitung werden Produkte geschaffen, die dem späteren Verwendungszweck optimal entsprechen.

Ohne die chemische Zusammensetzung der Hochofenschlacke zu verändern, können durch Steuerung der Abkühlungsbedingungen bei der Umwandlung flüssig – fest ihre Eigenschaften entscheidend gestaltet werden (Abb. 8).

Schroff abgekühlte Hochofenschlacke ergibt ein hochglasiges Granulat mit ausgeprägten, latent hydraulischen Bindekräften, welches deshalb für die Herstellung von Zement vorzugsweise verwendet wird. Neben den festigkeitsbildenden Merkmalen bringt der Einsatz von Hochofenschlacke für die Zementindustrie den Vorteil, daß beträchtliche Energiekosten eingespart werden können, weil Schlacke nicht mehr – wie es bei der Klinkerherstellung erforderlich ist – gebrannt werden muß. Klarerweise hat dieser ökonomische Effekt auch ein beträchtliches ökologisches Potential.

Langsam gekühlte Hochofenschlacke erstarrt kristallin, wird also zu einem Gestein mit nach Größe und Menge einflußbarer Porenstruktur. Diese solcherart entstandene Rohschlacke wird in gezielten Aufbereitungsschritten zu marktge-

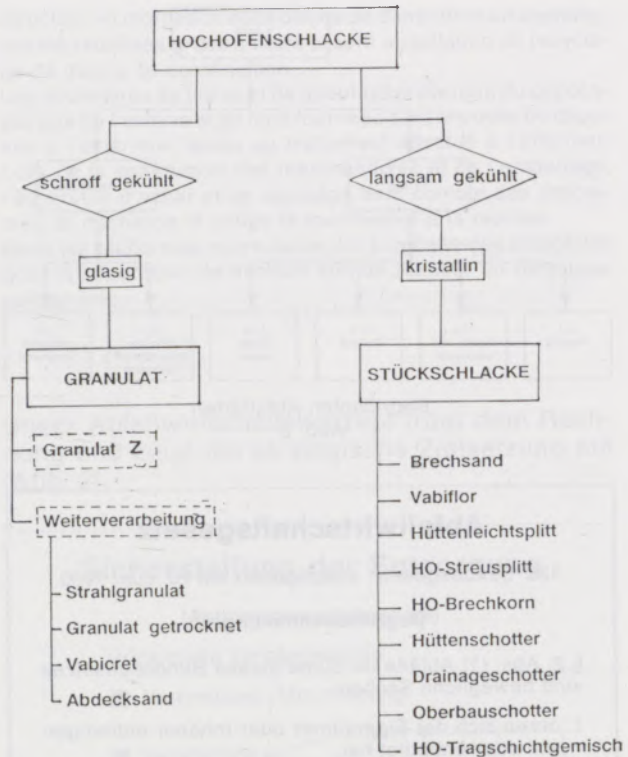


Abb. 8

rechten Fertigprodukten gewandelt, die im Tiefbau, insbesondere im Straßenbau – zementgebunden oder lose – und im Hochbau – hauptsächlich als Zuschlagstoff für Leichtbeton – zum Einsatz kommen (Abb. 9).

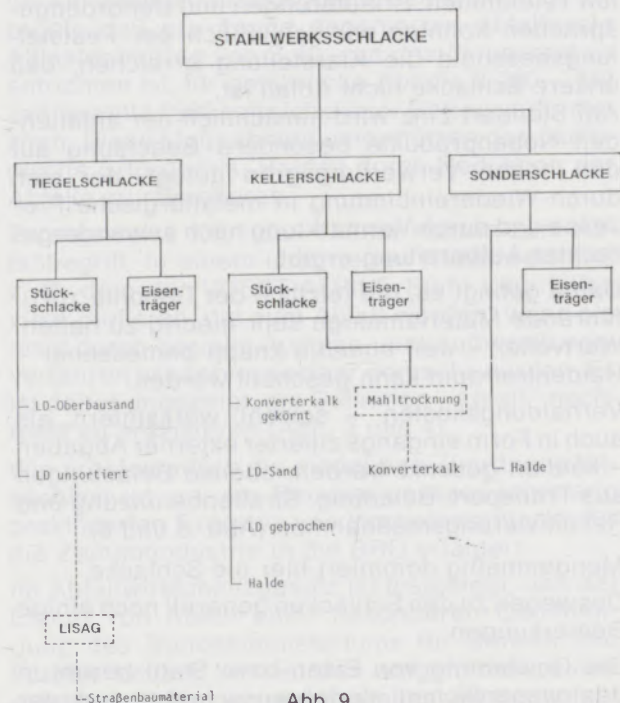


Abb. 9

Die Stahlwerksschlacke unterscheidet sich von der Hochofenschlacke in der chemischen Zusammensetzung, in der petrografischen Struktur und daraus folgend in der Verwertbarkeit. Zur Steuerung ihrer Eigenschaften steht nicht die Behandlung in Form der Abkühlungsbedingungen im Vordergrund, sondern die Aufbereitungstechnik. Aus der verfügbaren Schlackenmenge werden sowohl wertvolle Eisenträger für den Wiedereinsatz in unserem Hüttenwerk als auch hochwertige, verkaufsfähige Fertigprodukte gewonnen.

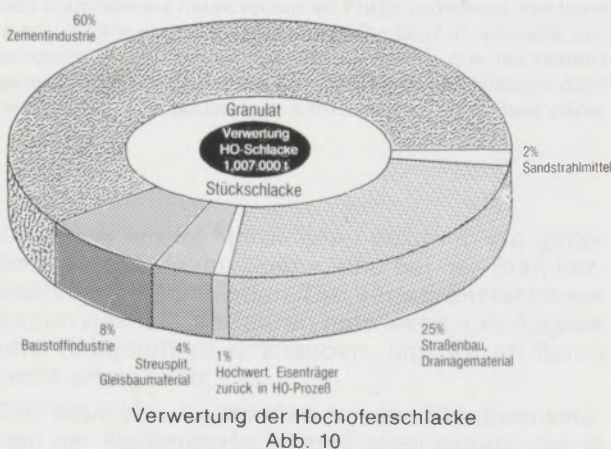
Man sieht also, welcher hohe Selektierungsaufwand hier betrieben wird, um höchste Qualität und Sicherheit bieten zu können. Hier geht der größte Anteil in den Straßenbau, und zwar in die bituminöse Verschleißschicht. Wegen seiner enorm hohen Abriebfestigkeit – LD-Schlacke zählt zum härtesten österreichischen Straßenbaustein überhaupt – hat sich dieses Material im Fahrbahndeckenbau in kurzer Zeit so erfolgreich durchgesetzt. Auch bei Ausbesserungsarbeiten mit Dünnschichtbelägen und bei der Spurrinnen-sanierung ist LD-Schlacke bewährt.

Ein relativ neues Anwendungsgebiet ist der Dränasphalt, besser bekannt als Flüsterasphalt, bei dem die hervorragenden qualitativen Eigenschaften des LD-Schlackenkornes (Mono-Stützkorn) in besonderem Maß gefordert werden.

Ein erheblicher Anteil der LD-Schlacke geht in die Zementindustrie als energiesparender Kalk-Zuschlagstoff mit Flußmittelcharakter.

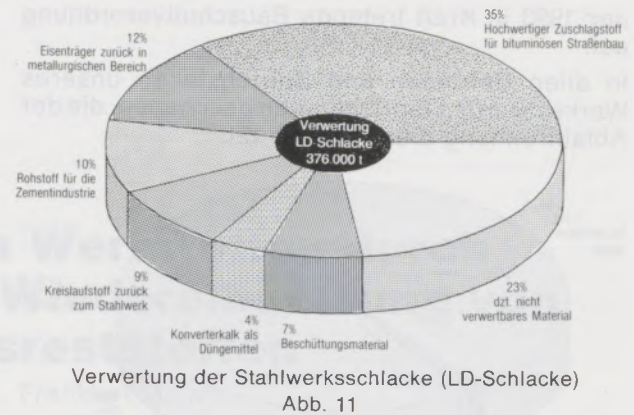
Schließlich wird LD-Schlacke in entsprechend aufbereiteter Form gekörnt oder mahlfein als ausgezeichnete Kalkdünger und Spurenelementträger in der Landwirtschaft eingesetzt.

Resümee als Überblick über die Verwertung der Schlacken (Abb. 10 und 11):



Obwohl wir hier doch mit Stolz behaupten können, schon sehr viel erreicht zu haben, sind wir permanent aufgefordert, unsere Kreativität in Blickrichtung weiterer Verwertungsmöglichkeiten voll zu entfalten.

Besondere Beachtung wenden wir dem Schutt zu.



Unsere interne Schutttaufbereitungsanlage hat im Jahre 1991 83.000 t so verarbeitet, daß davon nur mehr 16.000 t auf Halde verbracht werden mußten. Verwertet wurden daraus vorrangig Eisenträger und Feuerfestmaterialien. Letztere werden nach Qualitätskriterien (insbesondere Tonerdegehalt) sortiert und an einschlägige Industrien abgegeben bzw. intern wieder eingesetzt.

Der aus der Entstaubungsanlage des Stahlwerkes stammende Filterstaub wird brikettiert und solange im Prozeßverlauf wiedereingesetzt, bis das sich ständig anreichernde – weil niedrig verdampfende Zink – einen Schwellenwert erreicht hat, der einen wirtschaftlichen Wiedereinsatz bei Zink-Recyclierbetrieben gestattet.

Ebenfalls zum Teil fremdentsorgt wird Schlamm aus den Bandverzinkungsanlagen. Gichtschlamm aus dem Hochofenbetrieb wird nach Eindickung und hochgradiger Entwässerung in Röhrenfilterpressen separiert auf einem besonders adaptierten Deponieabschnitt gelagert, um gegebenenfalls wieder geborgen werden zu können.

Alle diese Stoffe sind Gegenstand laufender Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten.

In unserem mittelfristigen Forschungsprogramm haben wir Ziele formuliert, die einen Beitrag zur Herabsetzung des Verhandlungsanteiles von Sonderschlacken aus der Sekundärmetallurgie liefern werden. Beispielsweise wird der Wiedereinsatz von kalkreicher LD-Schlacke zur Erhöhung der Tiegel- und Pfannenhaltbarkeit erfolgreich forciert.

Wie aus dem vorher gezeigten Schaubild ersichtlich ist, fallen auch erhebliche Mengen an Bauschutt und Baurestmassen sowie gegebenenfalls Asphaltaufruch an. Wir haben uns mit der Notwendigkeit des Bauschuttrecyclings identifiziert und dies auch durch unsere Beteiligung an der Recycling-Anlage, die im heurigen Frühjahr errichtet wurde, dokumentiert.

Die in unserem Unternehmen mit Abbrucharbeiten beauftragten Firmen werden angehalten, den Bauschutt schon an der Anfallstelle zu sortieren; wir bereiten damit den Boden für die mit 1. Jän-

Nutzbarmachen von Wertstoffen durch Behandlung und/oder Wiedereinsetzung von Hüttenwerksreststoffen

G. Strohmeier, Frankfurt/Main*)

Stahlwerkstäube sind wegen ihres Pb/Zn-Gehaltes weder umweltverträglich zu deponieren noch in den Produktionsprozeß zurückzuführen. Für hoch Pb/Zn-haltige Stäube aus Elektrolichtbogenöfen bietet sich zur Entsorgung der Wälzprozeß an. Pb/Zn wird zur NE-Metallproduktion gewonnen und der Rest als Baufüllstoff verwendet. Hochmetallisierter LD-Konverterstaub, der bei der CO-Gas-Rückgewinnung anfällt, wird

heißbrikettiert und wieder als Schrottersatz in den Konverter chargiert, wobei er sich durch die Rezirkulation an Pb/Zn anreichert und zur NE-Metallgewinnung ausgeschleust wird. Sonstige Stahlwerkstäube oder -schlämme werden in der zirkulierenden Wirbelschicht (ZWS) von Pb/Zn und Alkalien befreit und wieder als Eisenträger auf der Sinteranlage eingesetzt.

Recovery of Valuable Materials from Steel Plant Dusts by Processing and/or Recycling as Iron Feed

Steel plant dusts cannot be land disposed in an ecologically compatible way nor can they be returned to the production process because of the Pb/Zn they contain. A solution to this problem is offered by the Waelz process for electric arc furnace dusts which exhibit relatively high Pb/Zn contents. Pb/Zn is recovered as feed material for non-ferrous secondary smelters and the rest used as building aggregate. High-metallized LD-converter dust accruing in the CO gas recovery process

is hot briquetted and recharged to the converter as a substitute for scrap. This recirculation leads to a concentration of the Pb/Zn content so that it can be removed from the process and used as non-ferrous smelter feed. Other steel plant dusts or sludge are liberated from Pb/Zn and alkalis applying circulating fluidized bed (CFB) technology and can then be recharged to a sinter plant as iron feed.

Valorisation des poussières d'aciérie par traitement et réutilisation

En raison de leur teneur en Pb/Zn, les poussières d'aciérie ne peuvent être ni mises en décharge sans nuisances pour l'environnement ni recyclées dans le processus de production. Le procédé Waelz est tout indiqué pour la mise en valeur des poussières à haute teneur en Pb/Zn provenant des fours à arc. Il permet de récupérer le Pb/Zn pour le revendre aux producteurs de métaux non-ferreux, tandis que les résidus peuvent être utilisés comme matériaux de remplissage dans le bâtiment. Les poussières à forte teneur en métaux déga-

gées par les convertisseurs LD et séparées lors de la récupération du CO peuvent être briquetées à chaud et réutilisées, à la place de la ferraille, dans les convertisseurs. Ce recyclage entraîne un enrichissement en Pb/Zn des poussières qui, par la suite, sont vendues aux usines de production de métaux non-ferreux. Les poussières ou boues d'aciérie d'autres provenances peuvent être débarrassées du Pb/Zn et des alcalins dans le lit fluidisé circulant, et réutilisés sur des chaînes d'agglomération.

Das Problem ist hinreichend bekannt. Wo gehobelt wird, da fallen Späne, und bei der Stahlherstellung staubt es eben. Die Verfahrenstechniker haben deshalb Verfahren entwickelt, um Abgase und Hallenluft zu entstauben, und waren damit recht erfolgreich.

Die deutliche Verminderung der Staubemissionen der Hüttenwerke kommt allen zugute, die in der Umgebung der Stahlindustrie leben und arbeiten.

Da Umweltschutz nichts mit Zauberei zu tun hat, muß man sich der Herausforderung stellen, daß je besser entstaubt wird, desto mehr Staub in den diversen Filtern anfällt, und demzufolge mehr Filterstaub – natürlich möglichst wirtschaftlich – entsorgt werden muß. Hierzu sollte man folgendes über Stahlwerkstaub wissen:

Stahlwerkstaub besteht im wesentlichen aus Eisen oder Eisenoxyd und wäre daher ein idealer Recycling-Stoff, wenn er nicht meistens auch mit Alkalien und Schwermetallen – hauptsächlich Zink und Blei – verunreinigt wäre. Früher mußte man deswegen den Stahlwerkstaub deponieren. Wegen der extremen Feinkörnigkeit des Staubes und seiner auslaugbaren Bestandteile ist eine Deponie heute nur mehr in geringem Umfang

*) Dipl.-Ing. lic. oec. G. Strohmeier
Lurgi Metallurgie GmbH
Lurgi Allee 5
D-6000 Frankfurt/Main

möglich, und immer mehr Stahlwerke suchen nach alternativen Entsorgungsmöglichkeiten. Dabei ist und war die Stahlindustrie schon ein vortrefflicher Verwerter der in großen Mengen anfallenden Hüttenwerksreststoffe.

In gemischten Hüttenwerken fallen etwa 500 kg Reststoffe pro Tonne produzierten Rohstahls an. Den weitaus überwiegenden Teil stellen dabei die metallurgischen Schlacken aus der Roheisen- und Stahlerzeugung dar, gefolgt von den Stäuben und Schlämmen aus den Filteranlagen im Hochofen- und Stahlwerksbereich sowie dem Walzzunder und Walzzunderschlamm aus der Warmformgebung. Neben diesen quasi „direkten“ Reststoffen aus dem Produktionsprozeß steht eine weitere Gruppe wie Ofenausbruch, Hüttenschutt und hausmüllähnlichem Abfall.

Werksintern anfallender Schrott und das bei der Schlackenaufbereitung zurückgewonnene sog. „Separationseisen“ gelten nicht als Reststoffe, sondern stellen wegen der bekannten Analyse begehrte Einsatzstoffe dar.

Von den insgesamt anfallenden Reststoffen werden stolze 69% an Dritte verkauft und 21% werden im Werk wieder eingesetzt. Nur 10% der Stoffe müssen deponiert werden, was allerdings doch noch eine Menge von 50 kg/t Rohstahl darstellt. Bei den derzeitigen Produktionsraten benötigt man dazu noch viel Deponieraum, was auf alle Fälle reduziert werden muß. Zukünftige Verfahren und Technologien müssen sich daher an den derzeit noch deponierten Stoffen orientieren. Dazu gehören auch Stahlwerksstaub oder -schlämme, Gichtgasstaub oder -schlämme, Elektrolichtbogenofenstaub und ölhaltiger Walzzunderschlamm. Für diese Problemstoffe bietet Lurgi spezifisch optimierte Verfahren an.

Ein Hüttenwerk als betriebswirtschaftlich orientiertes Unternehmen muß die Kosten für eine Entsorgung der Reststoffe in Betracht ziehen. Hierzu ist es noch sehr schwierig, absolute Aussagen treffen zu können, da tatsächliche Entsorgungsgebühren sehr stark variieren. Ein graphischer Kostenvergleich zwischen der Deponielösung und der Verarbeitungslösung ist in Abb. 1 dargestellt.

Transportkosten fallen in beiden Fällen an, da weder Deponiefläche noch Verarbeitungsanlage beim Staubanfall liegen. Sie hängen von den jeweiligen lokalen Gegebenheiten ab und stellen im allgemeinen kein starkes Entscheidungskriterium dar.

Besonderen rahmenpolitischen Schwankungen sind die Deponiegebühren ausgesetzt. Sie hängen stark davon ab, ob die Deponie werksintern ist oder nicht und wie streng die gesetzlichen Auflagen beim Deponieren in den entsprechenden Ländern sind. Dies kann bis zu einem lokalen Deponieverbot für gewisse Stoffe gehen, was dann eine betriebswirtschaftliche Entscheidung erübrigt.

Wenn auch einige Werke ihre Reststoffe noch

recht kostengünstig werksintern deponieren können, so muß man in anderen Fällen doch mit etwa öS 1000,- pro Tonne Deponiegebühr rechnen, mit eindeutig steigender Tendenz.

Auf die belastende Seite für die Deponielösung müssen auch noch sonstige Kosten geschlagen werden, die nicht leicht ersichtlich sind und daher oft vergessen werden.

Es sind dies sogenannte Opportunitätskosten, die eher indirekt durch Verluste an „Goodwill“ in der Bevölkerung und vor allem bei den Umweltbehörden entstehen, die ein recyclingorientiertes Werk mit Recht nicht so sehr aufs Korn nehmen. Deponie ist nun einmal keine umweltpolitisch sinnvolle Lösung und schafft im Prinzip nur Altlasten von morgen. Dies sinnvoll zu unterbinden, sollte der Volkswirtschaft einiges wert sein.

Nun zur sogenannten „Handling fee“, die der Reststoffverarbeiter für die Entsorgung verlangen muß. Sie setzt sich aus den Kapital- und Betriebskosten einer Verarbeitungsanlage zusammen abzüglich von Gutschriften. Gutschriften kommen im allgemeinen für die Metalle zum Tragen, die für die Metallerzeugung gewonnen und verwendet werden können, wie Blei und Zink (abhängig von Gehalt und Marktpreis) und dem enthaltenen Eisen, das als Erzersatz verwendet werden kann.

Ein betriebswirtschaftlicher Vergleich sollte immer zugunsten der Reststoffverarbeitung ausfallen. Dem Gesetzgeber bleibt es überlassen, die Deponiegebühren entsprechend anzupassen.

Im folgenden sollen drei verschiedene Reststoffverarbeitungsverfahren für spezifisch unterschiedliche Anwendungsfälle vorgestellt werden,

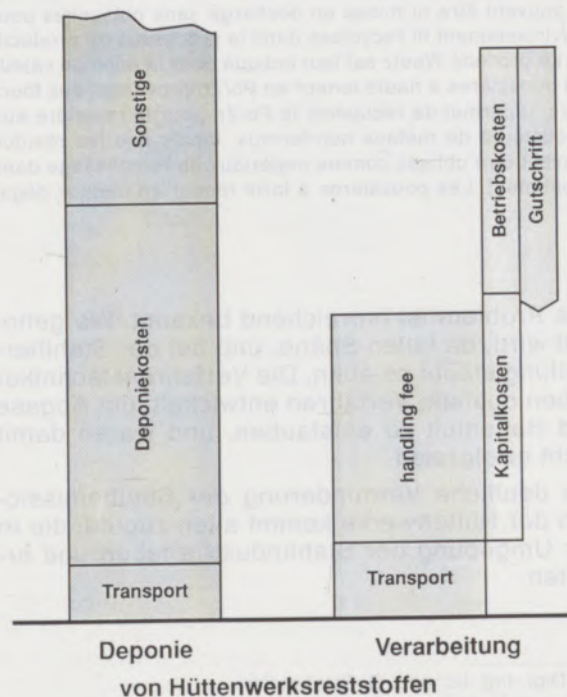


Abb. 1
Kostenvergleich

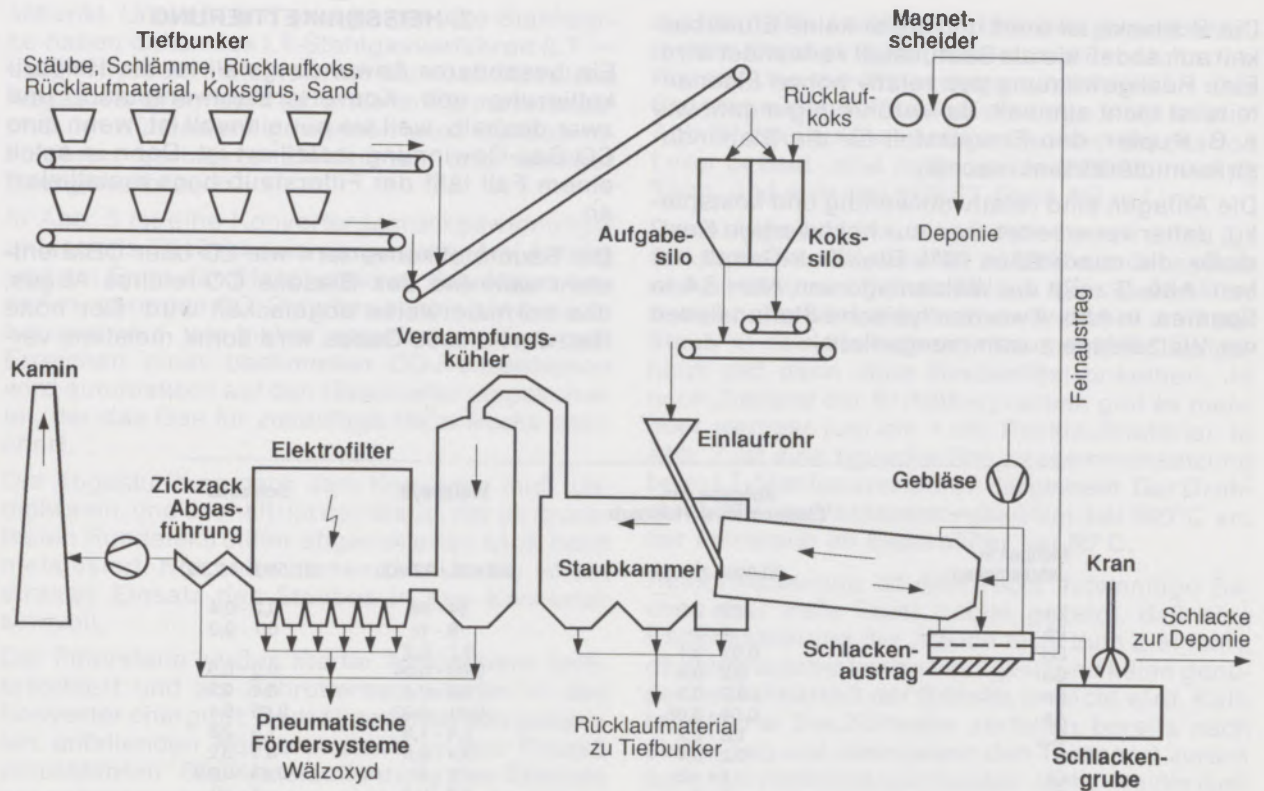


Abb. 2
Fließbild der Wälzanlage „B.U.S.“
(Berzelius Umwelt Service AG)

die Lurgi für die Lösung von Reststoffproblemen anbietet:

- Wälzverfahren
- Heißbrikkettierung
- zirkulierende Wirbelschicht

1. WÄLZVERFAHREN

Bei hoch Blei/Zink-haltigen Stahlwerkstäuben, die in Elektrolichtbogenöfen anfallen, welche auf Basis von schlechtsortiertem Schrott arbeiten, ist eine hohe Wirtschaftlichkeit bei der Staubverwertung gegeben. Der Pb/Zn-Gehalt von über 20% macht eine Deponie unmöglich bzw. teuer, und für den hohen Gehalt an Zink gibt es eine ordentliche Gutschrift. Das Wälzverfahren ist der einzige großindustriell zuverlässige Prozeß zur Verarbeitung dieser Stäube.

Wälzanlagen werden von Lurgis Schwesterfirma BUS-Berzelius Umwelt Service AG in Europa dreimal betrieben (Duisburg, Bilbao/Spanien, Lille/Frankreich). In den USA hält BUS außerdem Anteile an Horsehead Resources Development Inc., die mehrere Wälzanlagen betreiben. Ein Fließbild der Wälzanlage von Berzelius ist in Abb. 2 beispielgebend dargestellt. Die Kapazität ist 50.000 bis 55.000 tpy.

Der Staub wird in Grünpelletform in einer Mischung mit ca. 25% Koksgrus und ca. 15% Sand

im Drehrohr auf etwa 1200°C erhitzt. Die Verweilzeit beträgt 4 Stunden, der Füllgrad des Drehrohres 25%. Ein Fünftel des Brennstoffes wird als Rücklaufkoks wieder zurückgewonnen. Im Drehrohr verdampfen Blei und Zink unter reduzierenden Bedingungen und werden im Abgas während der Kühlung wieder am Feinstaub abgeschieden. Das in den Abgasfiltern gewonnene sogenannte Wälzoxyd hat etwa 55 bis 60% Zink und ist ein idealer Einsatzstoff für den Imperial-Smelting-Ofen zur Blei/Zink-Gewinnung.



Abb. 3
Wälzanlage von Aser SA in Spanien (Bilbao)

Die Schlacke ist inert und weist keine Eluierbarkeit auf, sodaß sie als Baufüllstoff verwendet wird. Eine Rückgewinnung des relativ hohen Eisenanteils ist nicht sinnvoll, da Verunreinigungen, wie z. B. Kupfer, den Einsatzstoff für die Stahlindustrie uninteressant machen.

Die Anlagen sind relativ aufwendig und kostspielig, daher verarbeitet man nur hochwertige Reststoffe, die mindestens 20% Blei/Zink-Gehalt haben. Abb. 3 zeigt die Wälzanlage von Aser SA in Spanien, in Abb. 4 wurden typische Stoffanalysen der Wälzanlage zusammengestellt.

2. HEISSBRIKETTIERUNG

Ein besonderer Anwendungsfall ist die Heißbrikkettierung von Konverterstahlwerkstaub, und zwar deshalb, weil sie nur sinnvoll ist, wenn eine CO-Gas-Gewinnung installiert ist. Denn in solch einem Fall fällt der Filterstaub hoch metallisiert an.

Bei Sauerstoffkonvertern wie LD oder OBM entsteht während des Blasens CO-reiches Abgas, das normalerweise abgefackelt wird. Der hohe Heizwert dieses Gases wird somit meistens ver-

	Aufgabe von Elektrostahlwerksstaub	Wälzoxyd	Schlacke
Mengen in Jahrestonnen	50.000 - 55.000	20.400 - 22.400	37.500 - 41.300
Zn	22 - 24	54 - 56	0,2 - 0,4
Pb	4 - 5	9 - 11	0,1 - 0,2
Cd	0,03 - 0,1	0,1 - 0,2	-
Cu	0,2 - 0,4	0,03 - 0,04	0,3 - 0,5
Sn	0,2 - 0,3	0,2 - 0,4	0,1 - 0,2
As	0,04 - 0,08	0,01 - 0,02	0,05 - 0,1
S _{total}	1,8 - 2,2	1,4 - 1,8	1,5 - 2,5
F	0,2 - 0,4	0,4 - 0,8	0,1 - 0,2
Cl	1 - 1,5	2 - 4	0,03 - 0,05
C	1 - 2	0,2 - 0,8	5 - 10
FeO	26 - 30	3 - 4	34 - 38
MnO	4 - 5	0,6 - 0,8	5 - 6
CaO	6 - 7	0,6 - 0,8	8 - 9
MgO	2,5 - 3,0	0,4 - 0,5	3 - 4
BaO	~ 0,01	~ 0,01	~ 0,1
Al ₂ O ₃	0,4 - 0,6	0,1 - 0,15	2,5 - 3,5
SiO ₂	3 - 3,5	0,5 - 0,7	35 - 37
Na ₂ O	1,5 - 1,9	2 - 2,5	1,2 - 1,6
K ₂ O	1,2 - 1,5	2 - 2,5	0,7 - 0,9
Feuchtigkeit	9 - 11	0,1 - 0,2	-

Abb. 4
Mengen und Analysen beim Wälzprozeß (Gew. %)

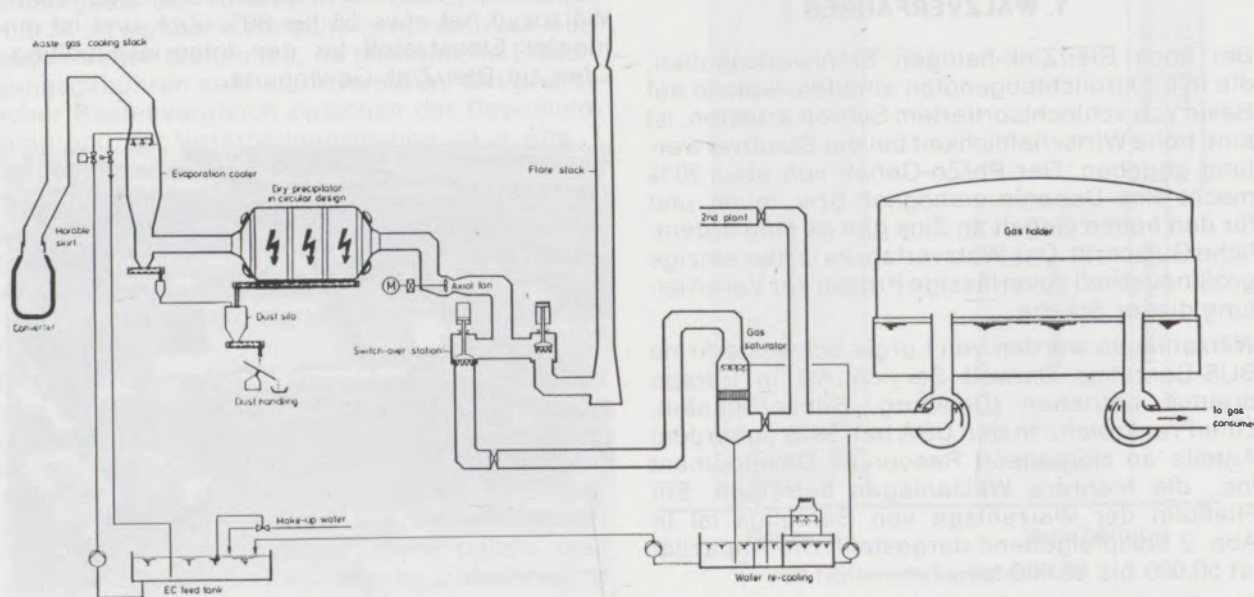


Abb. 5
Fließbild einer Convertergasrückgewinnungsanlage

schenkt. Umwelt- und energiebewußte Stahlwerke haben daher das LT-Stahlgasverfahren (LT = Lurgi-Thyssen) installiert, mit dem das CO-reiche Abgas als Brennstoff für andere Wärmeverbraucher im Hüttenwerk gewonnen wird. Daraus resultieren geringere Emissionen und weniger Energieverbrauch.

In Abb. 5 ist eine Konvertergasrückgewinnungsanlage als Fließschema dargestellt. Am Anfang und am Ende der Blasphasen ist das Abgas wegen zu geringen CO-Gehaltes noch nicht brauchbar und wird, wie bisher, abgefackelt. Erst nach Erreichen einer bestimmten CO-Konzentration wird automatisch auf den Gasometer umgeschaltet, der das Gas für zukünftige Heizzwecke speichert.

Die Abgasführung nach dem Konverter muß luftdicht sein, und deshalb ist der Staub, der im druckfesten Rundelektrofilter abgeschieden wird, hoch metallisiert. Nur unter diesen Umständen ist ein direkter Einsatz des Staubes in den Konverter sinnvoll.

Der Filterstaub wird in inerter Atmosphäre heißbrikettiert und als Schrottersatz wieder in den Konverter chargiert. Damit kann man den gesamten anfallenden Konverterstaub in den Prozeß zurückführen. Die Kreislaufführung des Staubes hat nebenher noch den Vorteil, daß sich die Gehalte an Blei und Zink kontinuierlich von ca. 2%

auf über 20% anreichern. 10% des gesamt anfallenden Staubes kann man einmal im Monat als Rohstoff für die Wälzanlage ausschleusen. Das Schema einer Heißbrikettieranlage sieht man in Abb. 6. Zwei solcher Anlagen wurden bereits von Lurgi gebaut, eine in Korea bei POSCO, Kwang Yang, und eine bei VOEST Stahl AG in Linz.

Die Anlage in Linz verarbeitet zurzeit etwa 8 t Staub pro Stunde, welcher zu 60% aus Grobstaub und zu 40% aus Feinstaub aus dem Elektrofilter besteht. Im indirekt beheizten Drehrohr wird der Staub in Stickstoffatmosphäre auf 600°C aufgeheizt und dann ohne Bindemittel brikettiert. Je nach Zustand der Brikettierpressen gibt es mehr oder weniger (um die 1 t/h) Rücklaufmaterial. In Abb. 7 ist eine typische Staubzusammensetzung beim LT-Stahlgasverfahren dargestellt. Der Grobstaub fällt im Verdampfungskühler bei 300°C an, der Feinstaub im Elektrofilter bei 80°C.

Heißbrikettierung ist eine recht aufwendige Sache, aber viele Tests haben gezeigt, daß eine Kaltbrikettierung der Stäube nicht zum Ziel führt, da keine ausreichende Festigkeit und keine genügende Haltbarkeit der Briketts erreicht wird. Kaltbrikettierte Staubbriketts zerfallen bereits nach einem Tag und überstehen den Transport zurück zum Konverterchargierbunker nicht. Heißbrikettierte Briketts halten 5 Tage lang und zeigen auch bei großen Sturzhöhen kaum Abrieb.

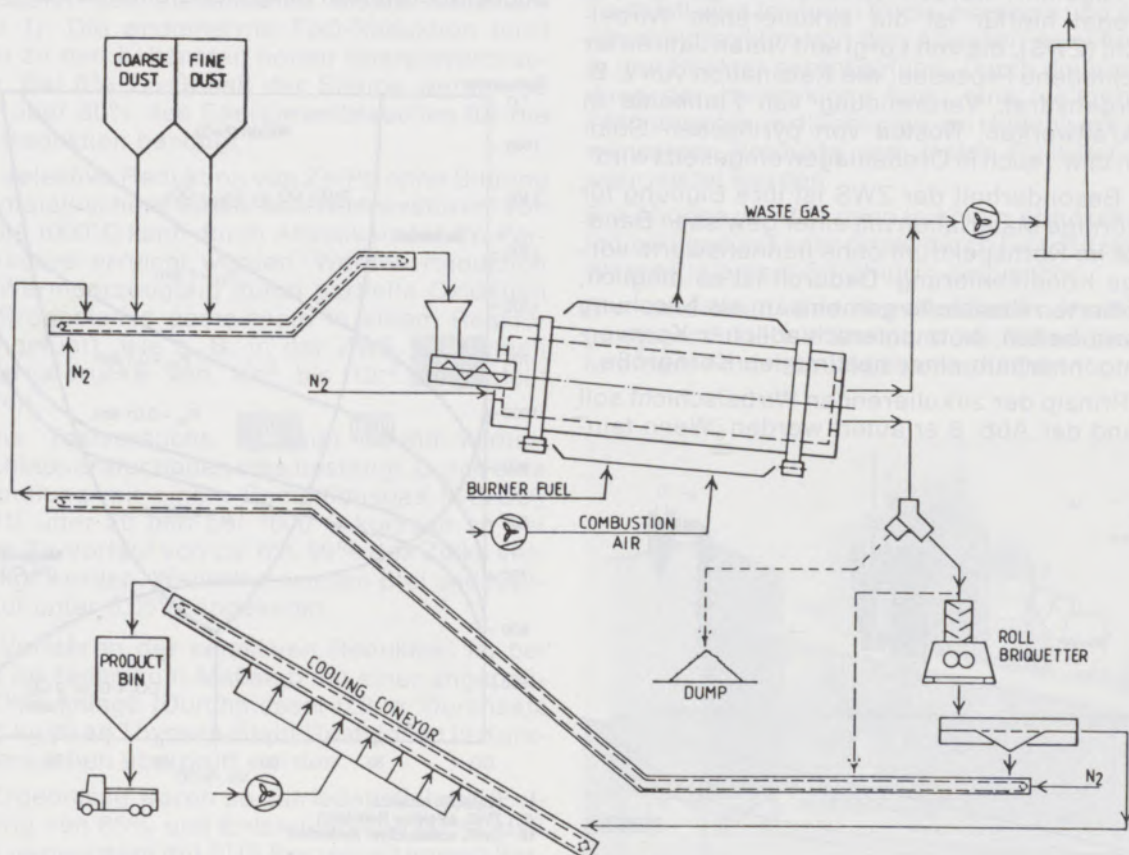


Abb. 6

Fließbild einer Konverterstaub-Heißbrikettieranlage

Menge	VDK Grob	EGR Fein
kg/t Rohstahl	6 - 8	10 - 12
Chemische Analyse [%]		
Fe, ges.	85,4	70,7
Fe, met.	71,7	19,7
Metallisierung	84,2	27,8
CaO	6,5	3,0
Zn	0,36	2,0
Pb	0,04	0,2
C	1,4	0,7
S	0,02	0,1

Abb. 7
LT Stahlgas-Filterstaub

3. ZIRKULIERENDE WIRBELSCHICHT

Die bisher beschriebenen Verfahren sind zwar ausgereift und sehr betriebssicher, bieten aber noch keine universelle Lösung für alle Reststoffprobleme der Stahlindustrie an. Der Wälzprozeß eignet sich vornehmlich für hochkonzentrierte Stäube und die Heißbrikkettierung hauptsächlich für metallisierte Konverterstäube. Der weitaus größte Anteil an Reststoffen sind allerdings nicht-metallisierte Stäube und Schlämme, die nach einer weitgehenden Entfernung von Blei/Zink und Alkalien über die Sinteranlage wieder dem Hochofen zugeführt werden könnten. Ein geeignetes Aggregat hierfür ist die zirkulierende Wirbelschicht (ZWS), die von Lurgi seit vielen Jahren für verschiedene Prozesse, wie Kalzination von z. B. Tonerdehydrat, Verbrennung von Feinkohle in Heizkraftwerken, Rösten von pyritischen Gold-erzen usw., auch in Großanlagen eingesetzt wird.

Eine Besonderheit der ZWS ist ihre Eignung für feinkörnige Materialien mit einer gewissen Bandbreite im Kornspektrum ohne nennenswerte vorherige Konditionierung. Dadurch ist es möglich, die zitierten Reststoffe gemeinsam als Mischung zu verarbeiten, trotz unterschiedlicher Kornverteilung innerhalb einer bestimmten Korngröße.

Das Prinzip der zirkulierenden Wirbelschicht soll anhand der Abb. 8 erläutert werden. Wenn fein-

körnige Feststoffe – etwa unter 0,5 mm Korngröße – in einem Reaktor werden von unten über einen Verteiler mit Gas angeströmt, so bildet sich nach Überschreiten der minimalen Fluidisierungsgeschwindigkeit eine sog. stationäre Wirbelschicht aus. Sie ist gekennzeichnet durch eine definierte Oberfläche, geringen Feststoffaustrag und hohen Dichteunterschied zwischen dem Bett und der darüberliegenden freien Ofenatmosphäre.

Mit zunehmender Gasgeschwindigkeit verwischt sich dieser Dichtesprung, der Feststoff verteilt sich gleichmäßiger über die Höhe des Reaktors und wird in zunehmender Menge mit dem Abgas ausgetragen. Er wird in nachgeschalteten Zyklonen, sog. Rückführzyklonen, abgeschieden und über geeignete Aggregate in den unteren Teil des ZWS-Reaktors zurückgeführt, um den Feststoffinhalt des Reaktors zu erhalten. Das Rückführzyklonensystem gehört unmittelbar zum Reaktor und ist Teil der ZWS.

Zusätzlich zu dieser – bezogen auf den Reaktor – äußeren Zirkulation stellt sich auch im eigentlichen Reaktorraum durch ständig wechselnde Strahlenbildung und Windschatteneffekte der Partikel eine innere Rezirkulation ein. Dies führt zu hohen Relativgeschwindigkeiten zwischen Feststoff und Gas und zu einer äußerst intensiven Mischung der Reaktionsteilnehmer. Lurgi hat daher die Verwendbarkeit der ZWS für die Behandlung von Hüttenwerkreststoffen in ihren Versuchslaboratorien eingehend untersucht.

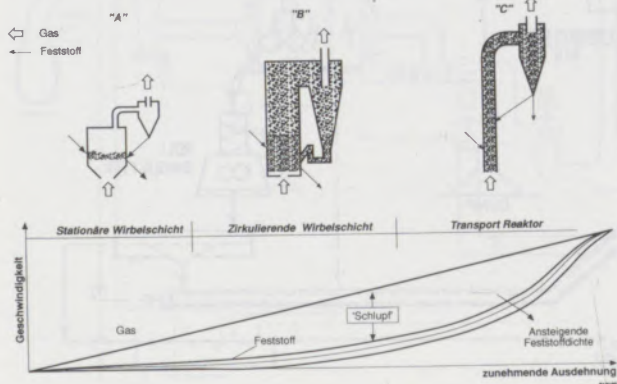
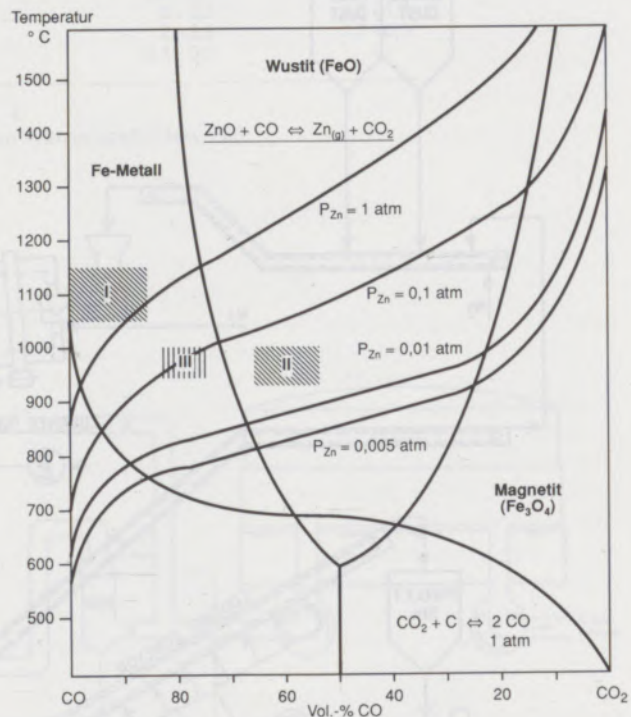


Abb. 8
Wirbelschichtsysteme



- I Wälzrohr, Inmetco
- II ZWS, selektive Reduktion
- III ZWS, vollständiger Reduktion

Abb. 9
Abhängigkeit der Zn-Reduktion vom CO/CO₂-Mischungsverhältnis und vom Zn-Partialdruck

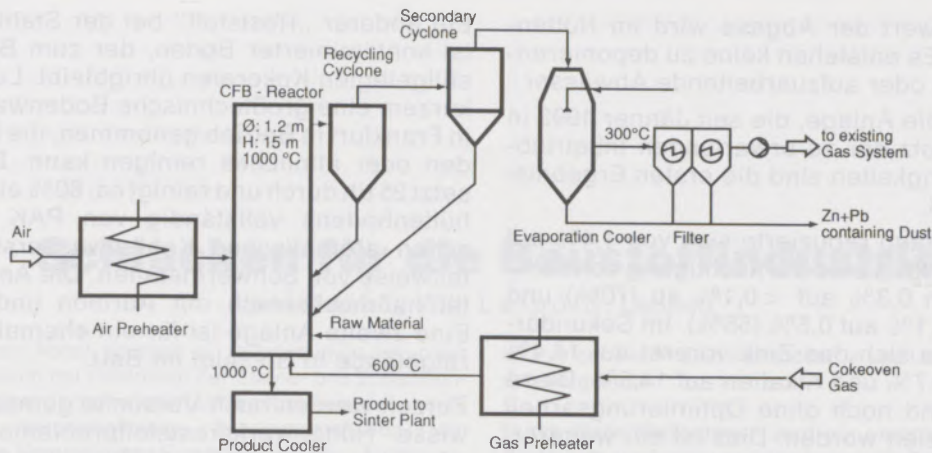


Abb. 10
CFB-Fließbild einer Zink- und Bleientstaubungsanlage

Ein ausschlaggebender Vorteil der ZWS ist, daß schon eine selektive Reduktion des Staubes eine Pb/Zn-Entfernung möglich macht. Abb. 9 zeigt die Abhängigkeit des Reduktionspotentials von der Temperatur bei verschiedenen Zn-Partialdrücken. Bei der Trennung von Reduktion im Materialbett des Wälzrohres und Wärmeerzeugung durch Verbrennung im freien Ofenraum stellen sich Zn-Partialdrücke von 0,1 bis 0,3 at am Reduktionsort ein, die Reduktionsbedingungen im Gebiet des metallischen Eisens erfordern (Feld 1). Die endotherme FeO-Reduktion führt dabei zu den bekannten hohen Energieverbräuchen. Bei 6% Zn-Gehalt der Stäube werden so z. B. über 80% des Energieverbrauches für die FeO-Reduktion benötigt.

Eine selektive Reduktion von Zn/Pb ohne Bildung von metallischem Eisen bei Temperaturen von 900 bis 1000 °C kann durch Absenken des Zn-Partialdruckes erreicht werden. Werden Reduktion und Wärmeerzeugung durch partielle Oxidation des Brennstoffes gemeinsam in einem Reaktor durchgeführt, wie z. B. in der ZWS, so können Zn-Partialdrucke von 10^{-3} bis 10^{-2} eingestellt werden.

Eigene Testversuche in einer 50-mm-Wirbelschichtapparatur haben dies bestätigt. Durch eine Behandlung mit einem Reduktionsgas ($\text{CO}/\text{CO}_2 = 1/1$) über 20 min bei 1000 °C konnten so bei einem Zn-Vorlauf von ca. 6% 99% des Zinks verflüchtigt werden. Weiterhin wurden Blei und Kalium auf unter 0,05% abgesenkt.

Das Verfahren der selektiven Reduktion ist bei Lurgi im Technikum-Maßstab mit einer angepaßten ZWS-Anlage (Durchmesser 0,2 m, Durchsatz 20–25 kg/h) an Thyssen-Stahl-Reststoffen in Kurzzeitversuchen überprüft worden.

Die Ergebnisse waren so zufriedenstellend (Entzinkung von 85% und Entbleiung von 90%), daß Lurgi gemeinsam mit BUS Berzelius Umwelt Service AG und Thyssen Stahl AG den Beschluß gefaßt hat, eine Pilotanlage für einen Durchsatz von

5 t/h auf dem Thyssen-Gelände zu bauen. Dabei wird auch eine energetische Kopplung der Anlage, die in Abb. 10 als Fließbild gezeigt wird, mit dem Hüttenwerk realisiert.

Danach wird Koksofengas nach indirekter Vorwärmung durch den Boden des ZWS-Reaktors als Fluidisierungsgas zugeführt. Zur Erzeugung der erforderlichen Prozeßwärme durch partielle Verbrennung wird ebenfalls indirekt vorgewärmte Luft verwendet. Der mit den Abgasen austretende Feststoff wird in einem Rückführzyklon und einem Abscheidezyklon von den Abgasen getrennt und in den Reaktor zurückgeführt. Durch die Verwendung der Heißzyklone kann eine weitgehende Trennung der verflüchtigten, im Hüttenwerk unerwünschten Produkte vom festen Rückstand gewährleistet werden.

Die Abgase werden dann in einem Abhitzeessel indirekt gekühlt oder direkt durch Einspritzen von Wasser in einem Sprühturm gequenchet.

Die oxidierten und kondensierten Verflüchtigungsprodukte werden dann als Sekundärstaub in einem Filter zurückgewonnen. Der noch vor-

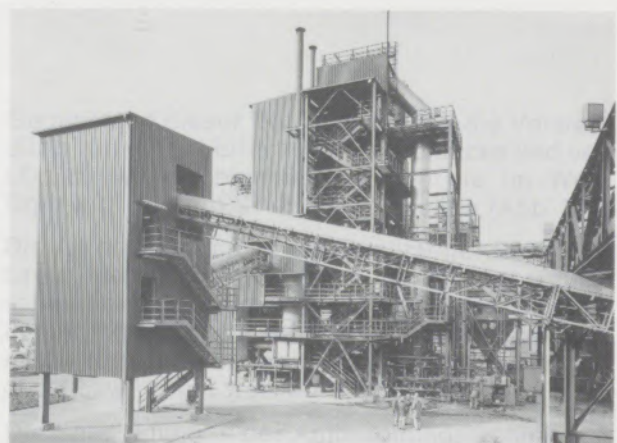


Abb. 11
ZWS-Reaktoranlage

handene Heizwert der Abgase wird im Hüttenwerk genutzt. Es entstehen keine zu deponierenden Reststoffe oder aufzuarbeitende Abwässer.

Abb. 11 zeigt die Anlage, die seit Jänner 1992 in Betrieb ist. Trotz der zu erwartenden Inbetriebnahmeschwierigkeiten sind die ersten Ergebnisse ermunternd.

Das Zink im Staub reduzierte sich von 1,4% auf 0,2%, das bedeutet eine Verflüchtigung von 85%. Blei nahm von 0,3% auf <0,1% ab (70%) und Alkalien von 1,1% auf 0,5% (55%). Im Sekundärstaub reicherte sich das Zink vorerst auf 14,4% an, Blei auf 10,7% und Alkalien auf 14,5%. Diese Ergebnisse sind noch ohne Optimierungsarbeit am Prozeß erzielt worden. Dies ist ein weiterer, großer Schritt in Richtung reststofffreier Stahlerzeugung.

Ein anderer „Reststoff“ bei der Stahlerzeugung ist kontaminierter Boden, der zum Beispiel bei stillgelegten Kokereien übrigbleibt. Lurgi hat vor kurzem eine großtechnische Bodenwaschanlage in Frankfurt in Betrieb genommen, die Kokereiböden oder ähnliches reinigen kann. Die Anlage setzt 25 t/h durch und reinigt ca. 80% eines Metallhüttenbodens vollständig von PAK (polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen) und teilweise von Schwermetallen. Die Anlage arbeitet naßmechanisch mit Attrition und Flotation. Eine zweite Anlage ist für ein ehemaliges Kokereigelände in Bochum im Bau.

Zurzeit werden auch Versuche gemacht, um gewisse Hüttenwerksreststoffprobleme mit chemisch-physikalischem Aufbereitung-Know-how zu lösen.

Literaturverzeichnis

1. Maczek, H., und R. Kola: „Recovery of Zinc and Lead from Electric-Furnace Steel making Dust at Berzelius“; UNEP Industry and Environment, July/August/September 1986, pp. II.

2. Kaune, A., K.-H. Peters, U. Härter, M. Hirsch, K. Janssen: „New Process for the Treatment of Residues from Integrated Steel Mills“; paper presented to 50. Iron making conference, April 1991 in Washington D.C.



Schlacken für die Baustoffindustrie

Hans Kolb*), Willi Leipold, Leoben**)

Schlacke ist kein Abfall, sondern ein Rohstoff und konkurriert in der Anwendung mit Produkten der Steine- und Erdenindustrie. Eingangs wird hingewiesen auf die Konstanz der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung von Schlacken. Ein Vergleich der Eigenschaften bzw. Einsatzgebiete von HO-Schlacke und Natursand bzw. LD-Schlacke und Splitt/Brechsand zeigt die Gleichwertigkeit der Produkte. Spezielle anwendungsorientierte Herstellung und Verarbeitung von Schlacken bringen teilweise bessere Eigenschaften als die Produkte der Steine- und Erdenindustrie. Anwendungs-

fälle in der Beton- und Putzindustrie und Umwelttechnik werden vorgestellt.

Durch diese Maßnahmen wird ein vermehrter Einsatz von Schlacken ermöglicht und das begrenzte Potential der Steine- und Erden-Rohstoffvorkommen geschont. Die neuen Aktivitäten im Bereich des Bauschutt-Recycling erweitern ebenfalls die Rohstoffbasis, doch sind die dafür erforderlichen Aufbereitungsmaßnahmen wesentlich aufwendiger als die Herstellung von maßgeschneiderten Schlacken.

Slag for the Building Industry

Slag is not a waste. It is a competitive raw material for industrial mineral industry. To start with, there is a consistency in the chemical and mineralogical analysis of slag. A comparison of the qualities between e. g. applications of blast furnace slag and natural sand, and LD slag and natural sand, and LD slag and gravel/crushed stone, shows that they are equivalent. Specially orientated production and processing of slag sometimes produces even better results than products originating from the rock and minerals industry. Applications will

be presented for the concrete, plastering and environmental technology industries.

With this procedure, a wider range of slag application possibilities can be achieved which will reduce the use of our already limited rock and minerals resources. The new activities towards recycling rubble increases the source of raw materials. On the other hand, the required processing is of a greater scale than for processing tailor made slag.

Laitiers pour l'industrie des matériaux de construction

Le laitier n'est pas un déchet mais une matière première et dans son utilisation il est en concurrence avec les produits de l'industrie de la pierre et de la terre. On montre d'abord la constance de la composition chimique et minéralogique des laitiers. Une comparaison des propriétés et des domaines d'application du laitier de haut fourneau et du sable naturel (ou de la scorie LD et du sable broyé) indique que ces produits sont de valeur identique.

Une production et un traitement des laitiers spécialement orientés vers leur utilisation donnent en partie de meilleurs résultats que les caractéristiques des produits de l'industrie

de la pierre et de la terre. On donne des cas d'utilisation dans l'industrie du béton et du crépi et dans la technique de l'environnement.

Grâce à ces mesures, l'emploi des laitiers peut être augmenté et un potentiel limité de sources de matières premières de la pierre et de la terre peut être ménagé. Les activités nouvelles dans le domaine du recyclage des débris du bâtiment élargissent également la base des matières premières, mais les traitements de préparation nécessaires à cet effet sont beaucoup plus coûteux que la production de laitiers faits sur mesure.

1. EINLEITUNG

Seit dem 18. Jahrhundert ist die Verwendung bzw. Verwertung von Eisenhüttenschlacken in der Baustoffindustrie mit zahlreichen Literaturhinweisen belegt (Abb. 1).

Gegenstand dieser Betrachtung soll die Verwendung von granulierter Hochofenschlacke und von LD-Stahlwerksschlacke sein, wie sie im Werk Donawitz der VOEST-ALPINE anfallen (Abb. 2).

Die Anforderungen an die Qualität der Baustoffe bzw. Zuschlagstoffe werden durch den technischen Fortschritt und die Standardisierung (EG) immer höher und können nur noch selten mit natürlichen unaufbereiteten Rohstoffen abgedeckt bzw. erfüllt werden.

Die Entwicklung in der Aufbereitungstechnik von mineralischen Massenrohstoffen, welche früher vorwiegend in der Herstellung von Körnungen

*) Dipl.-Ing. Dr. Hans Kolb
Körnerstraße 27
A-8600 Bruck/Mur

**) Dipl.-Ing. Willi Leipold
Ökokeram GmbH
Babaraweg 51
A-8700 Leoben

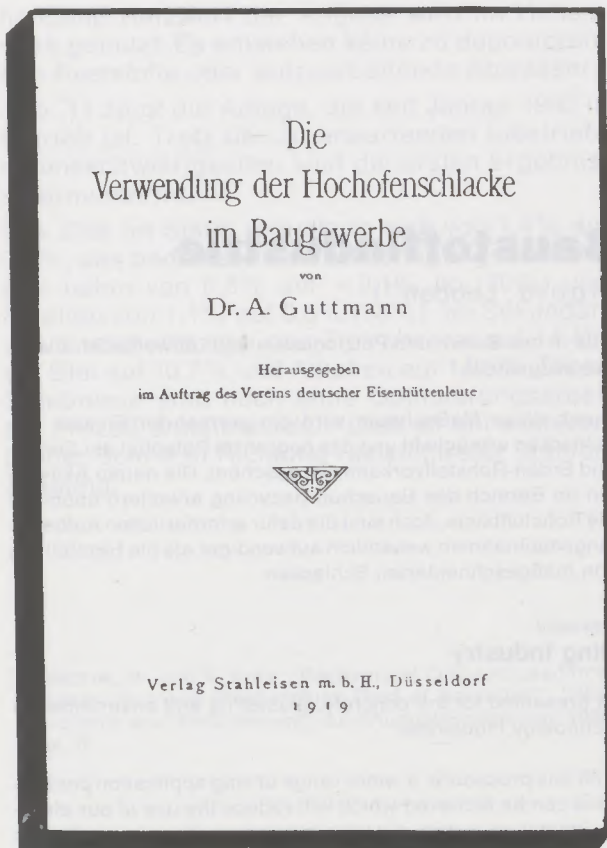


Abb. 1

Literatur über die Verwendung von Hochofenschlacke aus dem Jahre 1919

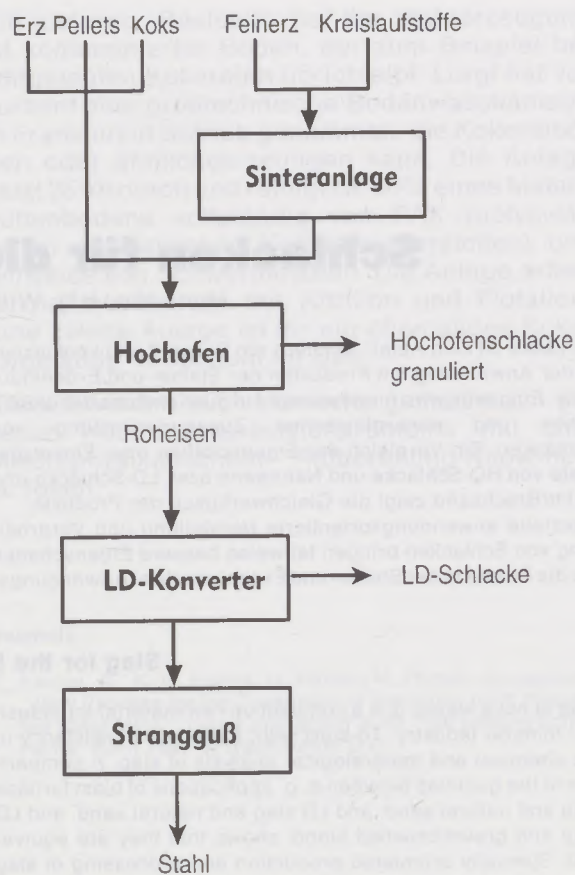


Abb. 2

Produktionsströme im Hüttenwerk Donawitz

Tabelle 1

Chemische Monatsdurchschnittsanalysen von Hochofengranulat

Komponente	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Fe	S	P
Januar	35,73	14,56	31,91	10,44	1,74	0,62	2,12	0,67	0,49	0,92	0,003
Februar	35,89	15,00	31,26	10,44	1,77	1,01	2,00	0,58	0,45	0,89	0,004
März	36,08	13,93	31,80	9,90	1,74	0,96	1,71	0,63	0,57	0,86	0,004
April	36,98	14,66	30,95	9,97	1,83	1,12	1,98	0,52	0,44	0,87	0,005
Mai	37,16	13,79	31,82	10,68	1,87	0,82	1,86	0,47	0,41	0,89	0,005
Juni	36,71	14,45	31,85	10,21	1,79	0,62	1,92	0,48	0,43	0,88	0,005
Juli	35,95	14,49	31,06	11,04	1,86	1,39	1,73	0,48	0,40	0,93	0,005
August	34,82	13,92	32,54	11,27	1,44	0,99	1,74	0,51	0,50	1,03	0,004
September	37,21	14,20	31,75	10,23	1,51	0,59	1,70	0,44	0,44	1,07	0,003
Oktober	38,83	11,44	31,95	10,09	1,68	0,52	1,76	0,50	0,47	0,87	0,004
November	38,50	10,98	32,10	10,73	2,12	0,56	1,57	0,37	0,46	0,81	0,004
Dezember	38,27	10,58	32,36	10,58	2,13	0,53	1,54	0,30	0,49	0,87	0,004
Mittelwert	36,84	13,50	31,78	10,47	1,79	0,81	1,80	0,50	0,46	0,91	0,004
Standardabw.	1,18	1,49	0,46	0,40	0,19	0,27	0,17	0,10	0,04	0,07	0,001
Varianz	1,51	2,42	0,23	0,18	0,04	0,08	0,03	0,01	0,002	0,005	0,000

(Zerkleinerung, Siebung, Entschlammung) bestand, geht heute immer mehr in die Bereiche der Sortierung, also der stofflichen Trennung wie z. B. Magnetscheidung, Setz- und Herdarbeit.

Der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch von Industriemineralien liegt im europäischen Durchschnitt bei zehn Tonnen, weshalb die qualitativ hochwertigen und einfach zu gewinnenden Rohstoffvorkommen vielerorts bereits erschöpft sind. Durch das steigende Umweltbewußtsein und die verschärften behördlichen Auflagen bei der Gewinnung von Steine- und Erdenmaterialien (Grundwasser, Landschaftsschutz) wird die Bedeutung von Sekundärmaterialien immer größer bzw. auch wirtschaftlicher.

Schlacke ist kein Abfall, sondern ein Rohstoff und ergänzt die Vorkommen der primären Rohstoffe.

Für eine anwendungstechnische Bewertung werden die chemischen Eigenschaften primärer Rohstoffe denen der Schlacken gegenübergestellt. Dieser Vergleich soll die Gleichmäßigkeit der Schlackenzusammensetzung und die Streubreite der Zusammensetzung natürlich vorkommender Rohstoffe veranschaulichen. Die granulierten Hochofenschlacke und die LD-Stahlwerksschlacke werden mit natürlichen Massenrohstoffen wie Zementmergel und Quarzsand verglichen.

2. VERGLEICHE DER CHEMISCHEN ZUSAMMENSETZUNG

Die Tabellen 1 bis 4 zeigen die Monatsdurchschnittswerte der chemischen Analysen mit Mittelwerten und Standardabweichungen von Hochofenschlacke, LD-Stahlwerksschlacke, Quarzsand und Mergel für Zementrohmehl. In Abb. 3 und 4 sind die Tabellenwerte für Hochofenschlacke und Quarzsand grafisch dargestellt.

3.1. Eigenschaftsbewertung von granulierter Hochofenschlacke

Mineralogisch gesehen besteht die granulierten Hochofenschlacke zu über 95% aus röntgenamorpher Glasphase, wobei der Glasphasenanteil von der Schlackenausgangstemperatur und den nachfolgenden Abkühlbedingungen abhängig ist.

Sie besteht aus Verbindungen von Calcium-Aluminium-Magnesium-Silikaten, in welchen die Metalle Eisen, Mangan und Titan eingebaut sind.

Die Abb. 5 und 6 zeigen einmal langsam und einmal schnell abgekühlte Hochofenschlacke mit den dabei vorkommenden Mineralphasen.

Tabelle 2

Chemische Monatsdurchschnittsanalysen von Stahlwerksschlacke

Komponente	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	Fe	S	P	Cr
Januar	17,09	1,34	44,16	5,41	7,31	0,49	0,010	0,280	15,67	0,064	0,810	0,150
Februar	16,11	1,23	42,79	5,21	7,64	0,60	0,010	0,300	17,63	0,043	0,907	0,150
März	16,44	1,37	42,25	5,40	7,19	0,55	0,010	0,280	17,60	0,050	0,851	0,150
April	15,83	1,25	41,24	4,42	7,56	0,54	0,010	0,250	19,39	0,028	0,814	0,200
Mai	16,63	1,18	41,42	4,68	8,15	0,47	0,010	0,270	18,64	0,037	0,738	0,180
Juni	16,53	1,48	40,97	4,78	8,30	0,40	0,010	0,290	19,71	0,049	0,743	0,190
Juli	16,31	2,60	39,71	4,27	8,31	0,81	0,010	0,370	19,31	0,065	0,760	0,180
August	16,69	1,24	40,57	4,09	8,40	0,65	0,010	0,320	19,62	0,054	0,680	0,200
September	18,05	1,30	42,19	4,27	7,91	0,43	0,010	0,350	17,43	0,052	0,767	0,160
Oktober	15,90	1,23	42,03	4,21	7,48	0,35	0,010	0,300	19,23	0,050	0,727	0,210
November	14,96	1,27	41,44	4,26	8,28	0,29	0,010	0,280	21,18	0,066	0,613	0,190
Dezember	15,56	1,37	40,87	3,87	8,55	0,31	0,010	0,310	19,93	0,085	0,568	0,230
Mittelwert	16,41	1,41	41,71	4,64	7,92	0,49	0,010	0,300	18,78	0,054	0,748	0,183
Standardabw.	0,74	0,39	1,13	0,47	0,42	0,14	0,000	0,034	1,42	0,011	0,077	0,021
Varianz	0,61	0,16	1,40	0,25	0,20	0,02	0,000	0,001	2,23	0,000	0,006	0,000

Tabelle 3
Chemische Monatsdurchschnittsanalysen von Quarzsand

Komponente	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Januar	92,30	4,10	0,301	0,140	0,081	2,20	0,523
Februar	92,40	4,30	0,352	0,142	0,092	2,25	0,482
März	92,40	4,20	0,362	0,170	0,071	2,30	0,420
April	92,20	4,45	0,292	0,182	0,065	2,40	0,440
Mai	91,90	4,70	0,370	0,190	0,072	2,30	0,420
Juni	92,70	4,15	0,342	0,142	0,050	2,15	0,350
Juli	92,00	4,76	0,371	0,162	0,050	2,35	0,300
August	92,20	4,50	0,320	0,147	0,062	2,35	0,280
September	98,70	0,87	0,201	0,110	0,032	0,05	0,010
Oktober	94,40	2,68	0,250	0,050	0,059	1,86	0,100
November	94,70	2,85	0,272	0,052	0,060	1,74	0,150
Dezember	95,50	2,40	0,226	0,048	0,042	1,60	0,140
Mittelwert	93,45	3,66	0,305	0,128	0,061	1,96	0,301
Standardabw.	1,96	1,15	0,056	0,049	0,016	0,63	0,160
Varianz	4,18	1,43	0,003	0,003	0,000	0,43	0,028

Tabelle 4
Chemische Monatsdurchschnittsanalysen von Zementmergel

Komponente	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	Na ₂ O	H ₂ O
März	47,00	7,20	2,60	16,90	1,50	1,50	0,40	0,40	0,60	4,50
April	44,00	6,80	2,50	22,00	1,10	1,50	0,40	0,40	0,60	4,10
Mai	44,10	6,40	2,30	22,90	1,00	1,30	0,30	0,30	0,50	3,80
Juni	42,10	6,70	2,50	23,30	1,10	1,40	0,30	0,30	0,50	4,90
Juli	47,20	6,20	2,40	20,90	1,10	1,40	0,30	0,30	0,60	3,00
August	45,30	7,00	2,70	21,40	1,10	1,40	0,30	0,40	0,50	3,90
September	45,60	6,90	2,70	21,60	1,10	1,30	0,40	0,30	0,50	3,40
Oktober	50,40	7,70	2,90	17,60	1,20	1,70	0,30	0,40	0,60	5,00
November	46,20	7,80	2,90	20,30	1,20	1,50	0,40	0,40	0,50	4,00
Mittelwert	45,77	6,97	2,61	20,77	1,16	1,44	0,34	0,36	0,54	4,07
Standardabw.	2,23	0,51	0,20	2,08	0,13	0,12	0,05	0,05	0,05	0,62
Varianz	5,60	0,29	0,04	4,85	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,430

Beschreibung der wichtigsten anwendungsorientierten Eigenschaften von granulierter Hochofenschlacke:

*Homogene „sortenreine“ Zusammensetzung des gesamten Kornbandes
obere Kornbegrenzung bei 4 mm*

*Kornporosität bis 30%
Kornstabilität, Festigkeit
Mehlkorn (Bindemittelfunktion – latent hydraulische Eigenschaften)
Schwefelverbindungen
Wärmeleitfähigkeit (Glas)*

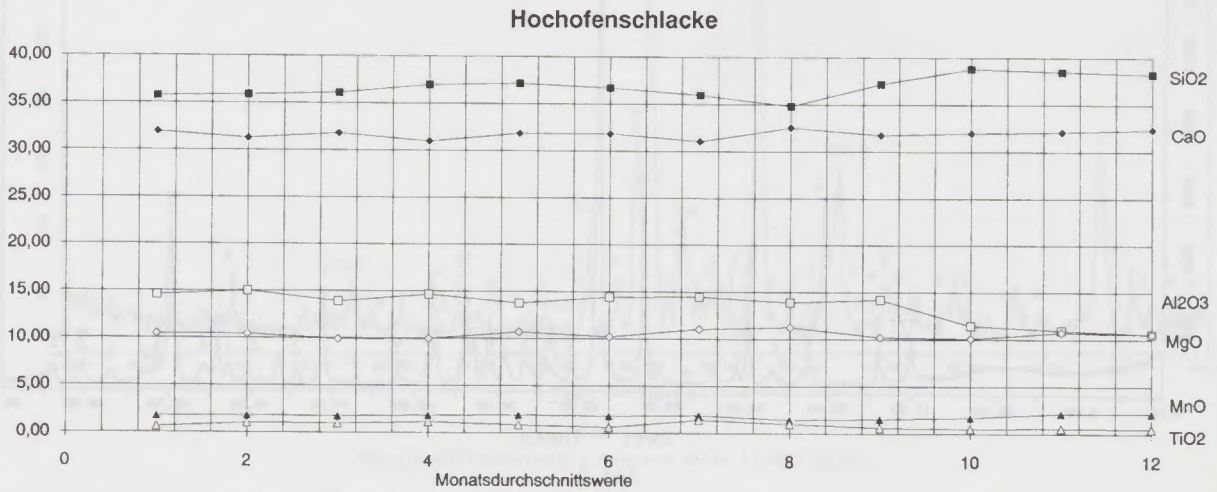


Abb. 3 Darstellung der Monatsdurchschnittswerte von Hochofenschlacke

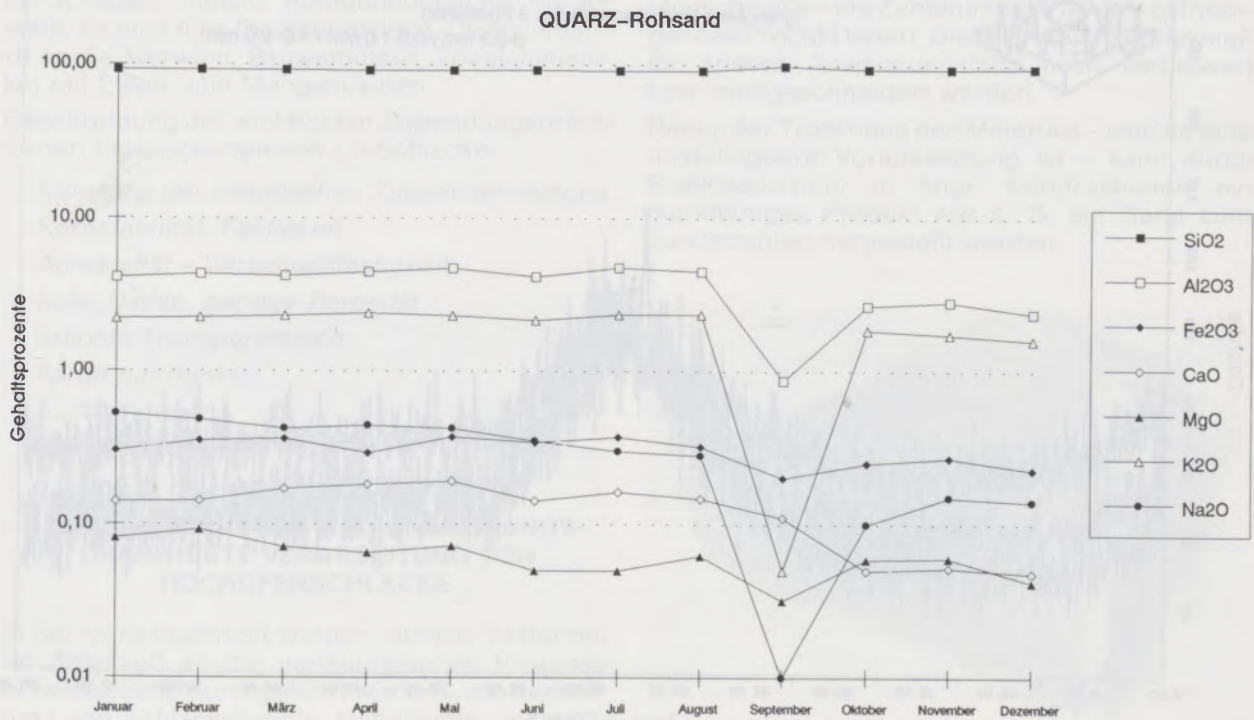


Abb. 4 Darstellung der Monatsdurchschnittswerte von Quarzsand

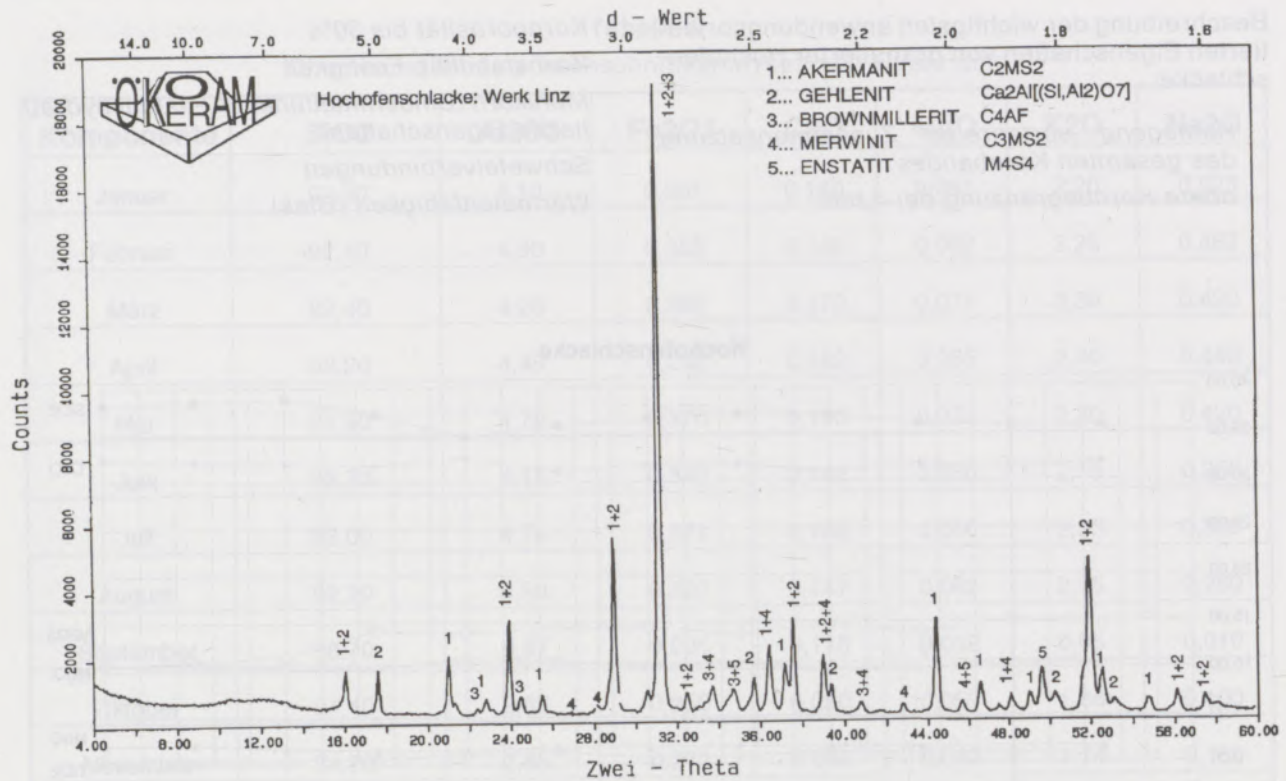


Abb. 5
Röntgendiffraktometeraufnahme einer langsam abgekühlten Hochofenschlacke

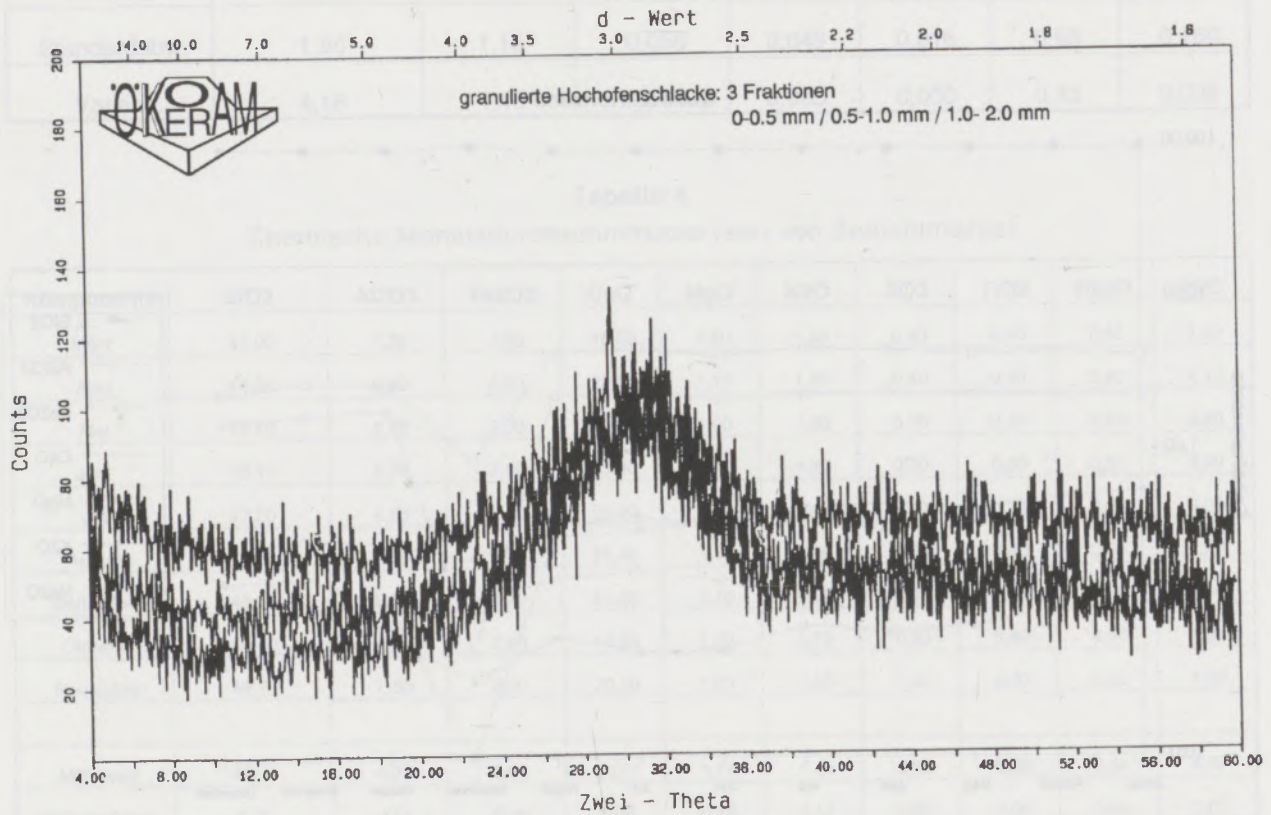


Abb. 6
Röntgendiffraktometeraufnahme einer rasch abgekühlten Hochofenschlacke

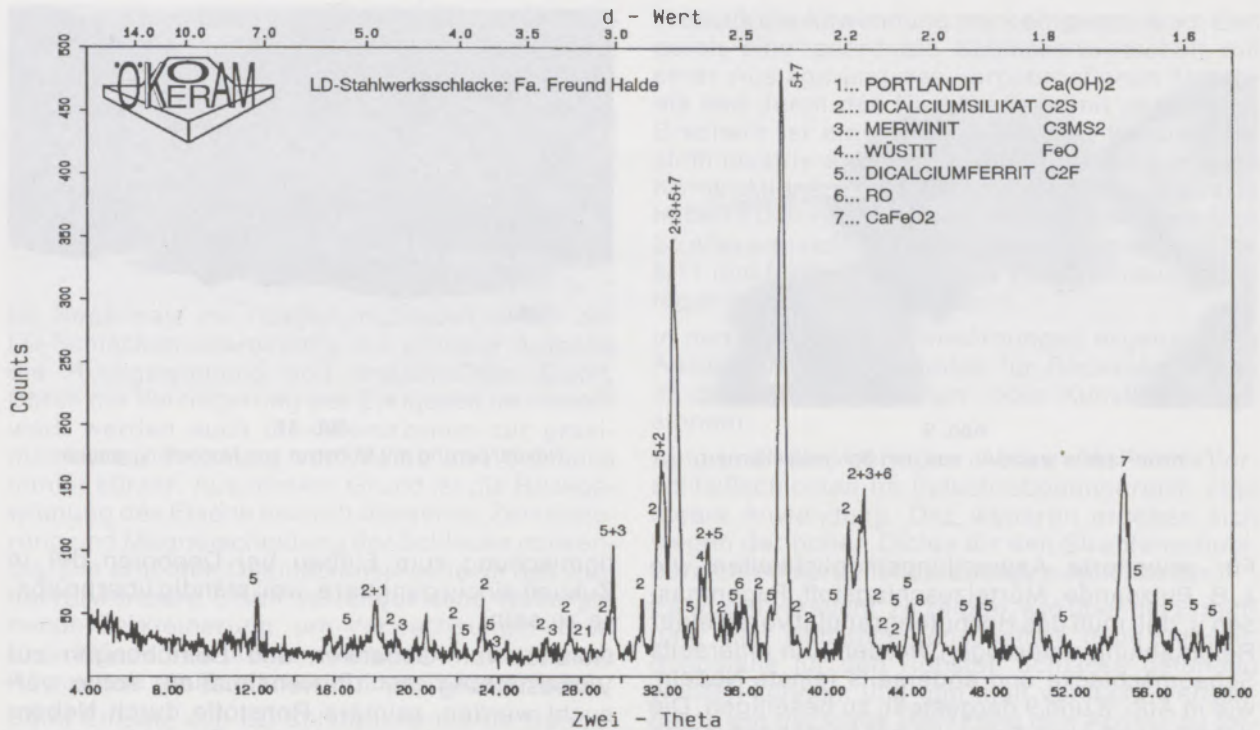


Abb. 7

Röntgendiffraktometeraufnahme einer LD-Schlacke

3.2. Eigenschaftsbewertung von LD-Stahlwerksschlacke

In der Abb. 7 werden die Hauptmineralphasen der LD-Schlacke mittels Röntgenaufnahme dargestellt. Es sind dies Dicalciumsilikat, Dicalciumferrit sowie Merwinit, Brownmillerit, Tricalciumsilikat mit Eisen- und Manganoxiden.

Beschreibung der wichtigsten anwendungsorientierten Eigenschaften von LD-Schlacke:

- Konstanz der chemischen Zusammensetzung*
- Kornstabilität, Festigkeit*
- Abrasivität – Verschleißfestigkeit*
- hohe Dichte, geringe Porosität*
- erhöhte Transportkosten*
- Farbe nur dunkel*
- Ausblühungen*
- Aufbereitungskosten*

4. PRODUKTFINDUNG UND ANWENDUNGS-ORIENTIERTE VERARBEITUNG VON HOCHOFENSCHLACKE

In der Vergangenheit wurden intensiv Verfahren im Anschluß an die metallurgischen Prozesse entwickelt und durchgeführt wie z. B. die Herstellung von Schlackenwolle, Hüttenbims, schmelzgegossene Schlackensteine, Hartschlacke und dgl.

Die Rationalisierung im Hüttenwerk bzw. die Ansprüche des Umweltschutzes haben zu dem einfachsten Verfahren – der Naßregulierung – geführt, welches für den Hauptabnehmer der Hochofenschlacke – die Zementindustrie – ein befriedigendes Produkt liefert. Diese Produktqualität muß für andere Anwendungsfälle noch verbessert bzw. maßgeschneidert werden.

Neben der Trocknung des Materials – welche eine unabdingbare Voraussetzung ist – kann durch Siebklassierung in enge Kornfraktionen ein marktfähiges Produkt wie z. B. ein Sand zum Sandstrahlen hergestellt werden.

Abb. 8
Schaumslag

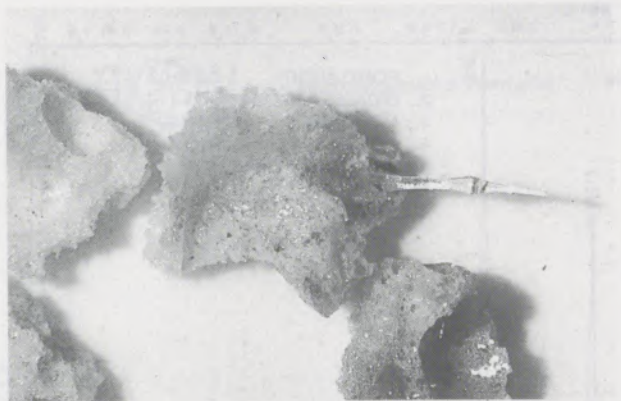


Abb. 9

Feinste Nadeln wachsen aus den Schlackenkörnern



Abb. 11

Rekultivierung mit Substrat aus Hochofengranulat

Für erweiterte Anwendungsmöglichkeiten wie z. B. Putzsande, Mörtelzuschlagstoff, Fugenmassen u. dgl. muß das Hochofengranulat vorab einer Reibmahlung unterzogen werden, um einerseits Schaumslag und andererseits feinste Nadeln, wie in Abb. 8 und 9 dargestellt, zu beseitigen. Die dabei gewonnene Schlacke hat kantengerundete Körner und ist deshalb als Zuschlagstoff natürlichen Bausanden gleichwertig (Abb. 10).

Neue Anwendungsfälle nach der Aufbereitung wurden in Verbindung mit dem Umweltschutz

- für mineralische Dichtschicht bei Deponien bzw. als
- Basis für die Substratherstellung gefunden.

Bei der mineralischen Dichtschicht fungiert die Hochofenschlacke auf Grund ihres Kornaufbaues als Stützkorn für die Plastizität der Dichtschicht. Die einbaufertige Dichtschicht aus aufbereitetem Hochofensand wird unter Zugabe von Schluffkorn bzw. tonigen Komponenten im Zwangsmischer mit der richtigen Feuchtigkeit hergestellt. Nach Vergleichsmessungen scheint der Weg einer Fer-

tigmischung zum Einbau bei Deponien der in Zukunft einzig gangbare, weil ständig überprüfbare zu sein.

Geleitet von Gedanken und Bemühungen zur Verbesserung der Umweltsituation, sollte versucht werden, primäre Rohstoffe durch Nebenprodukte aus der industriellen Produktion zu ersetzen. Einerseits ist die Verfügbarkeit primärer Rohstoffe nur selten ohne größere Eingriffe in die Natur gegeben und daher begrenzt. Andererseits fallen große Mengen artverwandter Substitute aus der industriellen Massenproduktion, wo sie eventuell Entsorgungsprobleme bereiten könnten, an.

Ein ideales Beispiel dafür ist die Substratproduktion, bei welcher Hochofengranulat mit organischem Faserschlamm und kontrolliertem Kommunalschlamm sowie Korrekturstoffen zu einem humusähnlichen Endprodukt vermischt wird.

In den Abb. 11 und 12 ist die Begrünung von Halden dokumentiert.

Zur Substratherstellung dient das Hochofengranulat als Nährstoff- und Wasserspeicher bzw. in

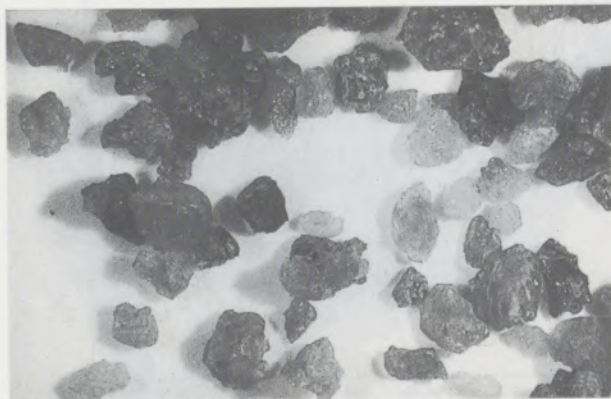


Abb. 10

Kantengerundetes, festes Korn nach der Reibmahlung von Schlackengranulat



Abb. 12

Begrünung von Halden mit Substrat aus Hochofengranulat

weiterer Folge beim Abbau der organischen Substanz als Partner bei chemischen Reaktionen, wodurch zusätzliche Mineralstoffe für die Pflanzen verfügbar werden.

5. PRODUKTFINDUNG UND ANWENDUNGS-ORIENTIERTE VERARBEITUNG VON LD-SCHLACKE

Im Gegensatz zur Hochofenschlacke ist bei der LD-Schlackenverarbeitung die primäre Aufgabe die Rückgewinnung von metallischem Eisen. Durch die Verringerung der Zykluszeit im Hüttenwerk werden auch die Absetzzeiten zur gravimetrischen Trennung von Metall und Schlacke immer kürzer. Aus diesem Grund ist die Rückgewinnung des Eisens nach stufenweiser Zerkleinerung und Magnetscheidung der Schlacke notwendig. Die erhöhten Qualitätsansprüche an das wiederverwertbare Eisen verlangen eine weitergehende Zerkleinerung, um Verwachsungen bzw. Einschlüsse freizulegen, wodurch immer feinere Körnungen als Schlacken-Endprodukte anfallen. Beim Einsatz von LD-Splittfraktionen im Baugewerbe haben anfangs Treiberscheinungen durch

Freikalk die Anwendung stark eingeschränkt. Erst durch eine geordnete Schlackenwirtschaft mit einer Auslagerung des vorgebrochenen Materials und durch das Nachbrechen mit geeigneten Brechern ist ein geprüftes Produkt für die Baustoffindustrie entstanden. Die Aufteilung in enge Kornfraktionen und die guten Abrasionswerte haben LD-Schlacke schon früh zu einem idealen Straßenbaustoff gemacht, speziell die Fraktion 8/11 mm für die Herstellung von Drainspaltbelägen ist hinlänglich bekannt.

In den anfallenden Feinkörnungen ergeben sich Anwendungsmöglichkeiten für Reparaturbeläge im Straßenbau (Bitumen- oder Kunstharzemulsionen).

Aufgrund der geringen Abrasivität sind Verschleißschichten im Industriebodenbereich eine ideale Anwendung. Des weiteren ergeben sich wegen der hohen Dichte für den Strahlenschutzbereich entsprechende Einsatzmöglichkeiten.

Es wurde versucht, zu zeigen, wie über die Ermittlung der Rohstoffeigenschaften neue Anwendungsfälle für den Rohstoff Schlacke gefunden werden können, und nun muß versucht werden, durch ein gezieltes Marketing den Absatz zu fördern bzw. zu steigern.

[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.]

[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.]

Praktische Erfahrungen mit IFE permanentmagnetischen Hochintensitätsscheidern im Gießereisandrecycling

R. Schennach, Waidhofen/Ybbs*)

In Stahlgießereien erfolgt die Herstellung von Formen und Kernen aus technologischen Gründen mit furan- oder alkydharzgebundenen Quarz- und Chromitsanden.

Durch die gleichzeitige Verwendung beider Formgrundstoffkomponenten entsteht ein Altsandgemisch aus Quarz- und Chromitsand, welches vermisch mit nur zum kleinen Teil wiederverwendet werden kann und durch Zukauf von Neusanden ergänzt werden muß. Gleichzeitig entstehen mit Deponierung von Altsanden Deponiekosten. Durch ein geeignetes Recy-

cling mit permanentmagnetischen Hochintensitätsabscheidern werden Altsande einer Wiederverwertung zugeführt und damit Abfallprodukte auf ein Minimum reduziert. Mit permanenten Hochintensitätsscheidern ist es möglich, den magnetisierbaren Chromitsand vom Quarzsand zu trennen und eine Trennschärfe zu erreichen, welche notwendig ist, Altsand dem Formstoffkreislauf in hohem Anteil wieder zuzuführen. Der Wiedereinsatz von Chromitalsand beträgt 80% und mehr, die Reduktion des Deponievolumens beträgt ca. 75%.

Practical Experience with the IFE Permanent Magnet, High Intensity Separation when Recycling Casting Sand

For technological reasons, foundries use furan or alkyd resin bound quartz or chromite sand for making moulds and cores. When both of these basic compounds are used simultaneously you are left with old sand which is a mixture of quartz and chromite sand. Only a small portion of this sand can be reused and must be added with fresh sand. At the same time the disposal of waste sand entails costs.

By applying suitable recycling with a permanent magnet, high

intensity separator, it is possible to recycle the old sand and reduce waste to a minimum. By using the permanent magnet, high intensity separator, it is possible to separate the magnetisable chromite sand from the quartz sand. One reaches a high separation efficiency which enables a large quantity of sand to be reused.

The reuseability of chromite sand is 80% and more. The reduction of the waste volume is approx. 75%.

Expériences pratiques avec les séparateurs IFE à aimants permanents de haute intensité dans le recyclage des sables de fonderie

Dans les fonderies l'acier, la fabrication de moules et de noyaux s'effectue, pour des raisons technologiques, avec des sables de quartz ou de chromite liés avec des résines de furane ou d'alkoyle.

L'utilisation simultanée des deux principaux composants du moule aboutit à un mélange de sable usé, constitué de sables de quartz et de chromite qui, à l'état de mélange, ne peut être réutilisé que dans une faible partie et doit être complété par l'achat de sables nouveaux. En même temps, la mise à la décharge des sables anciens augmente les frais de décharge. Au moyen d'un recyclage approprié avec des séparateurs à

aimant permanent de haute intensité, les sables usés deviennent réutilisables et les déchets sont réduits à un minimum. Au moyen de ces séparateurs, le sable de chromite qui peut être aimanté devient séparable du sable de quartz et on peut obtenir une précision de séparation qui est nécessaire pour remettre les sables usés en grande proportion dans le circuit du matériau de fabrication des moules.

La réutilisation de sable de chromite usé est de 80% ou plus et la réduction du volume à mettre à la décharge est d'environ 75%.

Das Sandmengengerüst einer deutschen Stahlgießerei veranschaulicht deutlich den Bedarf an Neusanden bzw. den Deponiebedarf (Abb. 1).

Jährlich werden demnach benötigt (Abb. 2):

Chromitsand neu	1200 t
Quarzsand neu	2400 t
Deponiebedarf	3600 t

Die Kostensituation stellt sich wie folgt dar:

Chromitsand	ca. 300 DM/t
Quarzsand	ca. 100 DM/t

d. h. für die Chromitsand- und Quarzsandbeschaffung fallen 600.000 DM an.

Aus heutiger Sicht stellt sich die Deponierung des Altsandes wie folgt dar:

Deponiekosten inkl. Transport für Altsand 70 DM/t, d. h. ca. 250.000 DM, wobei mit drastischen Erhöhungen gerechnet wird. Für Stäube, z. B. die

*) Ing. R. Schennach, IFE, Patertal 20, A-3340 Waidhofen/Ybbs

Form und Kernstoff / Monat

Mengengerüst	Ist	Soll
Form + Kernraum	560 m ³	560 m ³
Schüttgewicht	1,71 (22% Chr.)	1,59 (6% Chr.)
Formgewicht	ca. 960 to	890 to
Fehlsand/Auss.	20 to	20 to
Gesamtstoffe	ca. 980 to	910 to

Neusand / Monat

Mengengerüst	Ist	Soll
Quarzsand neu	200 to	60 to
Chromitsand neu	100 to	20 to
Gesamtneusand	300 to	80 to

Gesamtsandmenge / Monat

	1.280 to	990 to
minus	980 to	910 to

Überschußsand / Monat

	300 to	80 to
--	--------	-------

Formstoff/Aufteilung / Monat

Mengengerüst	Ist	Soll
Quarz alt	680	550
Quarz neu	200	60
Quarz therm. reg.	--	200
Chromit alt	--	80
Chromit neu	100	20
Gesamtformsand	980	910

Deponiemengen

	300 to	80 to
--	--------	-------

Abb. 1

zu ca. 10% anfallen und aufgrund ihrer Zusammensetzung als Sondermüll behandelt werden müssen, werden DM 300/t gerechnet. Von einer Erhöhung auf 800 DM/t wird bereits heute gesprochen.

Die momentan angewandte Verfahrensweise widerspricht dem Grundsatz, hochwertige Rohstoffe durch geeignetes Recycling wiederverwendbar zu machen und dadurch den Anfall von Abfallprodukten auf ein Minimum zu begrenzen. Aus den vorangeführten Gründen ist es notwendig, Quarzsand und Chromitsand nach der mechanischen Regenerierung sauber zu trennen und den Quarzsandanteil durch anschließende thermische Regenerierung wieder voll verwendungsfähig zu machen.

In Stahlgießereien erfolgt die Herstellung von Formen und Kernen aus technologischen Gründen u. a. mit furanharzgebundenen Quarz- und Chromitsanden.

Als Anlegesand (Modellsand) und als Kernsand wird reiner Chromitsand verwendet. Als Füllsand wird Quarzsand bzw. ein Altsandgemisch aus Quarz- und Chromitsand eingesetzt.

Der beim Ausleeren der Gußstücke anfallende Altsand, ein Gemisch aus Quarz- und Chromitsand, kann nur als Füllsand wiederverwendet werden, als Anlegesand kann dieses Produkt nicht mehr verwendet werden.

Dies hat zur Folge, daß ein großer Anteil der hochwertigen Formsandstoffe Quarz- und Chromitsand zum Teil nach nur einmaligem Einsatz auf die Deponie gefahren wird und durch Neusande

Kostensituation (jährlich)

	vorher	nachher
a) Neusand		
Quarzsand neu	2400 t à DM 100 = DM 240.000,--	720 t à DM 100 = DM 72.000,--
Chromitsand neu	1200 t à DM 300 = DM 360.000,--	240 t à DM 300 = DM 72.000,--
Neusandkosten	DM 600.000,--	DM 144.000,--
b) Altsand		
Deponiekosten inkl. Transport	3600 t à DM 70 = DM 252.000,--	960 t à DM 70 = DM 67.200,--
GESAMTKOSTEN	DM 852.000,--	DM 211.200,--

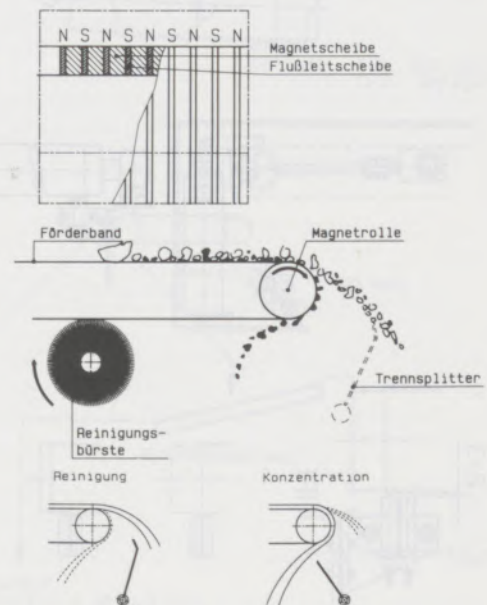
Abb. 2

ersetzt werden muß. Damit entstehen zur Aufrechterhaltung eines quantitativ stabilen Formsandsystems Aufwendungen, die sich sowohl aus dem Zukauf von Neusanden als auch zum beträchtlichen Teil aus der Deponierung von Altsand ergeben.

Die Anforderungen, die in bezug auf den Reinheitsgrad der beiden Sande gestellt werden, hängen von der Art der verschiedenen Gußprodukte ab. Es werden Reinheitsgrade von 97% bis 99% gefordert, d. h. es dürfen max. 1 bis 3% Quarzsand im Chromitsand bzw. umgekehrt enthalten sein.

Zur Trennung von mechanisch regeneriertem furanharzgebundenem Gießereisand werden permanentmagnetische Hochintensitätsscheider mit Erfolg eingesetzt. Das Kernstück des Hochintensitätsscheiders ist eine Magnetrolle mit in axialer Richtung wechselnder Polarität (Abb. 3). Als Ma-

AUFBAU



Permanentmagnetischer Hochintensitätsscheider

Abb. 3

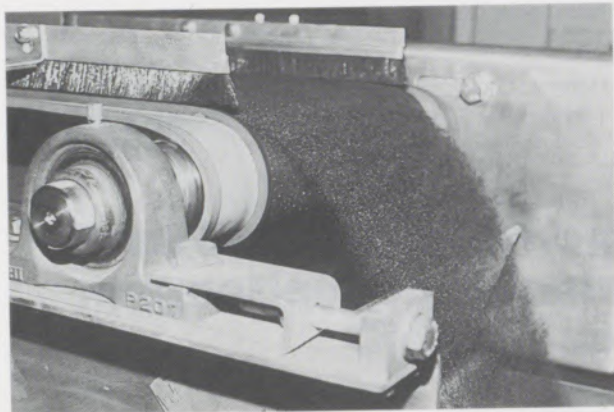


Abb. 4

Trennung von Chromit- und Quarzsand auf einem permanentmagnetischen Hochintensitätsscheider

gnetmaterial wird eine Neodym-Eisen-Bor-Legierung verwendet. Diese Seltene Erden-Legierung ist ein Dauermagnetwerkstoff mit der höchsten heute zur Verfügung stehenden Energiedichte. Durchmesser und Polabstand, d. h. Dicke der Magnet- und Flußbleitscheiben sind computeroptimiert, sodaß sehr hohe Magnetzugkräfte erreicht werden können. Über die Magnetrolle und eine Umlenkrolle läuft ein sehr dünnes Förderband. Die Magnetrolle wird mit einem Stirnradflachgetriebemotor angetrieben, über einen Zahnriemenantrieb läuft eine Reinigungsbürste (Walze) an der Unterseite des Förderbandes mit. Die An-

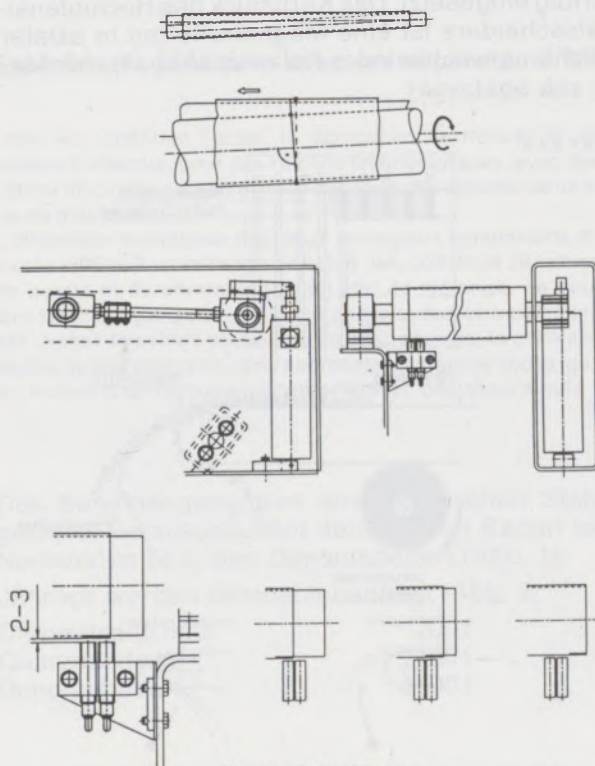
speisung des Getriebemotors über einen Frequenzumformer gewährleistet eine ruckfreie und stufenlose Regelung der Bandgeschwindigkeit im Bereich von 0,15 bis 1,8 m/s.

Das zu trennende Material wird durch eine stufenlos regelbare Dosierrinne gleichmäßig über die gesamte Breite verteilt, auf das Förderband gefördert und von diesem zur Magnetrolle transportiert. Magnetisierbares Material wird von der Magnetrolle angezogen und bewegt sich nach dem Abwurf vom Band auf einer anderen Flugbahn als das nichtmagnetisierbare Material.

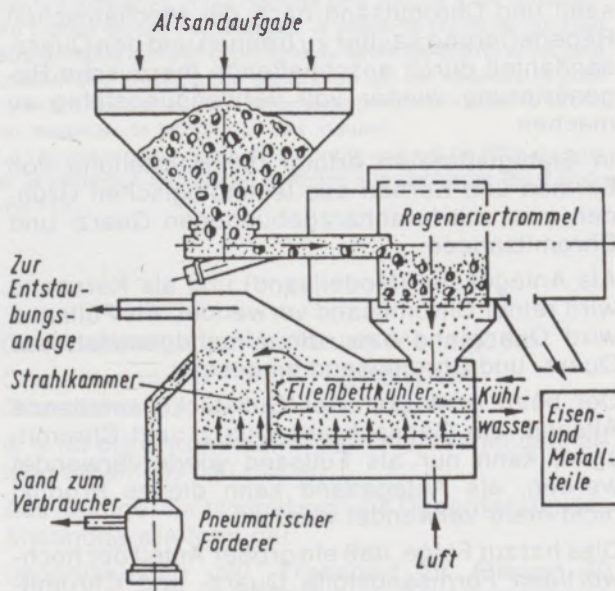
Mittels einem unter der Magnetrolle angeordnetem Trennsplitter erfolgt die Trennung der beiden Materialien (Abb. 4).

Eine Voraussetzung für ein gutes Trennergebnis ist die Präsentation eines gleichmäßigen, ruhigen Materialbettes an der Magnetrolle. Erreicht wird diese durch die Verwendung einer Mikroprozessoregelung. Eine im Förderband eingearbeitete Metallfolie wird durch zwei berührungslose Näherungsschalter detektiert. Somit wird die Lage des Bandes regelmäßig abgetastet und ein eventuelles Verlaufen augenblicklich durch entsprechende Achslagenveränderung korrigiert (Abb. 5). Ein Verlaufen des Bandes kann nicht stattfinden, aufwendige Führungen durch Bandstollen oder ähnl. sind nicht notwendig. Falten- oder Wellenbildungen am Band, die zu Materialanhäufungen und damit zu schlechten Trennergebnissen führen können oder sogar die mechanische Zerstörung des Bandes bewirken, sind weitestgehend ausgeschlossen.

Das als Beispiel gezeigte Band in einer Gießereisandaufbereitung läuft seit neun Monaten bei einer täglichen Betriebszeit von 12 Stunden.



IFE-Gurtsteuerung
Abb. 5



Mechanisch-pneumatische Sandregenerieranlage
Abb. 6

Die patentierte Regelung ermöglicht es, Rollen mit effektiven Magnetbreiten von 1250 mm einzusetzen. Dadurch ergibt sich auch ein günstigeres Leistungs-Preis-Verhältnis als bei kleineren Rollenbreiten.

PRAKTISCHE ERGEBNISSE IN DER ALTSANDAUFBEREITUNG

Wenn, wie bereits erwähnt, der Sand die geforderten Qualitätsmerkmale aufweisen muß, ist eine entsprechende Aufbereitung nach der mechanischen Regenerierung unumgänglich (Abb. 6).

Die Art der Aufbereitung richtet sich nach den Qualitätsanforderungen der verschiedenen Gießereien. Praktisch werden heute Reinheitsgrade von 97 bis 99% gefordert.

Die im folgenden gezeigte Aufbereitung in einer Österr. Gießerei (Abb. 7) erfordert ein zu 97% reines Chromitsandprodukt, welches durch zweimaligen Durchsatz auf einer Maschine erreicht wird.

Vorteil: hohe Recyclingrate, von 560 kg/h aufgegebenen Chromitsand werden 525 kg/h wiederverwendet (94%).

Nachteil: geringerer Reinheitsgrad (97%).

Wenn höhere Anforderung an die Reinheit des wiederverwendbaren Chromitsandes gestellt werden (z. B. mindestens 99%) kann die Magnetscheidung mit einer vibropneumatischen Trennrinne (Abb. 8) erweitert werden. Die praktischen Ergebnisse, die mit einer derartigen Anlage in einer deutschen Gießerei erreicht werden, liegen bei 99,7%, die Recyclingrate liegt noch über 80% (Abb. 9).

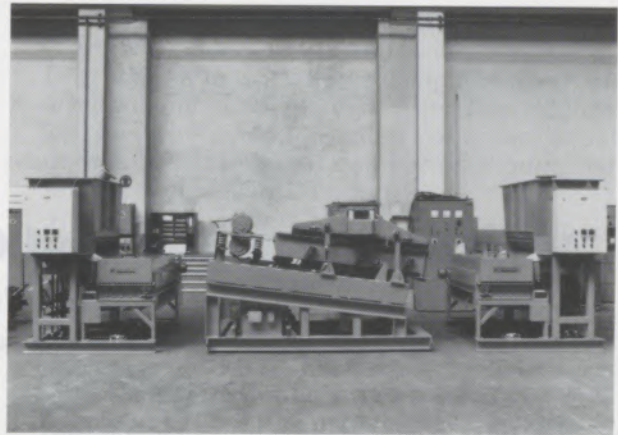


Abb. 8

Permanentmagnetische Hochintensitätsscheider und vibropneumatische Trennrinne in Modulbauweise

ZUSAMMENFASSUNG

- Permanentmagnetische H-I-Scheider ermöglichen die Separierung der beiden Formstoffkomponenten Quarz- und Chromitsand in der notwendigen Trennschärfe, die es erlaubt, die beiden Sande dem Formstoffkreislauf in hohem Maße wieder zuzuführen. Nach Qualitätsanforderung der jeweiligen Gießerei können permanentmagnetische H-I-Scheider als Hauptabscheider oder als Vorabscheider verwendet werden.
- Durch den Einsatz von permanentmagnetischen H-I-Scheidern ergeben sich beträchtliche Aufwandsminderungen durch den geringen Zukauf von Neusanden sowie der Verringerung von Deponievolumen.

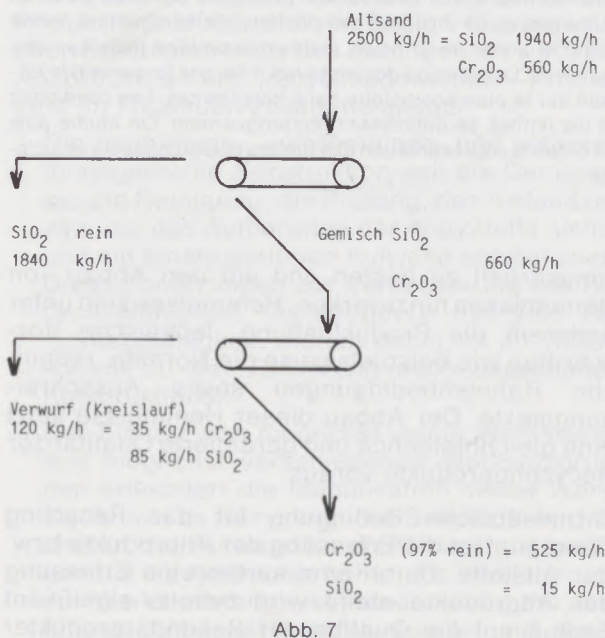


Abb. 7

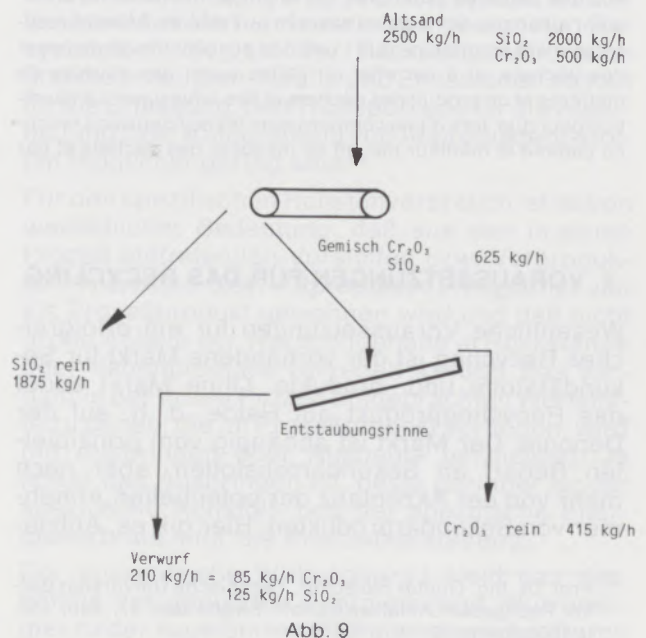


Abb. 9

Voraussetzungen und Grenzen des stofflichen Recyclings

Günter Fleischer, Berlin*)

Stoffliches Recycling wird häufig nur positiv als das Schließen von Stoffkreisläufen gesehen. Es wird damit zu einem Hoffnungsträger hinsichtlich der Ressourcenschonung, der Umweltentlastung und der Schonung von Deponieraum. Recycling ist jedoch nur eine der prinzipiellen Möglichkeiten der Entsorgung, und auch dafür werden Ressourcen verbraucht und Abfälle und Emissionen erzeugt. Voraussetzung dafür, daß sich bei einem Vergleich Recycling als der ökologisch günstigste Entsorgungsweg und damit als der ökologisch sinnvollste herausstellt, ist, daß die Differenz aus den verbrauch-

ten Primärressourcen für das Recycling und den erzeugten Sekundärrohstoffen kleiner ist als die verbrauchten Primärressourcen für einen anderen Entsorgungsweg. Mit dieser Voraussetzung ist gleichzeitig auch die prinzipielle Grenze für das stofflich sinnvolle Recycling gegeben. Stoffliches Recycling muß nicht in jedem Fall ökologisch sinnvoll sein. Voraussetzungen und Grenzen bedingen sich gegenseitig. Auf die Darstellung der ökologischen Grenzen des Recyclings wird besonders eingegangen.

Conditions and Limitations of Material Recycling

Closing the circle, with regard to recycling materials is quite often seen as a positive aspect. Therefore a great deal of faith is being put into saving resources, reducing the environmental burden and consideration towards new deposit areas. Recycling is only one of the possibilities of getting rid of waste, a process which also requires the use of resources and creates waste and emissions. The condition required, to take recycling as the most ecologically efficient method to get rid of waste in an ecologically sensible manner, is that the differen-

ce of the necessary primary resources for recycling and manufacture of secondary raw materials must be lower than the primary resources required for alternative waste disposal methods. Bearing this in mind, the sensible limitations for recycling are automatically set. Not in every case is the recycling of materials ecologically orientated. Conditions and limitations stipulate each other. The ecological limits are given a lot of consideration where recycling is concerned.

Conditions et limites du recyclage des matières

Le recyclage des matières est souvent considéré uniquement sous un aspect positif en tant que fermeture du circuit des matières. Il devient ainsi un espoir dans le domaine de l'économie des matières premières, de la protection de l'environnement ainsi que de l'espace réservé aux dépôts. Mais le recyclage n'est en principe que l'une des possibilités de disposer des déchets, et à cet effet on utilise aussi des sources de matières et on produit des déchets et des émissions. La condition pour que, lors d'une comparaison, le recyclage soit reconnu comme le meilleur moyen de disposer des déchets et par

conséquent le plus juste sur le plan écologique, est que la différence entre les ressources primaires nécessaires pour le recyclage et les matières premières secondaires produites soit inférieure aux ressources primaires utilisées pour un autre moyen de disposer des déchets. Cette condition donne aussi la limite de principe pour un recyclage judicieux des matières. Le recyclage des matières n'est pas forcément favorable sur le plan écologique dans tous les cas. Les conditions et les limites se définissent réciproquement. On étudie plus en détail la représentation des limites écologiques du recyclage.

1. VORAUSSETZUNGEN FÜR DAS RECYCLING

Wesentliche Voraussetzungen für ein erfolgreiches Recycling ist der vorhandene Markt für Sekundärstoffe und -produkte. Ohne Markt endet das Recyclingprodukt auf Halde, d. h. auf der Deponie. Der Markt ist abhängig vom prinzipiellen Bedarf an Sekundärrohstoffen, aber noch mehr von der Akzeptanz der potentiellen Abnehmer von Sekundärprodukten. Hier gilt es, Aufklä-

rungsarbeit zu leisten und auf den Abbau von Hemmnissen hinzuwirken. Hemmnisse sind unter anderem die Produkthaftung, technische Vorschriften wie beispielsweise die Normen, rechtliche Rahmenbedingungen sowie Ausschreibungstexte. Der Abbau dieser Hemmnisse setzt eine gleichbleibende und garantierte Qualität der Recyclingprodukte voraus.

Grundsätzliche Bedingung für das Recycling überhaupt ist die Erfassung der Altprodukte bzw. der Altstoffe. Durch eine sortenreine Erfassung der Altprodukte/-stoffe wird bereits signifikant Einfluß auf die Qualität der Sekundärprodukte/

*) Prof. Dr. Ing. Günter Fleischer, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Abfallwirtschaft, Straße des 17. Juni 135, D-1000 Berlin 12

-stoffe sowie auf den Aufwand an Primärressourcen für die notwendigen Prozesse genommen.

Voraussetzung für ein ökologisch sinnvolles Recycling ist auch, daß die Transportwege für die Altprodukte/-stoffe und für die daraus erzeugten Sekundärprodukte kurz sind. Eine Bedingung, die insbesondere für Altteile mit einem großen Verhältnis von Volumen zu Masse oft nicht eingehalten werden kann.

Die technischen Voraussetzungen zum sinnvollen Recycling sind in solche für das aktive Recycling und für die passive Recyclingfähigkeit zu unterteilen.

1.1. Voraussetzungen für die passive Recyclingfähigkeit

Die Voraussetzungen für die Recyclingfähigkeit eines Produktes werden während der Produktplanung und -entwicklung geschaffen. Die gute Recyclingfähigkeit ist einer von vielen Ansprüchen, die an ein Produkt gestellt werden. Andere Ansprüche aus ökologischer Sicht sind: geringer Ressourcenverbrauch, wenig Abfälle und Emissionen sowie ein möglichst geringes Schädigungspotential jeweils für den gesamten Produktlebenszyklus. Als weitere Forderung zur Minimierung der Umweltbelastung durch ein Produkt kommt die hohe Nutzungsdauer desselben Produktes hinzu. Alle Ansprüche und Anforderungen konkurrieren miteinander und die Maßnahmen, sie zu erfüllen, stehen häufig im Konflikt zueinander. Das gilt auch für die Forderung nach einer guten Recyclingfähigkeit des Produktes (1). Aus der Überwindung dieser Konflikte wird in der Konstruktions- und Werkstoffentwicklung und anderen relevanten Bereichen erfolgreich gearbeitet (2), (3), (4).

Die Verbesserung der Recyclingfähigkeit ist eine Primärmaßnahme, die vor Beginn des eigentlichen Produktlebenszyklus durchgeführt wird. Die Ansprüche an ein „recyclinggerechtes“ Produkt sind im folgenden zusammengefaßt:

- Die demontage-, aufarbeitungs- und aufbereitungsgerechte Konstruktion soll die Demontage, die Reinigung, die Prüfung, das Instandsetzen und das Aufbereiten der Werkstoffe sicher und mit einem geringen Aufwand ermöglichen. Diese Forderungen zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit, insbesondere die gute Demontagefähigkeit, stehen dabei oft im Widerspruch zu der Forderung nach dauerhaften Konstruktionen.
- Der Einsatz von möglichst wenig Werkstoffen aus möglichst verschiedenen Werkstoffgruppen erleichtert die Identifikation dieser Werkstoffe für das Recycling. Die Selektion wird sicherer, der Aufwand für die Verwertung geringer und die Ausbeuten höher. Die Verringerung der Werkstoffvielfalt ist jedoch häufig mit dem Einsatz höherwertiger Werkstoffe und damit

primärseitig mit größerem Aufwand verbunden.

- Dort, wo Stoffe für das Recycling nicht getrennt werden können, sollte eine Altstoffverträglichkeit zwischen diesen Stoffen vorliegen, sodaß daraus Werkstoffe mit definierten Eigenschaften erzeugt werden können.
- Zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit von Produkten sollten nach Möglichkeit keine Verbundwerkstoffe eingesetzt werden. Zur Erhöhung der Nutzungsdauer sind aber gerade die Verbundwerkstoffe, zu denen auch die oberflächenbeschichteten Werkstoffe gehören, besonders wichtig.
- Die Möglichkeit der eindeutigen Identifikation der verschiedenen Werkstoffe ist Voraussetzung zur Separation und Gewinnung von Werkstoffen definierter Eigenschaften. Werkstoffe sollten deshalb gekennzeichnet sein.
- Die Produkte, die aus verschiedenen Einzelteilen bzw. Elementen zusammengesetzt sind, sollten so modular strukturiert sein, daß nur das funktionsunfähig gewordene Einzelteil oder Element auszutauschen ist.
- Nicht unwesentlich ist die leicht zugängliche Entnahmemöglichkeit von Betriebsstoffen wie Treibstoff, Getriebeöl, Kühlfüssigkeit usw.
- Bei der Produktplanung sind vorhandene und in der Entwicklung befindliche Recyclingtechnologien zu berücksichtigen.

Die passive Recyclingfähigkeit eines Produktes ist Voraussetzung für das aktive Recycling desselben.

1.2. Voraussetzungen für das aktive Recycling

Voraussetzung für das sinnvolle aktive Recycling sind die Existenz bzw. Bereitstellung einer geeigneten Rückführlogistik für Altprodukte und Altstoffe sowie das Vorhandensein von geeigneten Recyclingtechnologien. Der Ressourcenverbrauch und die erzeugten Abfälle und Emissionen sollten für die Erfassung, den Transport und für die Aufarbeitung bzw. Aufbereitung von Altprodukten/-stoffen möglichst gering sein.

Für den spezifischen Rohstoffverbrauch ist es von wesentlicher Bedeutung, daß aus den in einen Prozeß eintretenden Vorstoffen bzw. Vorprodukten (Altstoffen bzw. Altprodukten) möglichst viel als Prozeßprodukt gewonnen wird und daß nicht große Anteile der Wertstoffgehalte in Rückstände oder Nebenprodukte verzettelt werden. Das Verhältnis der in den Prozeß eingebrachten Wertstoffe zu denen, die im Prozeßprodukt vorliegen, wird mit Ausbringen oder Ausbeute bezeichnet. Je höher das Ausbringen ist, desto geringer ist der spezifische Rohstoff- und der spezifische Energieverbrauch für die Produktherstellung.

Der energetische Wirkungsgrad stellt das Verhältnis der genutzten Energiemenge (Nutzenergie) zu der zugeführten Energiemenge dar. Durch

Erhöhung des energetischen Wirkungsgrades, das heißt durch Senkung des spezifischen Energieverbrauchs werden die Produkte wie auch die nutzungsspezifischen Umweltbelastungen, wie beispielsweise die CO₂-Emission, verringert. Große Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der Verbesserung des energetischen Wirkungsgrades für die Erzeugung von Elektrizität zu.

Prozesse und Verfahren werden so durchgeführt, daß die dem Prozeß zugeführten Stoffe in das gewünschte Prozeßprodukt überführt werden. Damit diese Überführung in das Prozeßprodukt mit guten stofflichen und energetischen Wirkungsgraden abläuft und die gewünschte Produktqualität erreicht wird, muß der Prozeß in geeigneter Weise gesteuert bzw. geregelt werden. Die Prozeßführung hat entscheidenden Einfluß auf das Prozeßergebnis, d. h. auf die Schadstoffbildung, auf die Stoffausbeute und den energetischen Wirkungsgrad. Recyclingverfahren benötigen einen höheren Standard an Verfahrenstechnik sowie Meß- und Regeltechnik als die Primärverfahren, da letztere in der Regel von homogenen Vorstoffen ausgehen können.

Jeder Prozeßschritt ist mit Energieverbrauch, mit Verbrauch an Hilfs- und Betriebsstoffen und deshalb mit der Erzeugung von Abfällen und Emissionen verbunden. Sofern durch Verfahrensentwicklung und Planung die Anzahl der Prozesse, die notwendig sind, um von einem Altprodukt bzw. Altstoff zu einem bestimmten Prozeßpunkt zu kommen, verringert werden kann, so ist diese Verkürzung der Prozeßkette mit verringerten Mengen an Abfällen und Emissionen verbunden.

Die Logistik hat sicherzustellen, daß einerseits die Rohstoffe, Halbprodukte, Hilfs- und Betriebsstoffe und andererseits die Produkte termingerecht, in der gewünschten Menge zu Produzenten bzw. vom Lieferanten und Kunden gebracht werden. Sie hat darüber hinaus die Aufgabe, Altprodukte und Altstoffe zu erfassen und termingerecht zur Aufarbeitung bzw. Aufbereitung zu transportieren. Möglichkeiten der Logistik zur Verbesserung des Recyclings sind gegeben durch Wegstreckenoptimierung, durch Auswahl geeigneter Erfassungsgefäße und durch Wahl des Transportmittels.

Im Fall von Mehrwegprodukten ist ein schonendes Handling wie auch gegebenenfalls eine schonende Reinigung und Demontage Voraussetzung für deren Wieder- oder Weiterverwendung.

2. GRENZEN DES RECYCLINGS

Es ist zwischen ökonomischen, technischen und ökologischen Grenzen des Recyclings zu unterscheiden. Die ökonomischen wie auch die technischen Grenzen werden in diesem Beitrag nur kurz abgehandelt. Dagegen soll besonders herausgearbeitet werden, wo die ökologischen Grenzen des Recyclings liegen.

2.1. Ökonomische Grenzen

Die ökonomische Grenze des Recyclings ist dann gegeben, wenn für den Anlagenbetreiber der finanzielle Aufwand für das Recycling größer ist als es die zu erzielenden Erlöse für die Sekundärerzeugnisse sind. Erlöse sind überhaupt nur dann erzielbar, wenn die erzeugten Sekundärprodukte, Sekundärwerkstoffe bzw. Sekundärrohstoffe auf dem Markt absetzbar sind, was entsprechende Akzeptanz für diese Erzeugnisse voraussetzt (Kapitel 1). Akzeptanz kann aber nur dann nur bei dem Kunden erwartet werden, wenn für die Sekundärerzeugnisse Qualitätsgarantien, wie sie für Primärerzeugnisse üblich sind, gegeben werden.

Das Verhältnis von finanziellem Aufwand zum zu erzielenden Erlös ändert sich für den Betreiber von Recyclinganlagen derzeit permanent durch die Erhöhung der Kosten für die Abfallbehandlung und -ablagerung. Weiterhin werden durch die vom Gesetzgeber forcierte Rücknahmepflicht von Altprodukten durch den Hersteller die Recyclingmöglichkeiten bereits bei der Produktplanung berücksichtigt (Kapitel 1.1), sodaß in Zukunft der Aufwand für das Recycling dieser neu konzipierten Produkte dann auch vergleichsweise niedriger sein wird als heute.

2.2. Technische Grenzen

Technische Grenzen des Recycling sind dadurch gegeben, daß es für bestimmte Altprodukte bzw. Altstoffe keine geeigneten Recyclingverfahren gibt oder daß die zu erzielende Qualität der Sekundärprodukte für den Kunden unzureichend ist. Recyclingtechnologien erfordern einen höheren Standard an Verfahrenstechnik sowie Meß- und Regeltechnik als Primärproduktverfahren, da letztere in der Regel von homogenen Vorstoffen ausgehen können. Recyclingverfahren sind in der Regel für einen ganz bestimmten Input von Altstoffen ausgelegt, für den sie dann Sekundärerzeugnisse mit den geforderten Qualitäten liefern. Abweichungen von dem definierten Input über ein bestimmtes Maß hinaus führen zu Qualitätseinbußen, zumindest aber dazu, daß die zu erzielende Qualität nicht mehr garantiert werden kann. Sind beispielsweise Verunreinigungen über die zulässigen Grenzwerte hinaus in den Altstoffen vorhanden, so führt dies bereits zu Ausschuß. Das Problem ist dort umso größer, wo Altprodukte bzw. Altstoffe vermischt erfaßt werden – beispielsweise Haushaltsabfälle – oder getrennt erfaßt und gesammelte Altprodukte bzw. Altstoffe durch Fehler in der Erfassung verunreinigt worden sind. Technische Grenzen des stofflichen Recyclings sind auch dort gegeben, wo Stoffe in ihrer Struktur Schaden nehmen, wie beispielsweise die Papierfaser oder das Kunststoffpolymer.

2.3. Ökologische Grenzen

In Abb. 1 ist der Lebenszyklus für ein Produkt ohne Recycling schematisch dargestellt. Das Diagramm zeigt die ökologisch gewichtete Masse als Funktion der Zeit. Mit der ökologisch gewichteten Masse werden die unterschiedlichen Wirkungspotential auf die Umwelt durch den Verbrauch von Ressourcen sowie der Entstehung von Abfällen und Emissionen berücksichtigt (5). Für die Produktion, den Produktgebrauch, für die Abfallbehandlung (physikalisch, chemisch, thermisch) wie auch für die Ablagerung werden ausschließlich Primärressourcen (PR) verbraucht. Am Ende des Produktlebenszyklus wird die Summe der verbrauchten Primärressourcen, die der Erdkruste oder der Biosphäre entnommen wurden, vollständig zu Abfällen und Emissionen.

In Abb. 2 dagegen ist der Lebenszyklus schematisch für ein Produkt unter Berücksichtigung des stofflichen Recyclings dargestellt. Bis zum Ende der Lebensdauer des Produktes sind die Darstellungen in Abb. 1 und 2 gleich. Prinzipiell werden für das stoffliche Recycling Primärressourcen (PR) verbraucht, um damit Sekundärrohstoffe (SR) zu erzeugen. In der Darstellung ist die Summe der im Zeitraum $t_m - t_e$ erzeugten Sekundärrohstoffe (SRE) gleich der Summe der Primärressourcen, die für die Produktherstellung durch die Sekundärrohstoffe (SRV) im Zeitraum $t_n - t_o$ ersetzt werden. Das setzt voraus, daß die Qualität der Sekundärrohstoffe der von Primärrohstoffen entspricht, d. h., daß bei der Gewinnung der Sekundärrohstoffe keine Qualitätsverluste hinzunehmen sind und nicht das sogenannte Downcycling erfolgt.

$$MSRE = MSRV = MSR$$

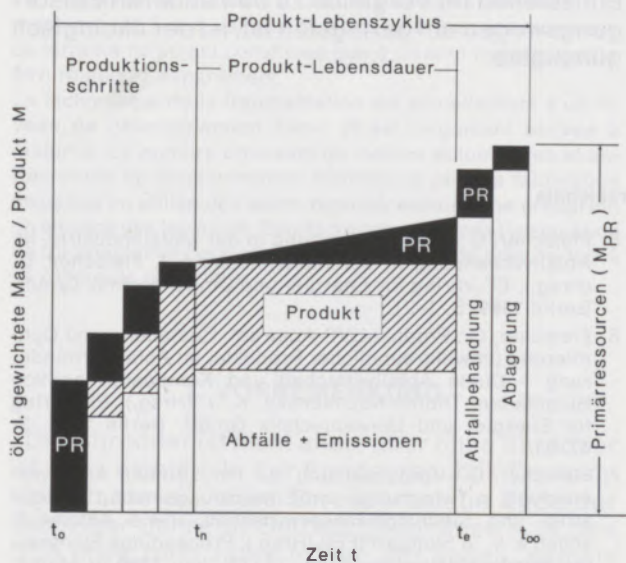


Abb. 1

Schematische Darstellung des ökologisch gewichteten Verbrauchs an Primärressourcen (PR) sowie der Erzeugung von Abfällen und Emissionen über den Produktlebenszyklus ohne Recycling

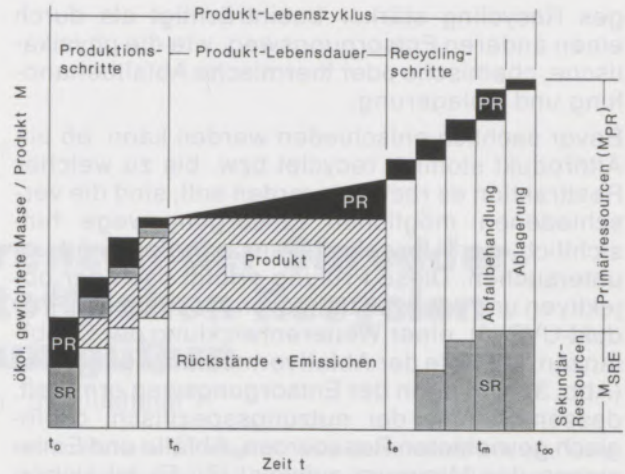


Abb. 2

Schematische Darstellung des ökologisch gewichteten Verbrauchs an Primärressourcen (PR) und Sekundärrohstoffen (SR) sowie der Erzeugung von Abfällen, Emissionen und Sekundärrohstoffen über den Produktlebenszyklus (mit Recycling)

Unter dieser Voraussetzung ist das stoffliche Recycling nur dann ökologisch sinnvoll, wenn die Bedingung

$$MSR \geq M_{PRm} - M_{PRo}$$

erfüllt ist. Die ökologisch gewichtete Masse der durch das Recycling erzeugten Sekundärrohstoffe muß größer sein als die ökologisch gewichtete Massendifferenz zwischen dem Verbrauch an Primärressourcen für die Entsorgung ($t_{\infty} - t_e$) mit bzw. ohne Recycling. Der Index „m“ steht für „mit Recycling“, der Index „o“ für „ohne Recycling“.

Ein Altprodukt oder Altstoff ist nur dann oder nur bis zu dem Grad ökologisch sinnvoll zu recyceln, wie diese Bedingung erfüllt ist. Andernfalls wird die Umwelt durch die Wahl des Entsorgungswegs

Allgemeine Abfallvermeidungsgleichung für Produkte:

$$a_1 \sum b_1 \text{ Rohstoff}_i + a_2 \sum b_2 \text{ Energie}_j + a_3 \sum b_3 \text{ Abfall}_k + a_4 \sum b_4 \text{ Emissionen}_m = PUB$$

$$\frac{PUB}{\sum \text{Funktionserfüllungen bzw. Nutzungsdauer}} = NUB$$

$$a_1 \sum b_1 \text{ Rohstoff}_i + a_2 \sum b_2 \text{ Energie}_j + a_3 \sum b_3 \text{ Abfall}_k + a_4 \sum b_4 \text{ Emissionen}_m = NUB$$

NUB -> Minimum

a_1, \dots, a_4 = Quantitätsfaktoren

b_1, \dots, b_m = Qualitätsfaktoren

PUB = produktspezifische Umweltbelastung

NUB = nutzungsspezifische Umweltbelastung

Abb. 3

Die allgemeine Abfallvermeidungsgleichung für Produkte

ges Recycling stärker beeinträchtigt als durch einen anderen Entsorgungsweg, wie die physikalische, chemische oder thermische Abfallbehandlung und Ablagerung.

Bevor sachlich entschieden werden kann, ob ein Altprodukt stofflich recyclet bzw. bis zu welcher Restfraktion es recyclet werden soll, sind die verschiedenen möglichen Entsorgungswege hinsichtlich der Umweltrelevanz vergleichend zu untersuchen. Diese Prüfung erfolgt nach der objektiven und nachvollziehbaren Methode der Produkt-UVP (6), einer Weiterentwicklung der Ökobilanzen. Mit Hilfe der Abfallvermeidungsgleichung (Abb. 3) wird dann der Entsorgungsweg ermittelt, dessen Summe der nutzungsspezifisch, ökologisch gewichteten Ressourcen, Abfälle und Emissionen das Minimum aufweist (7). Es ist sicher, daß der Entsorgungsweg Recycling nicht immer der ökologisch günstigste ist. Bei objektiver Vorgehensweise kann auch die thermische Abfallbehandlung für bestimmte Abfälle die ökologisch günstigste Entsorgungsvariante sein.

3. ZUSAMMENFASSUNG

Die Voraussetzungen und Grenzen für das stofflich sinnvolle Recycling bedingen sich gegenseitig. Prinzipielle Voraussetzungen sind unter anderem die Erfassung der Altprodukte bzw. Altstoffe sowie ein vorhandener Markt für Produkte aus Sekundärrohstoffen. Die technischen Voraussetzungen werden in solche für die passive Recyclingfähigkeit von Produkten und für das aktive Recycling von Altprodukten und Altstoffen unterteilt.

Die Recyclingfähigkeit eines Produktes wird während der Produktplanung und -entwicklung vor Beginn des eigentlichen Produktlebenszyklus bestimmt. Die Recyclingfähigkeit ist eine von vielen Produktanforderungen, die zu erfüllen sind. Die Umsetzung dieser Anforderung kann zu Kon-

flikten mit anderen Bedingungen, die an das Produkt gestellt werden, führen. An der Überwindung dieser Konflikte wird in der Konstruktions- und Werkstoffentwicklung und in anderen Bereichen erfolgreich gearbeitet. Die passive Recyclingfähigkeit eines Produktes ist Voraussetzung für das aktive Recycling von Altprodukten und Altstoffen. Für das aktive Recycling müssen geeignete Technologien zur Verfügung stehen. Die Anforderungen an die Verfahrenstechnik und die Prozeßführung sind für das Recycling höher als für die Produktion aus Primärrohstoffen. Die Altstoffe sind in der Regel heterogener und wechselnder als Primärrohstoffe zusammengesetzt.

Das stoffliche Recycling hat wirtschaftliche und technische Grenzen. Diese Grenzen sind hinlänglich bekannt und akzeptiert. Weniger bekannt oder bewußt ist jedoch, daß das stoffliche Recycling auch eine ökologische Grenze hat, sodaß bei Überschreitung dieser Grenze stoffliches Recycling ökologisch unsinnig werden kann.

Für die Durchführung des stofflichen Recyclings werden Primärressourcen verbraucht. Übersteigt der Verbrauch von Primärressourcen zur Erzeugung von Sekundärrohstoffen ein bestimmtes Maß, welches definiert ist, so ist der Entsorgungsweg stoffliches Recycling nicht der ökologisch günstigste Entsorgungsweg.

Um sachlich zu entscheiden, welcher der Entsorgungswege stoffliches Recycling, physikalische, chemische oder thermische Abfallbehandlung und Ablagerung für ein Altprodukt bzw. eine Fraktion des Altproduktes der ökologisch günstigste ist, muß eine vergleichende Produktumweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt werden. Der Entsorgungsweg – das kann auch in bestimmten Fällen die thermische Abfallbehandlung sein –, dessen Summe der nutzungsspezifisch ökologisch gewichteten Ressourcen, Abfällen und Emissionen im Vergleich zu den anderen Entsorgungswegen am geringsten ist, ist der ökologisch günstigste.

Literaturverzeichnis

1. Fleischer, G.: Strukturierung der Abfallvermeidung, in: Fleischer, G. (Hrsg.): Vermeidung und Verwertung von Abfällen 3; EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin 1992, S. 1–26.
2. Jordan, W.: Konstruieren recyclinggerechter Produkte mit der neuen Richtlinie VDI 2243, in: Recycling: eine Herausforderung für den Konstrukteur; Tagung Bad Soden, 14.–15. 11. 1991, VDI-Verlag, Düsseldorf 1991, S. 23–41.
3. Schmidt-Kretschmer, M., Beitz, W.: Demontagefreundliche Verbindungstechnik – ein Beitrag zum Produktrecycling, in: Recycling: eine Herausforderung für den Konstrukteur; Tagung Bad Soden, 14.–15. 11. 1991, VDI-Verlag, Düsseldorf 1991, S. 153–170.
4. Beitz, W., Wende, A.: Konzept für ein recyclingorientiertes Produktmodell, in: Recycling: eine Herausforderung für den Konstrukteur; Tagung Bad Soden, 14.–15. 11. 1991, VDI-Verlag, Düsseldorf 1991, S. 307–321.
5. Fleischer, G.: Abfallvermeidung in der Metallindustrie, in: Abfallvermeidung in der Metallindustrie 1, Fleischer, G. (Hrsg.), EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin 1989, S. 1–21.
6. Fleischer, G.: Produkt-UVP-Auswahl, Gestaltung und Optimierung umweltfreundlicher Produkte, in: Abfallvermeidung – Duale Abfallwirtschaft und Kompostierung von Bioabfällen; Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.), EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin 1992, S. 47–64.
7. Fleischer, G.: Voraussetzung zur industriellen Abfallvermeidung, in: Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft e. V. in Stuttgart (FEI) (Hrsg.): Proceedings Symposium Sonderabfallvermeidung, 12./13. Juni 1990 in Mainz, S. 103–119.

Möglichkeiten und Grenzen der Shredder-technologie beim stofflichen Recyclen von Konsumgütern

Franz Schmiege, Schriesheim*)

Shreddern bedeutet ausgediente Gebrauchsgüter so weit maschinell zu zerkleinern, daß alle Schrottstücke nur mehr aus einem Werkstoff bestehen, um sie einer separaten Wiederverwertung zuzuführen.

Die Shreddertechnologie ist heute auf einem hohen Entwicklungsstand und weitgehend ausgereift. Die steigende Anzahl von Altfahrzeugen und anderen technischen Konsumgütern, zu deren Herstellung Stahl benötigt wird, macht eine effiziente Schrottaufbereitung nötig. Verschiedene Behandlungen im Shredder machen eine fast 100%ige Separation von verschie-

denen Materialien möglich. Aber auch Kunststoffe und Gummiteile sowie Glas sind zu einem begrenzten Teil recycelbar, müssen aber meist einer aufwendigeren manuellen Sortierung unterzogen werden.

So können viele Metalle, zum Teil auch Kunststoffe, Polstermaterial und Glas, in einem Kreislauf immer wieder recycelt werden und müssen nicht der Natur entnommen werden, unsere begrenzten Ressourcen werden geschont, Energie wird gespart und damit unsere Umwelt entlastet.

The Possibilities and Limits of the Shredding Technology when Recycling Consumer Materials

Shredding means, reducing goods in size so that all scrap pieces comprise of one material which can be fed to a separate recycling process.

The shredding technology today is of a high standard and well developed. Efficient scrap preparation for the steel industry is necessary due to the increasing number of old cars and used consumer items. Various handling methods in the

shredder enables almost 100% separation efficiency. Man made fibres, rubber items and glass can only be recycled to a certain extent. In this case they are sorted manually.

In this way many metals, fibres polyester materials and glass can be recycled many times and will not be a burden to nature. Our resources will be spared, energy saved and the environment relieved.

Possibilités et limites de la technologie de la fragmentation, lors du recyclage de matières de biens de consommation

La fragmentation consiste à réduire en petites parcelles, à la machine, les biens usagés de sorte que tous les morceaux de ferraille ne soient constitués que d'un seul matériau, pour être réutilisés séparément.

La technologie de la fragmentation est acutellement à un niveau de développement élevé et est largement arrivée à maturité. Le nombre croissant de vieilles automobiles et autres biens de consommation techniques pour la fabrication desquels on utilise de l'acier, rend nécessaire une préparation efficace des ferrailles. Divers traitements dans l'installation de fragmentation permettent une séparation de près de 100% de différents matériaux.

Mais les matières plastiques, les pièces en caoutchouc ainsi que le verre sont également recyclables en partie, mais on doit généralement les soumettre à un triage manuel plus coûteux.

Ainsi de nombreux matériaux, en partie aussi les matières plastiques, les matériaux de rembourrage et le verre, peuvent toujours être recyclés dans un circuit et ne doivent pas être prélevés dans la nature, ce qui économise nos ressources limitées, ainsi que l'énergie, et soulage de ce fait notre environnement.

1. VORBEMERKUNG

„Der Shredder ist nicht alles, aber ohne Shredder ist alles nichts.“ In der Bundesrepublik Deutschland wurde die erste Shredderanlage Ende der sechziger Jahre in Betrieb genommen – in den USA etwa zehn Jahre früher. Wir sehen, damals

war der Technologievorsprung der USA noch etwas größer als heute.

Zurzeit werden in ganz Deutschland 44 (in ganz Europa etwa 240) Shredderanlagen unterschiedlicher Größe und Konzeption mit einer Antriebsleistung zwischen 500 und 2940 kW und einem Durchsatz von zehn bis 120 Mg/h Mischschrott und Altfahrzeugen betrieben. Davon sind nur vier Shredderanlagen amerikanischer Herkunft. Die restlichen Shredderanlagen sind deutsche Konstruktionen, die seit Anfang der siebziger Jahre

*) Dipl.-Ing. Franz Schmiege, INTRA-RECYCLING GmbH, Industriestraße 2, D-6832 Hockenheim



Abb. 1
Shredderanlagen in Deutschland

in der Bundesrepublik hauptsächlich von zwei Firmen entwickelt wurden. Die Shreddertechnologie ist heute auf einem hohen Entwicklungsstand und weitgehend ausgereift (Abb. 1).

Die Tatsache, daß der Shredder innerhalb von zehn Jahren zum dominierenden Gerät der Schrottaufbereitung wurde, hat zwei Gründe:

1. Das in den sechziger Jahren entwickelte Sauerstoffblasverfahren zur Stahlherstellung ließ den Einsatz von Schrott in der bis dahin praktizierten Form nicht mehr zu. Damals wurden die alten Autos einfach zu Paketen gepreßt und im SM-Ofen eingeschmolzen. Der geringe Anteil an derartigem Schrott hatte keinen signifikanten Einfluß auf die Stahlqualität.
2. Die steigende Anzahl von alten Autos und anderen technischen Konsumgütern, zu deren Herstellung zunehmend neben Stahl andere Metalle eingesetzt wurden, machte eine weiterführende Separation und Schrottaufbereitung erforderlich.

Es ist bekannt, daß bereits Anfang der siebziger Jahre ein „Altautonotstand“ aufkam, das heißt, die alten Autos wurden von der Schrott- und Stahlindustrie nicht mehr aufgenommen und somit zwangsläufig als Unrat in der Landschaft und auf „wildem“ Sammelplätzen abgestellt.

Erst die Shreddertechnologie hat diesem Szenario ein Ende bereitet, da nunmehr die Schrottqua-

lität in der für die Stahlwerke notwendigen Qualität hergestellt werden konnte.

In den 44 Shredderanlagen werden zur Zeit etwa 95% aller alten Autos – und bei den anderen technischen Konsumgütern ist die Quote mindestens genauso hoch – verarbeitet und dem stofflichen Recycling zugänglich gemacht.

Wenn die Shredderindustrie ins Kreuzfeuer der öffentlichen Kritik geraten ist, weil Probleme mit den „Reststoffen“, der sogenannten Shredderleichtfraktion (SLF), bestehen, so ist das unter folgenden Gesichtspunkten zu sehen:

- Die Entwicklung der Shreddertechnologie war ursprünglich ausschließlich an der Herstellung einer guten Stahlschrottqualität für die „Stahlkocher“ orientiert.
- Die Tendenz, daß bei der Herstellung technischer Konsumgüter neben Stahl und Eisen andere Konstruktionswerkstoffe wie Alu, Cu, Kunststoffe und andere NEM (Nichteisenmetalle) eingesetzt werden, blieb bei der Weiterentwicklung der Shreddertechnologie unbeachtet.
- Die mangelnde Sensibilität von uns allen für die Bedürfnisse der Umwelt und für den Wirtschaftswert der NEM sind für den Mißstand ebenso verantwortlich wie die öffentlichen Ver-

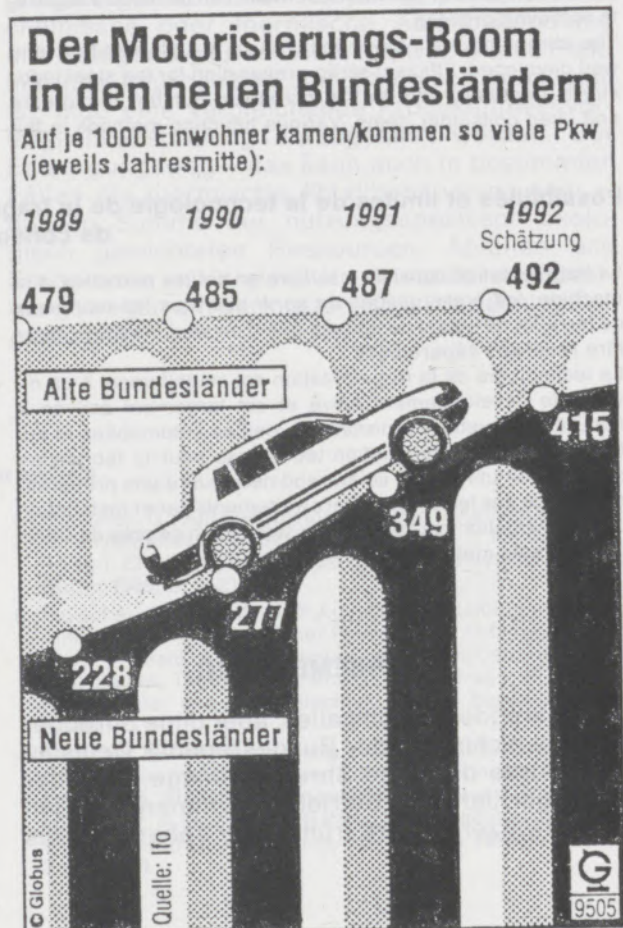


Abb. 2

waltungen bzw. der Gesetzgeber, die anhand der Pkw-Zulassungszahlen vor 10 bis 15 Jahren die Entwicklung hätten erkennen müssen.

Zurzeit enden allein in den alten Bundesländern über 2 Millionen ausgediente Pkw und mehrere tausend Tonnen technische Gebrauchsgüter in den Shreddern bzw. auf den Schrottplätzen. Die Tendenz ist steigend. Im Jahre 2000 werden unter Hochrechnung der heutigen Zulassungszahlen in Deutschland über 3 Millionen Pkw verschrottet (Abb. 2). Das bedeutet, daß je 25 Einwohner in Mitteleuropa jährlich ein altes Auto hinterlassen wird.

Recycling ist eine umweltschonende Notwendigkeit und ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Ein Auto besteht zu rund 76% aus Metallen (Abb. 3). Es handelt sich dabei um Grundstoffe, die von den Hüttenwerken und anderen Grundstoffindustrien sehr begehrt sind, wenn es sich um sortenreine Werkstoffe handelt.

In den letzten zehn Jahren (1980–1990) ging der Anteil an Eisenmetallen in den Autos von etwa 70 auf 60% zurück. Gleichzeitig aber hat der Einsatz von Nichteisenmetallen im Automobilbau von etwa 5% auf nahezu 10% zugenommen.

Nicht nur die Nichteisenmetalle haben auf Kosten des Stahls im Automobilbau zugenommen, sondern auch die stofflich nur schwer verwertbaren Kunststoffe und andere nichtmetallische Materialien, wie Glas und Gummi, stiegen zusammen von etwa 20 auf rund 30% an.

Um künftig auch diese Materialien durch stoffliches Recycling wiederverwertbar zu machen, müssen bereits bei der Produktion die recycelbaren Kunststoffteile nach Art und Spezifikation der Kunststoffe gekennzeichnet werden oder auf eine andere Art identifizierbar sein. Gedacht wird da-

bei an die vielfältigen Möglichkeiten der EDV. Die angelieferten Fahrzeuge werden z. B. im Computer registriert, und anhand von Datenträgern, die der Kfz-Produzent zur Verfügung stellt, wird festgelegt, welche Baugruppen und -teile demontagewürdig sind und aus welchem Kunststoff sie bestehen.

Bauteile, die vor dem Shreddern ausgebaut werden, können als Ersatzteile und als Austauschaggregate nach Aufarbeitung bei hoher Wertschöpfung erneut zum Einsatz kommen. Andere dafür nicht geeignete Teile werden nach sortenreinem Separieren stofflich verwertet.

Für die nächsten 10 bis 15 Jahre werden jedoch noch Altfahrzeuge anfallen, die die Anforderungen nach zeitgemäßem Recycling nicht erfüllen.

Für diesen Zeitraum, der geprägt sein wird vom Umdenken der Konsumenten, fallen beim Recyclingprozeß erhebliche Rückstandsmengen an. Dieser Rückstand ist bei objektiver Betrachtung und nach Überzeugung aller kompetenten Fachleute auf sinnvolle Art und Weise nur durch thermische Behandlung zu verwerten. Deponien sind nicht mehr zeitgemäß. Sie sind Altlasten der Zukunft.

2. DIE SHREDDERTECHNOLOGIE IM RECYCLINGPROZESS

Der Shredder ist eine reine Zerkleinerungsmaschine, mehr nicht. Seine Aufgabe im Recyclingprozeß besteht darin, die komplexen Konstruktionsteile und Verbundwerkstoffe der ausgedienten Gebrauchsgüter soweit zu zerkleinern, daß alle Schrotstücke aus einem Werkstoff bestehen und frei sind von angefügten Fremdmaterialien.

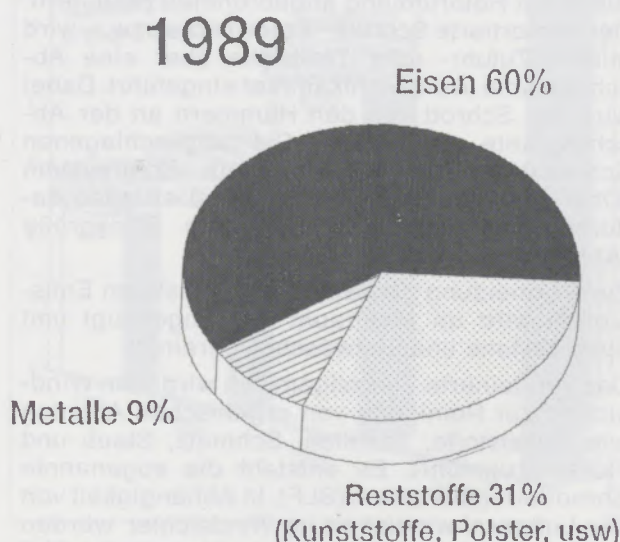
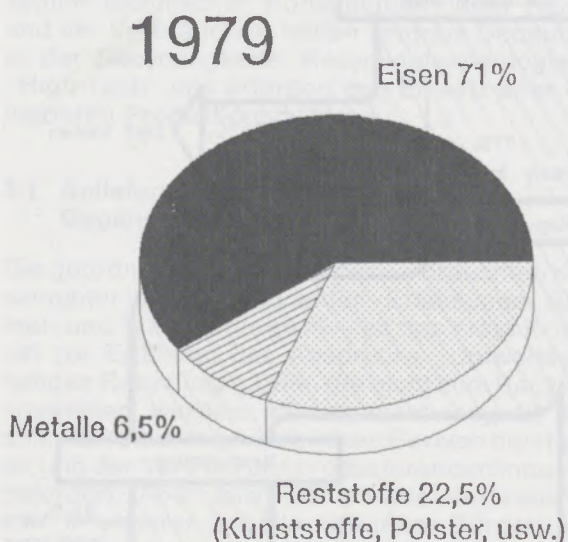


Abb. 3
Materialanteile im Auto
(Angabe in Gew.-% geschätzt)

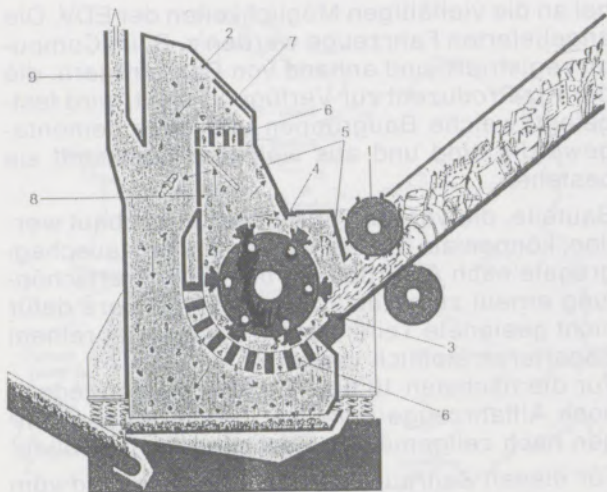


Abb. 4

Schematische Darstellung einer Shredderanlage

Erst dann ist eine sortenreine Separation möglich.

Für eine komplette Shredderanlage ist neben dem Shredder

- eine Entstaubungsanlage mit Gasluft-Wäscher
- eine Windsichteranlage mit Zyklonen und
- mindestens eine Magnetseparationsstufe erforderlich.

Der weitere Ausbau der Shredderanlage mit nachgeschalteten Separationsstufen für NEM ist unzweckmäßig, da derartige Anlagen sehr kompliziert sind oder keine sortenreinen Endprodukte erbringen.

Die zentrale Einheit der Shredderanlage ist die Hammermühle mit horizontaler Rotorachse und pendelnden, aufgehängten, gewichtssymmetrisch am Rotorumfang angeordneten Hämmern. Der vorsortierte Schrott – Autowracks usw. – wird mittels Zufuhr- oder Treibrolle über eine Abschlagkante in die Mahlkammer eingeführt. Dabei wird der Schrott von den Hämmern an der Abschlagkante zerkleinert. Die abgeschlagenen Schrottstücke werden über ein Rotorssystem (Ober-/Unterrost) ausgetragen und erhalten dadurch eine rostbedingt definierte Stückgröße (Abb. 4).

Zur Vermeidung von Staub und sonstigen Emissionen wird im Mahlraum Luft abgesaugt und über Zyclone und Luftwäscher gereinigt.

Das zerkleinerte Schrottgemisch wird dem Windsichter zur Reinigung von organischen Anteilen wie Kunststoffe, Textilien, Schmutz, Staub und Flusen zugeführt. Es entsteht die sogenannte Shredderleichtfraktion (SLF). In Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit im Windsichter werden leider auch Metalle – besonders Alu – mit der SLF ausgetragen. Die Trägerluft des Windsichters wird über Zyclone gereinigt und im Kreislauf geführt.

Der Unterlauf des Windsichters – der gereinigte Schrott und die NEM sowie schwere Gummi- und Kunststoffteile – werden in der Magnetstufe in FE-Schrott und NEM-Gemisch getrennt. Somit entstehen an der Shredderanlage drei Materialströme: der Shredderschrott (FE), das NEM-Gemisch und die SLF (Abb. 5).

Während der FE-Schrott nun bereits ein marktfähiges Produkt ist und an die Stahlwerke abgegeben wird, muß das NEM-Gemisch zur sortenreinen Separation in die verschiedenen Metalle und Metallegierungen einer weiteren, wohl der wichtigsten Recyclingstufe – z. B. Schwimm-, Sink- und Megasort – zugeführt werden. Denn erst wenn die Metalle sortenrein vorliegen, ist stoffliches Recycling perfekt.

Die Shreddertechnologie ist nicht alles, aber doch ein sehr wichtiges Glied beim stofflichen Recycling.

Erst die gezielte Zerkleinerung der kompletten Wohlstandsschrotte – Altautos und andere ausgediente technische Gebrauchsgüter – macht hochwertiges stoffliches Recycling – „Fullrecycling“ – möglich.

3. DER PROZESS DES FULLRECYCLINGS

Mit dem Prozeß des „Fullrecyclings“ wurde ein Konzept entwickelt, welches im Rahmen von Recyclingparks bzw. -centers die 100%ige Verwer-

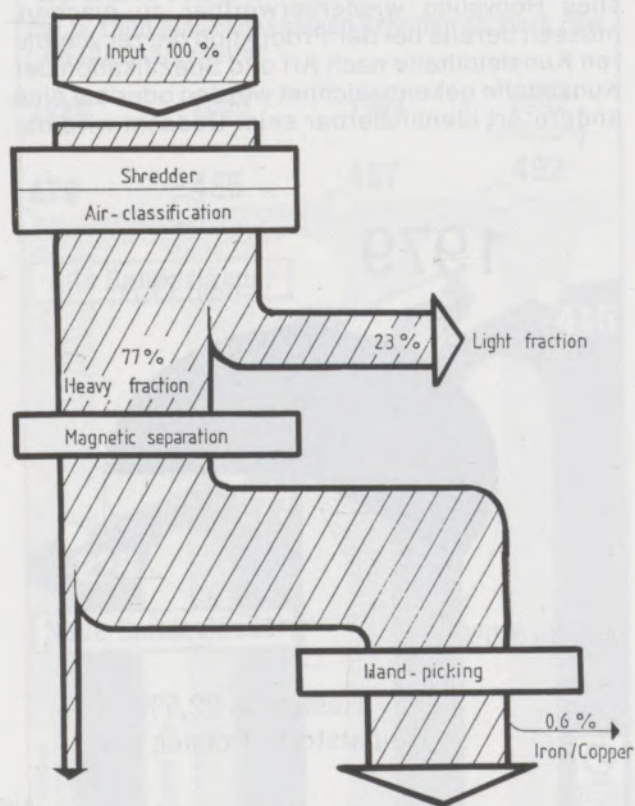


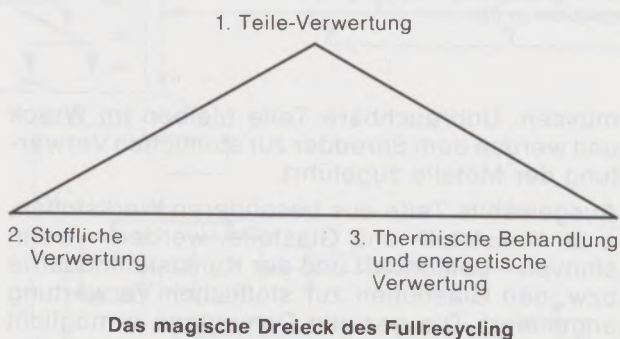
Abb. 5

Flußschema und Materialbilanz einer Shredderanlage

tung alter Autos und anderer technischer Geräte auf höchstem Niveau ermöglicht – Totalrecycling. Das Fullrecycling ist in seiner Gesamtheit sowohl ökologisch vertretbar – und damit gesetzlich zulässig – als auch ökonomisch tragfähig.

Auf Dauer ist ein Unternehmen nur dann erfolgreich, wenn seine Produktionsprozesse und seine Produkte ökologisch und ökonomisch im Einklang stehen. Besondere Bedeutung muß dabei den volkswirtschaftlichen Aspekten und dem Umweltschutz zukommen. Es macht keinen Sinn, daß Unternehmen Gewinne machen und die Volkswirtschaft zahlt die Kosten.

Wertschöpfung und Umweltschutz müssen auf höchstem technologischem Niveau in drei Stufen erfolgen.



Die bedingungslose Einhaltung und Sequenz dieser dreistufigen Wertschöpfungskette sichert die umweltschonende Rohstoffrückgewinnung und betriebswirtschaftlichen Erfolg.

Es gibt keinen Zielkonflikt zwischen Schonung der Umwelt und maximaler Wertschöpfung. Durch sorgfältige Arbeit und richtiges System ist beides möglich. Globales Denken und Handeln, d. h. partnerschaftliche Zusammenarbeit der Produzenten technischer Konsumgüter, dem Handel und der Verbraucher, haben zentrale Bedeutung in der Recyclingkette. Recyclingtechnologie ist „High-Tech“ und erfordert den Einsatz aller verfügbaren Produktionsfaktoren.

3.1. Anlieferung der unbrauchbaren Gegenstände

Die geordnete Anlieferung der verbrauchten Konsumgüter im Recyclingcenter – Erfassungs-, Sammel- und Transportlogistik – ist das erste Kriterium zur Erfüllung des Anspruchs „Umweltschonendes Recycling“. Teile, die nicht zum Recyceln angeliefert werden, können nicht recycelt werden. Hier sind im gewerblichen Bereich die Händler und der Vertrieb der produzierenden Industrie gefordert. Aber auch der private Verbraucher, d. h. in unserer Gesellschaft jeder Bürger, muß den Beweis erbringen, daß seine allgemeinen Meinungsäußerungen zum Umweltschutz keine Lippenbekenntnisse sind. Er muß bereit sein, seinen Beitrag für eine saubere Umwelt auch

ohne direkten Vorteil in eigener Verantwortung zu leisten. Unbeachtet dieser „Grundforderung“ sollte, ja muß, der Anlieferer von Waren, z. B. seines alten Pkw, eine angemessene Vergütung als Anreiz erhalten.

Die Fahrzeuge müssen visuell kontrolliert werden. Sind artfremde Substanzen oder gar Schadstoffe, z. B. nicht entleerte Farb-, Chemikaliengemische enthalten, wird zunächst die Annahme verweigert bzw. die artfremden Teile werden in bereitgestellte „Abfallsammelbehälter“ verbracht und auf Kosten des Anlieferers entsorgt. Die „wilde Ablagerung“ in der freien Natur ist somit weitgehend eingeschränkt (Abb. 6).

3.2. Entsorgung der Altagos und Vorbereitung zur Verwertung

Nach Eingangskontrolle der alten Fahrzeuge und Erfassung im Datensystem werden in der Entsorgungshalle die Flüssigkeiten wie Öle, Kraftstoffe, Kühler- und Bremsflüssigkeiten usw. sowie Batterien und Reifen entfernt und nach Analyse der Aufbereitung bzw. der Verwertung zugeführt. Anschließend durchlaufen die Pkw eine Wasserstrahl-Waschanlage zur Entfernung anhaftender Öle usw. und werden zur Teileverwertung zum Teilemarkt gebracht. Das Waschwasser wird chemisch-physikalisch aufbereitet und im Kreislauf geführt.

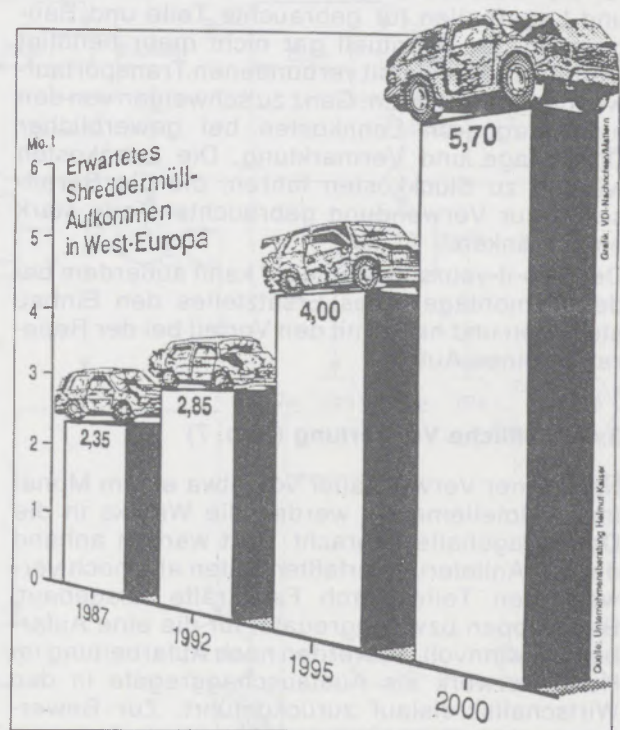


Abb. 6

Auf Europa kommt bis zum Jahr 2000 eine Shreddermüllwelle zu, an der die Deponien zu ersticken drohen, wenn weiterhin nur das Metall aus zu entsorgenden Autowracks wiedergewonnen wird.

Regional-Aufkommen	stoffliche Verwertung		thermische Resteverwertung	
1 Recycling-Center 75–80.000 Pkw/a ca. 1.6 Mio. Einwohner	FE (Stahl)	50.000 t/a	SLF ca.	18.500 t/a
	Alu	3.500 t/a	ca.	92.500 MW
	Cu	770 t/a	Strom	22.500 MW el
	Zn	380 t/a	Wärme	70.000 MW th.
BRD	FE	1.135.000 t/a	SLF ca.	500.000 t/a
	Alu	94.500 t/a	ca.	2.500.000 MW
	Cu	20.800 t/a	Strom	1.600.000 MW el
	Zn	10.250 t/a	Wärme	1.900.000 MW th.
EG	FE	5.800.000 t/a	SLF	2.150.000 t/a
	Alu	400.000 t/a	ca.	10.750.000 MW
	Cu	90.000 t/a	Strom	2.600.000 MW el
	Zn	44.000 t/a	Wärme	8.150.000 MW th.

Abb. 7

Volkswirtschaftlicher Nutzen durch Altfahrzeug-Recycling
Rohstoffgewinnungsquote in t/a

3.3. Teileverwertung

Dem Recyclingcenter ist ein Autoteilemarkt angegliedert. Im Autoteilemarkt werden die Karossen – nach Fahrzeugtypen sortiert – in Reihen aufgestellt. So kann der Bürger und Autofahrer noch funktionsfähige Baugruppen bzw. Ersatzteile für seinen fahrbereiten Untersatz nach dem „Do-it-yourself-Prinzip“ selbst ausbauen. Auf diese Weise werden bei höchstem volkswirtschaftlichem Nutzen (es müssen keine Ersatzteile neu angefertigt werden) nur solche Teile demontiert, für die ein unmittelbarer Bedarf besteht. Regale und Lagerhallen für gebrauchte Teile und Baugruppen, die eventuell gar nicht mehr benötigt werden und die damit verbundenen Transportaufwendungen entfallen. Ganz zu schweigen von den nicht tragbaren Lohnkosten bei gewerblicher Demontage und Vermarktung. Die Lohnkosten würden zu Stückkosten führen, die die Bereitschaft zur Verwendung gebrauchter Teile stark einschränken.

Der „Do-it-yourself-Monteur“ kann außerdem bei der Demontage eines Ersatzteiles den Einbau studieren und hat somit den Vorteil bei der Reparatur seines Autos.

3.4. Stoffliche Verwertung (Abb. 7)

Nach einer Verweildauer von etwa einem Monat im „Autoteilemarkt“ werden die Wracks in die Demontagehalle gebracht. Dort werden anhand der bei Anlieferung erfaßten Daten alle noch verwertbaren Teile durch Fachkräfte ausgebaut. Baugruppen bzw. Aggregate, für die eine Aufarbeitung sinnvoll ist, werden nach Aufarbeitung im Herstellerwerk als Austauschaggregate in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt. Zur Bewertung und als Entscheidungshilfe, ob ein Aggregat „überholungswürdig“ ist, bedarf es selbstverständlich neben der typenmäßigen Erfassung weiterer Bewertungsmerkmale, die vom Fahrzeughersteller zur Verfügung gestellt werden

müssen. Unbrauchbare Teile bleiben im Wrack und werden dem Shredder zur stofflichen Verwertung der Metalle zugeführt.

Ausgewählte Teile aus besonderen Werkstoffen, z. B. Kunststoff- und Glasteile, werden – wenn sinnvoll – demontiert und der Kunststoffindustrie bzw. den Glashütten zur stofflichen Verwertung angeliefert. Die gezielte Demontage ermöglicht eine höhere Wertschöpfung, und der Anteil der Reststoffe (SLF) beim Shreddern wird erheblich reduziert. Durch den zweistufigen Demontageablauf

a) durch den Bürger

b) gezielt durch Fachkräfte

ist Autorecycling wirtschaftlich zu betreiben.

Gleichzeitig wird sichergestellt, daß der letzte Besitzer eines alten, nicht mehr fahrtüchtigen Autos für die Anlieferung des Wracks einen Erlös erzielt und somit einen finanziellen Anreiz zur geordneten Entsorgung seines alten Autos erhält.

Nachdem die alten Autos durch Entsorgung und Demontage weitgehend entfrachtet sind, werden die Wracks als sogenanntes Shreddervormaterial zum Shredder gebracht.

Nach dem Shreddervorgang sind die vielfältigen Werkstoffe frei von angefügten Teilen anderer Werkstoffe und können sortenrein separiert werden.

In der ersten Separationsstufe, dem Windsichter, wird die sogenannte Shredderleichtfraktion, bestehend aus Polstermaterial, Gummi und Kunststoffstücken sowie verschiedene andere in Abhängigkeit von der Korngröße flugfähige organische und anorganische Materialien, ausgesondert und später der thermischen Behandlung zur energetischen Verwertung zugeführt. Eisen- bzw. ferritischer Stahl wird vom Nichteisenschrott über Magnetabscheider getrennt und in Stahlwerken eingesetzt. Das von den ferritischen Metallen getrennte NEM-Gemisch (Shredder-NE) wird in der Schwimm-Sink-Anlage und anschließend in

der Megasortanlage sortenrein getrennt. Dabei fallen hochwertige Sekundärrohstoffe für die Metallhüttenwerke an. In den Hüttenwerken entstehen daraus 100%ig „legierungstreue“ Metalllegierungen nach DIN- bzw. Werknormen, die eine Einstufung als Sekundärware nicht rechtfertigen.

Das sind erstklassige Metalle, die beliebig oft recycelt werden können.

Besondere Bedeutung für die Metallaufbereitung kommt einer in den USA entwickelten Trenntechnologie zu (Abb. 8).

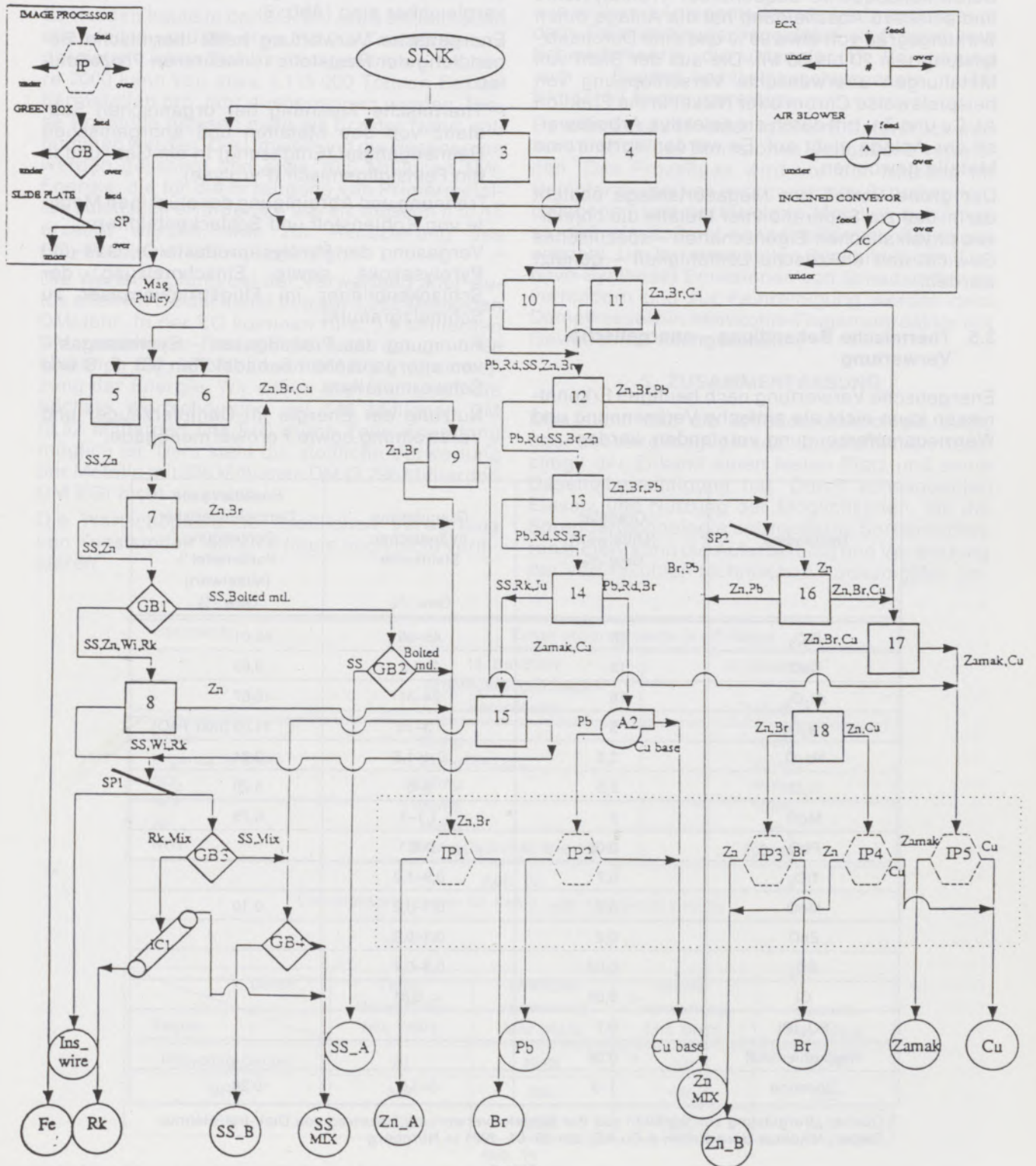


Abb. 8
Der Prozeß des Fullrecycling

DAS MEGASORTVERFAHREN

Die auf Basis der Induktionsgesetze arbeitende Megasortanlage ermöglicht unter Einsatz modernster Prozeßleit- und Steuerleitsysteme die großtechnische, sortenreine Separation aller Metalle und Metallegierungen.

Durch konsequente Sequenz der Trennsysteme und selektive Abscheidung hat die Anlage einen Wirkungsgrad von etwa 99% und eine Durchsatzleistung von 20 bis 30 t/h. Die aus der Sicht von Metallurgen unerwünschte Verschleppung von beispielsweise Chrom oder Nickel in die Fraktion Al, Cu und Zn, tritt durch die selektive Arbeitsweise der Anlage nicht auf. Es werden sortenreine Metalle gewonnen.

Der große Vorteil der Megasortanlage besteht darin, daß zur Separation der Metalle die objektiven physikalischen Eigenschaften – spezifisches Gewicht und elektrische Leitfähigkeit – genutzt werden.

3.5. Thermische Behandlung – energetische Verwertung

Energetische Verwertung nach heutigen Erkenntnissen kann nicht als einfache Verbrennung und Wärmedampferzeugung verstanden werden.

Thermische Behandlung erschließt dem stofflichen Recycling erweiterte Möglichkeiten. Aus Shredderleichtfraktion lassen sich durch thermische Behandlung weitere 5 bis 6% wertvolle Metalle, vor allem Aluminium, zurückgewinnen. Die mineralischen Inhaltsstoffe fallen als Schmelzgranulat an und haben Baustoffeigenschaften, die mit Naturgestein, z. B. Eifel-Lava, vergleichbar sind (Abb. 9).

Energetische Verwertung heißt thermische Behandlung der Reststoffe in mehreren Prozeßstufen:

- Thermische Trennung der organischen Substanz von den Metallen und anorganischen Beimengungen (Entgasung) in ein Gas- und in ein Feststoffgemisch (Pyrolyse).
- Trennung und Abreinigung der stückigen Metalle von Kohlenstoff und Schlackenbildnern.
- Vergasung der Pyrolyseprodukte Öl, Gas und Pyrolysekoks sowie Einschmelzung der Schlackenbildner im Flugstromvergaser zu Schmelzgranulat.
- Reinigung des Prozeßgases – Synthesegas – von anorganischen Schadstoffen (Cl, F, S und Schwermetallen).
- Nutzung der Energie im Dampferzeuger und Verstromung sowie Fernwärmeabgabe.

Bestandteil	Granulat (Mittelwert) Gew.-%	Granulataus inländischer Steinkohle Gew.-%	Basaltlava von Carmelenberg bei Ochtendung, Vordereifel ¹⁾ (Mittelwert) Gew.-%
SiO ₂	55	45–55	45,01
CaO	15	2–6,5	9,63
Al ₂ O ₃	16	24–31	18,67
Fe ₂ O ₃	5	3–10	11,03 (inkl. FeO)
Na ₂ O	3,5	0,4–1,5	3,24
K ₂ O	2,5	3–5	5,20
MgO	2	1,1–3	6,75
PbO	0,09	≤ 0,1	
TiO ₂	0,7	0,9–1,2	
MnO	0,2	0,1–0,2	0,10
ZnO	0,2	0,1–0,3	
SO ₃	0,02	0,3–0,7	
Cl	< 0,08	< 0,01	
PO ₄ (P)	0,7		
Restkohlenstoff	< 0,06		
Sonstige	1–3	3–3,5	0,28

¹⁾ Quelle: „Verglasung von Abfällen aus der Reststoffverwertung“, Vortrag von Dipl.-Ing. Helmut Pieper, Nikolaus Sorg GmbH & Co KG, am 26. 01. 1991 in Nürnberg

Abb. 9

Hauptbestandteile des Schmelzgranulates und der Eifel-Lava

Energie aus einem Heizkraftwerk nach der 17. BImSchV (17. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz) ist umweltfreundlicher als aus einer Kleinf Feuerungsanlage zur Gebäudeheizung mit Öl-Gas-Feuerung (Abb. 10).

3.6. Wertschöpfung (Abb. 11)

Es werden heute in der EG, bei etwa 8,5 Millionen alten Autos pro Jahr, etwa 550.000 Tonnen Sekundärmetalle (ohne Stahl) zurückgewonnen. Im Jahre 2000 kann von etwa 1,115.000 Tonnen Sekundärmetallen pro Jahr ausgegangen werden. Diese Rohstoffe müssen nicht als Erz der Natur entnommen werden. Die Umwelt und die Ressourcen werden geschont und etwa 10,5 Millionen NW-Energie, die für die Erzeugung von Primärmetallen zusätzlich erforderlich wären, müssen nicht erzeugt werden, was zur Reduzierung des CO₂-Problems weltweit beiträgt.

Die Wertschöpfung bei der Verwertung alter Autos allein in Deutschland beträgt 1,262 Milliarden DM/Jahr. In der EG kommen rund 5,5 Milliarden DM zusammen. Fast ein Sechstel davon – 186 Millionen DM, 800 Millionen DM EG – durch Nutzung der Energie. Wir sehen aber auch, daß die höchste Wertschöpfung mit 540 Millionen DM (2,32 Milliarden DM EG) durch Teileverwertung möglich ist. Dem steht die stoffliche Verwertung der Metalle mit 536 Millionen DM (2,296 Milliarden DM EG) nicht viel nach.

Die Wertschöpfung der stofflichen Verwertung von Kunststoffen läßt sich heute noch nicht verifizieren.

4. IMMISSIONSSCHUTZ

Schadstoffbeladene Abluft kann an der Anlage nur am Shredder auftreten, wo der Schrott aufgrund der hohen mechanischen Belastungen beim Zerkleinern erwärmt wird. Entstehende Dämpfe werden zum Inneren des Shredders hin abgesaugt und zusammen mit der Aspirationsluft aus anderen Anlagenteilen als Verbrennungsluft dem Dampferzeuger zugeführt und somit auf Schadstoffwerte, die unter der 17. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (17. BImSchV) liegen, gereinigt.

Da alle Gebäude unter leichtem Unterdruck stehen, sind diffuse Emissionen weitgehend vermieden. Das Prozeßgas wird vor der Nutzung im Dampferzeuger von anorganischen Schadstoffen, Halogenen und gasförmigen Metallen gereinigt, so daß ein äußerst schadstoffarmes Rauchgas entsteht. Um bei eventuellen Rückbildungen (Denovo-Synthese) Emissionen von Schadstoffen zu verhindern und zur Feinreinigung werden dem Dampfkessel ein Aktivkohle-Flugstromreaktor mit Gewebefilter nachgeschaltet.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Man sieht, daß die Shreddertechnologie auch, oder besser gesagt gerade, im „stofflichen Recycling“ der Zukunft einen festen Platz und seine Daseinsberechtigung hat. Durch konsequenten Einsatz und Nutzung der Möglichkeiten, die die Shreddertechnologie und moderne Sortierverfahren bieten, kann die Aufarbeitung und Verwertung der verbrauchten technischen Konsumgüter um-

Parameter	Emissionsgrenzwerte je m ³ Abgas	
	13. BImSchV Großfeuerungsanlagen- Verordnung	17. BImSchV 11% O ₂
Staub	50 mg	10 mg
organische Stoffe	20 mg (TA Luft)	10 mg
SO ₂	400 mg	50 mg
HCl	100 mg	10 mg
HF	15 mg	1 mg
NOx	200 mg (laut UMK-Beschluß)	200 mg

Abb. 10

Emissionsgrenzwerte für Kohle- und Abfallverbrennung

Durch Region	Teile- Verwertung Mio. DM/a	stoffliche Verwertung Mio. DM/a	therm. Verwertung Mio. DM/a	Gesamt Mio. DM/a
Recycling-Center	20	19,88	6,9	46,78
BRD	540	536	186	1262
EG	2320	2296	800	5417

Abb. 11

Recyclingkonzept für Altfahrzeuge
Wertschöpfung Mio. DM/a

weltschonend erfolgen. Kooperative Zusammenarbeit aller am Wirtschaftskreislauf Beteiligten und konsequente Einhaltung der aus unserem heutigen Wissensstand resultierenden Vorgaben sind unerläßliche Voraussetzungen.

Sachgerechtes Metallrecycling:

- es ist ein endloser Kreislauf der Metalle ohne Qualitätsverlust,
- reduziert die Gewinnung von Rohstoffen aus Gruben und Zechen (Schonung der Ressourcen),
- bringt Energieeinsparung bis zu 95%

und führt absolut zu einer Entlastung der Umwelt.

Bei allen, oft unsachlich geführten Diskussionen um das Auto kann festgehalten werden: Den erreichten Lebensstandard wird „niemand von uns“ aufgeben wollen. Es muß also weiter produziert werden.

Allerdings, so „einfach“ wie Metallrecycling ist die stoffliche Verwertung von Gummi, Kunststoff und (bedingt) Glas leider nicht. Natürlich kann auch Kunststoff recycelt werden. Die verschiedenen Kunststoffarten müssen jedoch überwiegend manuell sortenrein sortiert sein. Und dann? Auch diese Teile müssen in einem Shredder zerkleinert werden. Und es werden trotzdem etwa 2 bis 4% Reststoffe entstehen.

Das gewonnene Regranulat – natürlich auch die aussortierten Teile – muß mit hohem Aufwand auf Schadstoffe untersucht werden. Die technologischen Eigenschaften wie Schlagzähigkeit, Dehnung, Druck- und Zugfestigkeit der aus Sekundärkunststoff gefertigten Teile sind wesentlich intensiver im Werkstofflabor zu prüfen, als Teile aus Primärmaterialien. Das alles ist als Beitrag zum Umweltschutz sinnvoll und berechtigt. Wie ist die Verwertbarkeit der zweiten und dritten Generation der Kunststoffe und wie ist die Ökobilanz?

Viele Recyclingverfahren für Kunststoffe erfordern einen höheren Energieaufwand – Reinigen, Zerkleinern und Homogenisieren im Extruder usw. – als neue Kunststoffe. Natürlich ohne die im Material „konservierte“ Energie. Diese wird jedoch bei thermischer Nutzung zurückgewonnen.

Energieverbrauch heißt aber Umweltbelastung; und die wollen wir doch gerade vermeiden!

Nun zu den Schadstoffen, z. B. PCB! Es gibt den Entwurf*) der – TA Abfall, Teil 2, wo für Stoffe, die beim stofflichen Recycling gewonnen werden, ein PCB-Gehalt unter der Nachweisgrenze vorgeschrieben wird.

Wir wissen alle, daß es praktisch keinen Kunststoff oder Elastomere ohne Additive, wie Stabilisatoren usw. gibt. Auch die Empfehlungen, besonders schadstoffhaltige Teile vor dem Shreddern zu demontieren, damit ein „deponiefähiger“ Reststoff anfällt, sind unlogisch. Shredderleicht-

fraktion hat mindestens 50% organische Anteile – ist das „deponiefähig“?

Außerdem, was geschieht mit den „besonders schadstoffhaltigen Teilen“? Wollen wir die auch deponieren und Altlasten von morgen schaffen?

Was spricht gegen die thermische Behandlung und Verwertung der Shredderleichtfraktion? Wir wissen, daß organische Verbindungen jeder Art bei entsprechenden Temperaturen restlos zerstört werden (Schadstoffsenske!). Und wir haben zweckmäßige Verfahren und Anlagen zur thermischen Behandlung und Verwertung von energiereichen Reststoffen, wie sie bei der Verwertung von alten Autos und anderen technischen Konsumgütern anfallen!

Verfahren, die in Demonstrationsanlagen mehrfach ihre Funktionsfähigkeit erbracht haben und großtechnisch einsetzbar sind. Die meisten Anlagenkomponenten (Schmelzvergaser, Wäscher, Gewebefilter und Dampferzeuger) sind seit Jahren in Kraftwerken und Industrieanlagen in Betrieb und haben sich bewährt.

Was wir brauchen, sind kompakte Anlagen unmittelbar beim Shredder, mit einer Durchsatzleistung von max. 3 bis 4 Mg/h SLF und Verbraucher mit einem Wärmebedarf an Heiz- oder Prozeßwärme von 10 bis 15 MW, das sind 500 bis 1000 Wohnungen im näheren Umkreis.

Wir brauchen keine Großanlagen mit weit über 100.000 Mg Jahresdurchsatz, die keine Nutzungsmöglichkeit für die frei werdende Wärmeenergie haben, und bei denen das gesamte Einsatzmaterial über große Strecken abtransportiert werden muß. Vor allem brauchen wir jedoch Vernunft und Augenmaß, damit die Akzeptanz in der Öffentlichkeit und Kompetenz bei den Behörden und beim Gesetzgeber gegeben ist.

Akzeptanz soll aber nicht heißen: Tolerieren, Ertragen, Hinnehmen, nein, Akzeptanz heißt nach sorgfältiger Information und objektiver Bewertung aller Fakten: Entscheiden. Nicht dem Ansinnen einiger Demagogen sollten wir folgen, die oft wider besseres Wissen mit unsachlichen Argumenten die Öffentlichkeit verunsichern wollen, und die das bei rund 10% unserer Mitbürger auch erreichen.

- Fachleute aus Wissenschaft und Industrie, Chemiker, Physiker und Ingenieure müssen geradlinig über die chemisch-physikalischen Zusammenhänge informieren und die Sachzwänge aufzeigen, ohne Selbstdarstellungsbedürfnis und Wettbewerbsdenken.
- Verwaltungen und Gesetzgeber müssen global denken und urteilen lernen, ihre fachliche Kompetenz der Öffentlichkeit und dem Bürger auch vermitteln, sachlich aufklären und entscheiden.
- Öffentlichkeit und Bürger müssen ohne St.-Florians-Denken sachlichen Fakten zugänglich sein.

Wir haben alle „nur die eine“ gemeinsame Umwelt.

*) Anmerkung: Der Entwurf ist inzwischen vom BMU zurückgezogen worden.

Automobil-Recycling – heute und morgen

H. A. Franze, München*)

Eine sich nicht nur in Deutschland zuspitzende Situation der Abfallentsorgung sowie zusätzlich wachsende Umweltprobleme machen den sparsamen Umgang mit Ressourcen sowie deren effiziente Nutzung dringend erforderlich. Hierzu sind konzentrierte Anstrengungen zur Vermeidung und ökologisch-ökonomisch sinnvollen Rückführung von Altmaterialien und Reststoffen in geeignete Stoffkreisläufe vorzunehmen. Unter diesen Rahmenbedingungen und angesichts der lebenszyklusbezogenen Gesamtproduktverantwortung hat die deut-

sche Automobilindustrie zusammen mit Vertretern involvierter Industriebranchen ein Konzept zur zukünftigen Altautoverwertung erarbeitet. Die zweite Dimension des Fahrzeug-Recyclings nehmen die Entwicklung und Herstellung umweltverträglicher und recyclingfreundlicher Neufahrzeuge ein. Eine demontagegerechte Konstruktion sowie die Auswahl wirtschaftlich wiederverwertbarer Materialien stellen hierbei Schlüsselaufgaben dar.

Automobile Recycling – Today and Tomorrow

The problems with depositing waste together with the environmental problems are slowly coming to a head. This situation urges a policy towards cutting back on, and more efficient use of, natural resources. In this case there is a need to concentrate, and try harder, to eliminate, and when possible, recycle materials appropriately. With this and the product life cycle in mind, a concept covering the recycling of old vehicles has

been proposed by the German automobile industry together with the representatives of other industrial branches involved. The second dimension of automobile recycling has led to the development and manufacture of new automobiles which are environment friendly and safe to recycle. The key tasks are to design an easily stripable construction and select economic recyclable materials.

Les recyclage dans le domaine de l'automobile, aujourd'hui et demain

Le problème de l'élimination des déchets devenant en Allemagne de plus en plus aigü, ainsi que l'aggravation d'autres problèmes de l'environnement qui s'y ajoutent, appellent la nécessité urgente d'une utilisation économique des ressources et leur exploitation plus efficace. A cet effet on doit faire des efforts concertés pour éviter les erreurs et pour favoriser un retour écologique-économique sensé des vieux matériaux et des produits résiduels dans des circuits de matériaux appropriés. Dans ce cadre d'idées et compte tenu de la responsabilité de l'ensemble de la production, du point de vue

du cycle de vie, l'industrie automobile allemande a mis au point, ensemble avec les représentants des branches d'industries annexes, un plan pour une utilisation future des vieilles automobiles. La seconde dimension du recyclage des voitures se rapporte au développement et à la fabrication de nouvelles automobiles, plus supportables pour l'environnement, et plus facilement recyclables. Une construction favorisant le démontage ainsi que le choix de matériaux économiquement réutilisables sont questions clés dans ce domaine.

1. EINLEITUNG

Deutlicher denn je zeigen sich seit einigen Jahren die fatalen Folgen des Mißbrauches von Natur und Umwelt. Mit der ökologischen Misere wächst aber auch die Sensibilität der Menschen für Umweltbelange. Dabei gerät nicht zuletzt das Automobil ins Kreuzfeuer der Kritik: Lärm, Schadstoff-erzeugung, Verkehrsinfarkt, Ressourcenmißbrauch und eine umweltbelastende Altfahrzeug-Entsorgung stehen im Mittelpunkt der Diskussionen.

Derzeit werden in Westeuropa jährlich ca. 8 Mio. Altfahrzeuge verschrottet. Für Deutschland beträgt diese Zahl heute ca. 2,5 Mio. und steigt bis

zum Jahr 2000 auf über 3 Mio. Altfahrzeuge. Die bei der herkömmlichen Altautoverschrottung anfallenden Shredderrückstände belaufen sich in Deutschland momentan auf ca. 450.000 t/a, was einem Anteil von ca. 1,5% am gesamten Hausmüllaufkommen entspricht. In Westeuropa fallen jährlich knapp 2 Mio. Tonnen Shredderrückstände an.

Bis zum heutigen Tage werden diese Shredderrückstände überwiegend deponiert. Die begrenzten Deponieräume nehmen jedoch in Zukunft stark ab. Aufgrund steigender Kunststoffanteile und eines wachsenden Altfahrzeugaufkommens würden die Shredderrückstände bei der herkömmlichen Altautoentsorgung in den nächsten Jahren aber weiterhin zunehmen. Darüber hinaus werden z. B. durch Betriebsstoffe und andere Medien mehr oder weniger stark verunreinigte Shredderrückstände als Sondermüll eingestuft.

*) Dr.-Ing. H. A. Franze, BMW AG, Petuelring 130, Postfach 40 02 40, D-4000 München 40

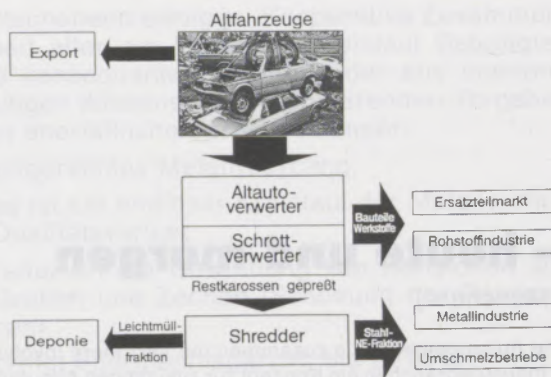


Abb. 1
Altfahrzeug-Entsorgung: Ist-Stand

Neben drastisch ansteigenden Deponierungs- bzw. Entsorgungskosten hat all dies eine, wenn auch relativ gesehen, geringe, weitere Umweltbelastung zur Konsequenz. Darüber hinaus werden aber auch noch wertvolle Ressourcen vergeudet, die bei der herkömmlichen Altfahrzeug-Entsorgung nur deponiert werden (Abb. 1).

Unter Berücksichtigung der Gesamtverantwortung, die ein Automobilhersteller für seine Fahrzeuge wahrzunehmen hat, kommt der Umweltverträglichkeit während des gesamten Produktlebenszyklusses eine immer größere Bedeutung zu. Dies beginnt beim sparsamen und effizienten Einsatz von Rohstoffen und Energien und geht bis hin zum möglichst vollständigen stofflichen Recycling der Bauteile und Materialien. Gleichzeitig steigt im Umfeld das Umweltbewußtsein in Öffentlichkeit und Politik stark an und nehmen die Umweltprobleme weiterhin zu.

Unter all diesen zuvor genannten Aspekten stellen sich für die Automobilhersteller und alle involvierten Branchen mit dem Fahrzeug-Recycling zwei zusätzliche komplexe Herausforderungen mit mannigfaltigen Aufgaben: Eine umweltfreundliche, technisch-wirtschaftlich machbare sowie möglichst vollständige stoffliche Wiederverwertung der heutigen Altfahrzeuge und gleichzeitig eine noch recyclingfreundlichere Entwicklung von zukünftigen Neufahrzeugen.

2. RECYCLING VON ALTFAHRZEUGEN

In Zusammenarbeit mit den anderen deutschen Automobilherstellern sowie involvierten Partnern aus der Zuliefer- und Rohstoffindustrie hat BMW ein ganzheitliches Konzept für die zukünftige Rücknahme und Verwertung von Altfahrzeugen entwickelt. Die übergeordneten Ziele dieses Konzeptes sind:

- (1) Erhöhung der stofflichen Wiederverwertung heutiger Altfahrzeuge:
 - Einführung praxistauglicher Methoden/Technologien zur effizienten Demontage

wiederverwendbarer und wiederverwertbarer Bauteile.

- Schaffung neuer Materialkreisläufe für technisch-wirtschaftlich wiederverwendbare und wiederverwertbare Werkstoffe/Bauteile.
- Erhöhte Nutzung und Wiederverwendung demontierter und wiederaufbereiteter/instandgesetzter Bauteile.

- (2) Vermeidung und Verminderung von Reststoffen bei Neufahrzeugen:

- Recyclinggerechte Materialauswahl und Bauteilkonstruktion.
- Anwendung eines einheitlichen Kennzeichnungssystems für Kunststoffe und andere sortenrein wiederverwertbare Materialien.
- Reduzierung von Verbundkonstruktionen, die aus unverträglichen und/oder schwer trennbaren Materialien bestehen.
- Reduzierung der Material-Sortenvielfalt.
- Förderung und Entwicklung umweltverträglicher und technisch-wirtschaftlich optimierter Verfahren zur Verwertung von nicht wirtschaftlich rezyklierbaren Verbunden, Mischwerkstoffen und Reststoffen (chemisches Recycling/energetische Nutzung).

Dieses Konzept berücksichtigt auch die Vorgaben einer zukunftsorientierten Abfallwirtschaft im Sinne der Reihenfolge Vermeiden, Vermindern, Verwerten und Entsorgen. Dabei stehen die Wiederverwendung von Bauteilen und die stoffliche Wiederverwertung von Materialien vor der energetischen Nutzung von Reststoffen!

Das Konzept zur zukünftigen Altautoverwertung soll nach der folgenden Vorgehensweise in die Praxis umgesetzt werden:

- Schaffung eines flächendeckenden Netzes von Verwertungsbetrieben, die die behördlichen Auflagen erfüllen und vom Fahrzeughersteller/Importeur ausgewählt und benannt sind.
- Sicherstellung der Zuführung der Altautos zu einer geordneten umweltfreundlichen Verwertung in den durch die Hersteller/Importeure beauftragten Betrieben durch Einführung eines sogenannten Verwertungsnachweises. Dieser ermöglicht erst die endgültige Stilllegung des Fahrzeuges.
- Entwicklung, Aufbau und Betrieb von Musterdemontageanlagen, z. B. zur Erarbeitung geeigneter Methoden und Techniken zur Betriebsstoffentnahme und Altfahrzeugdemontage.
- Verringerung der Shredderrückstände, insbesondere durch den Aufbau von Materialkreisläufen und Verwertungsprozessen.
- Recyclinggerechte Konstruktion von Neufahrzeugen.
- Freie Preisbildung an allen Schnittstellen der zukünftigen Altfahrzeug-Verwertungsstruktur; insbesondere zwischen Fahrzeugletzbesitzer

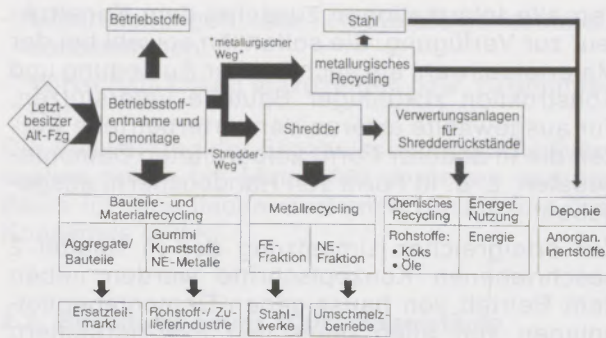


Abb. 2
Altfahrzeug-Recycling: Konzept der deutschen Automobilindustrie (Bausteine und Materialströme)

und Verwerterbetrieb wird ein Restwert in Abhängigkeit vom Zustand des Altfahrzeuges aus gehandelt.

Die einzelnen Konzeptbausteine bzw. -elemente mit den dazugehörigen Materialströmen sind in Abb. 2 dargestellt.

Gegenüber der bisherigen Altfahrzeug-Entsorgung (Abb. 1) weist das neue Konzept zwei wesentliche neue technische Elemente auf (1). Zum einen die vor den Shredderprozeß geschaltete Betriebsstoffentnahme und Demontage der Altfahrzeuge und zum anderen die Verwertung der durch die Demontage in stark vermindertem Umfang anfallenden Shredderrückstände. Parallel zu diesem sogenannten „Shredderweg“ werden die Möglichkeiten für ein sogenanntes „metallurgisches Recycling“ (2) geprüft. Hierbei wird nach ebenfalls vorgenommener Betriebsstoffentnahme und Vordemontage, insbesondere bestimmter Nichteisenmetalle enthaltender Komponenten, die anschließend gepreßte Altkarosse einem Schmelzaggregat zugeführt. Die enthaltenen organischen Bestandteile werden energetisch genutzt und der Rest zur Erzeugung von „baustahlähnlichen“ Qualitäten verwendet. Mit dieser Methode könnte ein komplettes Glied der konventionellen Verwertungskette, nämlich der erst in den sechziger Jahren stark aufgekommene Shredder, eingespart werden.

Der gedankliche Hintergrund bzw. die Philosophie, die hinter dem zukünftigen Konzept steht, ist dem von uns entwickelten „Kaskadenmodell“ zu entnehmen (Abb. 3) (3). Sowohl die Motivation als auch die konzeptionelle Vorgehensweise zur Umsetzung einer möglichst umweltfreundlichen Wiederverwertung von Altfahrzeugen werden hiermit beschrieben. Dem sparsamen Einsatz und der effizienten Nutzung wertvoller Ressourcen kommen hierbei eine besondere Bedeutung zu.

Als Ausgangsidee steht die möglichst vollständige stoffliche Wiederverwertung von Bauteilen bzw. Materialien auf der höchstmöglichen funktionalen/wirtschaftlichen Wertigkeitsstufe. Dies bedeutet, daß in Abhängigkeit von der Marktfähig-

keit von Austauschteilen und von Recyclingwerkstoffen bzw. Sekundärrohstoffen jeweils eine entsprechende Vordemontage der Altfahrzeuge durchgeführt werden muß. Erst wenn sämtliche Potentiale des stofflichen Recyclings, d. h. des Bauteil-, Material- und chemischen Recyclings (z. B. Hydrolyse oder Pyrolyse) ökologisch und ökonomisch sinnvoll ausgeschöpft sind, sollte der verbleibende Umfang an Reststoffen energetisch genutzt werden.

Bei der Realisierung des zukünftigen Altfahrzeug-Verwertungskonzeptes ergeben sich drei übergeordnete Aufgabenkomplexe bzw. Arbeitsschwerpunkte, an denen momentan intensiv gearbeitet wird:

- (1) Dezentrale Betriebsstoffentnahme und Demontage der Altfahrzeuge in Pilotanlagen sowie bei ausgewählten Verwerterbetrieben.
- (2) Schaffung von überwiegend neuen Materialkreisläufen, insbesondere für Kunststoffe, Elastomere und Glas. Dies schließt die Etablierung der erforderlichen Aufbereitungsanlagen für gebrauchte Kunststoffe und Elastomere sowie der insgesamt neu aufzubauenenden Logistik- und Abnehmerstrukturen mit ein.
- (3) Auswahl, Entwicklung und Etablierung geeigneter Verfahren und Technologien zum Aufbereiten von Recyclingwerkstoffen und zum Verwerten von Reststoffen.

2.1. Betriebsstoffentnahme und Demontage von Altfahrzeugen

Um für beide Dimensionen des Fahrzeug-Recyclings, d. h. sowohl die Altfahrzeugverwertung als auch die Neufahrzeugentwicklung das erforderliche Basis-Know-how zu erarbeiten, startete BMW im Juni 1990 als erster Automobilhersteller der Welt auf eigenem Werksgelände in Landshut eine Pilotdemontageanlage. Die wesentlichen Ziele dieses umfassenden Projektes sind neben der Erarbeitung von spezifischen Techniken zur wirt-



Abb. 3
BMW-Recycling-Kaskadenmodell

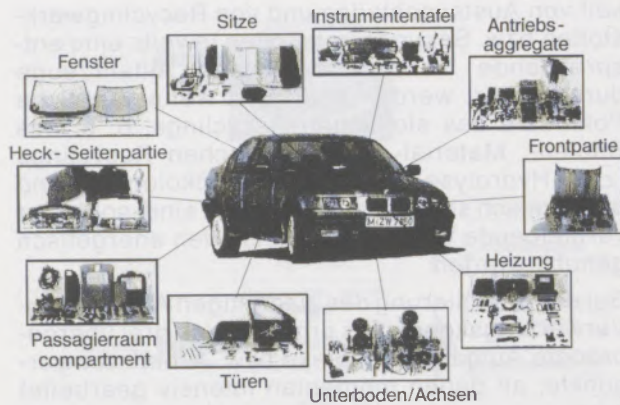


Abb. 4
Altfahrzeug-Demontage: Modulzerlegung

schaftlichen Demontage von Bauteilen und zur Entnahme von Betriebsstoffen auch die Ermittlung typbezogener Demontageumfänge, Zerlegegrade usw. Das zweite Hauptziel stellt die Beeinflussung der Konzeption und Entwicklung von Neufahrzeugen dar.

Zur systematischen Ermittlung und Auswertung von modell- und bauteilspezifischen Demontage-daten haben wir sogenannte Modulzerlegungen eingeführt (4). Am Beispiel des aktuellen 3er BMW ist dies in Abb. 4 dargestellt. Die Ermittlung von Ausbaueiten, Ausbauwerkzeugen, Werkstoffen, Gewichten, Verbindungstechniken usw. dient insbesondere zu Konstruktions- und Werkstoffanalysen von funktionalen Baugruppen. Aus diesen Modulzerlegungen wurden sogenannte „Teilebaum“-Systeme entwickelt, die darüber Auskunft geben sollen, wie einzelne Module in welcher Reihenfolge zerlegt werden (Abb. 5). Wichtige Informationen, die dieser Darstellungsform entnommen werden können, sind zum einen die Zerlegungstiefe, d. h. der jeweils sinnvolle Zerlegegrad in stofflich wiederverwertbare Bauteile bzw. Materialien. Zum anderen die Auswahl optimaler Verbundkonstruktionen und Verbindungstechniken für zukünftige Fahrzeuggenerationen.

Ein weiteres Instrument zum effizienten Altfahrzeug-Recycling, das wir in unserer Landshuter Pilotdemontage entwickelt haben, ist die computergestützte Recycling-Datenbank „CAR“. Mit ihrer Hilfe wird zunächst eine umfassende Strukturierung und Verarbeitung aller Demontage- und Werkstoffinformationen vorgenommen. Damit sind derzeit alle notwendigen Daten zum Recyceln eines Altfahrzeuges an jedem Ort, an dem sie benötigt werden, abrufbar. Nach Aufruf eines benötigten Bauteiles ermöglicht ein speziell definiertes Suchkriterium die Ausgabe aller relevanten Informationen über ein bestimmtes Einzelteil, eine Baugruppe oder eine bestimmte Werkstoffklasse bzw. bestimmte Einzelwerkstoffe. Nach einer benutzergerechten Datenaufbereitung ste-

hen alle Informationen zunächst dem Konstrukteur zur Verfügung. Sie sollen ihn sowohl bei der Materialauswahl als auch bei der Auslegung und Konstruktion zukünftiger Bauteile unterstützen. Für ausgewählte externe Verwerterbetriebe werden die in anderer Form aufbereiteten Demontagedaten, z. B. in Form von Handbüchern, ausgegeben.

Zur erfolgreichen Umsetzung der in Kapitel 2 beschriebenen Konzeptschritte wurden neben dem Betrieb von hauseigenen Demontagepilotanlagen von allen deutschen Pkw-Herstellern Autoverwerterbetriebe zu Pilotversuchen ausgewählt. Diese entnehmen zusätzlich zu ihren bisherigen Verwertungsumfängen sämtliche Betriebsstoffe und demontieren vorgegebene Bauteile aus Kunststoffen und Glas, lagern diese sortenrein und geben sie vereinbarungsgemäß an entsprechende Zulieferbetriebe, Rohstoffhersteller und Aufbereitungsfirmen ab.

Für diesen 1991 von der deutschen Automobilindustrie initiierten, zeitlich befristeten Großversuch mit ausgewählten Autoverwerterbetrieben wurden von allen Herstellern Informationen über Umfang und Material der zu demontierenden Teile zur Verfügung gestellt. Parallel dazu wurden Abnahmevereinbarungen für bestimmte gesammelte und sortierte Kunststoff- und Glasumfänge mit entsprechenden Rohstoff- und Zulieferfirmen getroffen.

Ziel dieses Großversuches ist es, unter Praxisbedingungen die

- Techniken und Zeiten für die Betriebsstoffentnahme und Demontage ausgewählter Bauteile verschiedener Baureihen und Fabrikate zu ermitteln,
- Abnehmerlogistik für die demontierten Bauteile und Materialien aufzubauen,
- Mengen für die Erprobung von großtechnischen Verfahren zur Wiederaufbereitung von Materialien bereitstellen zu können,

Modul Vordersitz E 34

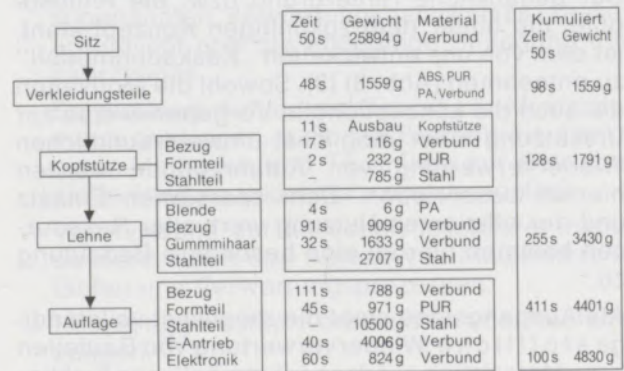


Abb. 5
Altfahrzeugdemontage: Teilebaumsystem

- Untersuchungen der Recyclateigenschaften vorzunehmen,
- Wirtschaftlichkeit aufzuzeigen bzw. zu optimieren.

Die Auswertung der Ergebnisse dieses Großversuches sollen bis Mitte 1992 vorliegen und die Basis für eine flächendeckende Umsetzung des Konzeptes bilden.

2.2. Schaffung neuer Materialkreisläufe

Zur besseren Ausschöpfung wertvoller Ressourcen in Altfahrzeugen und damit auch gleichzeitig der Verringerung von Shredderrückständen stellt die Schaffung neuer Materialkreisläufe eine Schlüsselaufgabe innerhalb des neuen Altfahrzeug-Verwertungskonzeptes dar. Eine gesamt-haftte Prinzipdarstellung zum Material-Recycling zeigt Abb. 6.

Insbesondere für Kunststoffe, gewisse Glasumfänge (Scheiben) und Altreifen wird schon in naher Zukunft das Demontieren, Trennen und sortenreine Sammeln unter Nutzung vorhandener Aufbereitungsverfahren zur Erzeugung neuer Sekundärrohstoffe führen. Die entsprechenden dezentralen Aufbereitungsanlagen und Kapazitäten sind momentan noch nicht im erforderlichen Umfang vorhanden. Abgesehen vom Trennaufwand der Altmaterialien ist auch noch ein entsprechender Sortier-, Sammel- und Transportaufwand aufzubringen. Hierfür sind entsprechende Logistikstrukturen aufzubauen.

Aus heutiger Sicht stellt sowohl aus wirtschaftlichen als auch aus branchen- bzw. firmenstrategischen Gründen die Konkurrenzfähigkeit von Sekundärmaterialien – außer bei einigen Metallen – ein Problem dar. Um aus ökonomischer Sicht neue Materialkreisläufe schaffen zu können, muß dem zusätzlichen Aufwand für Demontage, Aufbereitung und Logistik zur Sekundärrohstoff-Erzeugung der Entsorgungskostenaufwand für Nicht-Recycling gegenübergestellt werden. Zusätzlich mit der entsprechenden ökologischen Motivation sieht dann die Wettbewerbssituation

von Primär- und Sekundärrohstoffen (Recyclaten, Regeneraten) für viele Werkstoffe besser aus. Hiermit kann auch entsprechenden gesetzgeberischen Maßnahmen, die derzeit nicht nur in Deutschland diskutiert werden (sogenannte „Verwertungsquoten“), rechtzeitig begegnet werden.

Ein eher technisches, aber dennoch generelles Problem bei der Schaffung neuer Materialkreisläufe stellt das zum Teil verunreinigte und insbesondere im Hinblick auf die Zusammensetzung nicht homogen und reproduzierbar anfallende Material aus Altfahrzeugen dar. Dies erfordert einen relativ hohen Prüf- und Spezifizieraufwand im Hinblick auf die in aller Regel hohen geforderten Qualitäten für Recyclingwerkstoffe (Recyclate, Regenerate), die wieder in Fahrzeugbauteilen eingesetzt werden sollen. Dies wird in vielen Fällen nur durch Zumischen zu Neumaterial möglich sein. Sowohl aus technischen als auch aus wirtschaftlichen Gründen wird deshalb beim zukünftigen Material-Recycling auch ein beträchtlicher Umfang der Altfahrzeugmaterialien in Nichtfahrzeuganwendungen gehen. Hier bieten sich im weitesten Sinne die Baubranche und mit ihr verbundene Industriezweige an.

2.3. Chemisches Recycling und energetische Nutzung

Während bei den Aufbereitungsverfahren für Recyclingwerkstoffe – wie eben bereits aufgezeigt – in erster Linie die Wirtschaftlichkeit das Hauptproblem darstellt, kommen beim chemischen Recycling und der thermischen/energetischen Reststoffverwertung noch weitere gewichtige Schwierigkeiten hinzu. Zum einen sind die meisten der in Frage kommenden Verfahren im großtechnischen Maßstab noch nicht ausgereift, sondern befinden sich erst in der Pilotphase. Dies liegt teilweise auch am eigentlichen Problem: Die in vielen europäischen Ländern langwierige und umständliche Genehmigungspraxis sowie die nicht vorhandene Akzeptanz in der Öffentlichkeit. Diese wird den entsprechenden Verfahren aus zumeist irrationalen und emotionalen Beweggründen heraus verwehrt.

Die heute deponierten Shredderrückstände bestehen zu ca. 35% aus Kunststoffen, Textilien und anderen organischen Verbindungen, zu ca. einem Viertel aus Gummi bzw. Elastomeren und die restlichen 35 bis 45% aus Glas, Rost, Schmutz und anderen anorganischen Inertstoffen.

Dieser Reststoffanteil an Altfahrzeugen, derzeit ca. 20 bis 25% Gew.-%, soll zukünftig stark verringert (mindestens halbiert) und der zu deponierende Anteil sukzessive auf Null reduziert werden. Allerdings wird es Fakt bleiben, daß zumindest bei Großserienfahrzeugen immer ein thermisch zu behandelnder Umfang an Reststoffen verbleiben wird. Allein aus physikalisch-chemischen Gründen stellen derartige Verfahren zur Volumenreduzierung der Abfallreststoffe sowie zur

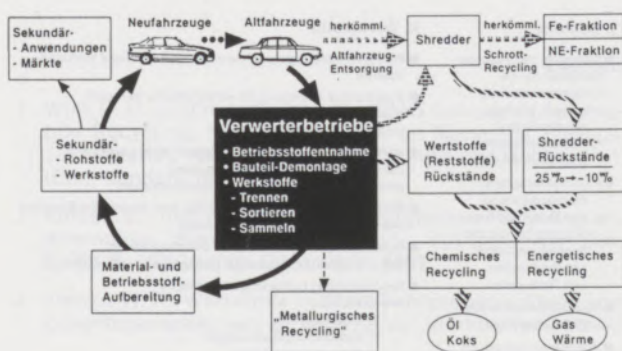


Abb. 6

Fahrzeug-Recycling: Materialkreisläufe

Kriterien	geeignet für	Umweltverträglichkeit	Wirtschaftlichkeit	Techn. Entwicklungsstand 1= Labor, 2= Pilot, 3= Großtechn.	Potential zur Shredder-rückstandsverwertung
Umechmelzen (Material-Recycling)	Sortenreine Thermoplaste (Produktions-Recycling)	+	+	3	-
Hydrolyse	PUR, PA, PC PETP/PBTP	+	+	2	-
Hydrierung	gemischte Kunststoffabfälle	+	-	2	-/0
Pyrolyse - Wirbelschicht - Drehrohrofen	" , Altrefien " , Elektronikmüll	-	0	1	-
Schweißbrennverfahren	spezifischer Sondermüll	+	0	2	+
Niedertemperaturkonvertierung (NTK)	Hausmüll	+	-	2	0

Legende: + = gut 0 = verbesserungsbedürftig - = schlecht

Abb. 7

Chemisches Recycling: Verfahrensvergleich – Grobbewertung

Eliminierung und Mineralisierung eventuell noch enthaltener Schadstoffe in absehbarer Zeit die einzige Möglichkeit dar. Der Auswahl und insbesondere der Durchsetzung/Etablierung sowohl ökologisch als auch ökonomisch geeigneter thermischer Verfahren, möglichst in Kombination mit einem chemischen Recyclingverfahren, kommt derzeit vor allem in Deutschland eine besondere Bedeutung zu.

Einen Überblick über die momentan diskutierten Verfahren zum chemischen Recycling zusammen mit einer ökologisch-technisch-wirtschaftlichen Grobgesamtbewertung gibt Abb. 7 wieder. Hieraus ist zu entnehmen, daß insbesondere für die Shreddermüllverwertung aus heutiger Sicht bei einer Gesamtbetrachtung, d. h. der Berücksichtigung möglichst aller relevanten Kriterien, die Drehrohrofen-Pyrolyse und das Schweißbrennverfahren am geeignetsten erscheinen.

3. ENTWICKLUNG VON NEUFahrZEUGEN

Bei der zweiten Dimension des Fahrzeug-Recyclings geht es um die recyclingfreundliche Entwicklung zukünftiger Fahrzeuggenerationen. In bezug auf das zukünftige Verwertungskonzept soll zum einen die Demontage marktfähiger Bauteile und Materialien durch entsprechende konstruktive Maßnahmen erleichtert werden. Einen Überblick über Maßnahmen für eine recyclinggerechte Konstruktion gibt Abb. 8 wieder. Die Schlüsselrolle nimmt hierbei eine sowohl montage- als auch gleichzeitig demontagegerechte Verbindungstechnik ein. Zum anderen sollen die Bauteile selbst aus möglichst sortenreinen, gut stofflich wiederverwertbaren Materialien bestehen. Wenn aus technisch-funktionalen Gründen Verbundkonstruktionen und eventuell sogar Werkstoffverbunde erforderlich sind, sollten diese aus kompatiblen oder leicht trennbaren Einzelwerkstoffen bestehen.

Die beiden wesentlichen Elemente einer recyclingfreundlichen Fahrzeugentwicklung stellen also eine demontagegerechte Konstruktion sowie

eine verwertungsgerechte (stofflich!) Werkstoffauswahl dar. Hierbei sollten folgende Schwerpunkte beachtet werden:

- ein möglichst hoher Grad an stofflich wiederverwertbaren Materialien;
- die Vermeidung von umweltproblematischen Werkstoffen, Verarbeitungs- und Zusatzhilfsstoffen, auch innerhalb des Bauteilherstellungsprozesses;
- eine Verringerung der unterschiedlichen Kunststoffsorten und z. B. bei Aluminium der Legierungsvielfalt;
- die möglichst umfassende systematische Kennzeichnung aller erforderlichen Werkstoffe, insbesondere der Polymerwerkstoffe;
- die Vermeidung schwer trennbarer Verbunde aus unterschiedlichen bzw. unverträglichen Einzelwerkstoffen.

Der Fahrzeugkonstrukteur, der all diese Forderungen und Maßnahmen entsprechend zu berücksichtigen hat, sieht sich damit allerdings einer Vielzahl neuer und zusätzlicher Zielkonflikte ausgesetzt. Die möglichst gleichzeitige und vollständige Berücksichtigung der bisherigen Topkriterien der Fahrzeugentwicklung, nämlich Qualität, Funktionalität, Leichtbau und Kosten, ist bereits heute bei vielen Bauteilen sehr schwer zu erfüllen. Einen ganz wichtigen Punkt zur Eingliederung und Berücksichtigung der Recyclinganforderungen innerhalb dieser Topkriterien stellt die Erarbeitung und Verwendung von einheitlichen quantitativen Kriterien zur Beschreibung der Rezyklierbarkeit von Bauteilen und Fahrzeugen dar. Im Hinblick auf eine möglichst praxisgerechte und einfache Handhabung haben wir uns auf die Kriterien „Problemstoffanteil“, „Recyclingquote“ und „Material-Kreislaufeignung“ beschränkt.

Mit Hilfe dieser drei Hauptkriterien wurde eine interne Bewertungsmatrix zur bauteilbezogenen Klassifizierung der Rezyklierbarkeit erarbeitet (BMW NORM 11399.0). Sie soll es ermöglichen, sowohl eine Bestandsaufnahme der bisher entwickelten Bauteile als auch eine vergleichende Bewertung und Anwen-

I. Bauteile

- Geeignete Verbindungstechniken für die
 - Demontierbarkeit: einfach, schnell, zerstörungsfrei
 - Remontierbarkeit: reparaturfreundlich
- Prüf-/Sortierbarkeit: Standardisierung von Teilen und Baugruppen mit gleicher Funktion in Aufbau, Anschlußmaßen und Werkstoffen
- Verschleißminimierung und -Erkennbarkeit
- Korrosionsvermeidung

II. Werkstoffe

- Wiederverwendungs- und -verwertungsfreundliche Werkstoffauswahl
- Konstruktive Auslegung für wirtschaftliche Werkstoffwiederverwertung
Idealziel: „Einwerkstoff-Konzept“
- Werkstoff-Verträglichkeit untrennbarer Materialverbunde
Ziel: Wirtschaftliche Wiederverwertung
Hilfsmittel: „Werkstoff-Verträglichkeitsmatrizen“
- Werkstoff-Trennbarkeit in kompatible bzw. sortenreine Einheiten
→ Modul- bzw. Differentialbauweise
- Gute Zugänglichkeit und leichte Demontierbarkeit
→ z. B. einfache Werkzeuge, geringe Personalqualifikation
- Kennzeichnung hochwertiger Werkstoffe
→ Zuordnung
 - Stoffgruppe
 - Aufbereitungstechnologie
 - Verwertungsverfahren

Abb. 8

Recyclinggerechte Konstruktion – Maßnahmen

„Rezyklierbarkeit“ vorzunehmen.

Die Kernelemente einer zukünftigen recyclingfreundlichen Automobilentwicklung stellen also neben einer demontagegerechten Konstruktion und einer wiederverwertungsgerechten Werkstoffauswahl insbesondere die Entwicklung und Nutzung geeigneter Bewertungsinstrumente zur bauteilbezogenen Klassifizierung der Rezyklierbarkeit dar. Erst diese ermöglichen dem Konstrukteur eine entsprechende Einordnung und Vergleichsmöglichkeit, um die mit der Rezyklierbarkeit entstandenen neuen Zielkonflikte bei der Automobilentwicklung besser bewältigen zu können.

4. AUSBLICK – ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN

Nicht nur angesichts der eingangs beschriebenen Umweltproblematik, sondern auch mit Blick auf relevante Umweltaspekte unserer übergeordneten Unternehmenszielsetzung sehen wir die weitere Optimierung der Umweltverträglichkeit unserer Automobile mit technisch – und dies bedeutet letztendlich auch wirtschaftlich – maximal vertretbarem Einsatz als eine unserer Hauptaufgaben an (5). Hierbei ist der gesamte und möglichst vollständig zu schließende Fahrzeug-Lebenszyklus zu berücksichtigen. Dieser sollte bis auf Bauteilebene einer ökologisch-technisch-wirtschaftlichen Gesamtbewertung unterzogen werden.

Zur Umsetzung eines erforderlichen neuen Automobil-Ökomanagements ist eine Reihe von konkreten Maßnahmen erforderlich, wie z. B. die Verbesserung der Ressourcen-Effizienz (Einsatz und Nutzung), maximale Recyclingfähigkeit, „kooperatives Verkehrsmanagement“, ökonomische Anreize für ökologisches Handeln sowie nicht zuletzt auch die Schaffung notwendiger politischer Rahmenbedingungen.

Für innovative Lösungsansätze, an denen wir momentan arbeiten, sind unseres Erachtens die folgenden Instrumente neu zu schaffen und einheitlich zu etablieren:

a) **Gesamt-Umweltbetrachtung,**

d. h. die Bilanzierung aller umweltrelevanten

und quantifizierbaren Stoff- und Energiegrößen innerhalb des gesamten Produktlebenszyklus;

b) **Gesamtwirtschaftlichkeitsbetrachtung,**

d. h. die Bilanzierung aller umweltrelevanten Kosten innerhalb des gesamten Produktlebenszyklus (Gesamtkostenrechnung auf Basis a).

Bezogen auf das Lebenszyklus-Segment „Altfahrzeug-Recycling“ ist eine völlig neue Gesamtwirtschaftlichkeitsbewertung unter gemeinsamer Berücksichtigung aller Einzel-elemente des Konzeptes (Abb. 4) vorzunehmen. Nur wenn an allen Schnittstellen eine freie Preisbildung nach marktwirtschaftlichen Regeln gewährleistet ist und kostenverursachende Recyclingschritte, wie z. B. die Fahrzeugdemontage oder die Reststoffentsorgung, mit erlösbringenden Teilschritten, wie z. B. dem Austauschteile- und Sekundärrohstoffverkauf, kombiniert bzw. kompensiert werden, ist für den Altfahrzeug-Letzbesitzer eine faire Kosten- bzw. Preisbildung möglich. Mit wirtschaftlich und ökologisch orientierten, gegebenenfalls sogar steuer- und abgabepolitischen Regelungen und Anreizen, sollte der Gesetzgeber sowohl dem Hersteller als auch dem Kunden die während des gesamten Produktlebenszyklus, vom Einsatz der Rohstoffe über Entwicklung, Produktion, Fahrzeugnutzung und Wiederverwertung eines Fahrzeuges, anfallenden Umweltkosten möglichst gerecht zuweisen.

Nur mit Hilfe der beiden oben genannten neuen Instrumente können ein reeller Vergleich und eine aussagefähige Gesamtbewertung bezüglich der Umweltverträglichkeit und -beeinflussung von Automobilen bzw. Konsumgüterprodukten allgemein vorgenommen werden. Erst diese umfassendere Bewertung sollte dann als Basis für unternehmens- und gesellschaftspolitische Entscheidungen herangezogen werden und damit zu einer nachhaltigen Verbesserung unserer natürlichen Lebensgrundlagen beitragen.

Literaturverzeichnis

1. Wolf, H.-H., und H. A. Franze: The BMW Concept of Automobile Recycling; Second Int. Conf. on Recycling Plastics, 13–14 March, 1991, London. The Plastics and Rubber Inst. (Ed.), London, 1991.
2. Kohler, H., und W. Nieder: Metallurgisches Recycling als Alternative zum Shredderprozeß; VDI-Ber. Nr. 934, S. 221 ff., VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991.
3. Franze, H. A.: Werkstoffe in BMW-Fahrzeugen – Stand und Zukunftsperspektiven; in: Innovativer Werkstoffeinsatz im

Spannungsfeld der Wiederverwertung, BMW-Technikkolleg, München, 1990.

4. Wolf, H.-H.: Designs for Efficient Material Separation; Second Int. Conf. on the Automotive Industry and the Environment, 6./7. 11. 1991, Brüssel.
5. Franze, H. A.: Ökomanagement am Beispiel des BMW-Fahrzeugrecyclings; in: Umweltschutz-Audits; Die Effizienz freiwilligen Ökomanagements, ICC – Deutsche Gruppe der Internationalen Handelskammer, Publ. Nr. 210/2, Köln, Oktober 1991.

Verschiedene Verfahren des metallurgischen Recyclings Die thermische Schrottbehandlung

Egbert Paul, Stuttgart*)

Die Kritik an praktizierten Recycling-Verfahren für Schrott nimmt zu. Dadurch verlieren metallurgische Recycling-Systeme ihre Akzeptanz und Attraktivität. Schrott-Recycling von Konsumgütern wird in Deutschland kritisch.

Mit dem Beispiel „Auto“ werden Systemveränderungen für Schrott-Recycling erfaßt und analysiert. Diese Analysen sind die Basis für drei Recycling-Alternativen. Die Alternativen vermeiden berechnete Kritikpunkte, die bei praktizierten Verfahren auftreten. Die vorgestellten Verfahren verbessern Akzeptanz und Attraktivität des metallurgischen Recyclings. Die Verfahren sind:

Die „thermische Reinigung im Wirbelbett“. Sie ermöglicht die

Schrottvorbehandlung kleiner Losgrößen. Das Verfahren ist für die Wiederaufbereitung und Reinigung von Ausbauteilen geeignet. Ebenso ist die Versorgung von Gießereien mit hochwertigem und umweltfreundlichem Schrott möglich.

In Kupolöfen wird verölt und verzinkter Schrott umweltfreundlich verarbeitet. Dadurch ermöglichen Gießereien ein Eigen-Recycling von Schrott in metallverarbeitenden Konzernen.

„Total-Recycling“ in der Automobilindustrie erfordert die Zusammenarbeit mit der Grundstoffindustrie. Nur beim Lieferanten, und nicht beim Verarbeiter, kann der Materialkreislauf vollständig geschlossen werden.

Various Methods of Metallurgical Recycling

Ever increasing criticism is being made towards the practiced recycling methods for scrap. This is why the metallurgical recycling systems are losing out on acceptance and attractiveness. Scrap recycling of consumer items is becoming very critical in Germany.

Taking the automobile as an example, changes in the scrap recycle system have been gathered and analysed. These analyses make up the basis for alternatives in recycling. These alternatives eliminate the rightfully criticised points occurring in practiced recycle methods. The presented methods of metallurgical recycling are more acceptable and attractive.

These methods are:

The "thermal cleaning in a fluidised bed". It enables scrap pretreatment of smaller parts. This method is applicable for recycling and cleaning of removable parts. It is also possible to supply casting shops with high quality and environmentally friendly scrap. Oily and zinc plated scrap can be processed in an environmentally friendly way in a Kupol furnace. In this way, casting shops can recycle their own scrap in metal working groups.

Total recycling in the automobile industry, requires coordination with the raw material industry. The material cycle can only be closed at the suppliers, and not at the manufacturers.

Divers procédés de recyclage métallurgique

On critique de plus en plus les procédés utilisés pour le recyclage des ferrailles. Les systèmes métallurgiques de recyclage perdent de ce fait leurs possibilités d'acceptation et leur attrait. La situation du recyclage des ferrailles de biens de consommation devient critique en Allemagne.

D'après l'exemple de «l'auto» on décrit et on analyse les modifications de systèmes de recyclage des ferrailles. Ces analyses servent de base à trois alternatives de recyclage. Celles-ci permettent d'éviter les points justement critiqués qui se présentent dans les procédés pratiqués. Les procédés présentés améliorent les possibilités d'acceptation et l'attrait du recyclage métallurgique. Ces procédés sont:

La «nettoyage thermique en lit fluidisé». Elle permet le traite-

ment de ferrailles par petit lots. Ce procédé permet la nouvelle préparation et le nettoyage de pièces démontées. De même on peut ainsi approvisionner les fonderies avec des ferrailles de haute qualité et ménager l'environnement.

Dans le four à coupole, on traite les ferrailles huilées et les ferrailles de galvanisation de manière à ménager l'environnement. De cette manière, les fonderies permettent d'obtenir un recyclage de ferrailles dans les groupes métallurgiques, qui leur appartient en propre.

Dans l'industrie automobile le «recyclage total» exige la collaboration avec l'industrie des matières premières. Ce n'est que chez le fournisseur et non pas chez le transformateur que le circuit des matériaux peut se refermer complètement.

*) Dr.-Dipl.-Ing. Egbert Paul, Mercedes Benz AG, D-7000 Stuttgart 60

1. EINLEITUNG

Die deutsche Schrottwirtschaft besitzt eine hohe Fachkompetenz und moderne Anlagen für die Schrottaufbereitung. Trotzdem geraten Shredderanlagen, sie sind ein wichtiges Verfahren beim Verschrotten von Konsumgütern, in Deutschland zunehmend in die Kritik. Akzeptanz und Attraktivität für die übliche Schrottaufbereitung nehmen ab. Diese Entwicklung erfordert:

1. Eine Analyse der Systemveränderung.
2. Neue Verfahrensalternativen für die Entsorgung und das Recycling von Konsumgütern.

2. ANALYSE DER „AUTO-ENTSORGUNG“

2.1. Begriffe

2.1.1. Struktur der Aufgabe „metallurgisches Recycling von Konsumgütern“

Abb. 1 zeigt Recycling-Strukturen (1) für Konsumgüter. Die Produktion und das Aufbereiten verbrauchter Konsumgüter wird in jeweils sechs Aufgaben geordnet. Für die Produktion und für Recycling sind Rohstoffe, Werkstoffe, Material (Halbzeuge usw.), Teile und Baugruppen erforderlich. Produktion und Recycling stehen bei jeder der sechs Aufgaben in Wechselbeziehungen zueinander und im Wettbewerb um den Markt. Der Kunde bestimmt die Marktanteile für neue Produkte und für Recycling-Produkte.

„Verwenden“ ist das Zurückführen von Produkten, Baugruppen und Teilen zur Nutzung. Bei diesem Produkt-Recycling werden auch Anteile der Fertigungsleistung dem Recycling wieder zugeführt.

„Verwerten“ ist mit dem Verlust der Form verbunden. In dem Fall werden nur Werkstoffe, Material oder Rohstoffe dem Recycling zugeführt.

Bei jeder „Produktion“ entstehen Umweltbelastungen, auch beim Recycling. Recycling von Produkten, für die es keinen Markt gibt, ist daher kein Beitrag zum Umweltschutz.

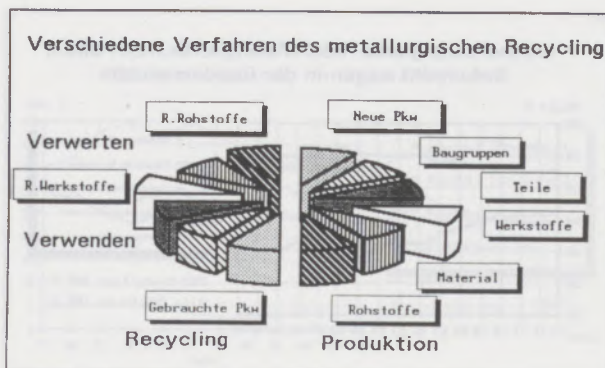


Abb. 1

2.1.2. Recycling-Grenzen bei Konsumgütern

Produkte, Baugruppen, Teile und viele Werkstoffe haben nur eine begrenzte Lebensdauer. Technischer Fortschritt, chemische, physikalische und Marktveränderungen, aber auch Gesetze, sind Gründe für die Begrenzung von Lebensdauer und von Recycling bei Konsumgütern.

Immer häufiger verbieten Gesetze und Verordnungen Recycling von bestimmten Stoffen. PCB, FCKW, asbest- und cadmiumhaltige Werkstoffe und Teile sind bekannte Beispiele für diese Entwicklungen. Kunststoff-Recycling kann dadurch ein Risiko werden. Das Metall-Recycling bietet mehr Sicherheit als Kunststoff-Recycling.

Konsumgüter bestehen aus vielen Werkstoffen und Teilen. Durch die Montage werden alle Werkstoffe zum Produkt verknüpft. Das Recycling von Materialkombinationen erfordert viel Zeit für die Demontage.

Die Demontagekosten fallen erst beim Produktverschrotten an. Zwischen Verkauf und Verschrottung liegen oft Jahrzehnte und wechselnde Besitzer. Die Entwicklung der Märkte und der Demontagekosten wurden bisher vom Verwerter bestimmt. Die Kosten- und Preisfindung ist kurz vor dem Verschrotten relativ exakt möglich. Werden die Recycling-Kosten dem Produzenten zugeordnet, muß dieser die Entsorgung mit dem Produktpreis für das neue Fahrzeug festlegen und es damit belasten. Zu diesem Zeitpunkt sind Marktpreise und Kosten unbekannt. Konsumgüter leben zehn bis 20 Jahre. Die Entsorgungskosten, die Produzenten berechnen, werden durch Zuschläge daher sehr teuer.

Metall-Recycling ist mit dem Shredder automatisierbar. Das metallurgische Recycling-Risiko bleibt begrenzt. Für Metalle gibt es immer einen Markt.

Diesen Sachverhalt zeigt Abb. 2 auf. Alle Recycling-Kreise werden zu einer „Kugel“ verknüpft. Ihre Pole sind die Punkte, an denen Montage und Demontage stattfinden. Montage- und Demonta-

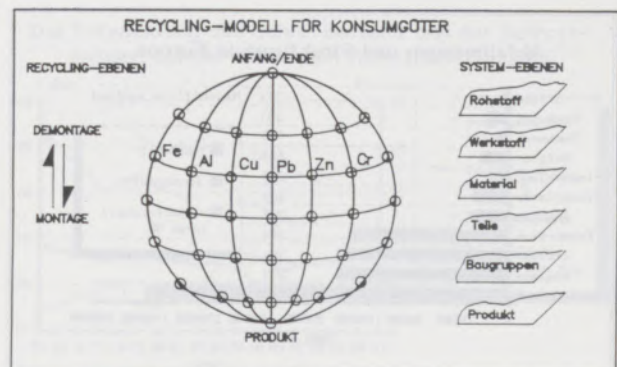


Abb. 2

geaufgaben sind personalintensiv und daher teuer.

Die Aufgabenfelder aus Abb. 1 werden in Abb. 2 zu gemeinsamen Arbeitsebenen für alle Recycling-Aufgaben (Kreise).

„Verwenden“ wird den Ebenen Produkt, Baugruppen und Teile zugeordnet. Funktion und Gestalt bleiben erhalten.

„Verwerten“ wird den Ebenen Rohstoffe, Werkstoffe und Material zugeordnet. Funktion und Gestalt gehen verloren. Am rechten Rand in Abb. 2 sind diese Ebenen angedeutet.

Die Probleme bei einer „kostenlosen Rücknahme der Altfautos durch den Produzenten“ werden durch diese Systematik verständlich. Die Kosten, die durch Personal und Anlagen bei der Entsorgung von Altfautos entstehen, belasten Produktpreise genauso wie Montage- oder Produktionskosten. Nicht nur die 2 Millionen Fahrzeuge, die pro Jahr in Deutschland entsorgt werden, sind für den Umweltschutz relevant. Ein effektiver Umweltschutz sollte auch die Entsorgung der 36 Millionen Kraftfahrzeuge, die weltweit pro Jahr entsorgt werden, sicherstellen.

In Europa wurden 1991 etwa 14 Millionen Altfahrzeuge entsorgt. Das Problem ist nicht die Menge der Altfahrzeuge in Deutschland. Das Problem ist der anfallende Shreddermüll.

2.1.3. Müllprobleme in Europa

Die in Europa anfallenden Müllmengen des Jahres 1989 werden in Abb. 3 in Haus-, Industrie- und Sondermüll (11) geordnet. Die länderspezifischen Korrelationen zwischen absoluten und spezifischen Müllmengen beweisen es: Deutschland bürdet seine ungelösten Müllprobleme der Industrie und dem Ausland auf. Umwelt und Volkswirtschaft werden auch durch falsche politische Rahmenbedingungen belastet oder gefährdet.

2.1.4. Neuwagenzulassungen und Altfautoverschrottungen in Deutschland

Aus den jährlichen Zulassungszahlungen von Neufahrzeugen, den Verschrottungsmengen und

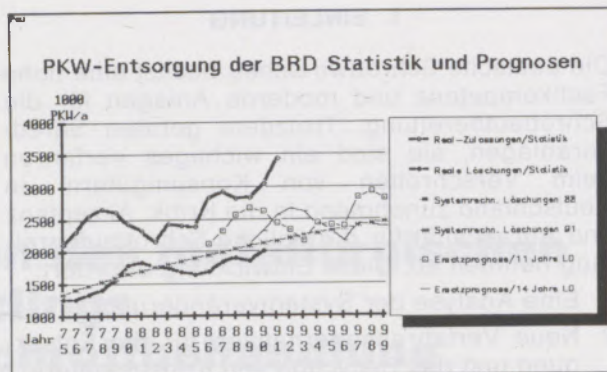


Abb. 4

der Lebensdauer kann die Bestandsentwicklung für Systeme überschlägig ermittelt werden. Dies zeigt Abb. 4 für Deutschland.

Exakte Prognosen berücksichtigen neben Zulassungen von Neufahrzeugen auch Gebrauchtwagenexporte und -importe. Prognoserechnungen mit Neuzulassungen allein, die Neuzulassungen nur um ihre Lebensdauer auf der Zeitachse verschieben, sind relativ ungenau. Daher sollten Systemanalysen den Neuwagen- und den Gebrauchtwagenmarkt berücksichtigen.

2.1.5. Entwicklung des deutschen Pkw-Gesamtmarktes

Im Inland produzierte Pkw wurden in Abb. 5 mit 100% angesetzt. Diese Gesamtproduktion wird in Export und Heimmarkt geordnet. Exportfahrzeuge liefern in der BRD weder Abfall noch Schrott. Nur die „Neuzulassungen Inland“ und der deutsche Gebrauchtwagenmarkt bestimmen die Entsorgung. Diese Bilanz ergibt den „Produktschrott“ oder Bilanz für die Altfautoentsorgung und den Shreddermüll.

In der Bundesrepublik stieg der Exportanteil bei Pkw auf etwa 60% an. Dagegen ging der Inlandsmarkt für einheimische Produkte auf 40% zurück. Gleichzeitig pendeln sich die Neuwagenimporte auf 35% der Neuzulassungen ein.

Importe verursachen keinen Produktionschrott

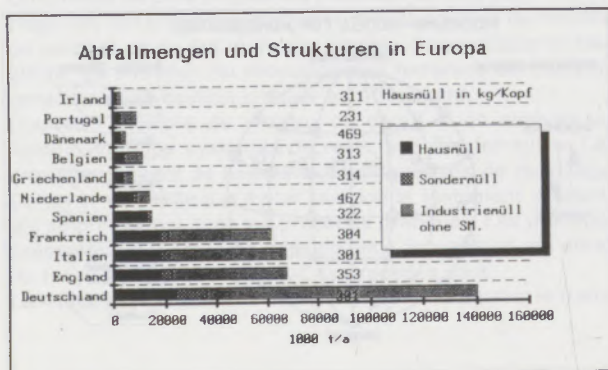


Abb. 3

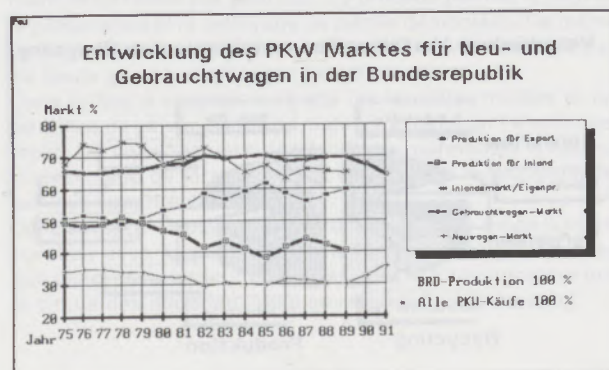


Abb. 5

Tabelle 1
Durchschnittsalter gelöschter deutscher Pkw in Jahren

Jahr	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Verschrottet	10,04	10,04	10,18	10,30	10,40	10,60	10,9
Exporte Pkw	5,40	5,10	5,20	4,60	4,30	4,70	4,7
Abgemeldete	9,70	9,70	9,89	9,75	9,83	10,10	10,5

oder Abfall. Exporte verursachen keinen Produktschrott im Inland.

Werden alle Besitzumschreibungen (Pkw-Käufe) mit 100% angesetzt, deckt der Gebrauchtwagenmarkt 70% ab. Der Neuwagenmarkt beinhaltet nur 30% der Pkw-Erwerbungen in den alten Bundesländern. Selbst davon sind noch 35% Importe. Das Auto ist das Konsumgut mit dem größten Recycling-Markt. Der Markt besteht nicht nur für Gebrauchtwagen, sondern auch für Aggregate und Teile. Der Export von Aggregaten und Gebrauchtwagen reduziert Entsorgungsprobleme im Inland.

Ab Jänner 1988 werden die Gründe für Löschungen nicht mehr in den statistischen Mitteilungen des KBA angegeben (Statistische Mitteilungen des KBA, Heft 1/89). Die Gesamtlöschungen im Jahr 1988 lagen bei 10,8 Jahren. Der „Gebrauchtfahrzeugexport“ entlastete die Abfallentsorgung sehr. Der größte Recycling-Markt der Welt ist der Gebrauchtwagenmarkt.

Die Produktlebensdauer ist daher für den Markt wichtig.

2.2. Stahlschrott-Analysen

2.2.1. Blechschrott-Anfall und Zuordnung in einer Produktion (Preßwerk)

35 bis 40% des gesamten „Einsatzmaterials“ einer Produktion werden bereits bei der Produktion Abfall. Abb. 6 zeigt diese Entwicklung in einem

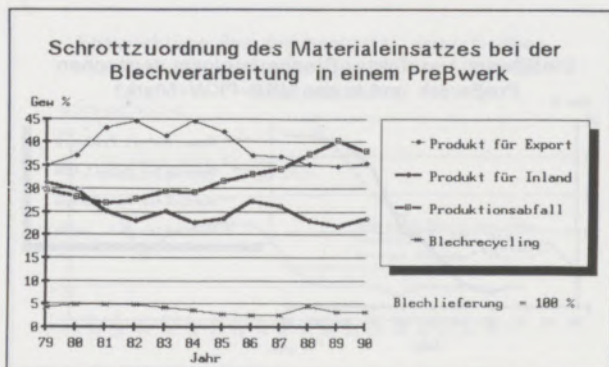


Abb. 6

Preßwerk. Der Schrottanteil nahm in den letzten zehn Jahren ständig zu.

Der Produktionsschrott ist über Produktionsprogramme berechenbar. Das gilt auch für Blechreste aus dem Preßwerk. Sie werden als Blech weiterverarbeitet. Nur maximal 5% der Blechreste werden direkt verwendet. 55% vom Einsatz werden Produkt und damit am Ende der Lebensdauer Schrott.

Vom Produkt werden bis zu 45% exportiert und stehen daher als Produktschrott in der BRD nicht zur Verfügung. Nur was im Inland verkauft wird, wird im Inland „Produktschrott“. Das sind nur maximal 25% der Blechmenge, die Stahlwerke an die Autoindustrie als Werkstoff liefern.

2.2.2. Der Schrottverbrauch der Stahlindustrie

Die EG-Kommission warnte bereits 1984 in ihrer Langzeitprognose „Allgemeine Ziele“ vor der Elektrostahleuphorie. Es kam zu Strukturproblemen. Der Eigenschrottanfall wurde durch den technischen Fortschritt bei der Stahlerzeugung reduziert. Die Qualitätsanforderungen für neue Stahlsorten und damit auch für Fremdschrott nahmen zu. Die Prognose (2) aus dem Jahr 1985 bestätigt Abb. 7. Der Gesamtschrotteinsatz in der Stahlerzeugung nahm ab.

Heute liegt der Fremdschrotteinsatz bei etwa 20% oder etwa 8 bis 9 Millionen t/a. Der in Deutschland anfallende Schrott aus Pkw-Produktion und -Produkt ist in der nationalen Produktion nicht absetzbar. Mindere Schrottqualitäten müssen daher exportiert werden.

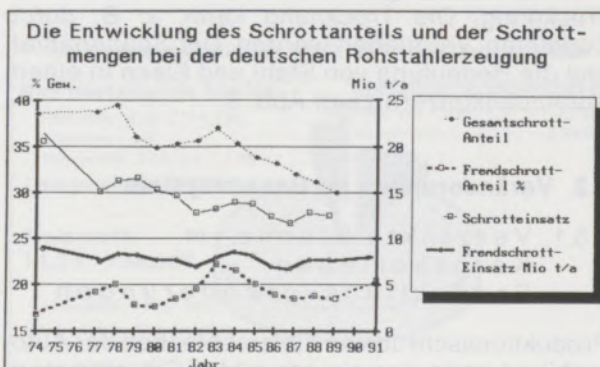


Abb. 7

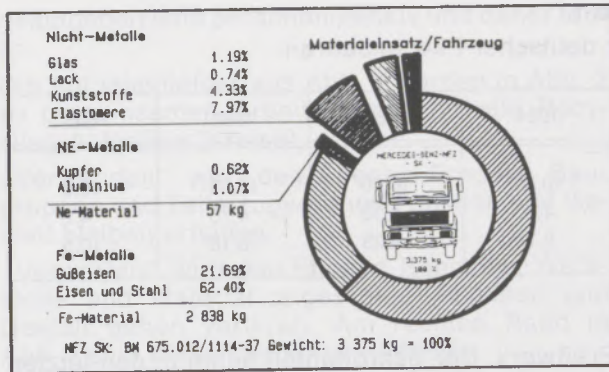


Abb. 8

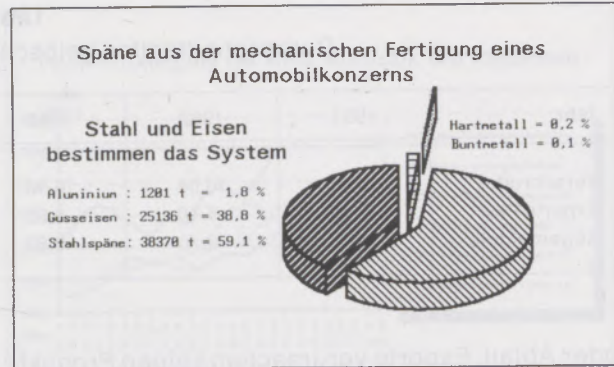


Abb. 9

2.2.3. Materialzusammensetzung von Fahrzeugen

Die wichtigsten Werkstoffe für Kraftfahrzeuge sind Eisen und Stahl. Das macht Abb. 8 deutlich. Daher konzentrieren sich die Analysen auf Fe-Bilanzen. Ein Pkw besteht zu 65% bis 75%, ein Nfz ohne Aufbauten bis zu 85 Gew.-% aus Eisen und Stahl.

Der Einsatz von Stahl (3) wird auch durch Materialkosten bestimmt. Setzt man die relativen Kosten für die Festigkeit von St 37 (N/mm²) mit 1 an, so kostet die gleiche Festigkeit bei Gußeisen 3mal, bei Aluminiumlegierungen 3,5mal, bei PVC 4mal, bei verstärktem Kunststoff (GFK) 10mal und bei Polyethylen (PE) 12mal soviel wie Stahl.

Der Automobilmarkt (4) akzeptiert derzeit nur etwa 3 US-\$ für die Gewichtseinsparung von 1 kg/Pkw. Bei Linienflugzeugen werden für 1 kg Gewicht bis zu 300 \$ und bei Militärflugzeugen bis zu 3000 US-\$ mehr ausgegeben. Daher ist Stahl derzeit der wichtigste Werkstoff für Automobile.

2.2.4. Späne aus der mechanischen Fertigung

Auch in der mechanischen Fertigung ist Stahl und Eisen der wichtigste Werkstoff. Späne aus der spangebenden Fertigung sind eine wichtige Schrottquelle. In der Regel sind sie stark verölt und naß.

Manche metallurgische Verfahren erfordern eine Trocknung. Die Trocknung kann, z. B. durch Kupolöfen, vermieden werden. Der Spänenanfall und die Bedeutung von Stahl und Eisen in einem Automobilkonzern zeigt Abb. 9.

2.3. Veränderungen im Gesamtsystem

2.3.1. Verzinkte Bleche im Karosseriebau Produktionsveränderungen

Produktionsschrott von Tiefziehblechen der Automobilindustrie war ein gesuchtes Einsatzmaterial. Hohe Reinheit und niedriger Mangengehalt

machten ihn zum idealen Einsatzmaterial für Gießereien.

Aus Korrosionsschutzgründen wurden in der Autoindustrie ab 1980 zunehmend verzinkte Bleche eingesetzt. 1983 lag der Verbrauch in der europäischen Autoindustrie noch bei 142.697 t/a, davon verbrauchte die BRD 52.724 t/a. 1985/86 wurden in Europa schon 624.242 t/a an verzinkten Blechen eingesetzt, davon 227.242 t/a in der BRD.

Die Entwicklung des Verbrauches an „verzinkten Blechen“ als „Strukturbruch in den USA (Markt) und für ein Werk in Europa skizziert Abb. 10. Es zeigt, wie rasch sich Produktionssysteme verändern können. Diese Systemveränderung wirkte sich metallurgisch aus.

Einseitig elektrolytisch beschichtete Bleche sind meist mit 7,5 µm oder 10 µm beschichtet, beidseitig beschichtete Bleche in der Regel mit 7,7 µm je Seite. Dies entspricht Zink-Nennflächengewichten von 50 bis 72 g Zn/qm. Feuerverzinkte Bleche sind mit Schichtdicken von 10 µm beidseitig beschichtet und besitzen Nennflächengewichte von 100 bis 140 g Zn/qm. Diese Entwicklung muß beim Metall-Recycling von Autokarossern, aber auch beim Produktionsschrott aus Präßwerken beachtet werden. Bei der Umstellung auf verzinkte Bleche ist dies bei der Neuplanung der Schmelzaggregate für Gießereien zu beachten.

Recycling von Zink beeinflusst die Entstaubungstechnik der Schmelzaggregate oder erfordert ei-

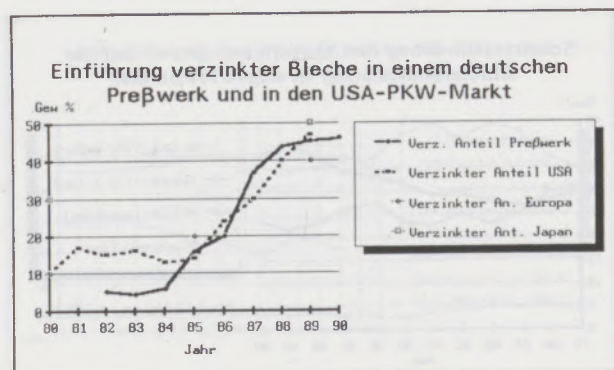


Abb. 10

ne Vorreinigung. Zink fällt in die Abluft als Oxid (Staub) an. Filterstaub ist nur mit höheren Zn-Konzentrationen sinnvoll recycelbar.

2.3.2. Recycling und technischer Fortschritt Produktveränderungen

Die Kraftstoffeinsparung nach der ersten Ölkrise ist ein Beispiel für Systemveränderungen am Produkt. Durch den technischen Fortschritt können neue, modernere Produkte die Umwelt entlasten. Veraltete Produkte verursachen dann oft höhere Umweltbelastungen. Den Sachverhalt zeigt Abb. 11 auf. In der Zeit von 1971 bis 1981 sank der durchschnittliche Kraftstoffverbrauch bei Kraftfahrzeugen von 1,6 t/a auf 1,3 t Kraftstoff/a. Das ist mehr als die Shredder-Müllmenge, die ein Pkw verursacht. Ein altes Fahrzeug, das 0,3 t Kraftstoff pro Jahr mehr verbraucht als ein Neufahrzeug, belastet die Umwelt stärker als der Produktionsabfall für einen neuen Motor und der Produktabfall eines Altmotors.

Recycling bedeutet daher nicht immer Umweltschutz.

2.3.3. Recycling bei Tauschmotoren und Getrieben

Durch Aufarbeitung von Altmotoren und Getrieben werden beachtliche Mengen an Schrott, Abfällen und Energie eingespart. Abb. 12 zeigt Einsparungspotentiale bei der Aufarbeitung von Nutzfahrzeugmotoren.

Durch Aufarbeitung von etwa 10.000 Nfz-Motoren pro Jahr werden im Durchschnitt 67 Gew.-% der Teile wiederverwendet und 32 Gew.-% der Teile als Werkstoff recycelt. Nur 1% der Teile wird Abfall. Dadurch werden 6900 t/a Abfall und 16.000 Megawattstunden/a an Strom eingespart.

Nutzfahrzeugmotore erreichen Laufleistungen bis zu 1 Mio. Kilometer. Sie werden im Werk so aufbereitet, daß für sie die Garantie für neue Motoren abgegeben wird.

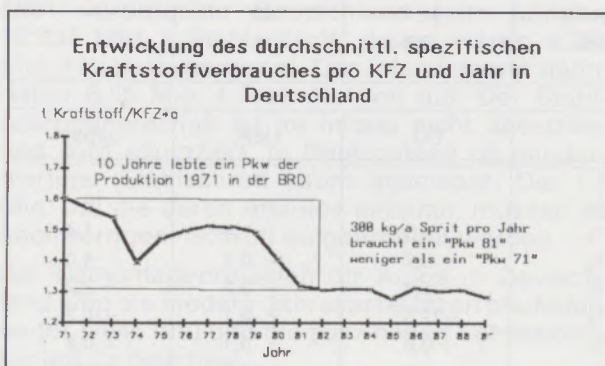


Abb. 11

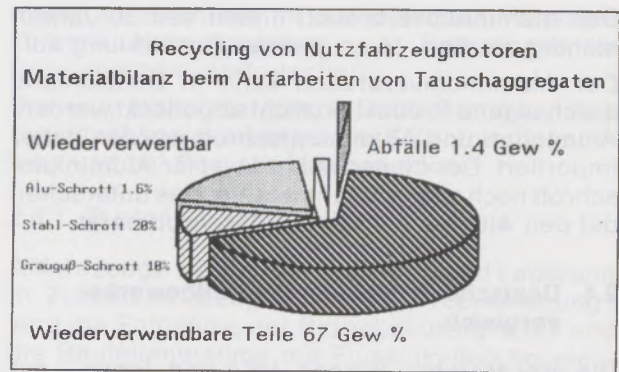


Abb. 12

Die Aufarbeitung ist sehr personalintensiv. Die Personalkosten kompensieren die Materialeinsparungen. Der Kunde nimmt Tauschaggregate und Ausbauteile nur an, wenn sie billiger sind als neue Teile. Vorhandene Recycling-Anlagen sind daher nicht immer ausgelastet.

2.3.4. Ökologische Gesamtbilanzen

Abb. 13 zeigt die ökologische Gesamtbilanz für einen Pkw. Der gesamte Materialeinsatz, das heißt Werkstoffe und Treibstoffe, wird mit 100% angesetzt. Das eingesetzte Material wird bei der Produktion zu 40% Schrott. Erst nach elf Jahren Nutzungsdauer wird auch das Produkt in Deutschland Schrott, wenn es nicht exportiert wurde.

In dieser Zeit verbrauchen deutsche Pkw im Durchschnitt 14,3 t Treibstoff. Was sind dagegen 0,25 t Schreddermüll, die nur einmal entsorgt werden?

2.3.5. Leichtbau und Aluminium

Aluminium und seine Legierungen werden auch in 10 bis 20 Jahren mit Sicherheit als Altmaterial absetzbar sein. Bis zu 50% Gewicht und damit etwa 40% Treibstoff können durch einen Pkw aus Aluminium eingespart werden. Als Gußwerkstoff hat Aluminium den Grauguß teilweise verdrängt.

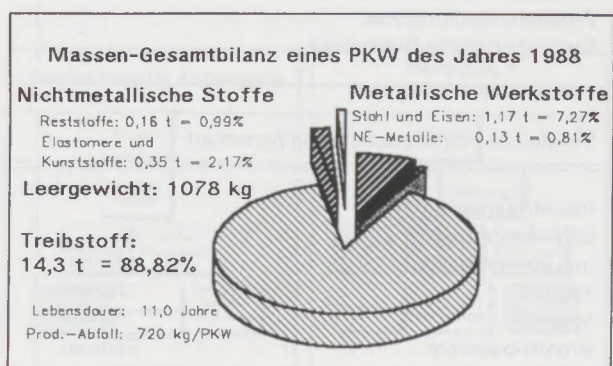


Abb. 13

Der Aluminiumverbrauch nimmt seit 30 Jahren ständig zu. Abb. 14 zeigt diese Entwicklung auf. Der Aluminiumverbrauch kann in Deutschland durch eigene Produktion nicht abgedeckt werden. Aluminium und Aluminiumschrott werden daher importiert. Der deutsche Markt ist für Aluminiumschrott noch sehr aufnahmefähig. Das unterscheidet den Aluminium- vom Stahlschrottmarkt.

2.4. Deutsche Produktion im Wettbewerbsvergleich

Die drei Märkte – Europa, USA und Japan – mit ihrer Pkw- und Kombifertigung relativieren die

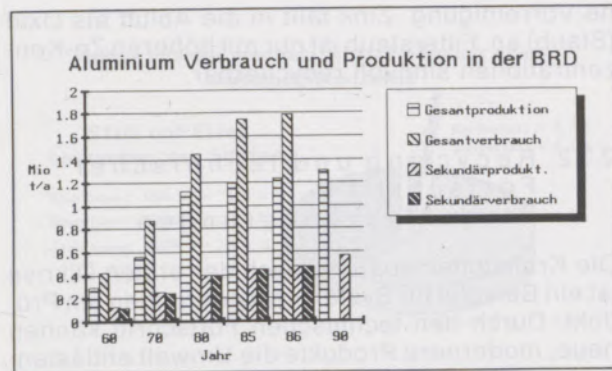


Abb. 14

Tabelle 2
Vergleichszahlen zur Entsorgungslage

Vergleiche „Entsorgung“	Dim.	Europa	USA	Japan
Vorhandene Shredderkapazitäten	Mio. t/a	7,6	11,9	3,4
Verschrottete Einheiten 89	Mio./a	9,4	8,4	3,0
Verschrottete Einheiten 91	Mio./a	14,0	–	–
Kfz-Bestand 1989 (6)	Mio.	198	183	52

Vergleiche „Produktion“	Dim.	Europa	USA	Japan
Produzierte Pkw 1989	Mio./a	13,7	6,7	9,5
Produktion Kfz (gesamt)	Mio./a	15,5	10,8	13,0
Schrottanfall in % bei der Pkw-Produktion	Gew. %	30–32	34–35	–
Roheisen-Produktion 88	Mio. t/a	94,7	50,6	80,4
Aluminiumverbrauch 86	Mio. t/a	3,0	6,6	2,5
Aluminiumanteil Fahrzeugbau	%	33	22	32
Aluminiumverbrauch Fahrzeug (gesamt)	Mio. t/a	1,0	1,4	0,8
Jahres-Arbeitszeit/MA	h/a	rd. 1760	1904	2119
Montagestunden pro Pkw	(h)	36	25	17

Vergleiche „Produkt Pkw“		Europa	USA	Japan
Karosseriegewicht	kg/Pkw	420	700	400
Verzinkte Bleche/Kar.	kg/Pkw	105	320	200
Zinkgewicht/t Fe-Schrott	kg/t Fe	17–22	51	32–42
Produktionsschrott/Kar.	Gew. %	32	35	–
Durchschnittliche Blechdicke	mm	0,8		

Vergleiche „Umweltschutz und Wirtschaft“		EG	USA	Japan
Industrieanteil an UWS	%	–	–	10
USW-Anteil am BSP	%	1,5	1,4	1,4
Industrieproduktion	Jänner %	– 0,7	+ 0,1	– 4,0
Exporte	Jänner %	– 8,4	+ 3,2	+ 2,2
Importe	Jänner %	– 12,3	+ 4,1	– 10,2
Arbeitslosenrate	Februar %	+ 0,8	+ 0,1	+ 0,8
Geldmenge M1	Jänner %	+ 6,8	+ 10,2	+ 8,0

Rolle, die Deutschland in Europa bei der Umweltaufgabe „Altauto-Entsorgung“ spielen kann. Deutschlands Altautoaufkommen ist für eine Entlastung des Gesamtsystems zu klein.

Die Kfz-Weltproduktion im Jahre 1989 lag bei rund 49 Millionen. Davon waren 37 Millionen Pkw und Kombi (76%) und 12 Millionen Nfz.

Nach einer UNO-Schätzung lag 1989 der Kfz-Bestand der Welt bei 540 Millionen Kfz. Davon waren 415 Millionen Pkw und Kombifahrzeuge.

In der Welt wurden 1991 etwa 36 Millionen Einheiten pro Jahr entsorgt. Die Entsorgung Europas lag bei 14 Millionen Einheiten, die von Deutschland nur bei 2 Millionen Pkw/a.

Im Verhältnis zur Gesamtentsorgung der Welt oder Europas ist die deutsche Entsorgungsmenge so gering, daß sie den Umweltschutz der Welt nicht wesentlich beeinflussen kann.

Eine wesentliche Steigerung der Produktkosten durch Umweltschutzaufgaben ist für die deutsche Automobilindustrie erkennbar.

Wirtschaftsdaten als Veränderung gegenüber 1991/92, (10).

Im Vergleich zu Europa oder der EG ergeben sich für Deutschland signifikante Abweichungen zum europäischen Durchschnitt, die bei Umweltanalysen zu beachten sind:

Der deutsche Umweltschutzanteil am Bruttosozialprodukt nimmt mit 1,8% weltweit eine Spitzenstellung ein und wird nur von Österreich mit 1,9% übertroffen. Kritisch für den Wettbewerb und die Produktionskosten ist der hohe Anteil (60%), den die deutsche Wirtschaft dabei für den Umweltschutz leistet. Der Beitrag des deutschen Staates von 40% an den Umweltschutzkosten ist im internationalen Vergleich sehr gering. Japan und die USA geben für den Umweltschutz 1,4% ihres BSP aus. Der Anteil des Staates ist mit 90% in Japan besonders hoch. Die Umweltschutzkosten des Staates belasten die Volkswirtschaft. Die UWS-Kosten der Wirtschaft belasten die Produkte.

Der Aluminiumverbrauch deutscher Fahrzeugbauer ist mit 387.900 t/a oder mit 35,6% bei einem Gesamtverbrauch von 1.089.900 t/a Weltspitze. Aluminiumschrott wird von Deutschland und Japan in großen Mengen importiert.

1991 verbrauchte Deutschland (alte Länder) 12,837 Mio. t Stahlschrott, davon waren 4,286 Mio. t Kreislaufmaterial. Der Inlandsmarkt nahm daher 8,55 Mio. t Fremdschrott auf. Der Stahlschrottüberschuß ist im Inland nicht absetzbar und wird exportiert. In Deutschland ist minderwertiger Stahlschrott kaum absetzbar. Die 1,5 Mio. t/a, die durch Altautos anfallen, müssen zu hochwertigem Schrott aufgearbeitet werden.

Bei Demontageprojekten für Autos in Deutschland sind die niedere Jahresarbeitszeit pro Mitarbeiter (1646 h/a) und die sehr hohen Lohnnebenkosten zu beachten.

Der deutsche Ausbauteile- und Gebrauchtwagen-

markt ist durch die im europäischen Vergleich kürzere Nutzungsdauer von Fahrzeugen in Deutschland exportorientiert.

Die teure Müllentsorgung in Deutschland und ihre Exportabhängigkeit ist bei der Schrottvorbehandlung und bei Recycling zu beachten.

2.4.1. Betriebsmittelentnahme

Altfahrzeuge werden vor Transport und Lagerung in Zukunft trockengelegt. Als „Trockenlegung“ wird die Entnahme der Betriebsflüssigkeiten und die Bauteilentnahme mit Flüssigkeiten bezeichnet (5). Durch Trockenlegen kann man einem Alt-Pkw im Durchschnitt bis zu 40 kg an Betriebsmitteln entnehmen. 60 bis 70% davon sind Betriebsflüssigkeiten und können aufbereitet werden. Bei der Trockenlegung sollten auch Räder, Batterien, Feuerlöscher usw. ausgebaut werden. Es werden 30 Minuten Arbeitszeit je Pkw angesetzt.

2.4.2. Teile-Demontage

Der Ausbau von Teilen, Aggregaten und Wertstoffen war bei der Autoverwertung immer üblich. Die Verbände und Automobilkonzerne werden diese Demontage beibehalten (6).

Über den Umfang der Demontage und die hierfür notwendigen Investitionen und Kosten können derzeit noch keine Aussagen gemacht werden. Neu sind die Bestrebungen, durch Demontage ein Materialrecycling und eine Abfallreduzierung zu erreichen. Werden durch Demontagezeiten von 1 h pro Pkw 100 kg Abfall eingespart, werden für die Einsparung von 1 t Müll 10 Arbeitsstunden aufgebracht. Ob der Recycling-Markt diese Werkstoffkosten trägt, sollte sorgfältig geprüft werden.

3. METALLURGISCHE VERFAHREN

3.1. Definition und Ziele

Die Systematik der bestehenden und der drei neuen Verfahren faßt Abb. 15 zusammen. Thermische Reinigung von Ausbauteilen, Zink-Recycling und Paketieren sollen Shreddermüll vermeiden.

Aluminium-Recycling gewinnt beim Autoschrott an Bedeutung. Aluminiumanteile im Schrottpaket

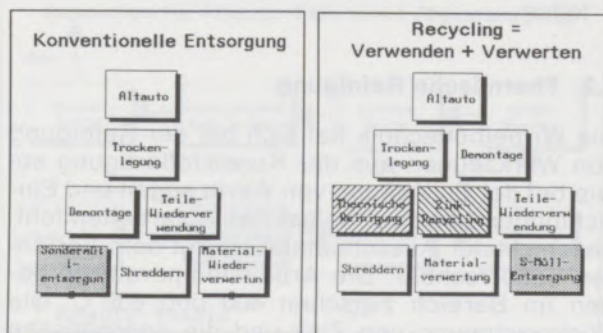


Abb. 15

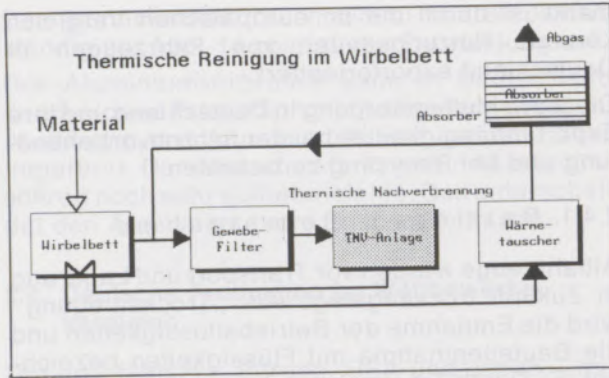


Abb. 16

werden verbrannt. Der Kupferanteil muß im Stahlschrott niedrig sein. Die Kupfer- und Aluminiumanteile in den Fahrzeugen sollten daher vor dem Paketieren demontiert werden.

Recycling im engeren Sinn ist die wiederholte Verwendung und Verwertung von Produkten oder Produktteilen (1). Die Wiederverwendung von Konsumgütern, Baugruppen und Teilen hat Priorität. Produktgestalt und Funktion bleiben bei der Recycling-Variante „Verwenden“ erhalten.

Untersucht wurden von Mercedes-Benz in Großversuchen: Ölfilter, Felgen, Autotüren, Motorhauben und Kofferraumdeckel, Kabelbäume und Aluminiumverbundwerkstoffe.

Folgende sieben Punkte bestimmten die Verfahrenswahl und sollten nach der thermischen Reinigung von Ausbauteilen beachtet werden.

- Prüffähige Reinigung der Recycling-Teile und Aggregate.
- Keine Beschädigungen durch Oxidation oder Korrosion.
- Keine thermischen Verwerfungen oder Spannungen.
- Keine Gefüge- oder Festigkeitsveränderung an R-Teilen.
- Sekundäre Umweltbelastungen minimieren bzw. vermeiden.
- Neuwertgarantie und Bedarfslogistik sicherstellen.
- Kostenvorteile bei R-Aggregaten und R-Ersatzteilen.

3.2. Thermische Reinigung

Die Wirbelbettechnik hat sich bei der Reinigung von Werkzeugen aus der Kunststofffertigung sowie bei der Entlackung von Werkzeugen und Einrichtungen bewährt. Selbst das Aufarbeiten fehlbeschichteter Ausschussteile ist mit dem Verfahren beherrschbar. Die Arbeitstemperaturen liegen im Bereich zwischen 400 und 600°C. Die Rückgewinnung von Zink und die energetische Nutzung von Kunststoffen ist mit dem Verfahren

möglich. Das Mercedes-Benz-System zeigt Abb. 16.

Die Chargenbehandlung erfolgt zuerst in reduzierender Atmosphäre. Organische Bestandteile werden zuerst vergast und am Ende der Behandlung oxidierend gereinigt. Dadurch fällt eine kohle- und koksfree Asche an. Auch der Filterstaub ist weitgehend kohlenstofffrei. Er ist das Basismaterial für die Zurückgewinnung.

Der Filter hält Zinkoxid als Filterstaub zurück. Eine Verfahrensbesonderheit des Systems ist das patentierte Abgas-Recycling. Die Abgase aus dem Wirbelbett werden durch ausgebranntes und gekühltes Recycling-Gas rasch abgekühlt und inertisiert. Durch diese Maßnahme kann das Abgas in einem konventionellen Gewebefilter vor der TNV entstaubt werden. Dadurch wird in der TNV ein optimaler Ausbrand der entstaubten Gase sichergestellt. Die heißen Abgase aus der TNV beheizen das Wirbelbett indirekt.

Nach der Nutzung der Abenergie im eigenen Prozeß wird die Restwärme der Abgase der Wärmeversorgung des Werkes zugeführt. Ein Teil der abgekühlten Abgase wird zur Abkühlung der Wirbelbettabgase zurückgeführt.

Die Materialaufgabe in Gitterkörben in der Versuchsanlage erfolgte mit Chargen im Bereich von 100 kg/Korb bis max. 400 kg/Korb. Die Verweilzeiten der Chargen lagen zwischen 30 und 45 Minuten. Wirtschaftliche Anlagen sollten 1 bis 3 t Durchsatzleistungen/h bringen.

Absetzbare, gereinigte Ausbauteile sind für den Ersatzteilmarkt gedacht. Alles, was nicht als Ersatzteil absetzbar ist, wird als hochwertiger Kupolofenschrott verarbeitet.

So vorbehandelte, verzinkte Bleche sind auch in Elektroöfen ohne Sonderausstattung verarbeitbar.

3.2.1. Vergleich zu konventionellen Verfahren

Abb. 17 und Abb. 18 zeigen die Unterschiede bei der Ölfilterentsorgung. In Deutschland fallen etwa 30 Mio./a an.

Nach dem konventionellen Verfahren werden die

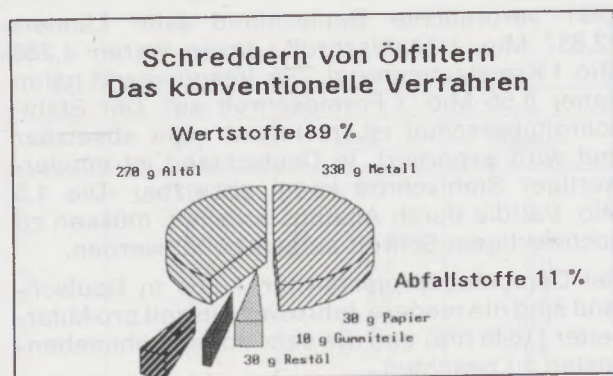


Abb. 17

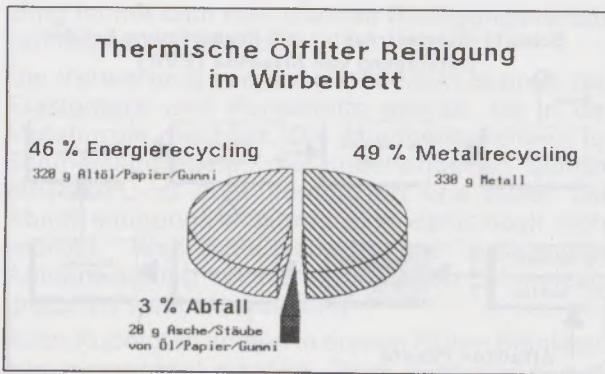


Abb. 18

Filter geshreddert, der Stahlschrott wird dann mit Magnetabscheidern abgetrennt. Das Öl wird mit Zentrifugen entfernt. Neben etwa 250 g Altöl fallen 100 g ölhaltiger Sondermüll pro Filter an.

Bei der alternativen „Thermischen Reinigung“ (Abb. 18) werden die Ölfilter im Wirbelbett gereinigt. Das Altöl wird im Prozeß thermisch genutzt. Die Stützrohre der Filter aus den Mercedes-Benz-Nutzfahrzeugen, der S-Klasse und der Diesel-Pkw können einem Teile-Recycling zugeführt werden. Der Rest ist hochwertiger Fe-Schrott und Asche. Shreddermüll fällt bei diesem Verfahren nicht an. Großversuche mit der thermischen Reinigung waren auch mit Autotüren, Kofferraumdeckel, Felgen und Kurbelgehäusen erfolgreich.

3.3. Stahlschrott-Recycling in Kupolöfen

3.3.1. Verschiedene Verfahrenskonzepte

Im Kupolofen ist die Verwertung von Schrott üblich. Die einsetzbare Schrottqualität in Kupolöfen wird durch die Gichtgasreinigung bestimmt. Erfolgt sie vor dem eigenbeheizten Rekuperator (Winderhitzer), so sind nur Naßwäscher einsetzbar. Dieses Konzept wird von Mercedes-Benz in den MB-Gießereien in Mettingen/D und Brasilien eingesetzt. Nachteile dieses Systems sind der dabei anfallende Schlamm und eine mögliche

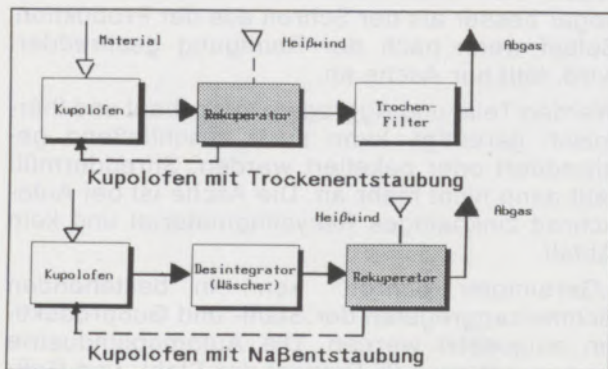


Abb. 19

organische Belastung des Waschwassers. Der Staub aus dem Gichtgas fällt als Schlamm im Naßwäscher an. Die Zinkrückgewinnung aus dem Naßschlamm ist kompliziert und teuer. Öle oder Crackprodukte von verunreinigtem Stahlschrott können das Wasser des Desintegrators belasten. Bei Naßentstaubern vor dem Rekuperatoren ist die thermische Vorbehandlung des eing. Schrotts empfehlenswert. Den Vergleich der beiden Systeme zeigt Abb. 19. Mercedes-Benz setzt nur sauberen Schrott aus der Produktion ein.

Beim Einsatz von Trockenfiltern werden die staubhaltigen Gichtgase zuerst im Rekuperator verbrannt und abgekühlt. Die gekühlten Verbrennungsgase werden dann entstaubt. Zink-Recycling ist in diesem Fall problemlos, da trockener Staub anfällt. Auf Verschmutzungen der Wärmetauscher und Rekuperatoren ist zu achten.

3.3.2. Praktische Erfahrungen

Mercedes-Benz hat mit Kupolöfen für Automobilguß, die mit Desintegratoren betrieben werden, umfangreiche Erfahrungen. Großversuche mit verzinkten Blechen aus der Produktion wurden durchgeführt. Die Aufgabe ist gelöst.

Großversuche mit dem Einsatz von Autoschrott, der noch organisches Shreddermaterial enthält, war gemeinsam mit der Bergakademie Freiberg geplant. Die Versuche wurden vorläufig zurückgestellt, da das Umweltbundesamt an der Untersuchung der Bergakademie Freiberg/S uninteressiert war. Mercedes-Benz kann den eigenen Stahlschrottbedarf für Kupolöfen mit Schrott aus der Produktion abdecken.

Eine Studie über die Verwertung von 338.000 Autokarossern pro Jahr in einem Heißwindkupolofen mit nachgeschaltetem EOF – Energy Optimizing Furnace – wurde für die Maxhütte in Untertwiesborn GmbH vorgestellt (7).

Die Abgasbehandlung kostet nach dem Konzept etwa 40 Millionen DM, der Kupolofen kostet 50 Millionen DM und der EOF etwa 90 Millionen DM. Ohne Bau, Stahlbau, Infrastruktur wären dies 180 Millionen DM für eine Anlage mit einer Schmelzleistung von 430.000 t/a. Für die Autoentsorgung

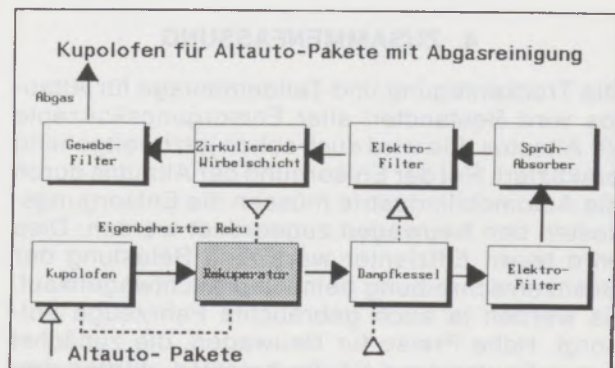


Abb. 20

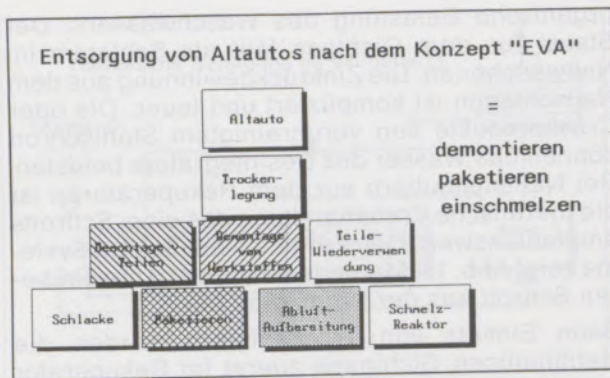


Abb. 21

der alten Bundesländer wären acht derartige Anlagen erforderlich. Das Verfahrensschema zeigt Abb. 20.

3.4. Metallurgisches Recycling nach EVA

3.4.1. Verfahrensprinzip und Ziele

Metallurgisches Recycling als Alternative zum Shredderprozeß im Vergleich zur konventionellen Entsorgung zeigt Abb. 21. Über das Verfahren wurde bereits berichtet (8). Nach Trockenlegung und Demontage wird der Rest paketierrt. Das Herzstück der Anlage ist der „Schrottschmelzreaktor“, der mit Schrottpaketen beschickt wird. Abb. 22 zeigt den Reaktor mit der nachgeschalteten Abluftaufbereitung.

Die nachgeschalteten Verfahrensstufen beinhalten Abluftaufbereitungsmaßnahmen, die auch bei kritischen thermischen Verfahren eine maximale Sicherheit bieten. Ob sie im aufgezeigten, vollen Umfang erforderlich sind, ist nicht sicher.

Ein Verfahrensvorteil des Konzeptes ist die Verbesserung der Transportfähigkeit durch Schrottpakete. Paketieren ist immer billiger als Shreddern. Shreddermüll fällt beim Paketieren nicht an. Shreddermüll, der in einer SMV entsorgt werden muß, wird in Deutschland bis zu 3000 DM/t kosten. Das Shreddern von Stahlschrott trägt diese Entsorgung nicht.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Die Trockenlegung und Teildemontage für Altfahrzeuge wird Bestandteil aller Entsorgungskonzepte für Altfahrzeuge. Sie wird auch schon jetzt weitgehend praktiziert. Bei der Entsorgung der Altfahrzeuge durch die Automobilindustrie müssen die Entsorgungskosten den Neuwagen zugeordnet werden. Dies wird teuer. Effizienter wäre eine Belastung der Besitzumschreibung beim Gebrauchtwagenkauf. Es werden ja auch gebrauchte Fahrzeuge entsorgt. Hohe Preise für Neuwagen, die zunächst nur in Deutschland Käufer belasten, dürften den Neuwagen- und den Gebrauchtwagenmarkt ver-

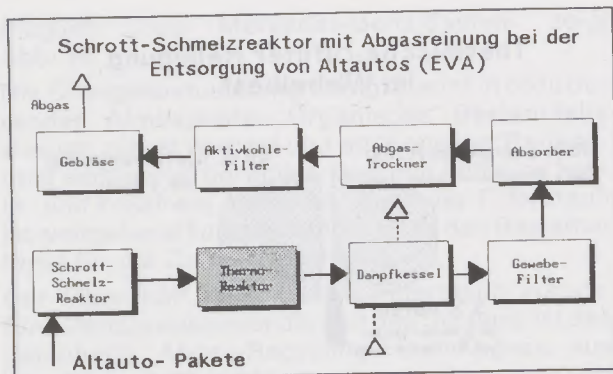


Abb. 22

ändern. Deutsche Wagenexporte werden reduziert und -importe werden zunehmen. Dadurch wird die Sondermüllentsorgung noch kritischer werden.

Ist die Shreddermüllentsorgung nur mehr in Sondermüllverbrennungsanlagen möglich, ist Deutschland als Shredderstandort nicht haltbar. Damit wird die Konsumgüterentsorgung kritisch.

Das Überangebot an Stahlschrott, und damit der Preisverfall, werden zunehmen. Auch die Entsorgungseingpässe beim Abfall nehmen zu. Dadurch steigen die Entsorgungskosten. Nur Stahlschrott von guter Qualität wird bei den hohen Umweltschutzauflagen in Deutschland absetzbar sein.

Gewichtsreduzierung und Verbrauchsreduzierung sind beim Pkw unvermeidbar. Sie lassen sich mit dem Werkstoff Stahl nur durch hochwertige Qualitätsstähle sicherstellen. Dies bedeutet auch hohe Anforderungen an die Schrottqualität.

Eine Alternative zum Stahl sind Leichtbauwerkstoffe. Kunststoffe und Aluminium werden im Fahrzeugbau zunehmen. Für den Stahlschrott bedeutet das steigende Überangebote in Deutschland und zunehmenden Schrottexport.

Durch die thermische Vorreinigung von Stahlschrott lassen sich Ausbauteile so vorbehandeln, daß sie nicht nur auf dem Sekundärmarkt als Ersatzteile absetzbar sind. Stahlschrott und NE-Schrott werden durch diese Vorbehandlung zu hochwertigem Schrott. Entzinkt und frei von Zieh-fetten, Kühlmitteln und Ölen ist dieser Schrott sogar besser als der Schrott aus der Produktion. Selbst wenn nach der Reinigung geschreddert wird, fällt nur Asche an.

Werden Teile und Aggregate ausgebaut und thermisch gereinigt, kann auch anschließend geschreddert oder paketierrt werden. Shreddermüll fällt dann nicht mehr an. Die Asche ist bei Autoschrott zinkhaltiges Recyclingmaterial und kein Abfall.

„Gereinigter Schrott“ kann in bestehenden Schmelzaggagaten der Stahl- und Gußproduktion eingesetzt werden. Die Automobilindustrie verbraucht etwa 25 Prozent der Stahl- und Gußproduktion Deutschlands. Metallurgisches Recy-

cling ist mit dem thermischen Reinigungsverfahren dezentral möglich.

Die Verwertung von unbehandeltem Schrott, der Elastomere und Kunststoffe enthält, ist in der Metallurgie machbar. Die Abluftaufbereitung für Schmelzaggregate, die unbehandelten Schrott einsetzen, ist aber kompliziert und teuer. Die Abluftreinigungsverfahren sind dafür noch nicht erprobt. Wahrscheinlich ist die aufwendige Abluftreinigung nur bei sehr großen Schmelzaggregaten wettbewerbsfähig.

Auch Kupolöfen sollten in diesen Fällen Stahlwerken zugeordnet werden. Dann wird das Kupolofenkonzept Konkurrenz zum Schmelzreaktor, d. h. zum EVA-Konzept. Die umweltfreundliche

Realisierung beider Konzepte ist möglich. Der Einsatz von Sauerstoff führt zu kleineren Abluftmengen. Für verunreinigten Schrott ist das EVA-Konzept günstiger als ein Kupolofen.

Die Akzeptanz der Bürger bei offenlegungspflichtigen Anlagen für die Abfallentsorgung ist in Deutschland gering. Bis zur Verfahrensstufe „Paketierung“ ist das Konzept EVA auch in Deutschland realisierbar. Die Schrottpakete sind wirtschaftlich transportierbar. Metallurgisches Recycling von „Konsumgütern“ durch Verfahren, die mit paketiertem Schrott arbeiten, kann notfalls im Ausland sichergestellt werden. Shredder müll fällt bei diesem Verfahren nicht an.

Literaturverzeichnis

- 1. VDI-Richtlinie 2243, Entwurf Mai 1991
- 2. VDI-Nachrichten Nr. 29, 19. Juli 1985
- 3. Zimmermann, D.: VDI-Nachrichten Nr. 9, 28. Februar 1982, S. 21
- 4. Krull, A.: VDI-Nachrichten 14. Februar 1992, Seite 21
- 5. Reimann, H., u. a.: VDI-Bericht Nr. 934, 1991, Seite 39-62
- 6. Wolf, H. H.: VDI-Bericht Nr. 934, 1991, Seite 1-12
- 7. Rollinger, B., u. a.: VDI-Berichte Nr. 934, S. 239-278
- 8. Kohler, H.: VDI-Berichte Nr. 934, 1991, S. 221-237
- 9. Womack, W., u. a.: Die zweite Revolution. Campus-Verlag, 1991
- 10. NN. Wirtschafts-Woche Nr. 12, 1992, S. 12/11, OECD
- 11. Economic Instruments for Environmen. Prodek., 1989

Das „Totalrecycling von Altfahrzeugen“

Das Konzept der Studiengesellschaft zur Entsorgung von Altfahrzeugen m.b.H. (EVA)

W. Nieder, Linz*)

Durch die Kombination von Entwicklungsmaßnahmen, Demontagekonzepten, Teilverwertung und nachgeschaltetem metallurgischem Recycling besteht ein einsetzbares, durchgängliches, zukunftsorientiertes Altfahrzeugverwertungskonzept. Bei diesem Gesamtprozeß wird durch eine ökologisch und ökonomisch ausgerichtete Verfahrensschaltung ein Maximum an metallurgischer Wertschöpfung bei geringstmöglichem Energieeinsatz erzielt.

Durch die Nutzung des chemisch gebundenen Energieinhaltes

der organischen Begleitstoffe im Schrottpaket kommt es zu einer Substitution von sonst erforderlichen Primärenergie. Durch den Einsatz von Erdgas als Schmelzenergie (d. h. Sekundärenergieträger) und dem damit verbundenen Verzicht auf elektrische Energie wird ebenfalls ein wesentlicher Beitrag zur Minimierung der CO₂-Emissionen geleistet. Diese Prozeßfahrweise garantiert eine umweltschonende Altfahrzeugverwertung mit verkaufsfähigen By-Produkten und geringsten Emissionsströmen.

“Total Recycling of Scrap Cars” Concept of the Study Committee for the Disposal of Scrap Cars (“EVA”)

The combination of development measures, dismantling concepts, utilization of components and downstream metallurgical recycling allows for an applicable continuous future-oriented concept for the disposal of scrap cars.

In this overall process an optimum combination of metallurgical values with lowest possible energy consumption is achieved by an ecologically and economically oriented sequence of procedures.

The utilization of the chemically bound energy content of the

organic substances in the scrap bale will reduce the amount of the required primary energy.

The use of natural gas as melting energy (i.e. secondary energy source) instead of electrical energy also contributes considerably to minimize CO₂ emissions.

This process sequence ensures an environmental-friendly disposal of scrap cars with saleable by-products and lowest emissions.

«Le recyclage total des voitures-épaves» Une idée de la «Studiengesellschaft zur Entsorgung von Altfahrzeugen m.b.H.» (EVA)

La mise au point et l'action combinée d'activités de recherche, de nouveaux processus de démontage, du recyclage des pièces détachées et du recyclage métallurgique ultérieur ont permis de créer un concept praticable, bien mûri et orienté vers l'avenir pour la récupération des voitures-épaves.

Grâce à son orientation tout-à-fait écologique et économique, il s'agit d'un procédé global permettant un rendement maximum sur le plan métallurgique, tout en limitant au minimum les besoins en énergie.

L'utilisation de l'énergie combinée par voie chimique des matières secondaires organiques contenues dans les ferrail-

les permet de substituer l'énergie primaire normalement nécessaire.

L'utilisation de gaz naturel en tant qu'énergie de fusion (c'est-à-dire en tant que support énergétique secondaire) et, ainsi, la suppression des besoins en énergie électrique, représente aussi une contribution importante en vue de minimiser les émissions de CO₂.

Ce type de procédé garantit la récupération des voitures-épaves, tout en respectant la protection de l'environnement, les produits auxiliaires étant commercialisables et les émissions aussi faibles que possible.

VERFAHRENSKONZEPT: „TOTALRECYCLING“

Bei der bisherigen Altfahrzeugverwertung über den Shredder tritt als Hauptproblem der steigende Anfall an nichtmetallischen Reststoffen (bis zu 30% des Gewichtes des Altfahrzeugs) auf, die derzeit deponiert werden müssen. Der Gesetzgeber bereitet daher eine Verordnung vor, wonach diese mengenmäßig durch eine Vordemontage für recy-

clierbare Aggregate, Teile und Werkstoffe vermindert, die verbleibenden Werkstoffe jedoch thermisch entsorgt werden müssen. Das bedeutet daß entweder die Shredder-Technik mit einer nachfolgend zu etablierenden thermischen Verwertung ergänzt werden muß oder daß verbleibende organische Reststoffe in einem neuen Recyclingverfahren, zum Beispiel als Energieträger zum Schrottschmelzen genutzt werden. Eine derartige Technologie des „Metallurgischen Recyclings“ wurde von der Mercedes-Benz AG und der VOEST Alpine Stahl AG im Rahmen einer

*) Dipl.-Ing. W. Nieder, VOEST ALPINE Stahl GmbH, 4031 Linz

gemeinsamen Studiengesellschaft entwickelt und soll nachfolgend beschrieben werden.

Die Unterschiede zur Entsorgung über die Shredder-Technik und thermischen Verwertung zeigt Abb. 1. Dabei ist erkennbar, daß sich der Umfang der Teildemontage bei beiden Entsorgungswegen nicht wesentlich unterscheidet, erst die nach der Demontage übrigbleibende Restkarosse wird verschiedenen Behandlungsstufen zugeführt. Beide Varianten wurden im VDA-Konzept zur Altfahrzeugentsorgung als mögliche Entsorgungswege dargestellt.

PRÄMISSEN FÜR DIE DEMONTAGELINIE

Wie die nachfolgend angeführten Prämissen für die Auslegung der Demontagelinie jedoch zeigen, wird nach einer gezielten Kupferdemontage die Karosserie mit den verbleibenden Reststoffen nicht dem Shredder zur weiteren Verarbeitung zugeführt, sondern paketierrt. Die weiteren Recyclingschritte für das kaum noch Nichteisenmetalle enthaltende Paket (außer Zink und Blei) wird ohne Anfall von Shreddermüll in den zweiten Schritt des Konzeptes dem „Metallurgischen Recycling“ verlegt. Die Prämissen der Demontagelinie sind folgende:

1. Entsorgung und Regenerierung von Betriebs- und Hilfsstoffen.
2. Maximale Wiederverwendung von Aggregaten und Bauteilen.
3. Sortenreiner Ausbau von Bauteilen, die sich für ein stoffliches Recycling eignen.
4. Gezielter weiterer Ausbau von Cu-haltigen

Bauteilen, ggf. zusätzlich zu 1.–3. (Einstellen eines End-Cu-Gehaltes).

5. Verbleib aller nicht unter 1 bis 4 demontierten Bauteile im Paket der „entkernten Restkarosse“.
6. Verlagerung des weiteren Recyclingschrittes in die Metallurgie.
7. Kein Anfall von Shreddermüll!

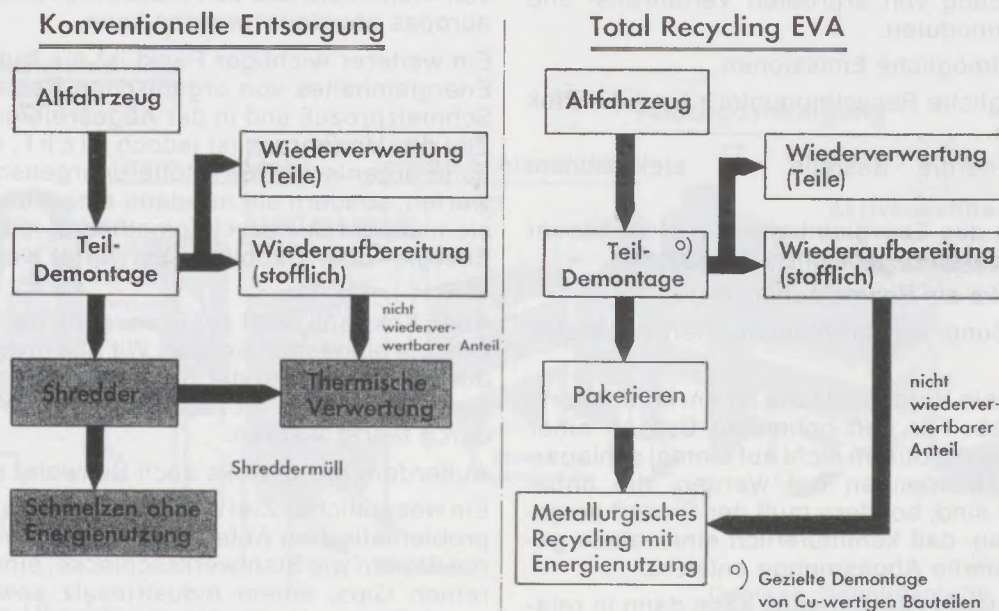
Beim metallurgischen Recycling wird, wie bereits erwähnt, der Energieinhalt der Nichtmetallfraktion für die Stahlerzeugung genutzt. Zur Herstellung entsprechender Stahlgüten muß jedoch während des Demontageprozesses der im Altfahrzeug enthaltene Kupfer- und Zinnanteil weitgehend entfernt werden.

Bei Analyse der buntmetallhaltigen Bestandteile ergibt sich eine Konzentration dieser Metallfraktion beim Motor (inklusive der Nebenaggregate), beim Getriebe und bei dem Hauptleitungsstrang. Am Beispiel des MB 190 E (Abb. 2) ist erkennbar, daß durch eine gezielte Vordemontage ein Großteil der Buntmetallanteile entfernt werden kann und somit auf jeden Fall Kupfer- und Zinngehalte erreichbar sind, wie sie auch für andere Schrottsorten gelten.

Damit ist sichergestellt, daß mit so aufbereitetem Autoschrott neben der Herstellung von Massenschählen auch die Produktion von Qualitätsstählen möglich ist.

VERFAHRENSPRÄMISSEN FÜR DEN METALLURGISCHEN TEIL

Die Prämissen für das metallurgische Verfahren sind zum Teil schon älteren Datums (1), (2). Diese



Quelle: Mercedes Benz AG

Abb. 1
Altfahrzeugentsorgung

Buntmetallanteil am Gesamtgewicht 0,964 %
(Umfänge 1. - 9. ca. 80 % Kupfer)

MB 190 E (Baujahr 1980)

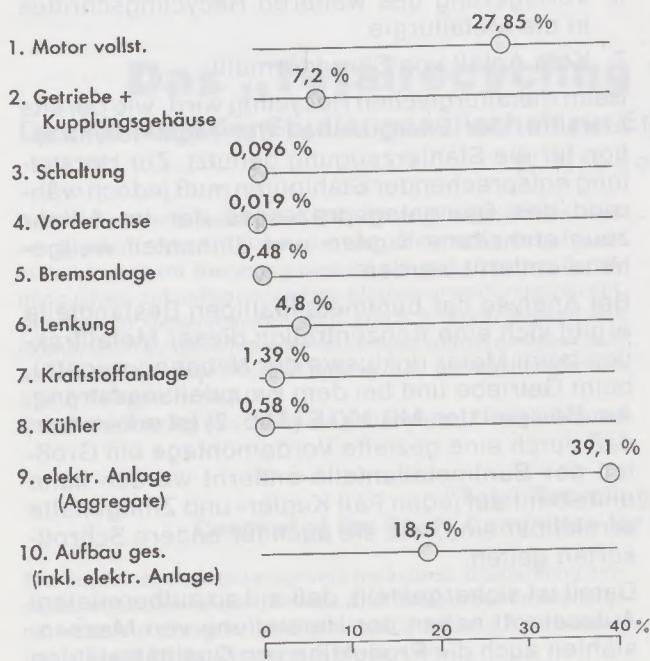


Abb. 2

Prozentuelle Verteilung des Buntmetallanteiles

wurden, soweit sie in das Gesamtkonzept passen, übernommen, ergänzt und konsequent in einem neuen Verfahren umgesetzt. Dieses hat folgende Ziele:

1. Kontinuierlicher Prozeß.
2. Verwendung von erprobten Verfahrens- und Anlagenmodulen.
3. Geringstmögliche Emissionen.
4. Bestmögliche Recyclingquoten, auch für Zink und Blei.
5. Primärenergie anstelle von elektrischem Strom.
6. Nutzung des Energieinhalts von nicht besser verwertbaren organischen Werkstoffen.
7. Kein Koks als Schmelzenergie.
8. Vermeidung von problematischen Abfallstoffen.

Die wichtigste Voraussetzung ist ein kontinuierlicher Betrieb. Für den optimalen Betrieb einer Abgasreinigung dürfen nicht auf einmal schlagartig große Gasmengen frei werden, die unbeherrschbar sind, sondern muß der Prozeß so geführt werden, daß kontinuierlich eine relativ geringe, konstante Abgasmenge entsteht.

Diese konstante Abgasmenge kann dann in relativ klein ausgelegte „Abgasreinigungslinien“ eingeleitet werden, die relativ geringe Investitions- und Betriebskosten aufweisen.

Bei einem derartigen Prozeß kann auch bei einer Störung in der Abgasreinigungslinie der Abgasanfall durch Stoppen der Zuführung des Schrottes und der Gasbrenner schnellstens unterbunden werden. Ab diesem Zeitpunkt entsteht nur noch das Abgas, das aus dem Organikanteil des in den letzten Minuten eingebrachten Schrott stammt, d. h., daß auch bei einem Störfall nur eine kleine, nicht völlig gereinigte Abgasmenge freigesetzt wird.

Ein weiterer Bestandteil des Konzeptes ist die Verwendung von erprobten Verfahren und Anlagenmodulen. Da die Einführung des Verfahrens schnell gehen muß, soll hier keine Neuentwicklung erfolgen, sondern nur bewährte Verfahren aufeinander angepaßt werden.

Geringstmögliche Emissionen sind weiterhin ein wesentliches Ziel. Der Prozeß wurde daher für diesen Zweck ursprünglich ohne Rücksicht auf ökonomische Überlegungen entwickelt. Der Prozeß berücksichtigt dabei sämtliche aktuellen und auch schon zukünftig erwartete Auflagen der Gesetzgebung.

Ein weiterer Aspekt waren die bestmöglichen Recyclingquoten auch für Zink und Blei. Dies insbesondere in Hinsicht auf das Recycling von verzinkten und beschichteten Karosserieblechen, die seit ca. 10 Jahren in zunehmendem Ausmaß an die Automobilindustrie geliefert werden.

Ein besonders wichtiger Punkt ist auch die Verwendung von Primärenergie anstelle von elektrischem Strom. Elektrischer Strom wird immer teurer. Irgendwann wird er als Schmelzenergie auch für die Stahlindustrie nicht mehr tragbar sein, wie heute schon die Beispiele aus der Nichteisenmetallindustrie durch Verlagerungen der Produktion von Vorlegierungen sowie der Elektrolysewerke von Aluminium aus den Industriegebieten Mitteleuropas abgeleitet werden kann.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Nutzung des Energieinhalts von organischen Reststoffen in der Schmelzprozeß und in der Abgasreinigungslinie. Ziel des Verfahrens ist jedoch nicht, möglichst hohe organische Werkstoffe energetisch zu verwerten, sondern sie nur dann einzusetzen, wenn sie nicht durch Recyclingmethoden mit besserer Energie- oder Ökobilanz verwertet werden können.

Auch Koks soll nicht zur Erzeugung der Schmelzenergie eingesetzt werden. Wir alle in der Stahlindustrie wissen um die Schwierigkeiten des Umweltschutzes bei Koks-batterien. Koks wird dadurch teurer werden.

Außerdem bringt Koks auch Schwefel ein.

Ein wesentliches Ziel ist auch die Vermeidung von problematischen Abfallstoffen. Außer verwertbaren Stoffen wie Stahlwerksschlacke, einem relativ reinen Gips, einem Industriesalz sowie einem verkäuflichen Zn-Pb-Staub sollen keine problematischen Stoffe anfallen.

Wenn man diese angeführten Prämissen konse-

quent anwendet, muß ein derartiger neu entwickelter Prozeß, je weiter die Anforderung durch Umweltauflagen sich steigern, immer größere Vorteile gegenüber konventionellen Verfahren gewinnen.

TECHNISCHES VERFAHRENSKONZEPT

Ein wesentliches Ziel der Demontage ist, wie bereits hingewiesen, der gezielte Ausbau von kupferhaltigen Bauteilen. Es wurden daher aus dem Durchschnitt der zur Verschrottung kommenden Autos die Kupferträger ermittelt und gezielt demontiert.

Wenn man zum Beispiel den Motor, das Getriebe, den Starter, die Lichtmaschine und den Kühler ausbaut, aber noch 20% der Hilfsmotore, 80% der Kleinteile, 80% der Legierungen und 80% des Hauptleitungsstranges im Auto beläßt, ergeben sich Cu-Werte von ca. 0,35%.

Bei einer sonst gleichen Demontage aber auf 50% erhöhten Demontage des Hauptleitungsstranges ergibt sich bereits ein Kupfergehalt von ca. 0,20% Cu bezogen auf den Eisengehalt im Restpaket.

Die demontierten Aggregate und Teile können, da es heute schon dafür spezialisierte Verwerterbetriebe gibt, für die weitere Aufbereitung verkauft werden, falls man sie nicht selber verwerten will.

In den Werksferien des letzten Jahres wurden die vorerst theoretischen Überlegungen durch Versuche bei der Mercedes Benz AG bestätigt. 70 Karossen wurden so weit demontiert, wie ein Recycling der ausgebauten Teile möglich war. Nach einer Paketierung wurden diese in einem Elektrofen eingeschmolzen. Der Cu-Gehalt betrug 0,24%.

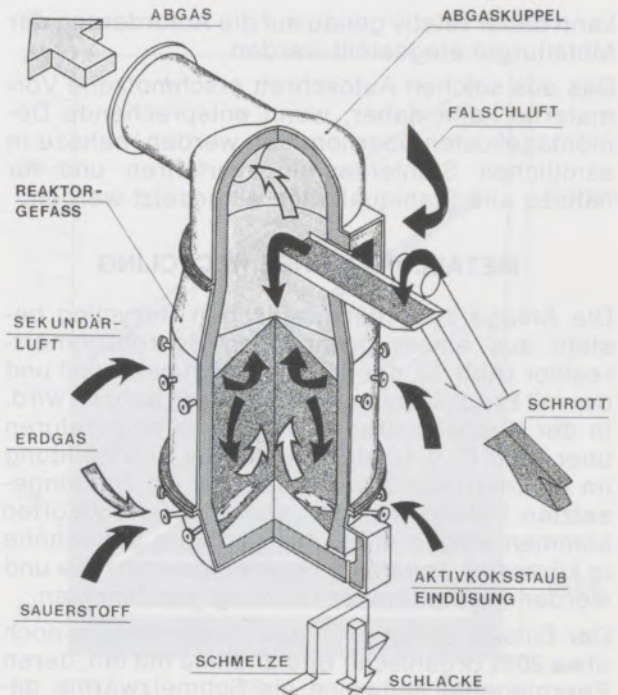


Abb. 3
Schrottschmelzreaktor

In weiteren Demontageversuchen wurden Schritt für Schritt kupferhaltige Bauteile in der Reihenfolge des für sie benötigten Demontageaufwandes, von leicht bis zu sehr aufwendig, nahezu bis auf die Rohkarosse demontiert. Die Ergebnisse der Auswertung zeigen, daß es möglich ist, relativ genau einen Kupfergehalt X im Restpaket durch einen gezielten Aufwand Y in der Vordemontage zu erreichen. Der Aufwand in der Demontage

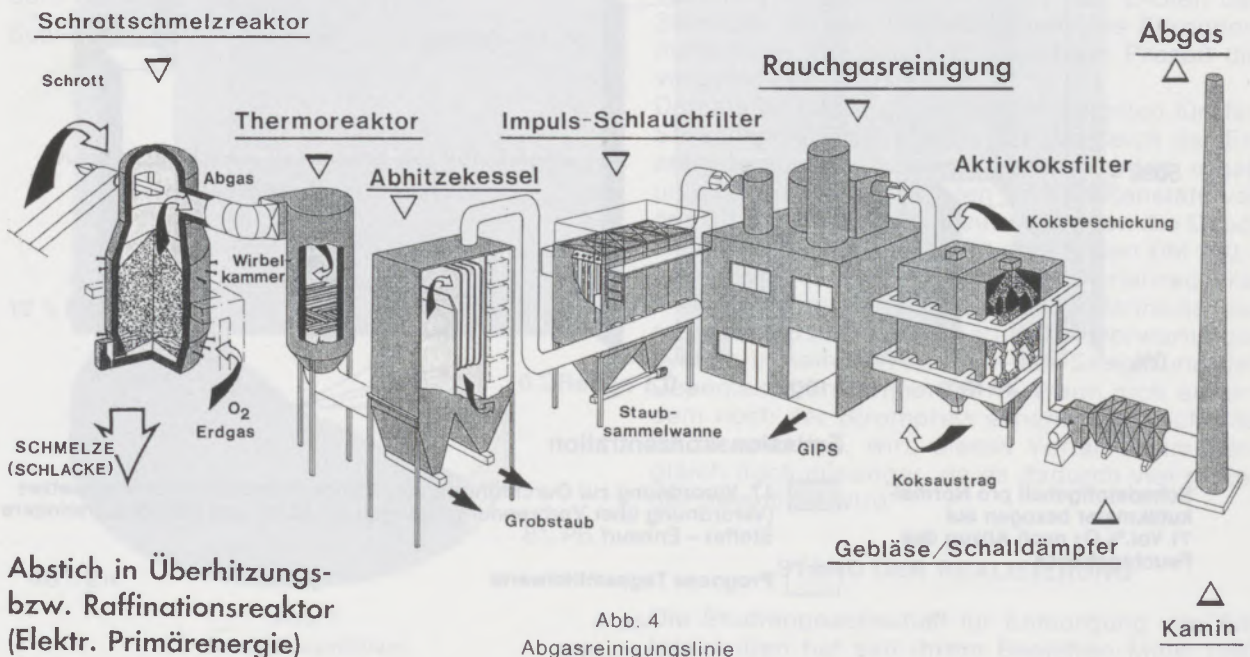


Abb. 4
Abgasreinigungslinie

Abstich in Überhitzungs- bzw. Raffinationsreaktor (Elektr. Primärenergie)

kann daher relativ genau auf die Anforderung der Metallurgie eingestellt werden.

Das aus solchen Autoschrott erschmolzene Vormaterial kann daher, wenn entsprechende Demontagekosten übernommen werden, nahezu in sämtlichen Stahlerzeugungsverfahren und für nahezu alle Stahlqualitäten eingesetzt werden.

METALLURGISCHES RECYCLING

Die Anlage zum metallurgischen Recycling besteht aus einem gekapselten Schrottschmelzreaktor (Abb. 3), der kontinuierlich beschickt und der mit Erdgas-Sauerstoff-Brennern beheizt wird. In der Kuppel betragen die Abgastemperaturen über 1000°C, d. h., daß damit eine Dioxinbildung im Schmelzreaktor nicht möglich ist. Die eingesetzten Pakete und ggf. sonstige Schrottsorten kommen wegen einer nur geringen Schütthöhe in kürzester Zeit in die Hochtemperaturzone und werden hier mit hoher Leistung geschmolzen.

Der Einsatz bringt nach der Vordemontage noch etwa 20% organische Bestandteile mit ein, deren Energiegehalt teilweise als Schmelzwärme genutzt wird. Das Institut für Energieverfahrenstechnik der TU Clausthal hat bereit eine Energiebilanz gerechnet, die ergab, daß die damit eingebrachte Energie größer ist als die erforderliche Schmelzenergie des Verfahrens.

Die Abgasreinigungslinie (Abb. 4) sieht sehr kompliziert aus, besteht aber aus erprobten Modulen

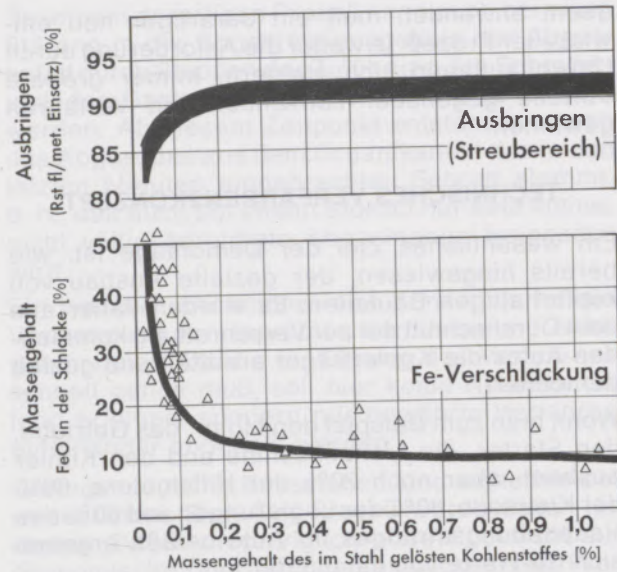
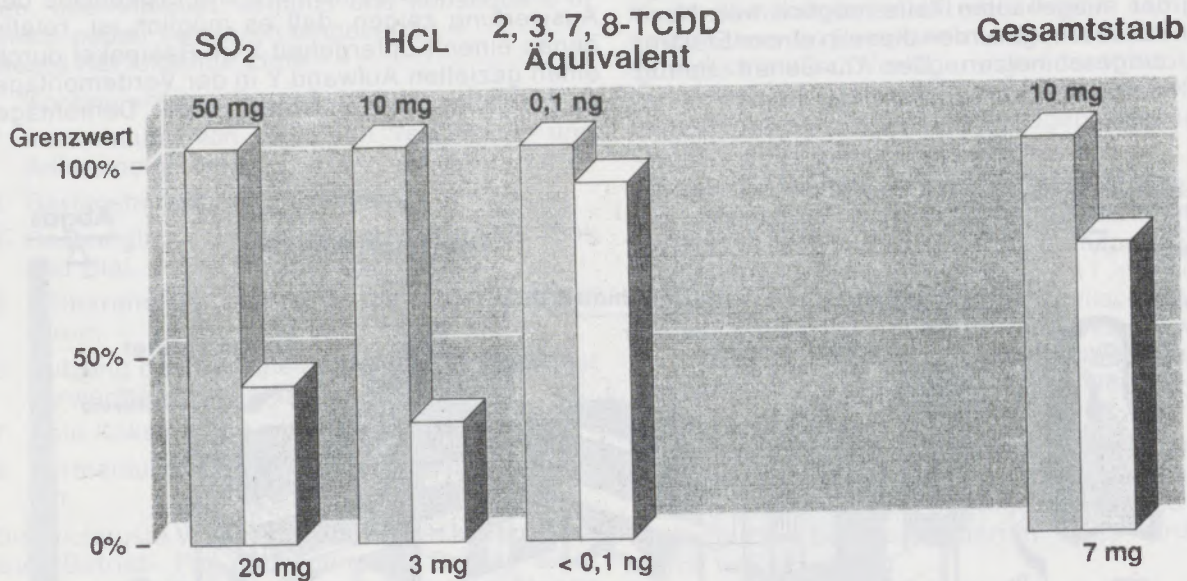


Abb. 5 IAVS-Verfahren Fe-Verschlackung und Ausbringung

und ist Stand der Technik. Sie arbeitet heute bereits im Dauerbetrieb hinter Müllverbrennungsanlagen für viel schwierigere Bedingungen.

Das Schmelzaggregat wurde aus dem im Werk Donawitz der VOEST Alpine Stahl AG erprobten KVA-Verfahren (4) weiterentwickelt. Besonders kritisch wurde das schlechte Ausbringen bewertet. Aus anlagentechnischen Gründen mußte der



Schadstoffgehalt pro Normal-kubikmeter bezogen auf 11 Vol.% O₂ nach Abzug des Feuchtgehaltes

Emissionskonzentration

- 17. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfall und ähnliche brennbare Stoffe) – Entwurf
- Prognose Tagesmittelwerte

Abb. 6 Abgasqualität

Versuchsbetrieb ohne Kohlenstoffträger gefahren werden, weil es kein nachgeschaltetes Reaktionsgefäß hinter dem Schacht gab und in der nachgeschalteten offenen Pfanne ohne Zusatz starker Desoxidationsmittel unbeherrschbare Reaktionen von Stahl mit unterschiedlichen Kohlenstoffgehalten auftraten. Die Kohlenstoffwerte des so erzeugten Stahles lagen daher im Bereich von ca. 0,1% C.

Wie aus Abb. 5 ersichtlich und allgemein bekannt, besteht für die Fe-Verschlackung eine starke Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt (durchgezogene Linie Mittelwerte SM-Ofen). Wie Versuche ergaben, bringen höhere C-Gehalte auch für das neue Verfahren Ausbringungswerte, die bei gleicher Schrottqualität auch anderen Verfahren entsprechen.

Welche Emissionswerte können nach so einer Abgasreinigungslinie erreicht werden? Aus der Stoffbilanz des Einsatzes und der Energieträger des Verfahrens lassen sich die zu erwartende Abgasmenge und Analysen errechnen. Da auch die Wirkungsgrade der einzelnen Komponenten der Abgasreinigungslinie bekannt sind, können die zu erwartenden Emissionen errechnet werden. Es können damit die geforderten Grenzwerte der 17. BImSch-Verordnung für Staub, SO₂ und HCl, 0,1 ng bei Dioxin und Furan sicher unterschritten werden (Abb. 6).

Ein anderer Aspekt ist die Entsorgung von verzinktem Blech. Der neue Prozeß hat keine Frischphase, so daß nur geringe Eisenoxide im Staub anfallen. Da im oberen Bereich des Schmelzaggregats Zink und Blei abdampfen und nur gering durch andere Stoffe verdünnt werden, reichern sich diese im Staub auf Gehalte von über 50% an (Abb. 7, Durchschnittsergebnis der Erzeugung von 240.000 t in Donawitz). Dieser Staub ist daher kein problematisches Entsorgungsprodukt, sondern ein verkaufsfähiger Rohstoff.

Schließlich sollen noch einige Angaben zur Wirt-

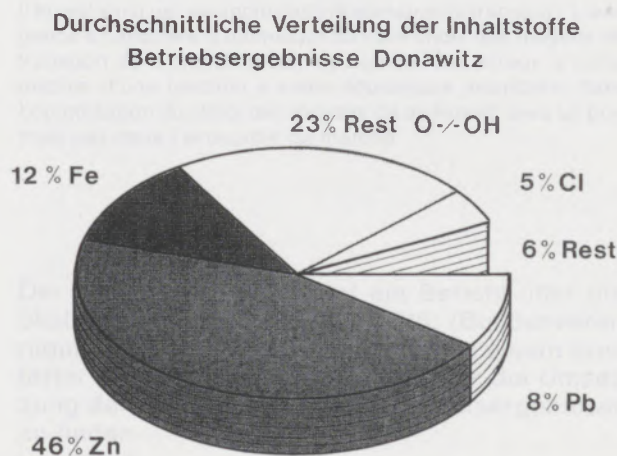


Abb. 7
Staub-Gesamtbilanz

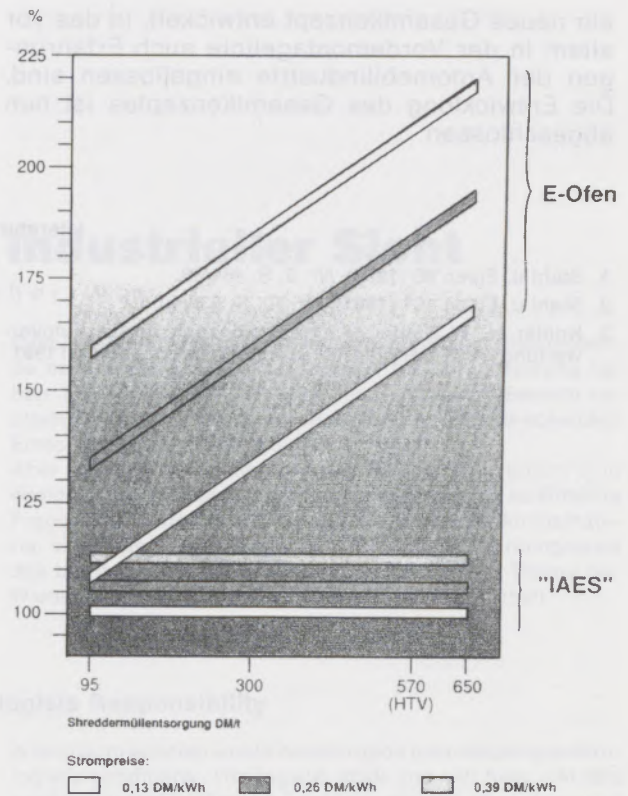


Abb. 8
Kostenvergleich

schafftlichkeit gemacht werden. Die Rechnung in Abb. 8 ist ungefähr 2,5 Jahre alt, ist aber in der Tendenz auch heute noch richtig. Dazu wurden die vorliegenden Kosten eines Elektrostahlwerkes mit einem 60-t-Ofen mit den erwarteten Erzeugungskosten unseres Verfahrens verglichen.

In diesem Vergleich wurden auch die Kosten der Vorlinien einbezogen, d. h. für den E-Ofen der Shredder mit den Deponiekosten des Shreddermülls bzw. für den Metallurgischen Prozeß die vorgesehene Paketierung.

Damals betragen die Entsorgungskosten für den Shreddermüll 95,00 DM/t. Der Vergleich der Erzeugungskosten beider Verfahrenswege ergab ungefähr dieselben Kosten für den Rohstahl vor der Stranggießanlage. Heute betragen die Deponiekosten für Shreddermüll aber schon DM 200,- und mehr; d. h. die Kosten der Verfahren entwickeln sich auseinander, da die E-Ofenroute teurer wird und unser integriertes Autoverwertungssystem in keiner Weise von der Steigerung der Deponiekosten tangiert wird. Wenn sich außerdem noch der Strompreis erhöht, und auch das ist zu erwarten, wird dieses Verfahren im Vergleich noch günstiger, da es dadurch viel geringer beeinflusst wird.

STAND DER REALISIERUNG

Die Studiengesellschaft für Entsorgung von Altfahrzeugen hat seit ihrem Bestehen Mitte 1990

ein neues Gesamtkonzept entwickelt, in das vor allem in der Vordemontagelinie auch Erfahrungen der Automobilindustrie eingeflossen sind. Die Entwicklung des Gesamtkonzeptes ist nun abgeschlossen.

Unsere Gesellschaft beabsichtigt, das Gesamtkonzept zu realisieren und die abschließende metallurgische Anlage zu bauen.

Literaturverzeichnis

- 1. Stahl u. Eisen 96 (1976), Nr. 9, S. 464/65.
- 2. Stahl u. Eisen 101 (1981), Nr. 10, S. 639/40.
- 3. Kohler, H., W. Nieder: In: „Neue Konzepte für die Autoverwertung“. VDI-Berichte, Nr. 934, S. 221/37. Düsseldorf 1991.

- 4. Von Bodgandy, L., G. Mitter, A. Moser, O. Köller: BHM 134 (1989), Nr. 7, S. 203/207.



Umweltschutz aus industrieller Sicht

Friedrich Macher, Wien*)

„Vor uns liegt das Jahrzehnt, in dem gestiegenes ökologisches Problembewußtsein zu gesamthaftem ökologischem Handeln führen wird; eine zusätzliche Anforderung auch an die Logistik.

Als materialflußorientierte Querschnittsfunktion ist die Logistik in fast alle derzeitigen betrieblichen ökologischen Probleme involviert.

Dies gilt zum Beispiel im Transportbereich. Die ultimative Forderung nach freier Verkehrsmittelwahl wird bald als Fehler erkannt sein. Die Einführung einer vorrangig ökologischen Zielfunktion in die Optimierung der Transportmittelauswahl wird ein erster marktwirtschaftlicher Schritt sein.

Eine langfristige Gesamtlösung wird allerdings entsprechende makrologistische Gegebenheiten zur Voraussetzung haben. Die Logistik soll und wird den – in diesem Bereich vor allem politischen – Entscheidungsträgern die entsprechenden Entscheidungshilfen anzubieten haben.

Aber auch im Beschaffungs- und Entsorgungsbereich sind ökologische Beiträge der Logistik gefragt. Ob dies so einfache Fragen wie Menge und Qualität von z. B. Verpackungsmaterial sind, komplexere Fragen wie der optimale Wirkungsgrad des betrieblichen Energieeinsatzes, bis hin zum Thema der Wiederverwertung im Sinne einer Kreislaufwirtschaft“.

Logistics give the Ecologists Responsibility

Ahead of us lies a decade of total ecological responsibility due to the increasing ecological consciousness; another requirement for the logistic as well. Taking the logistic as a material flow orientated cross sectional function, it plays a role in almost all of today's industrial ecological problems. For example in transportation. The ultimate need for a free selection of transportation will soon be recognised as being a mistake. The introduction of ecological priorities for optimising the means of transport would be the first step towards market economy.

A long term solution would depend upon the prevailing macrologistic conditions. The logistic shall and will help – in this case mainly the politicians – decision makers when decisions are to be made.

Logistic, ecological contributions, in respect to supply and disposal are also in strong demand.

These range from simple questions such as quantity and quality of e.g. packing materials, to more complex questions such as optimum efficiency of industrial energy input, up to the topic of reusables in the form of recycling.

La logistique s'impose dans le domaine de la responsabilité écologique

«Nous avons devant nous le siècle au cours duquel une prise de conscience accrue de l'écologie mènera à un traitement généralisé des problèmes écologiques; des exigences supplémentaires seront également imposées à la logistique.

En tant que fonction transversale orientée vers l'écoulement des matériaux, la logistique participe à presque tous les problèmes écologiques des entreprises.

Il en est ainsi par exemple dans le domaine du transport. L'exigence à caractère d'ultimatum du libre choix des moyens de transport sera bientôt reconnue comme une erreur. L'introduction d'une fonction à visée écologique prioritaire, dans l'optimisation du choix des moyens de transport, sera un premier pas dans l'économie de marché.

Une solution générale à longue échéance aura toutefois comme condition les possibilités macrologistiques. La logistique doit, et le fera, offrir aux porteurs de décisions surtout politiques dans ce domaine les éléments d'aide appropriés pour justement prendre des décisions.

Mais la contribution écologique de la logistique est également demandée dans le domaine du conditionnement et de l'élimination. Qu'il s'agisse de problèmes simples comme la qualité et la quantité de matériaux d'emballage, par exemple, ou de problèmes plus complexes comme le taux d'efficacité de l'utilisation d'énergie de l'entreprise, on peut aller jusqu'au thème de la réutilisation, dans le cadre d'une économie à circuit fermé.»

Der vorliegende Artikel ist ein Bericht über die ökologischen Aktivitäten der BVL (Bundesvereinigung logistic). Als Anleitung, um in einem breiteren Personenkreis Mitwirkende für die Umsetzung der bisher vorliegenden Arbeitsergebnisse zu finden.

*) Dir. Friedrich Macher, Digital Equipment Corporation GmbH., Ziedlergasse 21, 1230 Wien

1. ÖKOLOGIE IN DER BVL

„Die BVL arbeitet an der Förderung und Verbreitung des Gedankengutes der Logistik in Österreich zur Hebung der Wettbewerbsfähigkeit der Wirtschaft. Es leistet einen aktiven Beitrag zur Weiterentwicklung und praxisbezogenen Anwendung der Logistik, in dem es einen interdisziplinären Erfahrungsaustausch zwischen Praxis und

Wissenschaft fördert und pflegt.“ (Punkt 1 des Leitbildes der BVL)

Die Gründungsmitglieder der BVL haben von Anfang an ein klares Bekenntnis zur Einbindung der Logistik in ein integriertes und offensives Umweltmanagement abgegeben (Abb. 1-5).

In Punkt 7 des Leitbildes heißt es daher: „Wir wissen um den beschleunigten Wandel in den wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen. Wir streben eine Vorreiterrolle bei der Entwicklung und Umsetzung einer ‚Ökologistik‘ an. Wir unterstützen alle sinnvollen und grundsätzlich an marktwirtschaftlichen Prinzipien orientierten Strömungen und Aktivitäten in Richtung verstärktes ethisches und ökologisches Management.“

2. DER ARBEITSKREIS ÖKOLOGISTIK

Zur Umsetzung der im Leitbild erklärten ökologischen Ziele wurde ein Arbeitskreis ins Leben gerufen. Der Vorstand der BVL gab ihm folgendes Motiven-Statement:

„Vor uns liegt das Jahrzehnt, in dem gestiegenes ökologisches Problembewußtsein zu gesamthafem ökologischem Handeln führen wird; eine zusätzliche Anforderung auch an die Logistik.“

Als materialflußorientierte Querschnittsfunktion ist die Logistik in fast alle derzeitigen betrieblichen ökologischen Probleme involviert.

Dies gilt zum Beispiel im Transportbereich. Die ultimative Forderung nach freier Verkehrsmittel-

wahl wird bald als Fehler erkannt sein. Die Einführung einer vorrangig ökologischen Zielfunktion in die Optimierung der Transportmittelauswahl wird ein erster marktwirtschaftlicher Schritt sein.

Eine langfristige Gesamtlösung wird allerdings entsprechende makrologistische Gegebenheiten zur Voraussetzung haben. Die Logistik soll und wird den – in diesem Bereich vor allem politischen – Entscheidungsträgern die entsprechenden Entscheidungshilfen anzubieten haben.

Aber auch im Beschaffungs- und Entsorgungsbereich sind ökologische Beiträge der Logistik ge-

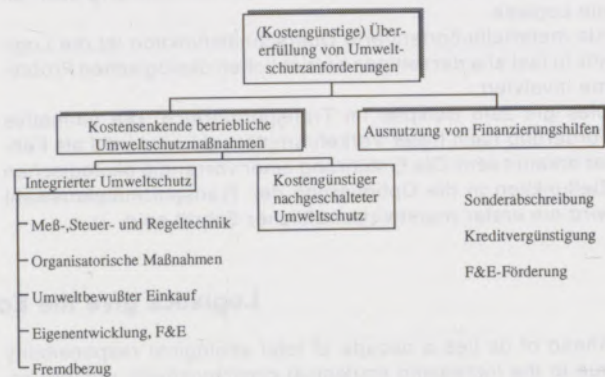


Abb. 3

Ökologistik – Offensives Umweltmanagement

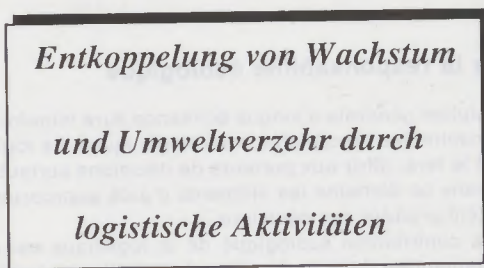


Abb. 1

Ökologistik – Aufgabenstellung

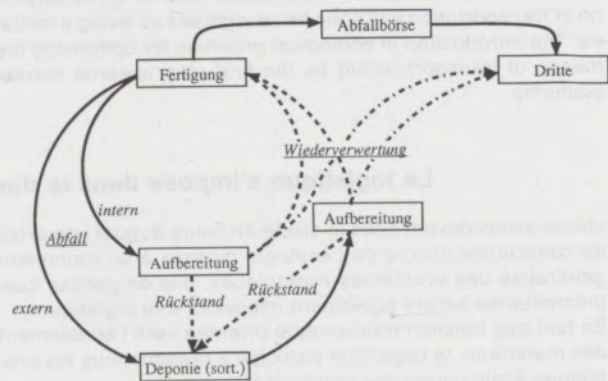


Abb. 4

Ökologistik – Internes und externes Recycling

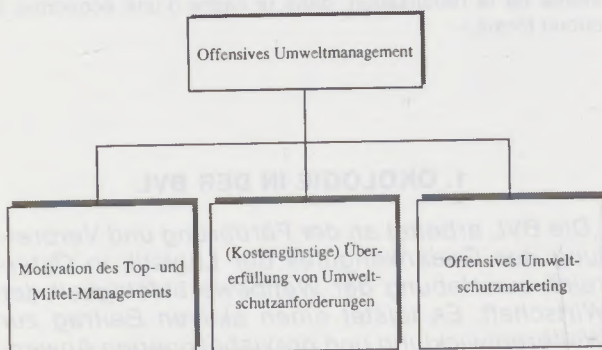


Abb. 2

Ökologistik – Offensives Umweltmanagement

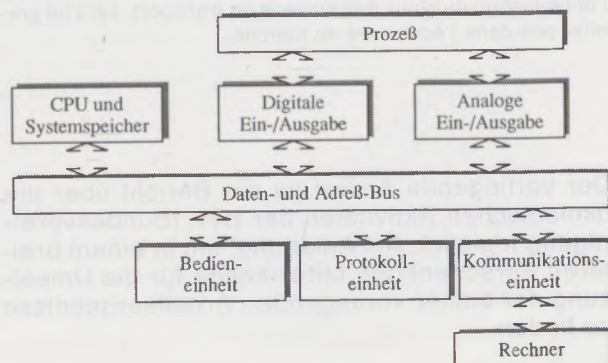


Abb. 5

Ökologistik – Umweltschutz durch Regeltechnik

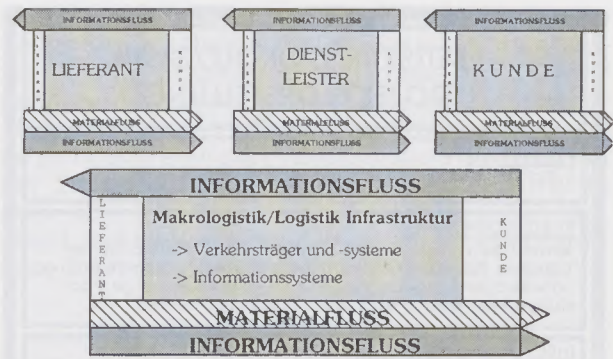
fragt. Ob dies so einfache Fragen wie Menge und Qualität von z. B. Verpackungsmaterial sind, komplexere Fragen wie der optimale Wirkungsgrad des betrieblichen Energieeinsatzes, bis hin zum Thema der Wiederverwertung im Sinne einer Kreislaufwirtschaft" (Abb. 6-8).

Der Arbeitskreis sollte auf drei Ebenen aktiv werden:

- Erarbeiten von Entscheidungsgrundlagen oder Diskussionsbeiträgen für Politiker, diverse Verbände, Sozialpartnergremien usw.;
- er sollte allgemeine Denkanstöße liefern und für entsprechende Publizität sorgen (Thesen, Papiere, Konzepte usw.);
- konkrete Problemlösungsbeiträge erarbeiten (Pilotprojekte anstoßen und fördern, gemeinsame Initiativen entwickeln usw.).

Im Arbeitskreis (Abb. 9) wirkten Fachleute und Experten aus unterschiedlichen Branchen und Institutionen mit. Im Sinn der Vorgaben wurden neun konkrete Projekte entwickelt und in einer „Aufwands-/Nutzen-Matrix“ positioniert (Abb. 10).

Die Ergebnisse wurden im Kreise der BVL-Mitglieder und Interessenten vorgestellt, und gleichzeitig wurde zur Mitwirkung eingeladen (Muster: Abb. 11).



.... ERFORDERT SCHNITTSTELLENGESTALTUNG

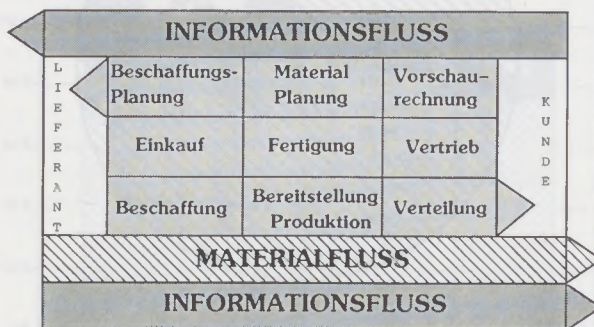
Abb. 8

Logistikaufgaben – Überbetriebliche Logistik

Name	Institution
Dir.Dr.Karl Frohner	Österr. Unilever
Walter Haslinger	Hewlett-Packard
Dipl.Ing.Werner Killmeyer	Datentechnik
Dipl.Ing.Dr.Hans Kürzl	LMS Leoben
Dir.Friedrich Macher	Digital Equipment Corp.
Dr.Harald Müller-Witt	Digital Equipment GmbH
Peter Redling	ÖMV
Mag.Johann Schneeweiß	Digital Equipment Corp.
P.Dr.Norbert Stigler	Kath.Theol.Hochschule Heiligenkreuz
Ing.Helmuth Wittmann	ÖMV
Prof.Dipl.Ing.Dr.Heinrich Wohlmeyer	Österr.Ges.f.Biotechnologie

Abb. 9

Ökologistik – Der Arbeitskreis Ökologistik der BVL



Logistik integriert den Informations- und Materialfluß

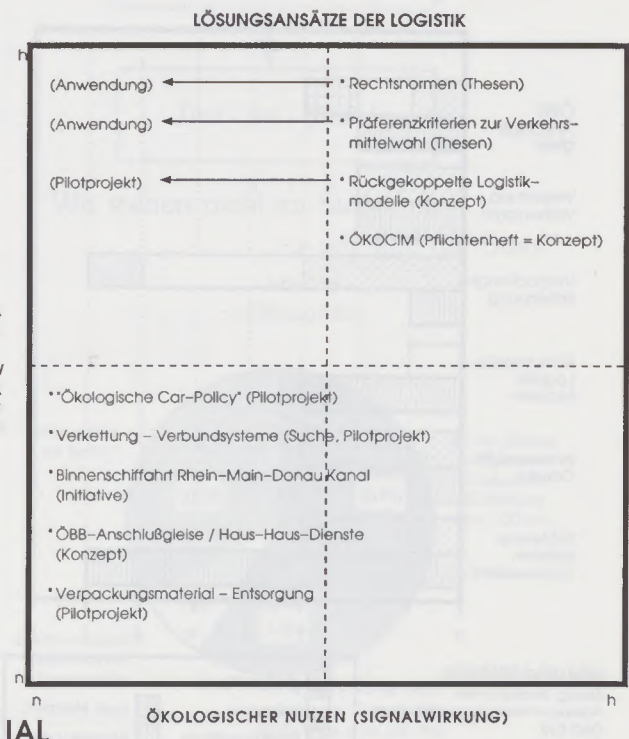
Abb. 6

Logistikaufgaben – Innerbetriebliche Logistik

- ★ Verpackungstechnik, Ladeeinheitenbildung
- ★ Lager-, Umschlags- und Kommissioniertechnik
- ★ Fördertechnik
- ★ Verkehrstechnik
- (★ Produktionslogistik (Handhabungs- und Montagetechnik))

Abb. 7

Logistikaufgaben – Physische Logistik



IAL

ÖKOLOGISCHER NUTZEN (SIGNALWIRKUNG)

Arbeitskreises "Ökologistik", Vösendorf 15.10.1990

Abb. 10

Ökologistik – Arbeitsergebnis

ARBEITSKREIS "ÖKOLOGISTIK" PROJEKTVORSTELLUNG

PROJEKT:
Initiative: Binnenschifffahrt Rhein-Main-Donau-Kanal

KURZBESCHREIBUNG:
Sowohl die Vorteile dieser Chance für den Österreichischen Transit- u. Binnverkehr als auch die für eine optimale Nutzung notwendigen Voraussetzungen - z.B. eine vollständige Stau-stufenkette - soll mit Nachdruck präsentiert werden.

IHRE MITWIRKUNGSWEISE:

Beteiligung am Projektteam (Aufwand ca. <input type="checkbox"/> MT/Jahr)	ja	nein
Zurverfügungstellen von firmenspezifischem Know-how	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
wenn ja - z.B.:		
Vorstellung eines entsprechenden Projektes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstige Mitarbeit an diesem Projekt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
wenn ja - z.B.:		
Keine direkte Mitwirkung aber Interesse am Projektfortschritt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kein Interesse an diesem Projekt, d.h. keine weitere Information	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

FIRMA: **ANSPRECHPARTNER:**

Abb. 11

Ökologistik – Der Arbeitskreis Ökologistik der BVL

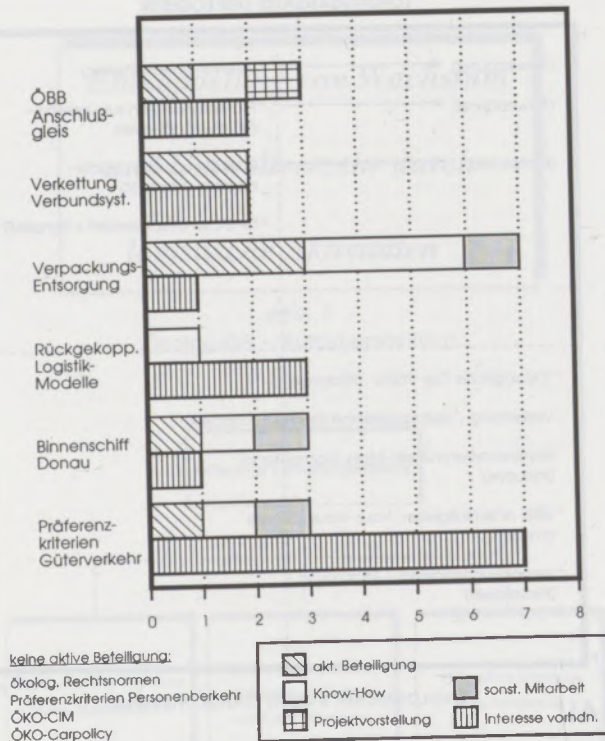


Abb. 12

Ökologistik – Antworten auf die Fragebogenaktion BVL-Ökologistik

Von den vorgestellten Projekten fanden zwei, nämlich die Erarbeitung von Präferenzkriterien im Güterverkehr und Verpackungsmaterialent-sorgung, das größte Interesse. Vier andere Pro-jekte fanden mittlere Aufmerksamkeit, und zu weiteren vier Projekten war keine aktive Rück-meldung zu erhalten (Abb. 12).

3. PRAKTISCHE LÖSUNGSANSÄTZE

In diesem Abschnitt werden die vom Arbeitskreis Ökologistik vorgeschlagenen Projekte kurz um-rissen und in Einzelfällen um Anmerkungen des Verfassers ergänzt.

3.1. Ökologische Carpolicy

In diesem Projekt sollen die firmenspezifischen Regelungen beim Zurverfügungstellen von Dienst-Pkw angesprochen werden. Manche der-artige Regelungen fördern tendenziell die Benut-zung des Pkw sowohl im Vergleich zu öffentlichen Verkehrsmitteln als auch zum generellen Nut-

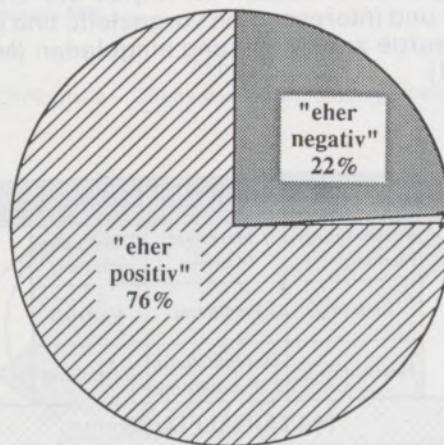


Abb. 13

Ökologistik – WdF-Umfrage: „Wie stehen Sie grundsätzlich der Idee von Öko-Abgaben (CO₂-Abgabe, Abwasserabgabe, Umstellung der Kfz-Besteuerung, Energiesteuer) gegenüber?“

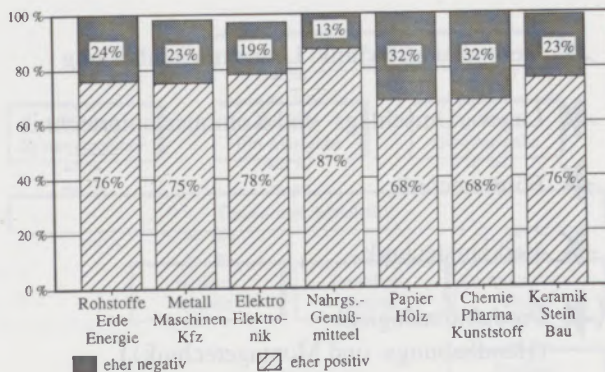


Abb. 14

Ökologistik – WdF-Umfrage – Auswertung nach Branchen

zungsumfang. Darüber hinaus sind verschiedene steuerrechtliche und versicherungstechnische Regelungen im ökologischen Sinne kontraproduktiv. Der Arbeitskreis schlägt die Entwicklung eines Pilotprojektes vor.

3.2. Ökologische Rechtsnormen

Es sollen Vorschläge oder Thesen zu ökologischen Zielvorgaben für die Logistik entwickelt werden. Der Bereich Ökoabgaben soll aus logistischer Sicht hinterfragt werden.

Anmerkung des Verfassers:

Bei einer vom Wirtschaftsforum der Führungskräfte, einem Kooperationspartner der BVL, vor kurzem durchgeführten Umfrage unter österreichischen Managern bejahten drei Viertel quer durch alle – auch unter starkem ökologischem Druck stehenden – Branchen die Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit derartiger Lenkungsmaßnahmen (Abb. 13–15).

3.3. Präferenzkriterien zur Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr

Es sollen Thesen und Vorschläge für einen ökologischen Zielkatalog entwickelt werden.

Der Arbeitskreis war sich in seiner Beurteilung der unterschiedlichen Umweltbelastung der rele-

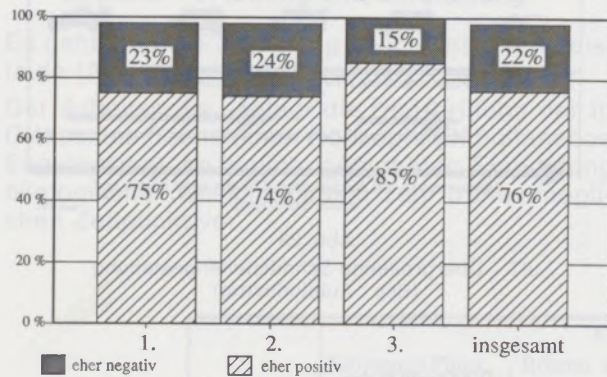


Abb. 15
Ökologik – WdF-Umfrage –
Auswertung nach Führungsebenen

UMWELT UND VERKEHR ANMERKUNGEN

- * UMWELTBELASTUNG DURCH STRASSENVERKEHR EVIDENT
- * AUCH ANDERE VERKEHRSTRÄGER SIND NICHT ZU 100 % "ÖKOLOGISCH SAUBER"
- * UMWELTBELASTUNGEN SIND ZWAR TECHNISCH BEEINFLUSSBAR
- * "FREIE VERKEHRSMITTELWAHL" NICHT ULTIMATIV AUFRECHT ZU HALTEN

Abb. 16
Ökologik – Ökologie und Güterverkehr

vanten Verkehrsträger einig. Ebenfalls herrschte volles Einvernehmen, daß die Belastung der Straße durch den gewerblichen Lkw-Güterverkehr auch nur annähernd im Sinne verschiedener „Horrorszenarien“ (Studie der Prognos AG usw.) so nicht eintreten darf; insbesondere die Grenzen der Belastbarkeit im Alpen transit sind erreicht oder überschritten. Daran ändert auch der Umstand, daß der Individualverkehr die ungleich größere Problematik darstellt, nichts (Abb. 16–21).

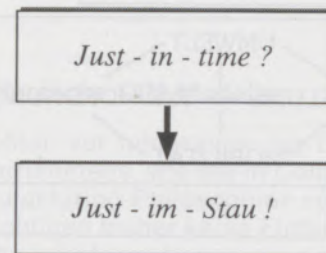
	1988		1970	
Individualverkehr	3452 ^x	1 : 10	1 : 3	2018 ^x
Güterverkehr	1259 ^{xx}	1 : 3,5	1 : 1	826 ^{xx}

x. Mrd Pers km
xx. Mrd t km

Das Wachstum der letzten 20 Jahre erfolgte auf der Straße! Die Investitionen in Verkehrswege sanken!

nach de Waele CEMT, Paris

Abb. 17
Ökologik – Schiene: Straße



"Wir stehen nicht im Stau
-> wir sind der Stau!"

Abb. 18
Ökologik

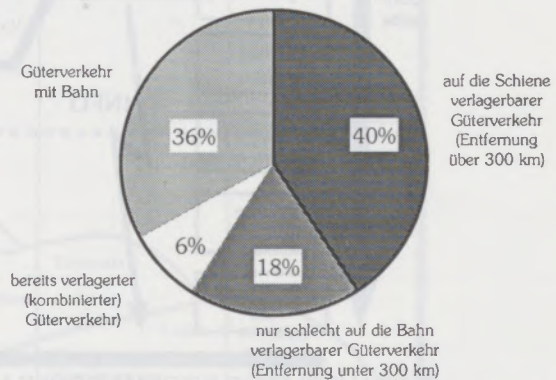


Abb. 19
Ökologik – Anteile der Bahn an der gesamten
Transportleistung

Quelle: Bundesministerium für Verkehr 1989

Anmerkung des Verfassers:

Zwei logistikinduzierte Unternehmensstrategien stehen zurzeit besonders unsachlich in der öffentlichen Kritik, und zwar „Just in time“ und der „Abbau der Fertigungstiefe“ (Abb. 22-23).

Die Stoßrichtung moderner derartiger Systeme ist nämlich unternehmensübergreifende Gestaltung der Logistikkette. Es werden in erster Linie nicht

schnelle, sondern vor allem zuverlässige Haus-Haus-Transportsysteme benötigt.

Solche Systeme müssen nicht zwingend straßengebunden sein, sofern die logistische Konzeption (insbesondere die Informationsflußgestaltung, welche vermeidbare physische Prozesse substituiert) und eine intelligente Lösung der Schnittstellenprobleme (kombinierter Verkehr) gegeben sind (Abb. 24).

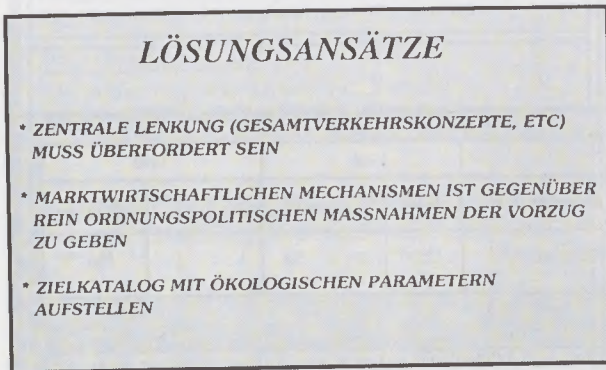


Abb. 20
Ökologistik – Ökologie-Güterwirtschaft

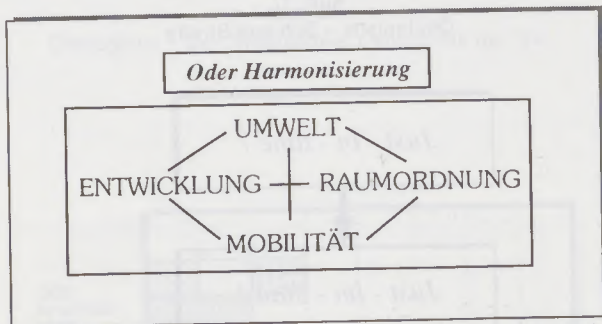


Abb. 21
Ökologistik – „Just im Stau“

nach de Waele
CEMT, Paris

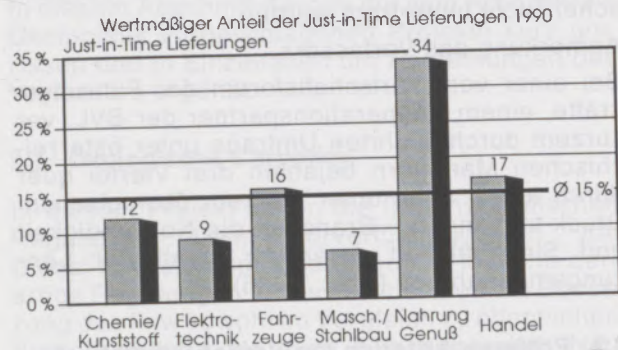


Abb. 22
JIT – Just-in-time im Unternehmen

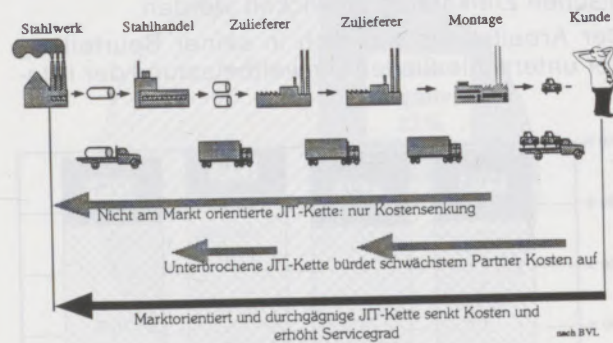


Abb. 23
JIT – Übergreifende Schnittstellengestaltung (Bsp.: Autoindustrie)

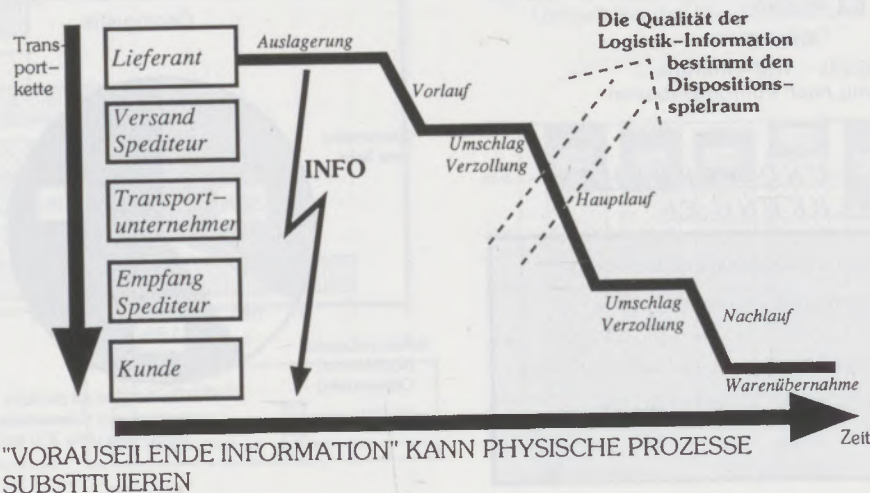


Abb. 24
Logistikinformatik – Entkoppelung von Waren- und Informationsfluß in der Transportkette

Mittelfristig könnten darüber hinaus von bis zu ein Drittel der im gewerblichen Güterverkehr gefahrenen Kilometer durch Vermeidung von Leerfahrten wegfallen. Hier geht es in erster Linie um Fragen der Logistikinformatik (Prometheus, Laderaumbörsen usw.), aber auch einschränkende gesetzliche Regelungen (Kabotage).

Langfristig sollte gerade die Logistik die Anregungen zur Verringerung des Verkehrsaufkommens, die Vester in seiner Studie über den Verkehr von morgen macht, aufgreifen (Abb. 25–27):

- die Verkürzung der Wege (biokybernetische Siedlungsstruktur);
- die Aufhebung unnötiger Wege (kybernetische Logistik, Transport- und Fertigungsstruktur);
- die Verlagerung auf die dem Transportgut (Materie, Energie oder Information) adäquaten Verkehrsträger;
- Ausbau der verschiedenen Verbundsysteme zur Optimierung der Infrastrukturnutzung.

3.4. ÖBB-Anschlußgeleise

Der Arbeitskreis schlägt die Erstellung eines Konzeptes vor, welches die Ausbaumöglichkeiten für Anschlußgeleise bei Ausschaltung der derzeitigen bürokratischen Schranken aufzeigt.

3.5. Rückgekoppelte Logistikmodelle/umweltbewußte Forschung und Entwicklung

Es geht um die Einrichtung geschlossener Kreisläufe (Abb. 28).

Der Arbeitskreis schlägt die Überprüfung der in Diskussion befindlichen Konzepte (Simultaneous Engineering) bezüglich geeigneter Einbindung ökologischer Gesichtspunkte zum frühestmöglichen Zeitpunkt vor.

Chancen für ein Unternehmen aus der Automobilbranche

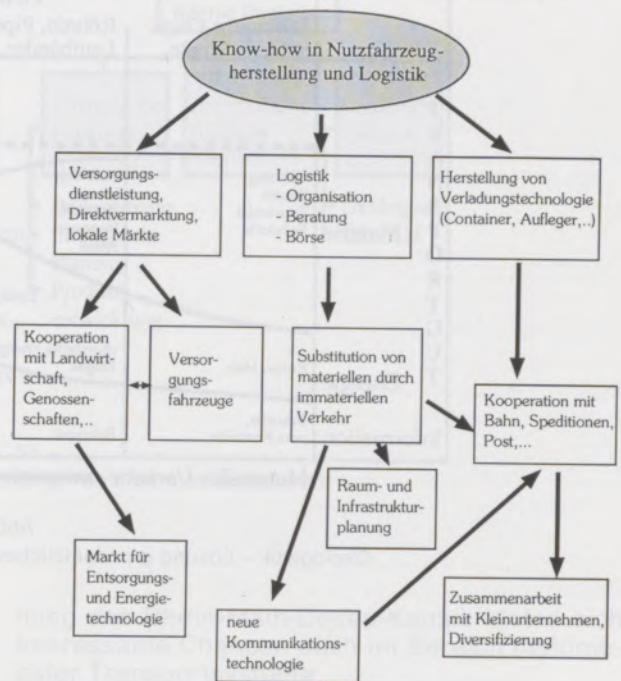


Abb. 25

Ökologistik – Verkehrsvermeidung

nach Vester

3.6. Ökologische CIM-Modelle

Philosophien zur Integration der Datenbestände des Unternehmens, wie sie in Computer-Integrated-Manufacturing-Philosophien verfolgt werden, berücksichtigen bisher keine Einbindung betrieblicher Umweltinformationssysteme (Abb. 29–31).

		VERKEHRSTRÄGER			
		Fahrzeuge, Flugz., Schiene, Straße...	Röhren, Pipelines, Laufbänder...	Draht, Leitungen, ..	drahtlos, Wellen, ...
TRANSPORTGUT	Materie	Nahrung Waren Rohstoffe Tourismus Abfälle	Rohstoffe		
	Energie	Fossile Brennstoffe (Kohle, Erdöl), Holz, chemische Energie	Wasser		
	Information	Beratungen Besichtigungen Konferenzen Unterricht Informationsaustausch Presse, Post	Erdöl Erdgas Rohrpost	Wärme Elektrizität Telefon Kabelfernsehen	Telefax Funk Fernsehen Teletext, Btx

Grenze der Belastbarkeit

Abb. 26

nach Vester

Ökologistik – Lösung grundsätzlicher Verkehrsprobleme – HEUTE

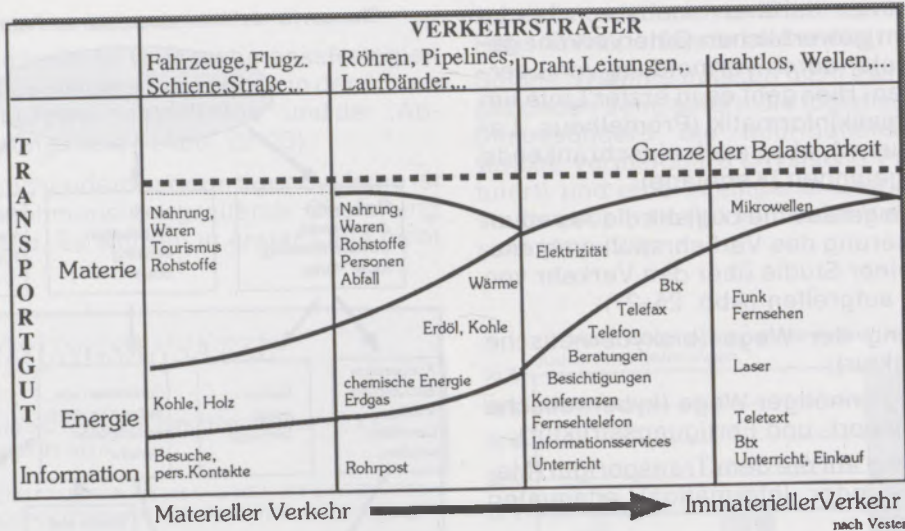
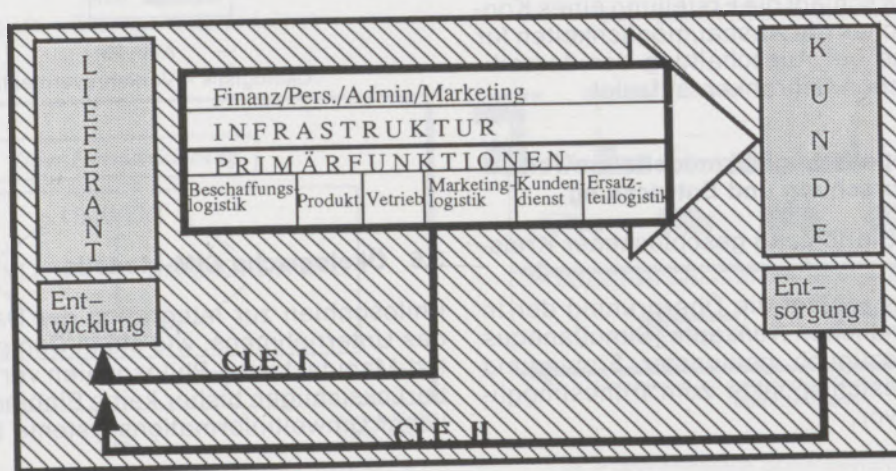


Abb. 27

Ökologistik – Lösung grundsätzlicher Verkehrsprobleme – 20 Jahre später



LOGISTIK HAT SICH AUCH DER ÖKOLOGISCHEN VERANTWORTUNG ZU STELLEN

Abb. 28

Ökologistik – „Closed Loop Engineering“

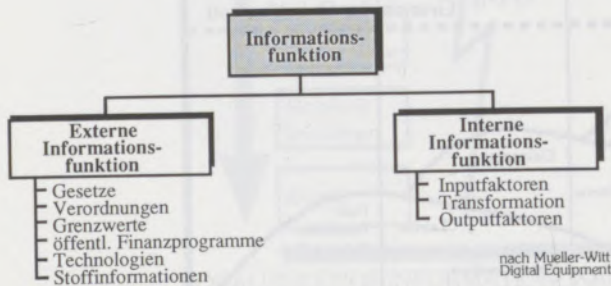


Abb. 29

Öko-CIM – Komponenten eines UIS (Umweltinformationssystem)

Der Arbeitskreis schlägt die Erarbeitung von Kriterien für ein „Öko-CIM-Pflichtenheft“ vor (Abb. 32).

3.7. Nutzung des Verkehrssystems Binnenschiff nach Eröffnung des Rhein-Main-Donau-Kanals

Bekanntlich ist das Binnenschiff der umweltfreundlichste Verkehrsträger, den wir in Österreich zur Verfügung haben. Sowohl für die Versorgung der früheren Ostblockländer als auch für den Transport geeigneten Substrates nach Öff-

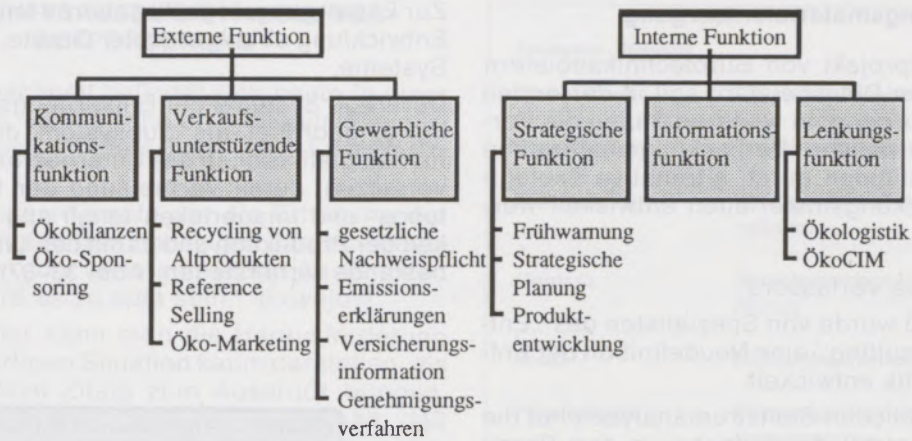


Abb. 30

Öko-CIM – Komponenten eines UIS (Umweltinformationssystem)

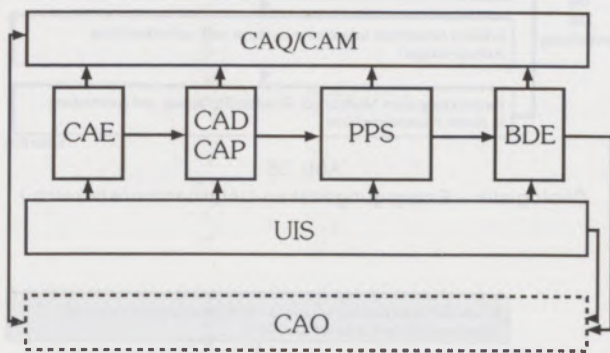


Abb. 31
Öko-CIM – CIM-Philosophie

nung des Rhein-Main-Donau-Kanals bieten sich interessante Chancen auch im Bereich multimodaler Transportsysteme.

Die BVL wird zur Bewußtseinsbildung in diesem Bereich einen aktiven Beitrag leisten.

3.8. Verkettung/Verbundsteine

Der Arbeitskreis sucht nach einem Pilotprojekt, in dem die Möglichkeit der Abfallminimierung durch den Einsatz von Abfallstoffen aus einem Produktionsvorgang in der Erzeugung eines dafür geeigneten anderen Betriebes weiter verwendet wird.

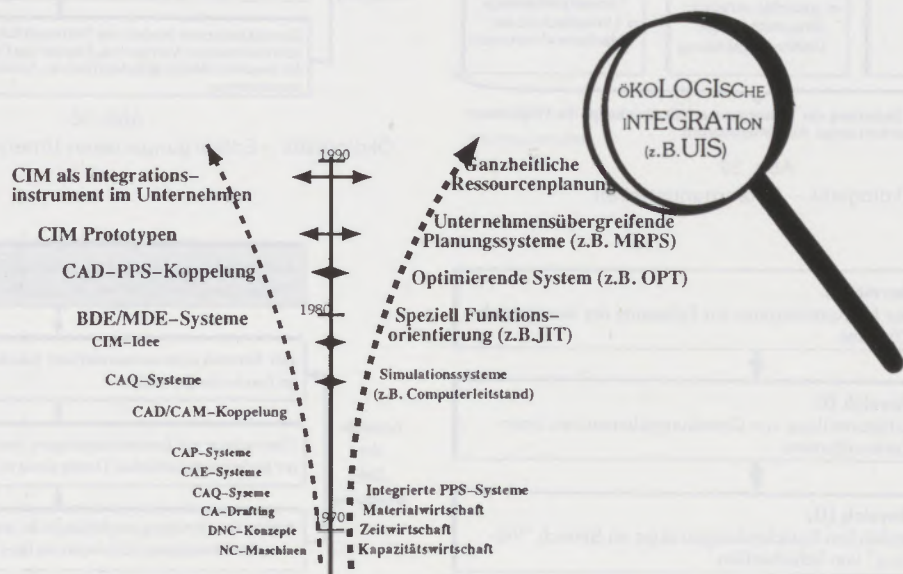


Abb. 32
Ökologistik – Entwicklung von CIM

3.9. Verpackungsmaterialentsorgung

In einem Pilotprojekt von Bürotechnikern mit logistischen Dienstleistern soll in der ersten Stufe die Entsorgung, in weiteren Stufen die Verwendung alternativer Verpackungsmaterialien oder die Substitution durch alternative ökologischere Verpackungsmaterialien entwickelt werden.

Anmerkung des Verfassers:

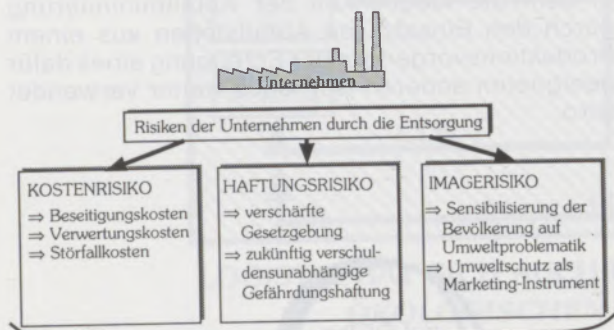
In Deutschland wurde von Spezialisten des „Entsorgungs-Consulting“ eine Neudefinition der Entsorgungslogistik entwickelt.

„Neben den üblichen Stoffstromanalysen hat die Entsorgungslogistik die Aufgabe, in den Bereichen Förderung, Lagerung und Handhabung die Produktionsrückstände und -abfälle materialfließtechnisch optimal zu führen. Da sich in diesem Bereich auch die Behandlungsanlagen für Abfälle befinden – Abfallaufbereitung zu Sekundärrohstoffen –, faßt man diese Aufgaben als sogenannte „STULB-Prozesse“ zusammen:

- S = Sammeln
- T = Transportieren
- U = Umschlagen
- L = Lagern
- B = Behandeln

Zur Entsorgungslogistik gehören folglich auch die Entwicklung abfallgerechter Geräte, Anlagen und Systeme.

Derartige Systeme der Entsorgungslogistik, richtig eingeordnet als Subsystem der Unternehmenslogistik, sollen das Unternehmen in die Lage versetzen, durch Vermeidung der Kosten-, Haftungs- und Imagerisiken langfristig die Möglichkeit der Produktion und damit des Unternehmensbestands sicherstellen (Abb. 33–37).



Nur eine langfristige Sicherung der Entsorgung erhält überhaupt die Möglichkeit der Produktion und sichert somit das Unternehmen
Jahrbuch der Logistik 1991

Abb. 33

Ökologistik – Entsorgungsriskien

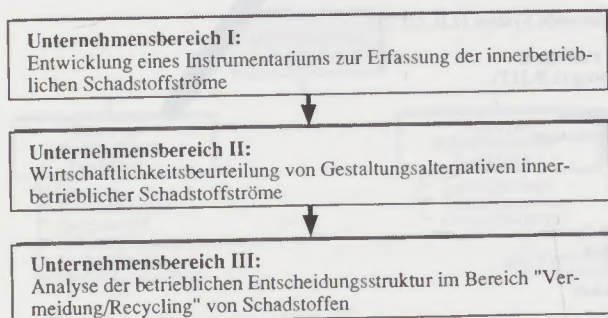


Abb. 34

Ökologistik – Entsorgungsriskien

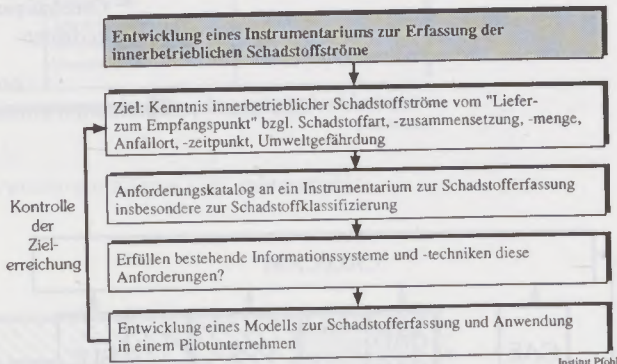


Abb. 35

Ökologistik – Entsorgungsriskien-Unternehmensbereich I

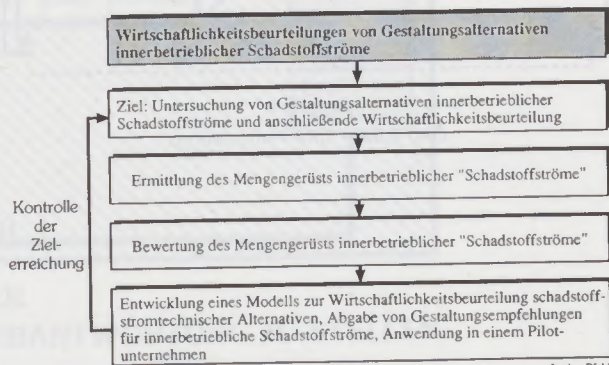


Abb. 36

Ökologistik – Entsorgungsriskien-Unternehmensbereich II

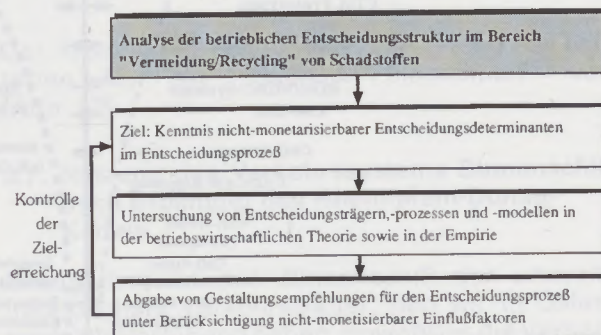


Abb. 37

Ökologistik – Entsorgungsriskien-Unternehmensbereich III

4. ZUKUNFTSAUSBLICK/HANDLUNGS-AUFFORDERUNG

... „Die Menschheit befindet sich heute in einer Krise, deren katastrophaler Höhepunkt wahrscheinlich noch vor uns liegt.“ (C. F. v. Weizsäcker)

... „Die meisten Kämpfe um die Erhaltung der Umwelt werden in den neunziger Jahren entweder gewonnen oder verloren werden. Im nächsten Jahrzehnt wird es zu spät sein.“ (Lovejoy)

Eindrucksvoller kann man die Herausforderung der gegenwärtigen Situation kaum darstellen, als es diese beiden Zitate zum Ausdruck bringen. Wenn man sich dazu noch vor Augen hält, daß es nach breiter Überzeugung für die Lösung nahezu aller Logistikprobleme geeignete Techniken, Methoden und Verfahren gibt, zu denen vorrangig auch logistische Systemgestaltung zählt, können weitere Ausführungen unterbleiben.

Literaturliste - Ökologistik

Club of Rome	Die globale Revolution
Club of Rome	Die Herausforderung des Wachstums
Kirchgang	Ökologieorientiertes Unternehmensverhalten
Oberholz	Umweltorientierte Unternehmensführung
Pestel	Jenseits der Grenzen des Wachstums
Pieroth/Wicke	Chancen der Betriebe durch Umweltschutz
Winter	Das umweltbewußte Unternehmen
World Resources Inst.	Internationaler Umweltatlas
Worldwatch Inst.Report	Zur Lage der Welt 89/90
(Verlag Falter)	Öko-Bilanz Österreich
Friedrich Vester	Ausfahrt Zukunft

Umweltschutz und Umwelttechnologiedatenbanken in der EG, Österreich und Osteuropa

Gerhard Burian, Wien*)

Im Jahr 1993 tritt der Vertrag der EFTA mit der EG über den Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) in Kraft und leitet eine neue Dimension in den Wirtschaftsbeziehungen innerhalb Europas ein. Die Bereiche sind besonders hervorzuheben:

- Erleichterter Marktzutritt in EG-Ländern.
- Volle Teilnahme am „Dritten Rahmenprogramm für Forschung und Technologie“ der EG.
- Aufbau Osteuropas (Sanierung der umweltschädlichen Industrie usw.).

In diesem Zusammenhang ist die Verwendung von Umwelttechnologiedatenbanken und Informationsstellen von besonderer Bedeutung. Mit Hilfe dieser können Forschungspartner, Kooperationspartner für Projekte, Lieferanten von benötigten Technologien usw. gefunden werden.

Im Rahmen dieses Aufsatzes wird daher der Umweltschutzmarkt innerhalb der EG sowie die Umwelttechnologie Transferzentren NETT, Brüssel, Seibersdorf – Bank Austria, Österreichisches Patentamt, UNEP-IPCIC (International Cleaner Production Information Clearinghouse), Regional Center – Budapest, dargestellt.

Environmental Protection and Environmental Data Bank in the EEC-Countries, Austria and Eastern Europe

In 1993, the agreement covering the European Economic Policy, between the EFTA and the EEC, came into force. This set a new dimension on the economic relations within Europe. The following should be especially underlined:

- Easier access to markets in EEC countries
- Total involvement within the EECs' "Third Rahmen Programm for research and technology"
- Rebuilding Eastern Europe (modifying polluting industries etc.)

In relation to this, the use of environmental technology data banks plays an important role. Partners for research and cooperation with projects, suppliers of technology etc. can be easily found.

This article will mainly be dealing with the market for environmental protection within the EEC together with the environmental technology NETT, Brussels, Seibersdorf-Bank Austria, Austrian Patent Office, UNEP-IPCIC (International Cleaner Production Information Clearinghouse), Regional Center Budapest.

Protection de l'environnement et banques de données sur la technologie de la protection de l'environnement dans la Communauté Européenne, en Autriche et en Europe de l'Est

En 1993 le traité de l'EFTA avec la Communauté Européenne au sujet de l'Espace Economique Européen entre en vigueur et introduit une nouvelle dimension dans les relations économiques au sein de l'Europe. Certains domaines sont à souligner particulièrement:

- Accès facilité au marché des pays de la Communauté Européenne
- Participation entière dans «Le troisième programme de recherche et de technologie» de la Communauté Européenne
- Construction de l'Europe de l'Est (assainissement de l'industrie nuisible à l'environnement, etc.)

Dans cette ordre d'idée l'emploi de banques de données sur la technologie de l'environnement et des points d'information a une importance particulière. Avec leur aide on peut trouver des partenaires de recherche, des partenaires de coopération pour des projets, des fournisseurs pour des technologies nécessaires, etc.

Dans le cadre de ce travail, on présente le marché de protection de l'environnement au sein de la Communauté Européenne ainsi que les Centres de Transfer de technologie de l'environnement NETT, Bruxelles, Seibersdorf – Banque d'Autriche, l'Office des Brevets autrichiens, l'UNEP-IPCIC (International Cleaner Production Clearinghouse), le Regional Center – Budapest.

Entwicklung der Umweltschutzindustrie

- Industrie ist aufgeteilt
6500 Firmen sind aktiv, davon 63% mit Umsätzen von weniger als 5 Mio. Ecus; 72% Eigentümerführung

- Unterschiedliche Gesetzgebung in den einzelnen Ländern führt zu Marktsegmentierung

- Ausgaben für Forschung und Entwicklung = 2 bis 3% der öffentlichen Forschungs- und Entwicklungsausgaben

- Geringe Ausgaben für Marketingstrategien zur Förderung neuer Umwelttechnologien

*) Mag. Dr. Gerhard Burian
Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten
A-1011 Wien

Abfälle innerhalb der EG (in Mio. t)

Landwirtschaftliche Abfälle	1100
Bergwerks- und Energieabfälle	400
Schlamm	230
Industrieabfälle	160
Hausmüll	90
Altöl	2
Bauabfälle	160
Gesamt	2142

Kosten für Abfallbehandlung im Jahr 2000

Markt von 23 Milliarden Ecus = 31% des Gesamtumweltschutzmarktes!

Wasserbehandlung	44%
Luft	23%
Lärm	2%

Wachstumsaussichten**Beispiele von Marktnischen in Europa****HOHE WACHSTUMSRATE 1989 1995
30-55% p.a.**

Spezialchemikalien für Wasserbehandlung	£ 520 m	£ 2,5 bn
Automatische Katalysatoren	£ 110 m	£ 710 m
fortgeschrittene Tertiärbehandlung von Abwasser	£ 22 m	£ 360 cm
In-situ-Behandlung von verseuchtem Boden	£ 5 m	£ 600 m

NIEDRIGE WACHSTUMSRATEN 10-20% p.a. 1989 1995

Filtern von Substanzen aus Gas	£ 200 m	£ 491 m
Primärbehandlungssysteme für Abwasser	£ 590 m	£ 1100 m

ABNAHME 1989 1995

Verflüssigen von Rauchgas Clean-up	£ 750 m	£ 350 m
Deponieren von gefährlichem Abfall im Meer	£ 50 m	£ 0 m
Produkte für Lärmbekämpfung	£ 750 m	£ 55 m

Europa bietet größere Chancen**GRÜNDE:**

- stabile Politik
- hohe Wachstumsraten aufgrund strenger Gesetzgebung und Durchführung
- Marktnischen entstehen schneller
- Umstrukturierung der Industrie

- Gemeinsamer Markt

- Osteuropa

HAUPTMARKTCHANCEN IN DEN BEREICHEN:

- Dienstleistungen
- Überwachungs- und Kontrollsysteme
- Ausführung und Management
- Ausrüstung
- durchführende Firmen

ARBEITSGEMEINSCHAFT NETT ÖSTERREICH

Im Rahmen der Untergruppe „Umwelt“ der Interministeriellen Arbeitsgruppe „Integration“ hat sich ein Arbeitskreis dem Thema „Saubere Technologien“ in seinem europäischen Kontext gewidmet. In der europäischen Initiative NETT – europäisches Informationsnetz für Umweltschutz-Technologietransfer – sieht diese Arbeitsgruppe ein geeignetes Instrument, den Umweltschutz-Technologietransfer zwischen Österreich und dem EG-Raum zu fördern. Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft NETT Österreich sind Behörden, Interessenvertreter, Dienstleistungsstellen für Umwelttechnologie-Datenbanken (Techinform/BUKA, Ecotech/ÖFZS usw.).

Ziel der Arbeitsgemeinschaft NETT Österreich

Propagierung von NETT in Österreich, Koordination der österreichischen Dienstleistungen für Umweltschutztechnologie, Hilfestellung für Umweltschutz-Technologietransfer zwischen Österreich und dem EG-Raum.

Hilfestellung für

Kontaktherstellung mit EG-Stellen, den Zugang zu EG-Gemeinschaftsprojekten, den Zugang zu Informationen der EG-Kommission auf dem Technologiesektor, die Anbahnung von Industriekontakten und Kontakten mit Interessenvertretungen der Industrie im EG-Raum, Technologietransfer, Technologieberatung, Kontakt zu Forschungseinrichtungen im EG-Raum, die Vermittlung adäquater Beratungsstellen, die Beschaffung von Informationen über Patente und Lizenzen, Informationen über einschlägige Ausbildungsprogramme, Technologie-Marketing . . .

INTERNATIONALE KOOPERATION IN DER UMWELTTECHNIK – NETT

Verstärkt berücksichtigt das Wirtschaftsministerium die steigende internationale Kooperation im

Bereich der Umwelttechnologien, was eine effiziente Einbindung heimischer Unternehmen und Institutionen in den europäischen Umwelttechnologietransfer voraussetzt. Hierzu hat die vom Wirtschaftsressort geleitete Projektgruppe „Saubere Technologien“ (im Rahmen der Interministeriellen Arbeitsgruppe für Europäische Integration) eine Teilnahme Österreichs an dem in der EG im Jahre 1988 gestarteten „Netzwerk für den Transfer von Umwelttechnologien“ (NETT) herbeigeführt.

NETT ist eine privatwirtschaftlich organisierte Informations- und Clearingstelle in Brüssel und organisiert rasch, unbürokratisch und kostengünstig den umwelttechnikwirksamen Wissenstransfer für Unternehmen, die umweltschutzbezogene Investitionen planen. In Österreich hat es sich die ARGE NETT (federführend betreut von der Vereinigung Österreichischer Industrieller) zur Aufgabe gemacht, möglichst viele Unternehmen mit den Vorteilen von NETT vertraut zu machen. NETT hat zudem vorgeschlagen, daß die ARGE NETT ein „Eastern Europe Sub Comitee“ für NETT Brüssel einrichten soll.

Diesem Vorschlag hat die Vereinigung Österreichischer Industrieller im März 1992 zugestimmt und ein dementsprechendes Sekretariat eingerichtet.

Zentrale Kontaktstelle für NETT Österreich

Mag. Josef Stiegler, Vereinigung Österreichischer Industrieller, Abt. Umweltpolitik, 1031 Wien, Schwarzenbergplatz 4, Tel. (0 22 2) 71 1 35/0, Fax 71135-292

KOOPERATION DER „UMWELTECHNOLOGIE-DATENBANK SEIBERSDORF“ MIT DER UMWELTDATENBANK DER BANK AUSTRIA AG

Um den Unternehmen den Zugriff auf moderne umwelttechnische Verfahren zu erleichtern, wurde auf Initiative des Wirtschaftsministeriums und mit ideeller und finanzieller Unterstützung von Wissenschafts- und Wirtschaftsressort in Seibersdorf eine Umwelttechnikdatenbank für Produkte und Verfahren aufgebaut. Diese Datenbank umfaßt derzeit mehr als 500 österr. Firmen mit 1500 Produkten, Verfahren und Dienstleistungen. Zusätzlich zu diesen Datensätzen sind etwa 120 ungarische Produkte und Verfahren von etwa 30 ungarischen Firmen über die Datenbank abrufbar. Mit Unterstützung des Wirtschaftsministeriums und des Föderalausschusses für Umwelt der ČSFR gelang es dem Österr. Forschungszentrum Seibersdorf im Vorjahr, eine Einbindung tschechoslowakischer Produkte und Verfahren in die Wege zu leiten. Ein dementsprechender Kooperationsvertrag des Österr. Forschungszentrums Seibersdorf mit einem ČSFR-Partner soll noch in diesem Jahr unterzeichnet werden. Damit ist ein direkter Zugriff von ČSFR-Unternehmen auf die

auf dem österreichischen Markt befindlichen Umwelttechnologien möglich geworden.

Zur effizienten Vermarktung der Datenbank in Europa ist das ÖFZS seit längerem Mitglied von NETT und hat im Vorjahr einen Kooperationsvertrag mit der Umweltdatenbank der Bank Austria abgeschlossen. Die Zusammenarbeit der Bank Austria AG mit der Deutschen Bank ermöglicht exportorientierten Unternehmen im Umweltbereich, ihre Produkte und Verfahren europa- und auch weltweit abrufbar zu machen.

(Kontakt: Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, Herr Ing. Urban, Tel. 0 22 54/800, bzw. Bank Austria AG, Herr Sebek, Tel. 0 22 2/71 1 91)

DATENBANK DES ÖSTERREICHISCHEN PATENTAMTES

Um der Öffentlichkeit einen gezielten Zugriff zu den neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet der Umwelttechnologie zu ermöglichen, sind ab September 1990 in der, neben dem Patentbereich auch die Bereiche Marke und Muster enthaltenden, Datenbank des Österreichischen Patentamtes die bekanntgemachten österreichischen Patentanmeldungen und erteilten Patente, die Umweltschutz bzw. Energiesparen betreffen, selektiv abrufbar. Die abrufbaren Daten beinhalten nicht nur bibliographische Angaben, wie Erfinder, Patentinhaber, technisches Sachgebiet (nach der internationalen Patentklassifikation) und Patentnummer bzw. Anmeldungen, sondern auch eine Zusammenfassung des technischen Inhalts. Seit Oktober 1991 besteht nun über DATEX-P die Möglichkeit eines externen Online-Zugriffes zu der Datenbank des Österreichischen Patentamtes. In nächster Zukunft wird auch ein Zugang über Telefonnetz bzw. Radio Austria möglich sein.

Im Patentamt selbst stehen der Öffentlichkeit weiterhin Terminals für einen Zugriff zu diesen Daten zur Verfügung.

Bekanntgemachte österreichische Patentanmeldungen, die Erfindungen auf den Gebieten Umweltschutz bzw. Energiesparen betreffen, werden darüber hinaus im Österreichischen Patentblatt, II. Teil, gesondert angeführt.

Zur Vervollständigung der Information wird noch angeführt, daß gemäß § 171 Abs. 1 PatG die Anmeldegebühr und die ersten drei Jahresgebühren auf Antrag zu stunden sind, wenn eine Patentanmeldung vorliegt, die offensichtlich die Gewinnung oder Einsparung von Energie zum Ziel hat. Diese Bestimmung existiert seit 1977.

(Kontakt: Österreichisches Patentamt, Kohlmarkt 8-10, 1014 Wien, Tel. 534-24/0, Telefax 534-24/535)

Erfassung, Erkundung und Bewertung von Verdachtsflächen im Rahmen des Altlastensanierungsgesetzes

Martin Schamann Wien*)

Im Juli 1989 wurde das Altlastensanierungsgesetz beschlossen. Ziel des Gesetzes ist die Finanzierung der Sicherung und Sanierung von Altlasten. Unter anderem wird eine gesetzliche Grundlage zur Erfassung, Erkundung und Bewertung von Verdachtsflächen geschaffen.

Verdachtsflächen im Sinne des Altlastensanierungsgesetzes, d. s. Ablagerungen und Industriestandorte, von denen aufgrund früherer Nutzungsformen eine unzumutbare Beeinträchtigung für den Menschen oder die Umwelt ausgehen kann, werden dem Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie von den Landeshauptmännern genannt und in dem vom Umweltbundesamt geführten Verdachtsflächenkatalog ausgewiesen. Die Meldung umfaßt Informationen über die genaue Lage der Fläche, rechtliche Situation, Art der umweltgefährdenden Stoffe, hydrogeologische Standortverhältnisse und Nutzung. Die Informationen stellen die Grundlage für die Bewertung der Verdachtsflächen dar.

Ziel der Bewertung ist die Ermittlung jener Flächen, von de-

nen eine unzumutbare Beeinträchtigung der Umwelt bereits eingetreten oder eine hohe Umweltgefährdung gegeben ist. Im ersten Schritt der Bewertung, der Erstabschätzung, wird für die große Zahl der gemeldeten Verdachtsflächen die Dringlichkeit erforderlicher Untersuchungen (Grundwasser, Boden, Untergrund . . .) festgelegt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind Grundlage für die Beurteilung, ob von der Verdachtsfläche eine Umweltbeeinträchtigung bzw. -gefährdung ausgeht. In diesem Fall wird die Verdachtsfläche als Altlast im Altlastenatlas ausgewiesen und damit ein Sicherungs- bzw. Sanierungsbedarf dokumentiert. Die Dringlichkeit der erforderlichen Sicherungs- bzw. Sanierungsmaßnahme wird durch eine Prioritätenklasse bestimmt.

Für die im Altlastenatlas mit einer Prioritätenklasse ausgewiesenen Altlasten besteht die Möglichkeit einer Förderung von Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen durch den Ökofonds. Die vom Ökofonds dafür vergebenen Mittel werden durch Einhebung einer Abgabe auf das Deponieren und Exportieren von Abfällen aufgebracht.

Locating, Reconnaissance and Evaluation of Potentially Contaminated Sites within the Law of Reclaiming Contaminated Sites

The law for reclaiming contaminated sites was passed in July 1989. The object of this law was the finance, safety and reclamation of contaminated sites. This has now formed a legal basis for contaminated sites to be located, reconnoissanced and evaluated.

According to this law, suspicious sites e.g. old refuse and industrial sites, which most likely have an unreasonable influence on the human and on the environment, will be named to the Ministry for Environment, Youth and Family Affairs by the County Parliament Representative. These will then be included in the register of potentially contaminated sites. This notice includes information on the exact location, legal situation, types of environmentally dangerous matter, hydro-geological location conditions and utilisation. This information will then set the basis for the evaluation of potentially contaminated sites.

The object of the evaluation is to ascertain the sites which already have an intolerable influence, or could become dangerous to the environment in the future.

The first step of evaluation, which is an preliminary assessment, entails listing the urgency and priority for investigating most of the suspicious sites (ground water, surface, lower layer etc.).

Results of the investigation form the basis for judgement as to whether the site is hazardous towards the environment or potentially dangerous. In this case, the site will be classified as a contaminated site in the register of contaminated sites. This then documents the aspects of safety and reclaim requirements. The urgency of the necessary safety measures and reclaim requirements is then classified according to priority.

There are the possibilities of funding by the ÖKOFUNDS: These aid the enforcement of safety measures and reclaim contaminated sites which are noted in the contaminated site register als being top priority.

The funds given by the ÖKOFUNDS originate from duties collected from deposited and exported refuse.

Recherche, reconnaissance et estimation des superficies suspectes dans le cadre de la loi de décontamination des charges anciennes

En juillet 1989 a paru une loi sur la décontamination des charges anciennes. Le but de cette loi est le financement de la sécurité et de la décontamination des charges anciennes.

Entre autres, on établit une base légale pour la recherche, la reconnaissance et l'estimation des superficies suspectes.

Dans le sens de cette loi, les superficies suspectes sont des décharges anciennes et des dépôts industriels, qui peuvent donner naissance à un endommagement imprévisible de l'environnement, et qui sont signalées par les chefs de régi-

*) Dipl.-Ing. Martin Schamann, Umweltbundesamt, Spittelauer Lände 5, 1090 Wien

ons au Ministère Fédéral pour l'environnement, la jeunesse et la famille et figurent au cadastre des superficies suspectes du service fédéral de l'environnement. La déclaration comporte des informations sur le lieu exact de cet espace, sa situation juridique, la nature des matières menaçantes pour l'environnement, les conditions hydrogéologiques du lieu et son usage. Ces informations constituent la base pour l'estimation de la superficie suspecte.

Le but de l'estimation est de découvrir les superficies ayant déjà causé un endommagement imprévisible de l'environnement ou qui présentent un grand danger pour celui-ci. Dans le premier temps de l'estimation, on effectue une évaluation préliminaire pour le grand nombre de superficies suspectes qui exigent des études urgentes (nappe phréatique, sol, sous-

sol...). Les résultats de ces études servent de base pour déterminer s'il émane de la superficie suspecte un endommagement ou une menace pour l'environnement. Dans ce cas, l'espace suspect est signalé en tant que charge ancienne dans l'atlas des charges anciennes et on établit en même temps des documents pour en assurer la sécurité ou la décontamination. Le degré d'urgence des mesures de sécurité ou de décontamination est déterminé au moyen d'une classe de priorité. Pour les charges anciennes signalées dans l'atlas avec une classe de priorité, il est possible de demander un soutien des mesures de sécurité ou de décontamination par le fonds écologique. Les moyens fournis ainsi par le fonds écologique sont recueillis en levant une taxe sur le dépôt de déchets et sur l'exportation de ceux-ci.

Gemäß den Richtlinien des Altlastensanierungsgesetzes werden dem Bundesminister für Umwelt, Jugend und Familie von den Landeshauptmännern Verdachtsflächen genannt. Unter **Verdachtsflächen** (Abb. 1) werden Abfallablagerungen und (Alt)Industriestandorte verstanden, von denen aufgrund früherer Nutzungsformen eine unzumutbare Beeinträchtigung für den Menschen oder die Umwelt ausgehen kann. Die Nennung einer Verdachtsfläche umfaßt Informationen über die genaue Lage der Fläche, Angaben zur rechtlichen Situation, Art der umweltgefährdenden Stoffe, die hydrogeologischen Standortverhältnisse, die Nutzungssituation auf der Verdachtsfläche

und in deren Umgebung und, so vorhanden, Ergebnisse bereits durchgeführter Untersuchungen.

Die übermittelten Informationen werden vom Umweltbundesamt in den **Verdachtsflächenkataster** (Abb. 2) übernommen, wobei die Daten in Text- und Grafikdatenbanken gespeichert werden. Die Textdatenbank umfaßt unter anderem die oben genannten, vom Landeshauptmann übermittelten Informationen, in der Grafikdatenbank erfolgt die Lokalisierung der Flächen zu meist auf der Basis der Österreichkarte 1:50.000. Ziel der Erstellung des Verdachtsflächenkata-

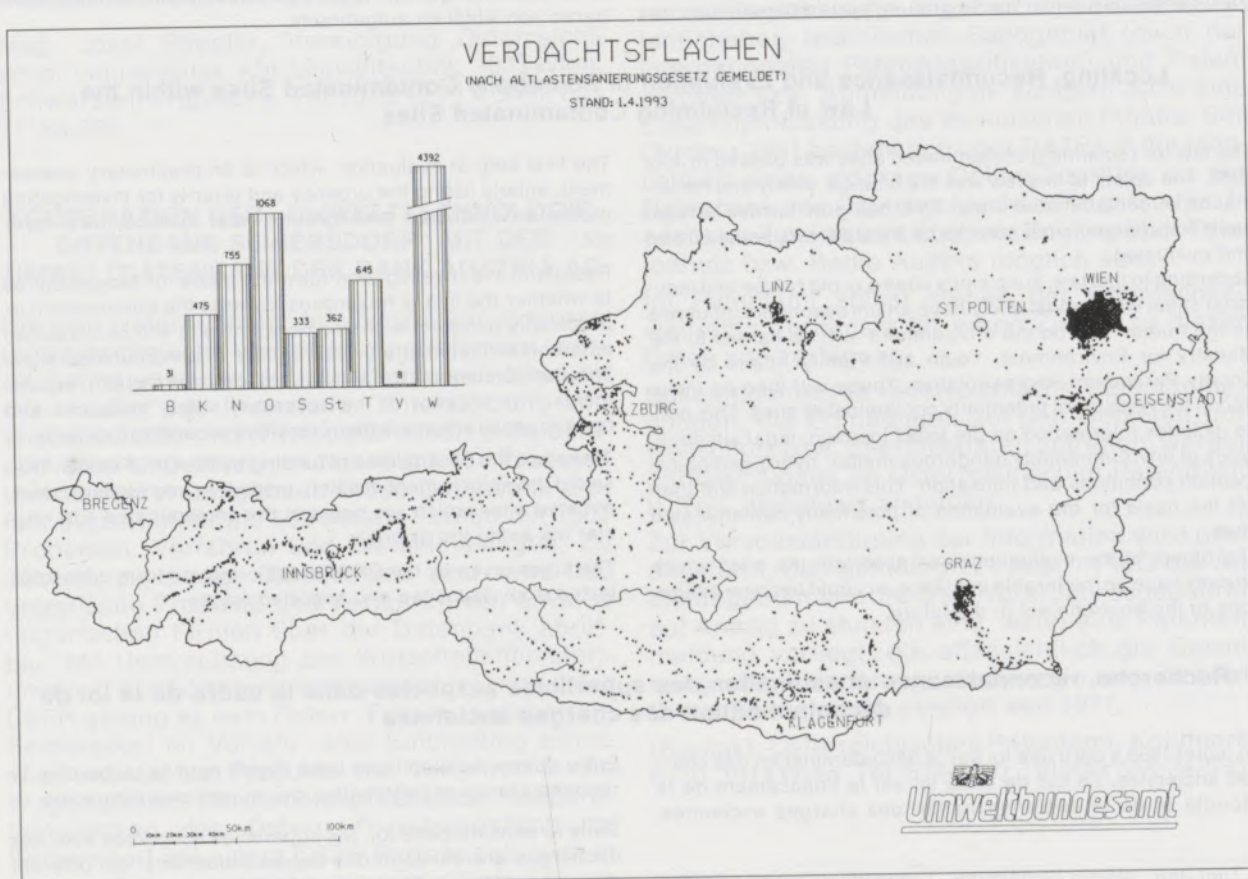


Abb. 1

sters ist eine bundesweite Erfassung von Alttablagerungen und Altindustriestandorten.

Durch einen Bewertungsvorgang soll aus der Zahl der genannten Verdachtsflächen jene ermittelt werden, an denen eine unzumutbare Beeinträchtigung nachgewiesen wurde oder eine hohe Umweltgefährdung gegeben ist.

Dieser Bewertungsvorgang läßt sich in folgende drei Phasen gliedern (siehe Abb. 3).

- Erstabschätzung
- Gefährdungsabschätzung
- Prioritätenklassifizierung

ERSTABSCHÄTZUNG

Bei der Erstabschätzung soll das Gefährdungspotential einer Verdachtsfläche beurteilt werden, wobei der Begriff „**Gefährdungspotential**“ die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß einer möglichen Umweltbeeinträchtigung umschreibt. Grundlage zur Ermittlung des Gefährdungspotentials sind die zur Verdachtsfläche bekannten Informationen. Es werden folgende Bewertungsfaktoren abgeschätzt:

- Stoffgefährlichkeit

In Abhängigkeit von der Art und dem Ausmaß der vorhandenen umweltgefährdenden Stoffe wird

der Faktor „Stoffgefährlichkeit“ bestimmt, dessen Höhe das Schadstoffpotential, d. h. die potentiell freisetzbaren Schadstoffe, deren Menge und deren Wirkungsweise, ausdrücken soll.

- Schadstoffaustrag, -eintrag und -wirkung

Entsprechend den natürlichen Standortverhältnissen (z. B. Untergrund, Grundwasser, Morphologie, Klima usw.) und den technischen Einrichtungen (Abdeckung, Abdichtung usw.) werden die Faktoren „Austrag“, „Eintrag“ und „Wirkung“ bestimmt.

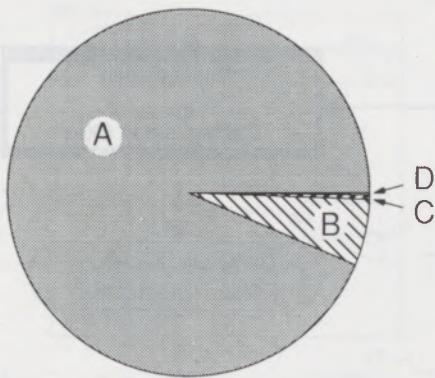
Mit diesen Faktoren werden die Möglichkeiten der Freisetzung von Schadstoffen aus der Verdachtsfläche und deren Ausbreitung in den Schutzgütern Grundwasser, Luft, Boden und Oberflächengewässer beschrieben. Die Bewertung erfolgt dabei für jedes Umweltmedium getrennt.

- Bedeutung des Schutzgutes

Mit dem Faktor „Bedeutung des Schutzgutes“ wird, entsprechend der Nutzung des Umweltmediums (= Schutzgut), dessen Wertigkeit festgelegt.

Durch Verknüpfung dieser Bewertungsfaktoren

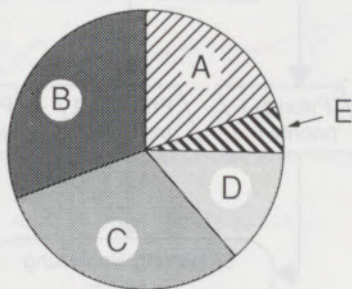
STATISTIK – VERDACHTSFLÄCHENKATASTER



7.994 VERDACHTSFLÄCHEN (ohne Altlasten)

- A ... 7.479 Flächen: noch keine Erstabschätzung
- B ... 468 Flächen: Erstabschätzung abgeschlossen
- C ... 33 Flächen: Voruntersuchungen werden durchgeführt
- D ... 14 Flächen: Gefährdungsabschätzung in Ausarbeitung

STATISTIK – ALTLASTENATLAS



75 ALTLASTEN

- A ... 15 Altlasten: noch keine Prioritätenklasse festgelegt
- B ... 23 Altlasten: Prioritätenklasse I
- C ... 23 Altlasten: Prioritätenklasse II
- D ... 10 Altlasten: Prioritätenklasse III
- E ... 4 Altlasten: gesichert oder saniert

Abb. 2

ergibt sich ein Wert, der die Größe des abgeschätzten Gefahrenpotentials repräsentieren soll. Durch die Erstbewertung werden Prioritäten für die Untersuchungen an den Verdachtsflächen festgelegt.

GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG

Die Gefährdungsabschätzung ist die Beurteilung, ob die Verdachtsfläche eine erhebliche Umweltbeeinträchtigung verursacht oder eine hohe Umweltgefährdung darstellt. Grundlage für die Gefährdungsabschätzung sind Ergebnisse von Untersuchungen, die die Situation im Bereich der Verdachtsfläche und der betroffenen Schutzgüter charakterisieren.

Die Untersuchungen werden je nach rechtlicher Situation,

- im Auftrag der Behörde (Wasserrecht, Gewerbeamt . . .),
- in Vollziehung des Altlastensanierungsgesetzes oder
- aus Eigeninteresse eines Betroffenen, durchgeführt.

Die Gefährdungsabschätzung erfolgt in analoger Weise wie die Erstabschätzung mit erhöhtem Informationsniveau.

Wird eine Umweltbeeinträchtigung oder -gefährdung festgestellt, wird die Verdachtsfläche als Altlast gemäß Altlastensanierungsgesetz ausgewiesen. Damit wird die Notwendigkeit einer Sicherung oder Sanierung dokumentiert. Bei einer negativen Beurteilung verbleibt die Verdachtsfläche als sogenannte Beobachtungsfläche im Verdachtsflächenkataster und wird erst nach Vorliegen relevanter zusätzlicher Informationen neuerlich einer Gefährdungsabschätzung unterzogen. Die Kriterien für die Ausweisung als Altlast sind vor allem die für die Schutzgüter geltenden Qualitätskriterien (z. B. Trinkwassergrenzwerte). Durch die Feststellung einer Altlast kommt es zur Verfahrenskonzentration beim Landeshauptmann.

Sämtliche Altlasten werden im Altlastenatlas (Abb. 4) ausgewiesen. Der Altlastenatlas wird vom Umweltbundesamt geführt und liegt bei den Ämtern der Landesregierungen und im Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie zur öffentlichen Einsicht auf.

PRIORITÄTENKLASSIFIZIERUNG

Die Prioritätenklassifizierung (Abb. 4) stellt den dritten Schritt des Bewertungsvorganges einer Verdachtsfläche bzw. Altlast dar. Für jede ausgewiesene Altlast wird die Dringlichkeit der Sicherung/Sanierung festgelegt.

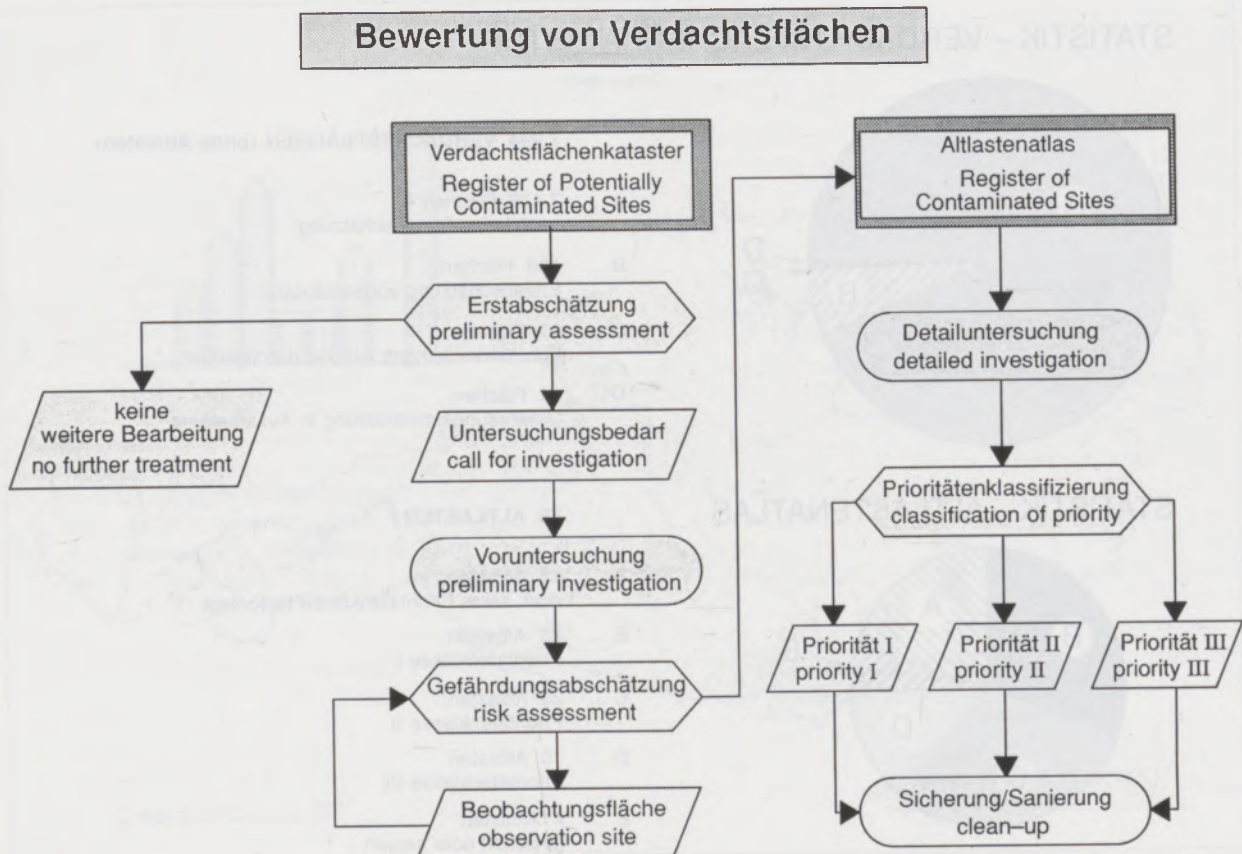


Abb. 3

rungs- bzw. Sanierungsmaßnahme durch die Einstufung in eine Prioritätenklasse festgelegt. Es wurden drei Prioritätenklassen definiert, wobei die Prioritätenklasse I den dringlichsten Handlungsbedarf ausweist. Die Prioritätenklasse einer Altlast ist im Altlastenatlas ersichtlich gemacht.

Mit der Festlegung der Prioritätenklasse ist die Möglichkeit der Förderung von Sicherungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen durch den Ökofonds gegeben.

STAND DES VERDACHTSFLÄCHENKATASTERS UND DES ALTLASTENATLAS

Bis 1. April 1993 wurden 8069 Verdachtsflächen genannt. Bei 3088 Flächen handelt es sich um Altablagerungen, bei den restlichen 4981 Flächen um (Alt)Industriestandorte. Abb. 1 zeigt die Länderverteilung der Verdachtsflächen.

Von den 8069 gemeldeten Verdachtsflächen wurde bei 468 Flächen eine Erstabschätzung durchgeführt. Aufgrund der Erstabschätzung wurden 41 Verdachtsflächen von der weiteren Bearbeitung zurückgestellt, bei 136 Flächen wurde ein vordringlicher Untersuchungsbedarf festgestellt.

Bei 33 Verdachtsflächen wurden bisher Voruntersuchungen im Rahmen des Altlastensanierungsgesetzes veranlaßt. Bei 14 Verdachtsflächen liegen derzeit Ergebnisse von Untersuchungen auf, die außerhalb des Altlastensanierungsgesetzes veranlaßt wurden und die Durchführung einer Gefährdungsabschätzung ermöglichen.

Bis dato wurden 75 Verdachtsflächen als Altlasten ausgewiesen (siehe Abb. Altlastenatlas), davon 22 (Alt)Industriestandorte und 53 Altablagerungen.

Bei 56 Altlasten wurden bisher Prioritätenklassen festgelegt, und zwar:

Prioritätenklasse I: 23 Altlasten

Prioritätenklasse II: 23 Altlasten

Prioritätenklasse III: 10 Altlasten

4 Altlasten gemäß Altlastensanierungsgesetz wurden bereits gesichert bzw. saniert.

Für 28 Altlasten wurde eine Förderung von Aufwendungen (Sicherungs- bzw. Sanierungsprojekt oder -maßnahmen) zugesichert. Das Gesamtausmaß der zugesicherten Förderungen beträgt etwa öS 830 Millionen.

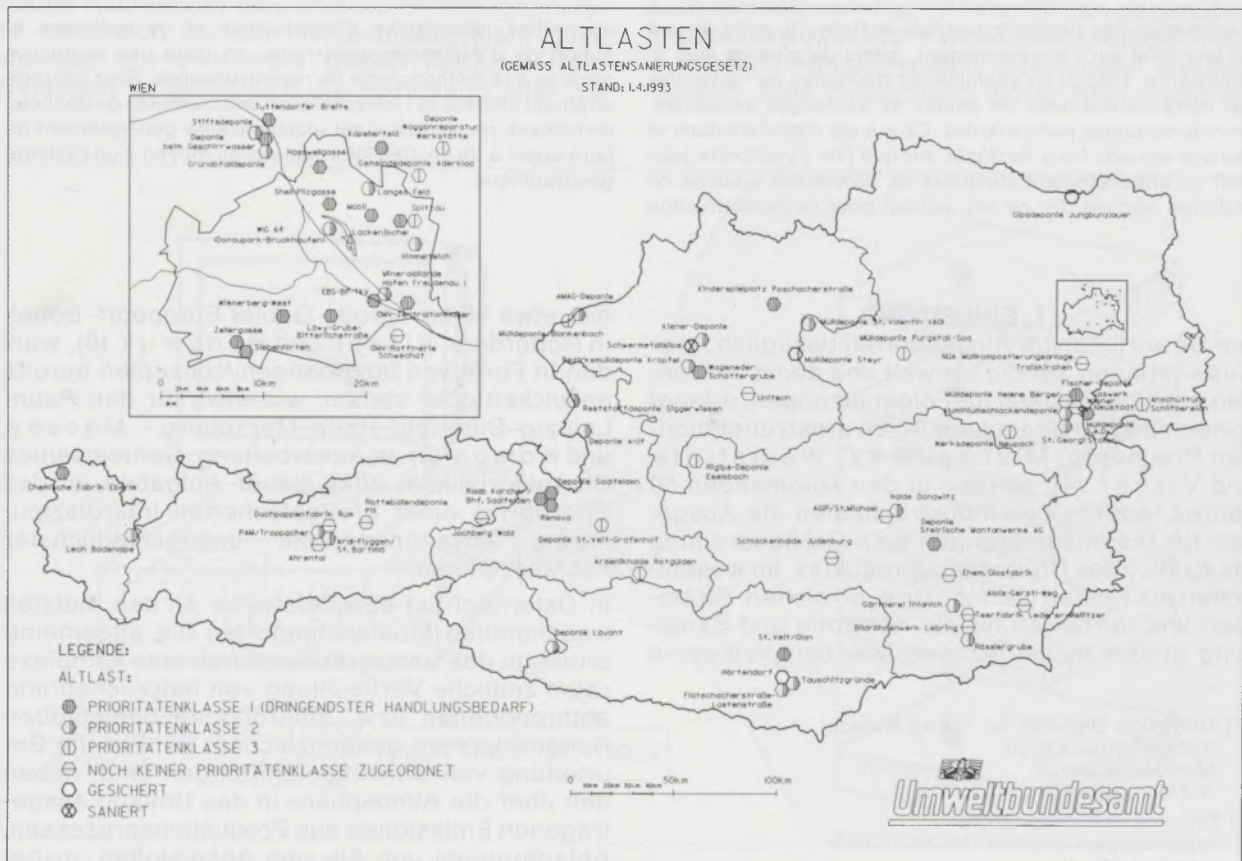


Abb. 4

Erkundung und Risikoabschätzung von Altstandorten

Georg Walach, Leoben*), Reinhard Gnilsen, Wien**)

Die Bewertung von industriellen Altstandorten bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Umwelt erlangt zunehmend an Bedeutung. Dabei ergeben sich bei der erkundungsmethodischen Behandlung im Vergleich mit Altdeponieuntersuchungen einige Besonderheiten. Wichtig ist davon besonders die auf Altstandorten häufig anzutreffende komplexe Verflechtung von unterschiedlichen Schadstoffquellen. Dadurch werden beson-

ders bei der Rekonstruktion wesentlicher Anlagenteile und unterirdischer Ver- bzw. Entsorgungssysteme an die Erkundungsmethodik besonders hohe Ansprüche gestellt. Für die effektive Erfassung und Auswertung der dabei anfallenden komplexen Datenmengen ist meist eine EDV-Unterstützung durch ein geographisches Informationssystem unerlässlich.

Surveillance and Hazard Evaluation of Old Industrial Sites

There is an ever increasing importance towards the evaluation of old industrial sites and their effect on the environment. In this case there are a few distinct differences when compared to the surveillance methods of suspicious land fill sites. Most important are the various complex interwoven sources of noxious matters which are present on old industrial sites.

Due to this, high demands are set on the methods of surveillance when the reconstruction of plant equipment and underground piping and channels is carried out. Computer support, through a geographical information system is crucial to enable the complex data to be effectively gathered and evaluated.

Recherche et évaluation des risques provenant des lieux de dépôt anciens Résumé

L'estimation des dépôts industriels anciens, du point de vue de leur effet sur l'environnement, prend de plus en plus d'importance. Lorsqu'on examine les méthodes de recherche par comparaison avec les études de décharges anciennes, on note certaines particularités. Ce qui est important dans le cas des anciens lieux de dépôt, est que l'on y rencontre souvent un entrelacement complexe de différentes sources de matières nocives. De ce fait, surtout pour la reconstruction

de parties importantes d'installations et de systèmes d'apport ou d'expulsion souterrains, on pose des exigences sévères à la méthodologie de reconnaissance. Pour l'enregistrement efficace et l'interprétation des quantités de données complexes recueillies il est indispensable généralement de faire appel à un soutien informatique au moyen d'un système géographique.

1. EINLEITUNG

Die Bewertung von Altstandorten bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Umwelt und damit verbunden auch der Risiken für Folgenutzungen, erlangt zunehmend an Bedeutung. Nach ernstzunehmenden Prognosen, Mischgofsky, Weststrate und Visser (4), werden in den kommenden 50 Jahren in einzelnen Industriestaaten die Ausgaben für Bodensanierungen eine Größenordnung bis zu 20% des Bruttosozialproduktes, im wesentlichen auf Kosten der Industrie, erreichen. Strategien und Verfahren für die Kontrolle und Sanierung großer Industriezonen, wie beispielsweise

das etwa 50 km² große Gebiet Europoort-Botlek in Rotterdam, Visser und Rodewijk (6), wurden in Form von langfristigen Konzepten bereits entwickelt oder stehen, wie etwa für den Raum Leipzig-Bitterfeld-Halle-Merseburg, Maczey und Kompfa (3), in Ausarbeitung. Gemeinsames Charakteristikum aller dieser Aufgaben ist das Erfordernis einer breitgefächerten interdisziplinären Zusammenarbeit unterschiedlichster Fachdisziplinen.

In Österreich ist beispielsweise an den meisten traditionellen Montanstandorten die allgemeine Situation des Untergrundes durch eine komplexe raum-zeitliche Verflechtung von natürlichen und anthropogenen bzw. anthropogen beeinflussten Bodenschichten gekennzeichnet (5). Für die Beurteilung von Umweltgefährdungen sind, neben den über die Atmosphäre in das Umland getragenen Emissionen aus Produktionsprozessen, Ablagerungen von Alt- und Abfallstoffen, insbesondere im Hinblick auf das Schutzgut Wasser,

*) Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Georg Walach
Institut für Geophysik
Montanuniversität
A-8700 Leoben

**) Dipl.-Ing. Reinhard Gnilsen
Ingenieurgesellschaft GEOCONSULT
Kaiserstraße 45
A-1070 Wien

von besonderer Bedeutung. Für die Ermittlung objektiver Informationen über den Zustand und die Gefährdung der Schutzgüter Boden und Wasser ist eine mit vertretbarem Aufwand anwendbare Umweltanalytik erforderlich, um das Schadstoffpotential der Quellen, die Ausbreitungspfade und die Schadstoffaufnahme der Schutzgüter zu bestimmen, Lorber (2).

In der Diagnostik von Umweltgefährdungen kommt zweifelsfrei der Umweltchemie die tragende Rolle zu. Die grundsätzliche Systembeschreibung, vor allem von Dimensionen und von Stoffbewegungs- und Transfervorgängen, erfordert aber zusätzlich eine Anzahl von physikalischen Erkundungsverfahren. Aus Gründen der Effektivität und Ökonomie ist insbesondere bei größeren Erkundungsprojekten bzw. Datenmengen eine EDV-Unterstützung durch geographische Informationssysteme, Gnisen (1), unerlässlich.

2. BESONDERHEITEN AUF ALTSTANDORTEN

In der erkundungsmethodischen Behandlung von Altlastverdachtsflächen, Walach (7), ergeben sich gegenüber Altdeponien für Altstandorte einige wesentliche Besonderheiten, auf die im folgenden kurz eingegangen wird. So steht bei altlastverdächtigen Deponiearealen die Schadstoffquelle im allgemeinen in Form des Abfallkörpers spätestens nach Abschluß der Erhebungen (historische Recherche) fest, und die Schadstoffanalytik kann sich auf ein flächenmäßig mehr oder weniger gut definiertes Gebiet konzentrieren. Hingegen gestaltet sich die Ermittlung aller als

Schadstoffquellen in Frage kommenden Lokationen auf Altstandorten meist wesentlich schwieriger und ist in der Regel nicht ohne eine intensive Anwendung von indirekten (Luftbilddauswertung, Geophysik) und direkten (Sondierungen, Bohrungen, Schürfe) Erkundungsmethoden möglich. Der Grund dafür ist darin zu suchen, daß auf Altstandorten meist von einer komplexen Verflechtung unterschiedlichster Schadstoffquellen ausgegangen werden muß, die über das ehemalige Betriebsgelände verstreut auftreten können. Zu diesen potentiellen Schadstoffquellen sind unter anderem zu zählen:

- Anlagenteile wie Brecher, Mischer, Schmelzöfen, Bäder, Konverter, Filter u. a. m.;
- unterirdische Einbauten wie Keller, Zisternen, Schächte, Kanäle, Rohrleitungen;
- Manipulationsflächen wie Transportwege, Laderampen, Abfüllstationen, Lager für Rohstoffe, Betriebsmittel, Zwischen- und Endprodukte;
- Deponien für Altstoffe, Abfälle und Klärbecken.

Insbesondere die Erkundung von unterirdischen Ver- und Entsorgungssystemen sowie die Rekonstruktion längst geschleifter und manchmal wieder überbauter Anlagenteile stellt an die Prospektionsmethodik hohe Ansprüche, wobei aus Gründen der Zeit- und Kostenersparnis sowie der anzustrebenden Flächendeckung indirekt wirkenden Methoden (multitemporale Luftbilddauswertung, Geophysik) der Vorzug zu geben ist. Dies auch deshalb, weil auf Altstandorten gegenüber Altdeponien meist auch wesentlich größere Areale in die Untersuchungen einbezogen werden müssen. Eine hinreichend dichte Beprobung ei-

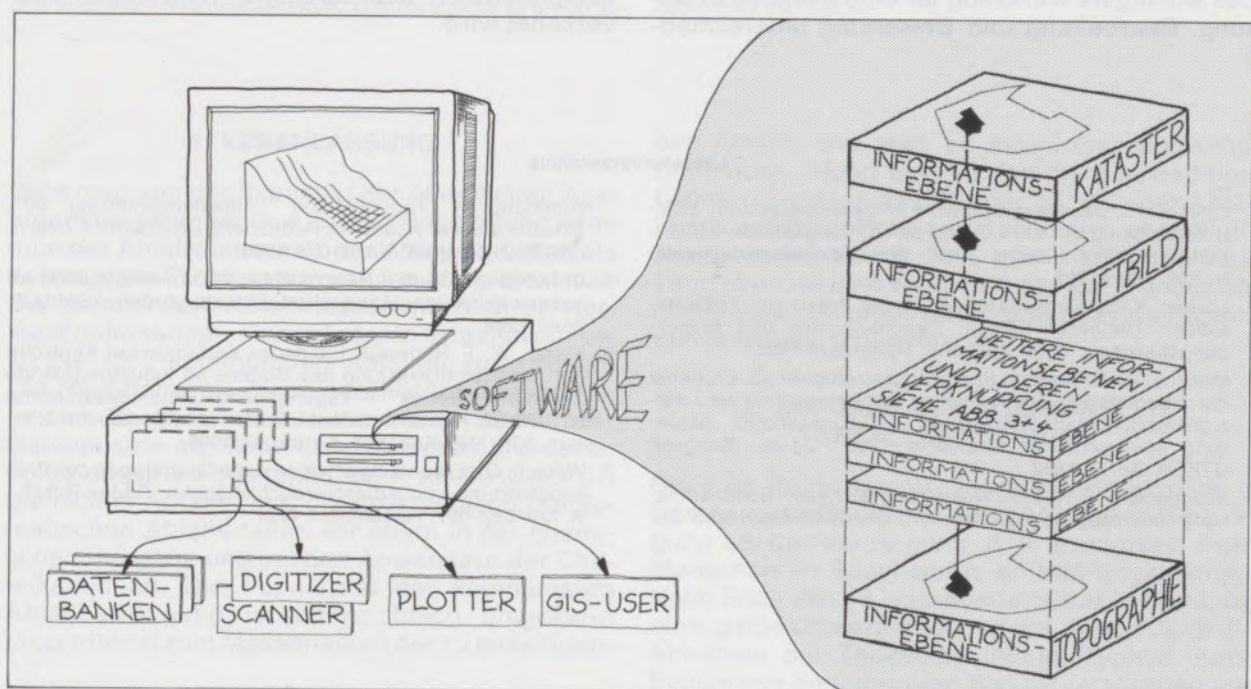


Abb. 1

Prinzipielles Konzept des Geographischen Informationssystems (GIS)

nes Altstandortes für die chemische Schadstoffanalytik mit vertretbarem finanziellem Aufwand ist in der Regel ohne die Anwendung flächendeckend wirkender indirekter Erkundungsverfahren nicht möglich.

Eine Besonderheit bildet in Österreich auch der Umstand, daß bei der Erkundung von Altstandorten die Untersuchungsziele manchmal weiter zu spannen sind, als sie durch das Altlastensanierungsgesetz (ALSAG, BGBl. 299/89) vorgegeben sind. Von dem Gesetz sind nicht abfallspezifische Kontaminationen (z. B. flächige Deposition von Emissionen, Versickerungen aus Kanälen, Transportunfälle u. a.) ausgenommen. Auch „bautechnische Risikofaktoren“, wie Fundamentreste, unbekannte Hohlräume u. a., die im Zuge von Folgenutzungen von Bedeutung sind, müssen bei der Bewertung von Altstandorten berücksichtigt werden, obwohl sie keine Umweltgefährdungen nach der Definition des Altlastbegriffes darstellen.

Das in der Praxis am schwierigsten zu bewältigende Problem bildet häufig der Umstand, daß zwischen Altstandorten und noch in Betrieb stehenden Produktionsanlagen keine eindeutige Abgrenzung möglich ist (4). In diesen Fällen, die beispielsweise auch für die österreichische Montanindustrie typisch sind (5), müssen für die Bewertung des Standortes „maßgeschneiderte“ Strategien entwickelt werden, in denen sowohl Kriterien der Altlastenbewertung als auch der Umweltverträglichkeit der noch aktiven Produktionsstätte zu koordinieren sind.

3. EDV-UNTERSTÜTZUNG BEI DER ALTLASTENBEWERTUNG

Das wichtigste Werkzeug für eine effektive Erfassung, Bearbeitung und Bewertung unterschied-

lichster Informationen einer Altlastenuntersuchung ist die EDV-Unterstützung durch ein geographisches Informationssystem, Gnilsen (1). In Abb. 1 ist das prinzipielle Konzept des Geographischen Informationssystem (GIS) dargestellt. Wie das Bild zeigt, handelt es sich um ein „System“ unterschiedlicher Komponenten: Hardware, Software, Geräte zur Datenein- und -ausgabe, Datenbanken und den „User“ selbst.

Das Kernstück der Software bildet eine lagebezogene („geographische“) relationale Datenbank, die es ermöglicht, Informationen lagebezogen zu speichern, aufzufinden, analytisch zu verwerten sowie unterschiedliche Daten und Informationen an einer geographischen Position zu verknüpfen; letzteres wird durch die im Bild schematisch dargestellten „Informationsebenen“ beschrieben. Im Bild sind Informationsebenen analog transparenten Folien beispielsweise dargestellt. Durch Übereinanderlegen können die jeweiligen Inhalte überlagert bzw. verknüpft werden und damit neue Inhalte oder Erkenntnisse vermitteln.

So kann beispielsweise für das Schutzgut Grundwasser durch eine Überlagerung der Bildebenen Topographie – Hydrogeologie – Schadstoffbelastung – Deponieflächen – Eluatwerte – Oberflächenwasser – Flächenbebauung – Oberflächenbewuchs – Brunnen das nutzungsbezogene Gefährdungspotential durch ein oder mehrere Altdeponien ermittelt werden.

Mit steigender Bearbeitungskomplexität, die genähert der Anzahl und Größe der Informationsebenen gleichgesetzt werden kann, nehmen die Vorteile einer GIS-Anwendung zu; insbesondere dann, wenn GIS mit fachspezifischer Software, beispielsweise aus Geologie, Hydrologie u. a. verkettet wird.

Literaturverzeichnis

- Gnilsen, R.: Das Geographische Informationssystem: EDV-Unterstützung bei der Lösung der Altlastenproblematik. – KONSTRUKTIV, Zschr. der Bundesingenieurkammer, H. 164, Wien 1991.
- Lorber, K.-E.: Umweltanalytik in der Praxis; in: Fettweis, Golser, Hengerer (Hrsg.), Deponietechnik und Entsorgungsbergbau, 9–19, Balkema, Rotterdam 1992.
- Maczey, P., R. Kompa: Sanierungsstrategien als Ergebnis der Hauptstudie „Ökologisches Sanierungskonzept Leipzig/Bitterfeld/Halle/Merseburg“. – Tagungsband „Sanierung kontaminierter Standorte 1992“, 31–46, Kongreß UTECH, Berlin 1992.
- Mischgofsky, F. H., F. A. Weststrate, W. Visser: Bodensanierung bei Industriegrundstücken: Clusterkonzept und Zustimmung. – Tagungsband „Altlastensanierung 90“, 101–105, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht; 3. Intern. KfK/TNO-Kongreß, Karlsruhe 1990.
- Umweltbundesamt – Bericht über die Umweltsituation an ausgewählten langjährigen Industriestandorten. – BMfUJF, Wien 1992.
- Visser, W., F. Rodewijk: Ein neues Verfahren zur Kontrolle der Schadstoffbelastung des Bodens im Industriegelände „Europoort–Botlek“. – Tagungsband „Altlastensanierung 90“, 89–99, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht; 3. Intern. KfK/TNO-Kongreß, Karlsruhe 1990.
- Walach, G.: Erkundungsmethodische Grundlagen der Risikobewertung von Altlastverdachtsflächen. Radex-Rdsch., H. 3/4, 583–597, Radenthein 1991.

Auswirkung industrieller Rückstände auf die kommunale Entsorgungs- und Abfallbeseitigungstechnik

Peter Spillmann, Braunschweig*)

Durch die zentrale Wasserver- und -entsorgung und eine geregelte Müllabfuhr wurden Ende des 19. Jahrhunderts die Ursachen der großen Epidemien beseitigt. Die landwirtschaftliche Nutzung des Klärschlammes und die Kompostierung des Mülls schlossen zeitlich unbegrenzt den natürlichen Kreislauf. Durch Rückstände der industriellen Produktion bricht in die-

sem System der natürliche Kreislauf ab, und industrielle Kreisläufe können aus den undefinierten Gemischen nicht aufgebaut werden. Die Trennung der natürlichen von den industriellen Stoffströmen ermöglicht, marktgerecht zeitlich unbegrenzte Kreisläufe aufzubauen.

Effects of Industrial Residuals on the Municipal Garbage Collection and Refuse Disposal

With central water supply, sewage discharge and controlled garbage collection the reasons for the great epidemics were eliminated in the late 19th century. The agricultural use of sludge and the composting of garbage completed the natural cycle with no time limit. The residuals of industrial production

break down the natural cycle in this system and industrial cycles cannot be build up from undefined waste mixture. The splitting into natural and industrial material flow enables to build up cycles with no time limits under market conditions.

Les effets des résidus industriels sur la technique de l'élimination des déchets communaux

Grâce à l'approvisionnement et l'élimination de l'eau ainsi qu'à la réglementation de l'enlèvement des ordures à la fin du 19^{ème} siècle, les causes de grandes épidémies ont été éliminées. Par l'utilisation des boues d'épuration de l'agriculture et le compostage des ordures le cycle naturel fut complet sous une limitation de temps. Les résidus de la producti-

on industrielle ont interrompu dans ce système le cycle naturel, et il est impossible d'installer un cycle industriel avec un tel mélange indéfini. Par la séparation des courants de matières naturelles de ceux de matières industrielles, il est possible d'installer pour un temps illimité des cycles conformes aux conditions du marché.

1. VERANLASSUNG

Geht man von der Intensität der öffentlichen Auseinandersetzungen aus, ist die Beseitigung kommunaler Abfälle innerhalb der Abfallwirtschaft als vorrangiges Problem einzustufen. Vergleicht man die anfallenden Abfallmassen nach ihrer Herkunft miteinander, sind in Industriestaaten nur ca. 10 bis 15% kommunalen Abfällen zuzuordnen. Die Hauptmassen der mineralischen Abfälle fallen im Bergbau- und Hüttenwesen und in der Bauindustrie an, in der Landwirtschaft und deren Folgeindustrien entstehen mehr als 80% der organischen Abfälle, und die toxikologisch problematischen Abfälle fallen vor allem in der chemischen Industrie und bei den Anwendern der Chemikalien an. Die Popularität der kommunalen Abfallbeseitigung ist offensichtlich umgekehrt proportional zum Massenanteil der zu beseitigen-

den Abfälle und auch zu deren toxikologischer Bedeutung. Wenn aber in den dicht besiedelten Ländern Europas dem Bürger ca. 10% der Abfälle als wichtiges Problem erscheinen, obwohl die Hauptmasse der ca. 90% hier nicht unbemerkt vergraben werden kann, läßt das auf grundsätzliche Mängel im gegenwärtig praktizierten Beseitigungssystem schließen.

2. AUFGABE DER KOMMUNALEN ABFALLBESEITIGUNG

Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts starben in Europa mehr Menschen durch Mängel der Entsorgung als der Versorgung, d. h. es starben mehr Menschen an Seuchen als an Nahrungsmangel. Noch Ende des 19. Jahrhunderts trat in Hamburg eine große Choleraepidemie auf. Abb. 1 zeigt die Abnahme der Todesfälle infolge Typhus durch Einführung der zentralen Wasserversorgung und der Kanalisation in Berlin. Die durch Wasser übertragbaren Krankheiten wurden durch eine

*) Dr.-Ing. Peter Spillmann, Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig, Postfach 3329, D-3300 Braunschweig

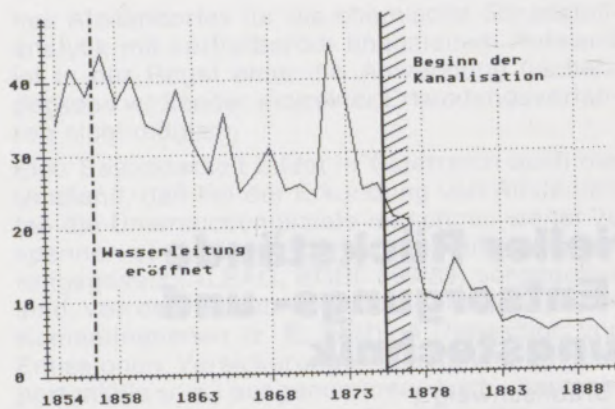


Abb. 1

Typhus-Sterblichkeit in Berlin 1854–1890 in Promille der Gestorbenen

Verbesserung der Hygiene weitgehend besiegt, bevor Medikamente dagegen entdeckt wurden. Ein ähnlicher Zusammenhang besteht zwischen dem Ausbau der kommunalen Städtereinigung als Grundvoraussetzung einer erfolgreichen Bekämpfung der Pest.

Durch die Entdeckung pathogener Keime als Ursache von Krankheiten wurde im 19. Jahrhundert wissenschaftlich exakt die Erfahrung aus früheren Jahrhunderten bestätigt, daß ein ursächlicher Zusammenhang zwischen faulenden Abfällen und der Übertragung von Krankheitskeimen aus dem Abfall durch die darin lebenden Warmblüter und Insekten auf den Menschen besteht. Durch Sporen z. B. pathogener Pilze ist auch eine unmittelbare Übertragung von Krankheiten auf Menschen und Haustiere möglich. Aus diesen Gründen setzten die für die Hygiene verantwortlichen Ärzte durch, daß Abfälle in rattsicheren Gefäßen (z. B. aus verzinktem Stahlblech) gesammelt und vor Beginn der Fäulnis zweimal wöchentlich abgefahren werden mußten. In einigen Ballungszentren wie Berlin wurde das gefüllte Gefäß im Wechsel gegen ein gereinigtes ausgetauscht. In anderen Kommunen wurden Mülleimerwaschfahrzeuge eingesetzt, um auch faulende Reste aus den Sammelgefäßen zu beseitigen.

Durch Ablagerung der Abfälle außerhalb der Siedlungsgebiete unter einer bepflanzbaren Erdschicht („Beerdigung“) wurden die hygienischen Gefahren beseitigt. Übrig blieb jedoch eine Grundwasserbelastung durch Salze und schwer abbaubare organische Reststoffe, die vor allem in Ballungszentren sich langfristig ungünstig auf die Trinkwasserversorgung auswirken. Dieses Problem wurde durch die Entwicklung der „Heißrotte“ gelöst:

Homogenisierte Siedlungsabfälle einschließlich Klärschlamm werden so gelagert, daß ein intensiver Gasaustausch mit der Luft möglich wird. In dem unter diesen Bedingungen einsetzenden biochemischen Abbau überwiegen die aerob lebenden Mikroorganismen, durch deren Aktivität die Temperaturen im Abfallgemisch unter fachkundi-

ger Lagerung über 80°C ansteigen. Werden in diesem Prozeß alle Temperaturstufen so langsam durchfahren, daß die wärmeresistenten Sporen pathogener Keime (z. B. Milzbrand) auskeimen, bevor die lätale Temperaturstufe der aktiven Form des Keimes erreicht wird, werden im hohen Temperaturbereich die für Mensch, Tier und Pflanzen pathogenen Keime der Abfälle und des Klärschlammes abgetötet. Die thermische Wirkung wird durch Antibiotika der Pilze unterstützt. Das Endprodukt ist ein hygienisch unbedenkliches Bodenverbesserungsmittel, das vor allem die biologische Aktivität in der oberen Bodenschicht steigert. Die richtig dosierte Anwendung dieses „Kompostes“ führt nicht zu einer erhöhten Grundwasserbelastung. Die maschinentechnischen Ausführungen dieses Verfahrens sind in sehr unterschiedlichen Varianten erfolgreich erprobt worden, so daß auch für sehr unterschiedliche Standort- und Arbeitsbedingungen ein geeignetes Verfahren verfügbar ist. Das Arbeitsprinzip ist stets gleich. Damit ist das Grundproblem der kommunalen Abfallbeseitigung gelöst, die durch menschliches Leben unvermeidbaren Abfälle, die Reste aus der Nahrungszubereitung und den Klärschlamm, hygienisch unbedenklich und zeitlich unbegrenzt beseitigen zu können. Ein Beseitigungsproblem für kommunale Abfälle in deren ursprünglicher Zusammensetzung besteht nicht, solange der natürliche Stoffkreislauf in der Landwirtschaft nicht nachhaltig gestört wird.

3. FESTLEGUNG UND REMOBILISIERUNG INDUSTRIELLER RÜCKSTÄNDE IN SIEDLUNGSABFÄLLEN

3.1. Praktische Erfahrungen und Messungen in situ

Mit dem organischen Siedlungsabfall werden bis heute auch die meisten in Siedlungsgebieten anfallenden Industrierückstände entsorgt. Nur toxikologisch besonders bedenkliche Stoffe aus Industrie und Gewerbe werden als Sonderabfall getrennt beseitigt. Die in Haushaltungen und im Kleingewerbe anfallenden Kleinmengen toxikologisch bedenklicher Stoffe („Problemabfälle“) werden zurzeit auf freiwilliger Basis getrennt erfaßt. Der Klärschlamm enthält Schwermetallanreicherungen und synthetische Kohlenwasserstoffverbindungen aus industrieller und gewerblicher Abwassereinleitung. Die kommunale Entsorgung im zeitlich unbegrenzten natürlichen Stoffkreislauf ist unter diesen Bedingungen ausgeschlossen.

Auf Sammlung und Transport der Siedlungsabfälle wirkten sich die Industrieprodukte aus Haushaltungen vorteilhaft aus, weil deren Hauptmasse aus hygienisch und toxikologisch unbedenklichen Verpackungsmaterialien (Papier und chlorfreie Kunststoffe) besteht. Die faulfähigen feuchten Abfälle werden dadurch verdünnt, durch das trockene Papier entwässert und deren Abbau in

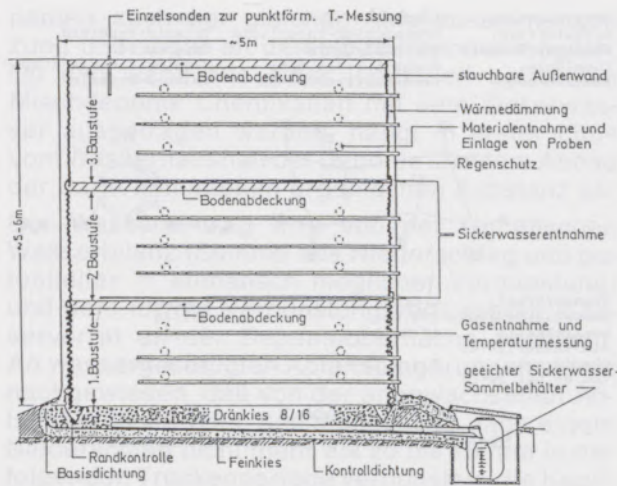


Abb. 2

Zylindrischer Deponieausschnitt, konstruiert als stauchbarer Großlysimeter

den vom Regen abgeschlossenen Sammelgefäßen so erheblich verzögert, daß die Zersetzungsvorgänge im Gefäß hygienisch gegenwärtig unbedeutend sind.

Auf den Deponien wurden bis zur Mitte der siebziger Jahre bewußt problematische Industrieabfälle gemeinsam mit Siedlungsabfällen abgelagert, weil aus Erfahrung bekannt war, daß in biologisch

aktiver organischer Substanz industrielle organische Verbindungen im Abfall selbst oder in der folgenden Grundwasserpassage abgebaut und Schwermetalle festgelegt werden. Durch sorgfältige wissenschaftliche Untersuchungen im Grundwasserzu- und -abstrom der Deponie der Stadt Frankfurt a. M. wurden diese intensiven Selbstreinigungsvorgänge im oberflächennahen Grundwasser nachgewiesen (Golwer et al., 1970; Nöring et al., 1965). Im Gegensatz zu diesem eindeutig positiven Ergebnis wurden an anderen Mischdeponien unannehmbare Emissionen gemessen. Besonders bekannt wurde die Deponie Georgswerder bei Hamburg und die hier festgestellte Interaktion zwischen Dioxin, Öl, Tensiden und Sickerwasser: Dioxin (wasserunlöslich) wurde in Öl gelöst und das Öl mittels waschaktiver Substanzen vom Sickerwasser ausgetragen.

3.2. Messungen an maßstabsgerechten Deponieausschnitten

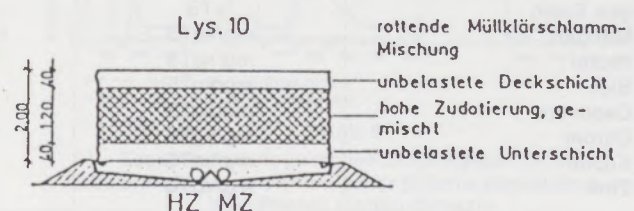
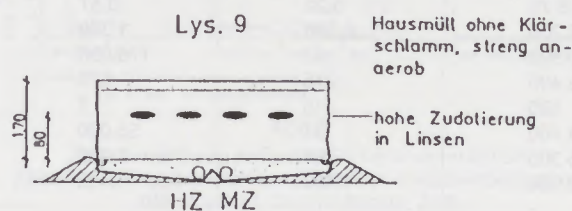
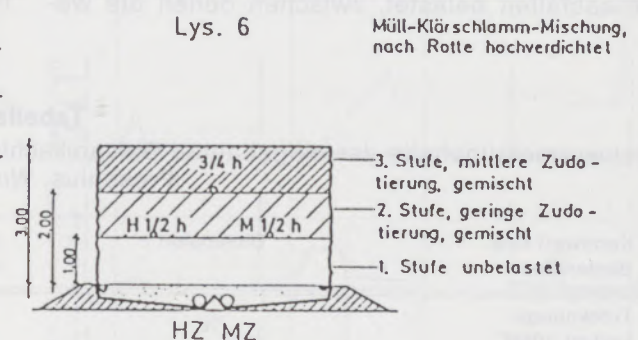
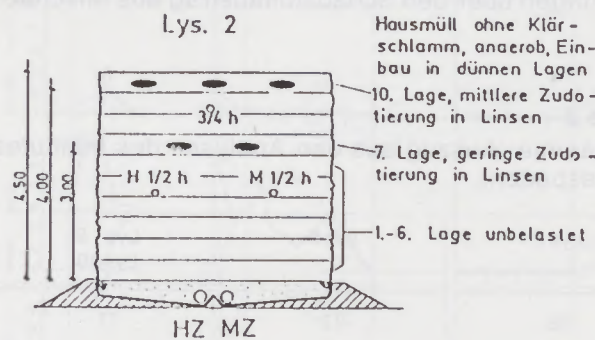
3.2.1. Untersuchte Ablagerungen

Zur grundsätzlichen Klärung der Frage, ob und wie typische Industrieabfälle in Siedlungsabfällen zurückgehalten werden, wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) ein interdisziplinäres Forschungsprogramm zum Wasser-

Tabelle 1

Definierte Zugabe von Chemikalien in drei Steigerungsstufen (Typen der Ablagerungen und Lage der Chemikalien siehe Skizze unter der Tabelle).

Steigerungsstufe der Zugabe	zugegebene Chemikalien, Masse in kg				
	Galvanikschlamm	Phenolschlamm	Bariumcyanid	Simazin	Lindan
1. Stufe	110	130	100	1,5	0,8
2. Stufe	600	340	100	3,0	1,6
3. Stufe	1000	500	200	6,5	10,0



und Stoffhaushalt von Abfalldeponien und deren Wirkungen auf Gewässer gefördert, an dem insgesamt 13 Institute aus verschiedenen Teilen Deutschlands beteiligt waren. In diesem Forschungsprogramm wurden insgesamt 14 nach Inhalt und Betriebstechnik verschiedene Deponietypen als definierte, allseitig kontrollierte Deponieausschnitte untersucht. Sie wurden als Großlysimeter konstruiert (Abb. 2) und enthalten den gleichen Abfall in gleicher Verdichtung wie die Großausführungen der Deponie. Die stauchbaren Wände folgen den Setzungen der Ablagerung. Folgende Deponietypen wurden untersucht:

1. Versuchsreihe, Hausmüll:

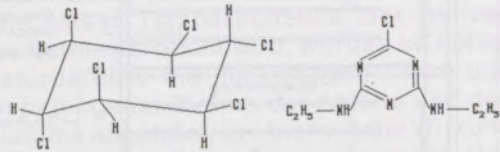
- sofort verdichtet
- mit Klärschlamm in „Linsen“, sofort verdichtet
- mit Klärschlamm gemischt
- sofort verdichtet
- ca. 1 Jahr lang biochemisch aerob abgebaut und dann verdichtet

2. Versuchsreihe, Restabfall:

- Auslese der verwertbaren Stoffe
- sofort verdichtet
- ca. 1 Jahr biochemisch aerob abgebaut und dann verdichtet
- getrennte Sammlung des kompostierbaren Abfalls, Auslese der verwertbaren Stoffe
- Rest sofort verdichtet
- Rest ca. 1 Jahr aerob biochemisch abgebaut und dann verdichtet

Die sofort verdichteten Abfälle der 1. Versuchsreihe wurden parallel mit und ohne Erdabdeckung abgelagert. Der Klärschlamm wurde nach aerober Stabilisierung und Entwässerung (WG ca. 70%) einwohnergerecht (1 Einwohner Müll, 1 Einwohner Schlamm) zugegeben. Zusätzlich zur allgemeinen industriellen Grundbelastung des Hausmülls wurden die zwei Deponietypen gezielt in drei steigenden Belastungsstufen mit Industrieabfällen belastet, zwischen denen die we-

Aktivsubstanz:	Lindan	Simazin
Wirkstofftyp:	Organochlor-Insektizid	Triazin-Herbizid
Handelspräparat:	Verindal-Ultra	Gesatop 50
Chemische Bezeichnung:	Gamma-1,2,3,4,5,6-Hexachlorcyclohexan	2-Chlor-4,6-bis-ethyl-amino-s-triazin



Summenformel:	C ₆ H ₆ Cl ₆	C ₇ H ₁₂ Cl ₃
Molekulargewicht:	290,85	201,66
Löslichkeit: (in Wasser, 20°C)	10 mg/l	5 mg/l
Dampfdruck: (mm Hg bei 20°C)	9,4 × 10 ⁻⁶	6,1 × 10 ⁻⁶

Abb. 3

Strukturformeln der zudotierten Pestizide

sentlichsten Unterschiede im Wasser- und Stoffhaushalt gemessen wurden:

- Hausmüll, sofort verdichtet, ohne und mit Erdabdeckung
- Hausmüll-Klärschlammgemisch, aerob vor der Verdichtung abgebaut.

Als abfalltypische Industrieabfälle wurden gewählt (Tab. 1):

- Cyanid
- Phenolschlamm
- Galvanik-Schlamm (Analyse s. Tab. 2)
- Pestizide (Lindan, Simazin, Strukturformeln s. Abb. 3).

3.2.2. Deponie-Wasserhaushalt

Die erste ausführliche Veröffentlichung zum Wasser- und Stoffhaushalt dieser Ablagerungen erschien 1986 im Verlag Chemie (Spillmann, Hrsg., 1986). Die in der Zwischenzeit durchgeführten Messungen, deren Publikation z. Z. bearbeitet wird, bestätigen die darin mitgeteilten Ergebnisse. Danach sind beide gegensätzlichen Beobachtungen über den Schadstoffaustrag aus Mischde-

Tabelle 2

Schwermetallgehalte der eingebauten Galvanikschlämme (Auszug aus den Analysen des Institutes Fresenius, Wiesbaden).

Kennwert bzw. Bestandteil	Dimension	Lys 2	Lys 6	Lys 9 Lys 10
Trocknungsverlust, 105°C	%	68	73	77
ges. Eisen	%TS	8,75	3,22	0,57
Mangan	mg/kgTS	2.200	6.390	1.340
Nickel	mg/kgTS	20.900	43	176.000
Blei	mg/kgTS	3.400	215	572
Cadmium	mg/kgTS	590	15	3
Chrom	mg/kgTS	84.400	91	55.000
Kupfer	mg/kgTS	5.300	163	7.400
Zink	mg/kgTS	30.000	1.503	443

ponien auch bei gleicher Abfallzusammensetzung und sogar an derselben Deponie möglich. Ob und wann aus einer industriell belasteten Mischdeponie Chemikalien mit dem Sickerwasser ausgetragen werden, hängt in erster Linie vom Wasserhaushalt der Deponie und dem Abbau der darin enthaltenen organischen Substanz ab.

Der Wassereintrag wird von der klimatischen Wasserbilanz (Summe aus Niederschlag und potentieller = klimatisch möglicher Verdunstung) und dem für die Verdunstung verfügbaren Wasservorrat an der Deponieoberfläche bestimmt. An wassergesättigten Abfallablagerungen wurde nachgewiesen, daß von der unbewachsenen Abfalloberfläche oder Sandabdeckung nach einem Niederschlag nicht mehr als 20 bis 25 mm in der folgenden Trockenperiode verdunsten (die Kapillaren sind unterbrochen). Lange vor Sättigung der Speicherkapazität fließen aber in bevorzugten Bahnen 10 bis 15% des Niederschlages als Sickerwasser ab. Wird die wassergesättigte organische Substanz zügig abgebaut, kann zeitweilig etwa doppelt so viel Wasser abfließen, wie im gleichen Zeitraum aus dem Niederschlag eingetragen wird. Ist der biochemische Abbau weitgehend abgeschlossen und der Abfall konsolidiert,

entspricht der Sickerwasserabfluß wieder der klimatischen Wasserbilanz und den Verdunstungsbedingungen an der Abfalloberfläche.

3.2.3. Einfluß des Wasserhaushalts auf den Schadstoffaustrag

Vereinfacht dargestellt sind drei Phasen zu unterscheiden:

1. Abfalleinbau und anschließende Wasserspeicherung.
2. Speicherabbau und Konsolidierung.
3. Gleichgewicht zwischen Zu- und Abfluß.

In Abb. 4 und 5 sind die Abflußsummen der beiden am höchsten belasteten Deponieausschnitte, des Siedlungsabfalls ohne Klärschlamm (Lys. 9) mit freier Speicherkapazität und des aerob abgebauten Müll-Klärschlamm-Gemisches (Lys. 10) als wassergesättigtes Gemisch, im Vergleich zur Abflußsumme nach klimatischer Wasserbilanz (strichpunktierte Linien) in den drei Phasen dargestellt. Die zugehörigen anorganischen Sickerwasserbelastungen sind in Abb. 4, die organischen in Abb. 5 zugeordnet. Sie unterscheiden sich durch folgende charakteristische Merkmale:

- Die Abflußsumme des gesättigten Gemisches ist sofort nach dem Einbau nahezu identisch mit der aus der klimatischen Wasserbilanz, die Summe aus dem ungesättigten Abfall ist zunächst unbedeutend.

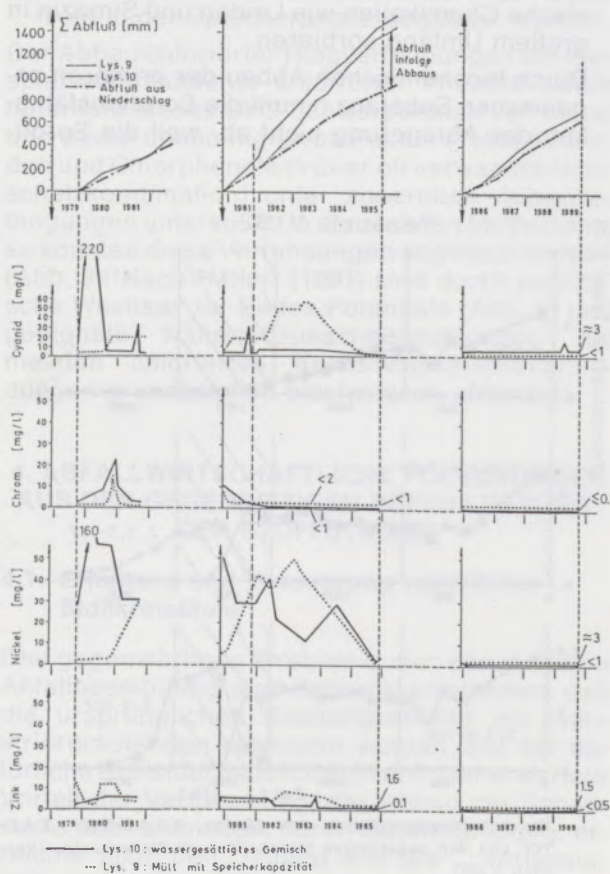


Abb. 4

Zusammenhang zwischen Sickerwasserabfluß, Abbauvorgängen und chemischer Sickerwasserbelastung; hier: Cyanid, Chrom, Nickel, Zink

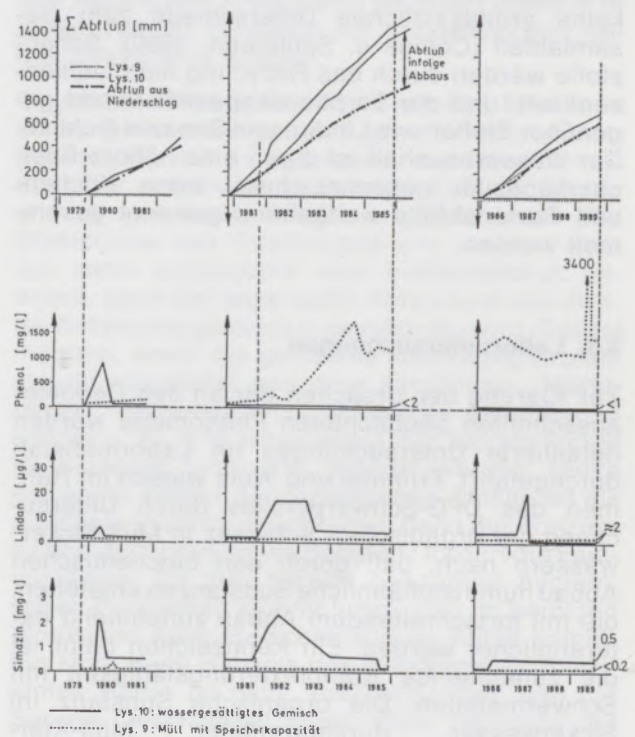


Abb. 5

Zusammenhang zwischen Sickerwasserabfluß, Abbauvorgängen und chemischer Sickerwasserbelastung; hier: Phenol, Lindan, Simazin

- Nach dem Einbau treten vor allem aus dem wassergesättigten Abfall kurze Belastungsspitzen auf. Anschließend scheinen die Ablagerungen stabil zu sein.
- Die hohen Abflüsse in der Phase des Speicherabbaues und der Konsolidierung, ca. 60% höher als es der klimatischen Wasserbilanz entspricht, sind unabhängig vom Anfangswassergehalt und dem Klärschlammanteil. Sie sind mit sehr hohen, mehrere Jahre anhaltenden Sickerwasserbelastungen verbunden.
- Nach weitgehendem Abbau und Konsolidierung der Abfälle entsprechen die Abflußsummen unabhängig vom Klärschlammanteil wieder der klimatischen Wasserbilanz.
- Die anorganischen Sickerwasserbelastungen nehmen nach der Stabilisierung der Ablagerungen trotz der extrem hohen Ausgangsbelastung auf ein umweltverträgliches Maß ab.
- Phenol (gemessen als Phenolindex) nimmt im Sickerwasser der anaeroben Ablagerung nicht ab. Im Sickerwasser des aeroben Abfallgemisches ist es trotz der extrem hohen Abfallbelastung selbst in der Mobilisierungsphase nicht enthalten (Phenol ist aerob abbaubar).
- Simazin und Lindan als Testsubstanzen für persistente Herbizide und Insektizide werden in geringer Konzentration, aber stetig vor allem aus der aeroben Ablagerung ausgebracht. Sie sind im Methanbereich dechlorierbar und auch weiter abbaubar.

Die Untersuchungen an Restabfällen ergaben keine grundsätzlichen Unterschiede zum Gesamtabfall (Collins u. Spillmann, 1990). Schadstoffe werden durch das Recycling nicht aufkonzentriert, und die Sorptionskapazität nimmt gegenüber Stoffen wie Lindan und Simazin nicht ab. Der Wasserhaushalt ist durch eine höhere Speicherkapazität gekennzeichnet, wenn Küchen- und Gartenabfälle weitgehend getrennt gesammelt werden.

3.3. Laboruntersuchungen

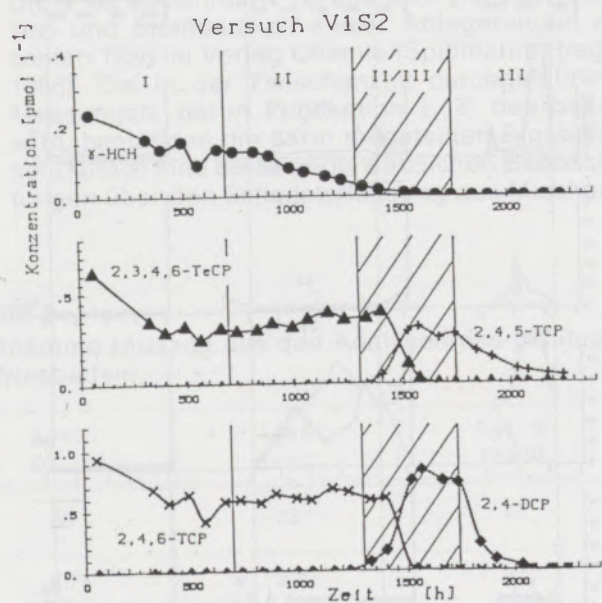
Zur Klärung der Ursachen der an den Deponieausschnitten beobachteten Phänomene wurden detaillierte Untersuchungen im Labormaßstab durchgeführt. Frimmel und Weis wiesen im Rahmen des DFG-Schwerpunktes durch Untersuchung der organischen Substanz in Müll-Sickerwässern nach, daß durch den biochemischen Abbau huminstoffähnliche Substanzen entstehen, die mit fortschreitendem Abbau zunehmend naturähnlicher werden. Ein Kennzeichen dafür ist die zunehmende Komplexierungsfähigkeit mit Schwermetallen. Die organische Substanz im Sickerwasser durchgerotteter Müll-Klärschlamm-Gemische wurde als Zwischenform zwischen Ausgangsmaterial und Huminstoffen eines Moores eingestuft. Durch die Bildung schwer löslicher Huminstoffe im weiteren Abbau

nimmt die Fähigkeit der Ablagerung zu, Schwermetalle zu demobilisieren.

Die Bindung organischer Industrieprodukte an Abfall im Vergleich zu Ackerböden (hier: humusreicher, anmooriger Ackerboden mit 17 Gew.-% org. C und Parabraunerde mit 1,1 Gew.-% org. C) wurde am Beispiel des Lindan (sechsfach chlorierter Kohlenwasserstoff) und des Simazin (einfach chlorierter Triazinring) von Herklotz (1985) untersucht. Er wies nach, daß die Adsorption beider Stoffe durch die organische Substanz gefördert wird. Der Umfang der Adsorption und vor allem der Desorption ist jedoch sehr unterschiedlich. Entscheidend für die Stabilität der Bindung ist auf der Seite des Abfalls nicht die Masse der organischen Substanz, sondern deren Humifizierungsgrad. Mit zunehmendem Abbau nähern sich die Sorptions- und Desorptionseigenschaften des Abfalls denen des anmoorigen Ackerstandortes. Der Klärschlammanteil hat dagegen keine Bedeutung. Von den untersuchten Chemikalien konnte Simazin jedoch selbst aus dem anmoorigen Ackerboden kurzfristig und Lindan langfristig desorbiert werden.

Für belastete Ablagerungen können aus diesen Untersuchungen folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die organische Substanz der Abfälle kann organische Chemikalien wie Lindan und Simazin in großem Umfang sorbieren.
- Durch biochemischen Abbau der primären organischen Substanz nimmt die Sorptionsfähigkeit der Ablagerung nicht ab, weil die Sorpti-



Konzentrationsganglinien von Lindan, 2,3,4,6-TeCP, 2,4,6-TCP und den zugehörigen Metaboliten im Sickerwasser (Versuch V1S2).

(Pecher, 1989)

Abb. 6

Beispiel für den biologischen Abbau von schwerflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen

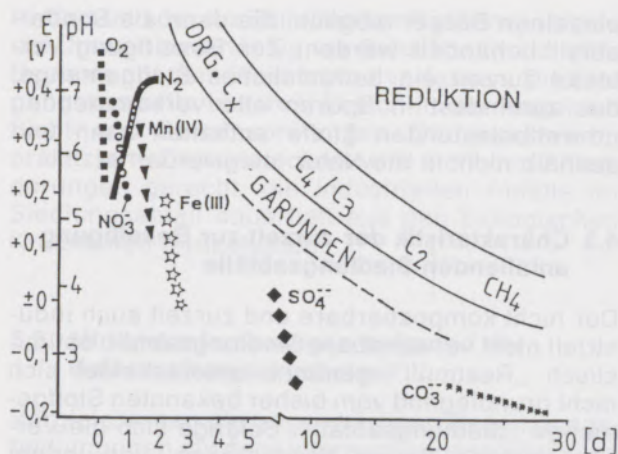


Abb. 7

Aerob-anaerobe metabiotische Mineralisierung des natürlichen Abfalls zu C_1 -Körpern; nach Erschöpfung der Donatoren ist zum weiteren Abbau deren Oxidation erforderlich (Hanert, 1991)

onskraft der neu entstehenden Substanz zunimmt.

- Wird die organische Substanz in der Phase des Speicherabbaues und der Konsolidierung intensiv durchströmt, ist die Desorption organischer Chemikalien zu erwarten, wenn diese nicht in der Speicherphase abgebaut wurden.

Der Abbau chlorierter Ringverbindungen am Beispiel verschiedener chlorierter Phenole wurde innerhalb dieses DFG-Schwerpunktes von Kruse und davon unabhängig von Pecher (1989) für Lindan und Chlorphenole (früher oft verwandte Holzschutzkombination) unter anaeroben Abbaubedingungen untersucht. In der stabilen Methanphase konnten diese Verbindungen abgebaut werden (Abb. 6). Nach Hanert (1991) sind durch periodische Wechsel der Redox-Potentiale (Abb. 7) und geeignete Nährstoffzusammensetzungen die meisten chlorierten Kohlenwasserstoffverbindungen grundsätzlich biochemisch abbaubar.

4. ABFALLWIRTSCHAFTLICHE FOLGERUNGEN AUS DER GEGENSEITIGEN BEEINFLUSSUNG DER STOFFSTRÖME

4.1. Erhaltung und Erneuerung natürlicher Stoffkreisläufe

Die gegenwärtigen Probleme der kommunalen Abfallbeseitigung sind dadurch entstanden, daß die ursprünglichen Siedlungsabfälle mit Industrierückständen vermischt wurden und der natürliche Kreislauf dadurch abbrach. Der erwartete Vorteil der Vermischung, der Abbau der Schadstoffe oder zumindest deren stabile Bindung, erreichte nicht den Umfang und die Zuverlässigkeit, die für eine zeitlich unbegrenzte Abfallbeseitigung gefordert werden muß. Die Erhaltung und Erneuerung der natürlichen Stoffkreisläufe ist deshalb ein erster Schritt, das Problem zu lösen.

Der Klärschlamm wird vielerorts noch in der Landwirtschaft untergebracht und damit in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt. Werden die Abwassereinleiter regelmäßig und streng kontrolliert, kann der Klärschlamm nachweislich so weit entfrachtet werden, daß auch künftig keine Bedenken gegen die landwirtschaftliche Verwendung bestehen. Die Industriestadt Braunschweig (ca. 300.000 Einwohner) hat zum Beispiel durch Einleiterkontrollen die industrielle Klärschlammbelastung um 80% gesenkt und dadurch die landwirtschaftliche Klärschlammbeseitigung erhalten. Wird von den Kommunen die Produkthaftung übernommen und der Aufwand des Landwirtes für die fachgerechte Einarbeitung des Schlammes angemessen bezahlt, können auch bereits abgebrochene Kreisläufe wiederhergestellt werden.

Die getrennte Sammlung gewerblicher Abfälle aus der Lebensmittelindustrie, den Großküchen und dem Gaststättengewerbe ermöglicht, einen weiteren Kreislauf zu schließen. Diese Stoffe sind weitgehend schadstofffrei und definiert, ihr Anteil am Aufkommen der organischen Substanz hoch und die Quellen gezielt erfaßbar. Trotzdem ist der naheliegende kurze Kreislauf als Viehfutter für den heutigen hohen Leistungsstand der Mastviehhaltung nur schwer herzustellen. Nicht nur die einwandfreie Hygiene muß garantiert werden, sondern die Zusammensetzung muß auch geeignet sein, hochwertiges mageres Fleisch in kurzer Mastzeit produzieren zu können. Die Kompostierung dieser wasserhaltigen Abfälle ist aufwendig und die anaerobe Behandlung teuer. Der Schluß des natürlichen Kreislaufes erfordert deshalb in jedem Fall im Vergleich zur gegenwärtigen Abfuhr zusätzliche Kosten.

Organische Haushaltsabfälle werden bereits in vielen Gemeinden getrennt gesammelt und kompostiert. Bis auf wenige Ausnahmen sind zurzeit aber nur aufgelockerte Bebauungen mit Gärten an die getrennte Abfuhr angeschlossen. Die Stoffströme des Siedlungsabfalls werden aber nur dann konsequent vom Industrieabfall getrennt, wenn der organische Abfall auch aus dichter Bebauung gesondert abgefahren wird. Das ist möglich, wenn die getrennte Sammlung professionell eingeführt und eine sorgfältige „Marktpflege“ betrieben wird. In dichter Altbebauung konnte z. B. in Braunschweig der Störstoffanteil im Kompost unter 3% gesenkt werden. Diese getrennte Abfuhr der organischen Abfälle ist als additives System zu betreiben; denn die Konzentration der organischen Substanz fördert die Faulvorgänge. Zu den bereits bekannten hygienischen Problemen kommt hinzu, daß im heutigen Wohlstand auch Fleischabfälle im Abfall enthalten sind. Nach Hinweis des Bundesgesundheitsamtes Berlin ist nicht auszuschließen, daß die Sporen fleischzersetzender Pilze Personen mit geschwächtem Immunsystem gefährlich infizieren können, wenn es zu einer Massenvermehrung in einem hygienisch falsch betriebenen Gartenkomposter oder im unzureichend geleerten

Sammelgefäß kommt. Auch die Besiedlung der Abfälle durch Ungeziefer ist nicht als Belästigung, sondern als unzureichende Hygiene einzustufen. Daraus folgt, daß die biologisch leicht abbaubaren Abfälle unter nördlichen Klimabedingungen mindestens einmal wöchentlich, in südlichen Ländern zweimal wöchentlich abgefahren werden müssen.

Die kompostierbaren Siedlungsabfälle sind – wie hier an Beispielen nachgewiesen – auch in dichter Bebauung mit der gegenwärtigen Abfuhrtechnik getrennt erfassbar, so daß der organische Siedlungsabfall wieder vollständig in den natürlichen Stoffkreislauf zurückgeführt werden kann. Das setzt allerdings voraus, daß dieser Kreislauf sie noch aufnehmen kann. Durch umfangreiche Futtereinfuhren und industrielle Fleischproduktionsmethoden ist in einigen Industriestaaten auch in der Landwirtschaft der natürliche Kreislauf nicht geschlossen. Eine vollständige Abfallwirtschaftskonzeption muß die Erzeuger einschließen. Anderenfalls kann selbst in einem Flächenland wie Niedersachsen der organische Siedlungsabfall nicht vollständig in der Landwirtschaft untergebracht werden.

4.2. Aufbau industrieller Stoffkreisläufe

Die Trennung des organischen Siedlungsabfalls von den Industrieprodukten schafft die Voraussetzung, industrielle Stoffkreisläufe aufzubauen. Erste Schritte – die getrennte Sammlung von Glas, Papier, Blech und Kunststoffen verringern zumindest die Masse der Abfälle. Nach flächendeckender Einführung und annähernd vollständiger Erfassung dieser Altstoffe würde man an die Grenze dieses Verfahrens stoßen. Im Gegensatz zum zeitlich unbegrenzten natürlichen Kreislauf brechen nämlich die gegenwärtig verfügbaren industriellen Kreisläufe ab, weil die Qualität des Materials z. B. durch Verunreinigungen, Verkürzung der Fasern oder Änderung der Moleküle abnimmt. Sie verringern die Abfallmassen durch mehrfache Stoffnutzung mit abgestuften Qualitätsansprüchen, bieten aber noch keine dem natürlichen Kreislauf vergleichbare Lösung. Vor allem lösen sie nicht das Problem, umweltbelastende Chemikalien aus der Umwelt fernzuhalten: Eine marktgerechte Lösung dieses Problems erfordert, daß nach dem Verursacherprinzip die Industrie eigenverantwortlich vollständig bilanzierte Stoffströme aufbaut, die entweder zu Kreisläufen führen oder in umweltverträglichen Endstufen enden und deren Kosten dann direkt dem Produkt zuzuordnen sind. Die in Deutschland geplante Rücknahmepflicht für Elektronikschrott ist ein erster Schritt in diese Richtung. In der gegenwärtigen Situation ist eine Schadstoffentfrachtung des nicht kompostierbaren Siedlungsabfalls nur durch eine gezielte Entsorgung der im Gewerbe verwendeten Chemikalien im Rahmen einer strengen Satzung und einer intensiven Erfassung der Kleinmengen problematischer Stoffe beim

einzelnen Bürger möglich, die dann als Sonderabfall behandelt werden. Zur Beseitigung verbleibt zurzeit ein beträchtliches Stoffgemenge, das zumindest in Spuren alle vorkommenden umweltbelastenden Stoffe enthalten kann und deshalb nicht in die Natur integrierbar ist.

4.3 Charakteristik der zurzeit zur Beseitigung anfallenden Siedlungsabfälle

Der nicht kompostierbare und zurzeit auch industriell nicht verwendbare Siedlungsabfall, optimistisch „Restmüll“ genannt, unterscheidet sich nicht grundlegend vom bisher bekannten Stoffgemenge „Siedlungsabfall“. Solange sich die Verbesserungen darauf beschränken, von jedem Stoff den gut brauchbaren Anteil zu entnehmen, bleibt von jedem der unbrauchbare übrig. Nach den Ergebnissen der deponietechnischen Vergleichsuntersuchungen im Rahmen des DFG-Schwerpunktes (vgl. Kap. 3) wurden die Anfangsfeuchte durch getrennte Sammlung des „Biomülls“ bis auf unbedeutende Restfeuchten (staubtrocken), der Glasanteil um ca. 90% und die Metallfraktion um ca. 70% gesenkt. Die gesamte Abfalltrockensubstanz wurde nach sehr sorgfältiger Auslese am Band um ca. 66% gesenkt. Trotzdem enthielt der Rest weiterhin hohe Anteile biochemisch leicht abbaubare Substanz in einem Zufallsgemenge industrieller Produkte (Collins u. Spillmann, 1990). Die Masse der organisch/industriellen Abfallgemische wird gegenwärtig verringert, die aus den Gemengen entstehenden Beseitigungsprobleme bleiben zurzeit noch erhalten.

5. FOLGERUNGEN FÜR DIE BESEITIGUNG DES RESTABFALLS

5.1. Beurteilung der gegenwärtigen Deponierung als häufigster Methode

Die lange Zeit übliche Ablagerung ohne Vorbehandlung, ohne Basisabdichtung und ohne Sickerwasserbehandlung ist in Neuanlagen fortgeschrittener Industrieländer überholt. Die Abdichtungssysteme werden aber in der Regel nur als Sperre gegen Wasser bemessen. Die Konstruktion als chemisch beständige, diffusionshemmende Sperre durch Kombination einer unpolaren, chemisch weitgehend beständigen PE-HD-Kunststoffplatte im Preßverbund mit einer mineralischen Sperre aus Ton (Grenzflächen der Tonminerale und Porenwasser polar) nach August (Bundesanstalt für Materialprüfung BAM Berlin) ist ein erster Schritt zur Lösung des Problems. Sie ist jedoch thermodynamisch noch nicht ausgereift und nicht unbegrenzt beständig. Die Ausgasungen aus den Deponiekörpern werden mit zurzeit angewandten Techniken nur unvollständig gefaßt und behandelt (hier überwiegt oft das Nutzungsverhalten). Nur der hohe Standard der Sickerwasserklärung schützt während des Be-

triebes und der anschließenden Nachsorgephase die Umwelt zuverlässig vor Schadstoffen, die die Deponie auf dem Wasserpfad verlassen. Die Eingangskontrolle beschränkt sich in der Regel auf Sicht- und Geruchsprüfungen. Die gegenwärtig praktizierte Deponietechnik wird nicht den Anforderungen gerecht, die industriellen Abfälle im Siedlungsabfall dauerhaft aus den biologischen Kreisläufen fernzuhalten.

5.2. Mindestanforderungen aufgrund der Untersuchungsergebnisse

Vergleicht man die gegenwärtigen Beseitigungsbedingungen mit den Untersuchungsergebnissen zum Wasser- und Stoffhaushalt von Abfalldeponien (Kap. 3), nach denen wasser- oder gasbelastende industrielle Ablagerungen in unbehandeltem Siedlungsabfall mit dessen fortschreitendem Abbau remobilisiert werden und flüchtige Verbindungen schon in der Betriebsphase ausgasen, sind folgende Verbesserungen mindestens erforderlich:

- Eingangskontrolle mit chemisch geschultem Personal und Laborausstattung mit Breitband-Schnellanalytik (aus dem Arbeitsschutz bekannt).
- Dauerhafte Basissperre gegen alle in Deponien auftretenden Flüssigkeiten und Gase nach dem Prinzip des „Versagens zur sicheren Seite“.

- Stoffgerechte Umwandlung der Abfälle zu naturverträglichen Verbindungen durch
- Zerlegung der toxischen Kohlenwasserstoffverbindungen in die natürlichen Ausgangssubstanzen;
- Stabilisierung der Spurenelemente auf ihre natürliche Mobilität;
- Abbau der natürlichen organischen Substanz zu bodengleichem oder gleichwertigem Material (Bodenminerale und stabile Huminstoffe).

Wird die stoffgerechte Umwandlung zielsicher und vollständig erreicht, brauchen die ersten zwei Forderungen nur von der Behandlungsanlage eingehalten zu werden. Die gegenwärtig anfallenden inhomogenen Stoffgemenge wechseln, nicht vollständig bekannter Zusammensetzung können jedoch nicht gezielt behandelt und deshalb nicht vollständig umgewandelt werden. Als technische Lösung werden zurzeit thermische Verfahren entwickelt, die das undefinierte Gemenge durch abgestufte Vergasung in definierte Stoffe zerlegen, die dann unter optimalen Bedingungen oxidiert werden. Durch Kombination biochemischer und thermischer Verfahren kann ein schadstoffentfrachteter Restabfall auch mit wesentlich geringerem Aufwand bereits erfolgreich behandelt werden. Über ein Verfahren, das kurzfristig auch von wirtschaftlich schwachen Ländern eingesetzt werden kann und stufenweise ausbaubar ist, wurde vom Verfasser zur DepoTech 1992 in Leoben berichtet.

Literaturverzeichnis

1. Collins, H.-J., u. P. Spillmann (1990): Lagerungsdichte und Sickerwasser einer Modelldeponie von selektiertem Hausmüll; Müll u. Abfall, 22 (6), S. 365-373.
2. Golwer, A., G. Mattheß u. W. Schneider (1970): Selbstreinigungsvorgänge im aeroben und anaeroben Grundwasserbereich; Vom Wasser 37, S. 61-90.
3. Hanert, H.-H. (1991): Überlegungen zu einer zweistufigen (anaerob-aerob) mikrobiologischen Aufbereitung des Restmülls; in: Collins, H.-J. (1991): Aufbereitung fester Siedlungsabfälle vor der Deponierung. - Zentrum für Abfallforschung (ZAF) TU Braunschweig, ISSN 0934-9243.
4. Herklotz, K. (1985): Sorptions- und Mobilitätsverhalten von ausgewählten Pestiziden in Hausmüll, Böden und Porengrundwasserleitern; Diss. am Fachbereich Gartenbau, Universität Hannover.
5. Nöring, F., A. Golwer und G. Mattheß (1965): Auswirkungen von Industrie- und Hausmüll auf das Grundwasser. - Mens. Congr. Int. Ass. Hydrogeologie 7, S. 165-171.
6. Pecher, P. (1989): Untersuchungen zum Verhalten ausgewählter organischer Chlorkohlenwasserstoffe während des sequentiellen Abbaues von kommunalen Abfällen. - Diss. an der Fakultät Biologie, Chemie und Geowissenschaften der Universität Bayreuth.
7. Spillmann, P. (Hrsg.) (1986): Wasser- und Stoffhaushalt von Abfalldeponien und deren Wirkungen auf Gewässer. - VCH-Verlag Weinheim, ISBN 3-527-27121-X.
8. Spillmann, P. (1990): Mobilisierung von Schadstoffen durch Abbauvorgänge. - 3. Intern. KfK/TNO-Kongreß über Altlastsanierung, Karlsruhe; Kluwer academic publishers, Dordrecht, Niederlande.

Umweltrecht in der EG und in Österreich

Elisabeth M. Freytag, Wien*)

Meinungsumfragen über die Einstellung zur EG belegen, daß die österreichische Bevölkerung positive Konsequenzen aus einem EG-Beitritt vor allem in materieller Hinsicht erwartet (Wirtschaftswachstum z. B.), negative Konsequenzen im Bereich der immateriellen Werte (Umweltschutz, Verkehr etc.). Ein Vergleich des Umweltrechtes zwischen EG und Österreich zeigt, daß Österreich tatsächlich eine Vorreiterrolle in Bereichen wie Luftverschmutzung (Österreich hat seine SO₂-Emissionen schon in den achtziger Jahren um 75% reduziert; die Verwendung eines geregelten 3-Weg-Katalysators in Kraftfahrzeugen ist seit Jahren verpflichtend vorgeschrieben), Abfallwirtschaft und bei der Regelung gefährlicher Substan-

zen einnimmt. Gleichzeitig in den EG-Regelungen, die den entsprechenden österreichischen überlegen sind, so im Bereich der Umweltverträglichkeitsprüfung, beim freien Zugangsbürger zu Umweltinformationen oder bei Emissionsregelungen. Österreich wird diese Bestimmungen schon mit Inkrafttreten des EWR-Vertrages übernehmen. Gleichzeitig werden wir im EWR alle strengeren österreichischen Bestimmungen beibehalten – der EWR oder eine EG-Mitgliedschaft darf zu keinem Absinken österreichischer Standards führen. Die Autorin ist aus verschiedenen Gründen der Auffassung, daß Österreich von einer EG-Mitgliedschaft profitieren würde – aus ökonomischen und ökologischen Gründen.

Environmental Regulations In The European Community and Austria

With regard to the EEC, public opinion in Austria assumes positive consequences towards a prosperous economy but negative consequences as a result of a deterioration of the environment.

When comparing the environmental regulations between Austria and the EEC, it shows that Austria plays a leading role in the fields of e.g. air pollution (Austria reduced its SO₂ emission by 75% in the 80's and at present the installation of catalytic converters in new cars is obligatory), waste management or chemical substances.

There again, the EEC has an environmental impact assessment and free access to environmental information or comprehensive emission regulations. Austria will therefore adapt to those regulations, which are more progressive in the EEC, and maintain those which are stricter in comparison. For various reasons, the author is of the opinion that Austria could benefit from membership in the EEC from an economical and ecological point of view.

Dans le cas de l'entrée de l'Autriche dans la Communauté Européenne

L'opinion publique dans notre pays prédit comme conséquence positive un essor considérable de l'économie et comme conséquence négative une détérioration de notre environnement (abaissement des standards, augmentation du transport etc.). En comparant la réglementation de l'environnement de l'Autriche à celle de la Communauté, on constate que l'Autriche est très avancée dans des domaines tels que la pollution atmosphérique (réduction des émissions de SO₂ d'environ 75% dans les années 1980; les voitures doivent être munies d'un pot catalytique etc.), la maîtrise des déchets et des substances chimiques. La Communauté, d'autre part, dispose

d'un droit sur les études d'impact sur l'environnement, la liberté d'accès à l'information en matière d'environnement et une réglementation compréhensive des immissions. Déjà en participant au grand marché intérieur à partir de 1993, l'Autriche envisage d'accepter les réglementations plus avancées de la Communauté tout en gardant les réglementations nationales qui sont plus strictes que celles de la Communauté. Pour des raisons diverses l'auteur est d'avis que l'Autriche ne pourrait que bénéficier d'une affiliation à la Communauté Européenne, non seulement pour des raisons économiques, mais aussi du point de vue écologique.

Meinungsumfragen über die Einstellung der Österreicher zur EG belegen, daß derzeit etwas mehr als die Hälfte der Bevölkerung einem EG-Beitritt positiv gegenübersteht; wenn man die Österreicherinnen und Österreicher nach den

Vorteilen, die sie sich erwarten, und den Nachteilen, die sie befürchten, fragt, dann sind es vor allem materielle Werte, die an den Gemeinschaften begeistern – sinkende Preise, Wirtschaftswachstum, Konjunkturaufschwung, Zollfreiheit usw. Auf der negativen Seite sind es eher sogenannte postmaterielle Werte, die genannt werden – sinkende Umweltstandards, wachsendes Ver-

*) Mag. Elisabeth M. Freytag, Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Radetzkystraße 2, 1031 Wien

kehrsaufkommen, qualitativ schlechtere Lebensmittel, die bedrohte Landwirtschaft – ökologische Fragen im weiteren Sinn.

Schwerpunkt Umweltpolitik: Gerade diese ist ja einer der „sensiblen“ und angstmachenden, emotional behafteten Bereiche der EG-Diskussion in Österreich, was einerseits auf ein erfreulich hohes Umweltbewußtsein der Bevölkerung, aber andererseits – aus Autorensicht – auch auf mangelnde Information schließen läßt.

Als die Europäische Wirtschaftsgemeinschaft 1957 gegründet wurde, stand zweifelsohne nicht der Schutz der Umwelt im Interesse der Gründungsmitglieder, sondern die Stärkung der Wirtschaft. Auch in Österreich war in den fünfziger Jahren das „Wirtschaftswunder“ und nicht der Umweltschutz prioritär. Die EG-Umweltpolitik begann ebenso wie die österreichische – Anfang der siebziger Jahre im Anschluß an die Konferenz von Stockholm „On the Human Environment“. Zur gleichen Zeit wurde der Bericht des Club of Rome über die „Grenzen des Wachstums“ veröffentlicht.

Es ist in der EG eine doch recht konsequente Entwicklung von der reinen Wirtschafts- zur Umweltgemeinschaft erkennbar. In der Verfassung der EG, also der Einheitlichen Europäischen Akte, wurde der Umweltschutz 1986 verankert. Im Vergleich dazu – 1984 ist das österreichische Bundesverfassungsgesetz über den umfassenden Umweltschutz in Kraft getreten, das ein Bekenntnis der Republik Österreich zum umfassenden Umweltschutz darstellt. Ziel ist in unserer

NACH MEINUNG DER ÖFFENTLICHKEIT IST ES IN DER UMWELTPOLITIK BESSER, GEMEINSAM ZU HANDELN

Auf die Frage, ob die Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaft in Fragen des Umweltschutzes gemeinsam oder einzeln vorgehen sollten, glaubten mehr als drei Viertel der Befragten, daß die Staaten gemeinsam handeln sollten.

Antworten zu einer Meinungsumfrage, ob die Mitgliedstaaten beim Umweltschutz gemeinsam oder getrennt vorgehen sollten

Staat	Gemeinsam	Getrennt	Keine Meinung
Belgien	61,0	8,6	30,5
Dänemark	70,4	12,0	17,6
Bundesrepublik			
Deutschland	83,2	5,7	11,1
Griechenland	69,0	18,4	12,6
Spanien	60,5	19,0	20,5
Frankreich	80,6	15,9	3,5
Irland	64,4	29,1	6,5
Italien	83,3	7,7	9,0
Luxemburg	83,7	11,6	4,7
Niederlande	91,0	7,2	1,8
Portugal	62,3	10,2	27,5
Vereinigtes Königreich	76,0	16,5	7,5
EG-Durchschnitt	77,1	12,2	10,6

Quelle: ZEUS-Bericht vom Januar 1990, aufgrund einer Analyse der im Auftrag der EG-Kommission im Sommer 1989 in den 12 Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaft durchgeführten Eurobarometer-Meinungsumfrage.

Abb. 1

UMWELTPOLITIK



ZIELE Art 130 r EWGV

- Umweltschutz
- Gesundheitsschutz
- Vernünftiger Ressourceneinsatz



GRUNDSÄTZE

- Vorbeugeprinzip
- Verursacherprinzip
- Umweltschutz - Kriterium aller EG-Politiken
- Subsidiaritätsprinzip

Abb. 2

Verfassung die Bewahrung der natürlichen Umwelt als Lebensgrundlage des Menschen vor schädlichen Einwirkungen, und diese besteht insbesondere in Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft, des Wassers und des Bodens sowie zur Vermeidung von Störungen durch Lärm. Umweltschutz wird in einer sehr traditionellen Betrachtungsweise definiert; jener integrative Ansatz, den die Gemeinschaften in der Einheitlichen Europäischen Akte oder noch stärker in der Umweltverträglichkeitserklärung in Maastricht zumindest proklamatorisch festgelegt haben, fehlt (Abb. 1). Die EG haben – abgesehen von der Tatsache, daß die Erfordernisse des Umweltschutzes Teil der anderen Politiken der Gemeinschaft sein sollen und damit nicht unabhängig von Wirtschafts-, Landwirtschafts-, Verkehrs- und Energiepolitik erfolgreich sein können – als Prinzipien der Umweltpolitik das Verursacherprinzip, das Vorsorgeprinzip und das Subsidiaritätsprinzip festgelegt. Gerade die Subsidiarität ist aus der Sicht eines kleineren, umweltbewußten Landes von Bedeutung und hat möglicherweise beim Dänemark-Referendum eine Rolle gespielt. Nach Verfasseransicht kann Subsidiarität in der Umweltpolitik aber nicht so weit gehen, wie die kommende britische Präsidentschaft das fordert, die die Umweltkompetenzen zur Gänze in den Mitgliedstaaten ansiedeln würde (Abb. 2).

Das EG-Sekundärrecht im Umweltbereich kann man, vereinfacht dargestellt, in anlagen- und produktbezogene Normen differenzieren. Für Emissionen aus Produktionsanlagen werden in der

Regel auf Basis von Artikel 130r des EWG-Vertrages bzw. der Einheitlichen Europäischen Akte (EEA) Mindeststandards festgelegt. Diese im übrigen einstimmig zu beschließenden Standards erlauben es den Mitgliedstaaten, strengere nationale Bestimmungen zu erlassen. Produktspezifische Normsetzung der EG erfolgt hingegen auf Basis von Artikel 100a mit qualifizierter Mehrheit und ermöglicht nur dann schärfere bzw. umweltpolitisch fortschrittlichere Bestimmungen auf einzelstaatlicher Ebene, wenn die Voraussetzungen der Schutzklausel des Artikel 100a Absatz 4 (Abb. 3 und 4) („... Schutz der Arbeitsumwelt oder den Umweltschutz...“) gegeben sind. Daß die Berufung auf diese Bestimmung im Einzelfall durchaus von der Kommission akzeptiert wird, zeigt die Initiative Deutschlands beim Verbot von Pentachlorphenol. PCP ist auch in Österreich auf Basis des Chemikaliengesetzes verboten worden.

Die Bedeutung der Mindeststandards im anlagenbezogenen Bereich ist insbesondere im Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Dimension der Umweltpolitik gegeben. Strengere Auflagen werden notwendig sein, strikte Emissions- und Immissionsregelungen, um die drohende Zerstörung einer lebenswerten Umwelt hintanzuhalten. Möglich sind sie aber nur im Rahmen einer gesunden, florierenden Wirtschaft – der Zustand der Umwelt in manchen Staaten zeigt, daß – abgesehen von politischen Rahmenbedingungen – Zerstörung von Wirtschaft und Umwelt Hand in Hand gehen können.

UMWELTPOLITIK

RECHTSETZUNGSVERFAHREN

Art 130 r ff EWGV Art 100 a EWGV

Zweck	Maßnahmen zum allgemeinen Umweltschutz	Rechtsvereinheitlichung zur Verwirklichung des Binnenmarktes
Kommissionsvorschlag		hohes Umweltschutzniveau
Mitwirkung des Parlaments	reine Anhörung	„Verfahren der Zusammenarbeit“ (=Mitspracherecht)
Beschluß im Rat	einstimmig	qualifizierte Mehrheit
strengere nationale Vorschriften	können einseitig erlassen werden	müssen vor der Kommission begründet und von dieser bestätigt werden

Abb. 3

UMWELTPOLITIK

HANDLUNGSSPIELRAUM

DER MITGLIEDSTAATEN

	EWGV	strengere nationale Vorschriften
Rechtsvorschrift nach Art 100 a EWGV	Art 100 a Abs 4	Bestätigung der Kommission notwendig
Rechtsvorschrift nach Art 130 s EWGV	Art 130 t	einseitig möglich
Keine Rechtsvorschrift vorhanden	Art 30 Art 36	Verbot mengenmäßiger Beschränkungen Ausnahmegründe: ... Schutz der Gesundheit, des Lebens von Menschen, Tieren oder Pflanzen

Abb. 4

Wenn man bei der Frage der ökologischen Ausrichtung der EG die Rolle der Institutionen betrachtet, dann ist feststellbar, daß diese, also die Kommission, der Europäische Gerichtshof, vor allem aber das Europäische Parlament, üblicherweise umweltfreundlicher agieren als die EG-Mitgliedstaaten. Der Europäische Gerichtshof hat z. B. beim berühmten Dänemark-Urteil 1988 anerkannt, daß Umweltschutz zu den Hauptzielen der Gemeinschaft gehört und somit grundsätzlich eine Beschränkung des Prinzips des Freien Warenverkehrs rechtfertigt. Anlaß des Urteils war das Verbot von Bier und Erfrischungsgetränken in Einweg- und Plastikflaschen. Die Statistenrolle des Europäischen Parlamentes – die durch den Vertrag über die Europäische Union kaum gebessert wurde – ist daher aus ökologischen ebenso wie aus demokratiepolitischen Gründen zu bedauern.

Aus institutionellen Gründen sind kleinere Staaten bei Abstimmungen, die mit qualifizierter Mehrheit erfolgen – derzeit aber vor allem bei produktbezogenen Regelungen –, etwas bevorzugt, wenn man bedenkt, daß Deutschland mit etwa 80 Millionen Einwohnern über 10 Stimmen verfügt, Luxemburg mit 370.000 Einwohnern aber immerhin 2 Stimmen im Ministerrat hat. Österreich hätte voraussichtlich 4, möglicherweise sogar 5. Dieser Abstimmungsmodus beschleunigt den Rechtssetzungsprozeß und ermöglicht Koalitionen von Staaten, die gemeinsame Ziele erreichen wollen, wobei durch Österreich ebenso wie in andere beitrittswillige EFTA-Staaten sicherlich

die sogenannte „Koalition der umweltfreundlichen Staaten“ stärker wird. Dieser Vorteil ist durch den in Maastricht beschlossenen Vertrag über die Europäische Union noch verstärkt worden, da in Zukunft grundsätzlich Mehrheitsabstimmungen erfolgen werden, so daß der erwähnte Vorteil der qualifizierten Abstimmungen in Zukunft noch stärker zum Tragen kommen dürfte.

Österreich ist traditionell einer der Vorreiter der internationalen Umweltpolitik. So wurden die SO₂-Emissionen in den letzten Jahren um fast 80% reduziert. Es wurden 1,9% des Bruttoinlandsproduktes – 20 Milliarden öS – von privaten Unternehmen und der öffentlichen Hand im Verhältnis 60:40 für ökologische Investitionen aufgewendet. Österreich hat als erstes europäisches Land den Katalysator verbindlich vorgeschrieben und sehr früh die ozonschichtzerstörenden FCKW zumindest als Spraydosen aus dem Verkehr gezogen.

Vergleicht man nun die EG-Regelungen mit österreichischen Gesetzen und Verordnungen im Detail, wird man trotzdem relativ rasch feststellen, daß die nationale Umweltgesetzgebung Lücken aufweist, die zumindest zum Teil auch einen Nachholbedarf gegenüber den EG darstellen.

Das betrifft die verpflichtende Umweltverträglichkeitsprüfung für Großprojekte, wofür in den Gemeinschaften seit 1985 eine entsprechende Richtlinie besteht, die für bestimmte öffentliche und private Projekte vor ihrer Genehmigung eine Umweltverträglichkeitsprüfung mit Bürgerbeteiligung vorsieht.

Der derzeit in parlamentarischer Behandlung stehende österreichische Gesetzesentwurf ist etwas strenger als die EG-Richtlinie, da es sich bei diesen Richtlinien jedoch um Mindestrichtlinien handelt, können auch die Mitgliedstaaten strengere Bestimmungen erlassen.

Die nationale Freiheit, der Handlungsspielraum eines Landes, ist bei dieser Richtlinie ebenso wie bei den anderen Mindestrichtlinien relativ groß, wird aber bei uns (wie in anderen Staaten) kaum entsprechend ausgenützt werden, weil der innerstaatliche Interessenausgleich durch die EG nicht aufgehoben wird. Theoretisch könnten wir jeden Schrebergarten einer UVP unterziehen.

Die EG-Richtlinie 90/313/EWG über den freien Zugang zu Umweltinformationen sieht vor, daß die Mitgliedstaaten ihre Behörden dazu verpflichten, allen natürlichen oder juristischen Personen auf Antrag und *ohne Nachweis eines Interesses* Informationen über die Umwelt zur Verfügung zu stellen.

Teilweise ist diese Informationspflicht in Österreich zwar bereits durch die Auskunftspflicht des Bundes und der Länder erfüllt, eine dezidierte Regelung für den Umweltbereich wird jedoch im geplanten Umweltinformationsgesetz geschehen. Derzeit befindet sich ein solches Umweltinformationsgesetz in Ausarbeitung. Aufgrund des strengen Datenschutzes, Fragen von Betriebs- und Geschäftsgeheimnis, der Administrierbar-

keit, unterschiedlicher nationaler Interessen usw. stößt dies jedoch auf Schwierigkeiten.

In der EG bestehen mehrere Regelungen, die Immissionsgrenzwerte festlegen, insbesondere für SO₂ und Staub (Richtlinie 80/779/EWG), Blei (Richtlinie 82/884/EWG) und NOX (Richtlinie 85/203/EWG) (Abb. 5 und 6).

In Österreich ist der Bereich der Luftreinhaltung bislang vor allem emissionsseitig geregelt, aber auch durch Produktnormen, wie z. B. Festlegung des Bleigehaltes in Benzin. Im Bereich des Immissionsschutzes besteht zwar bereits eine Immissionsschutzvereinbarung zwischen dem Bund und Ländern, BGBl. Nr. 433/1987, ein umfassendes Immissionsschutzgesetz ist jedoch erst in Vorbereitung. Es soll noch vor dem Sommer dem Ministerrat vorgelegt werden und erscheint im Sinne integrativen Umweltschutzes und einer Reduzierung der Belastung der Bevölkerung sinnvoll und notwendig.

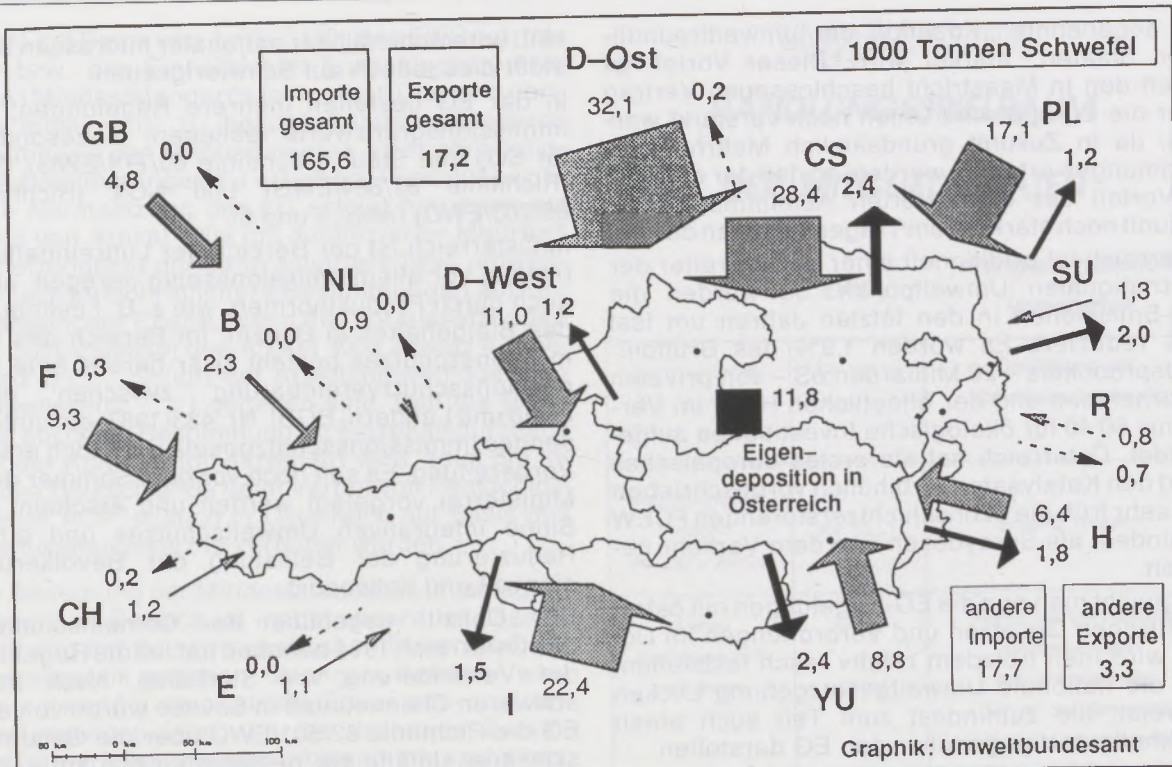
Ein „Defizit“ gegenüber den Gemeinschaften, das Österreich 1991 behoben hat, ist die Regelung der Verhinderung von Störfällen. Nach dem schweren Chemieunfall in Seveso wurde von der EG die Richtlinie 82/501/EWG über die Gefahren schwerer Unfälle bei bestimmten Industrietätigkeiten (sog. „Seveso-Richtlinie“) erlassen, deren Ziel die Verhütung von Unfällen und die Begrenzung der Unfallfolgen für Mensch und Umwelt sind.

In Österreich wurden zwar auch bislang im Rahmen des Betriebsanlageverfahrens Vorkehrungen gegen mögliche Störfälle getroffen, aber erst mit der Gewerbeordnungsnovelle 1988 wurde durch den neu aufgenommenen § 82a GewO die Möglichkeit geschaffen, explizit Störfallvorsorgemaßnahmen zu treffen und die Betreiber zur Erstellung von Sicherheitsanalysen und Maßnahmenplänen für gefahrgeneigte Anlagen zu verpflichten.

Weiterhin fehlend sind jedoch in Österreich die Bestimmungen für eine ausreichende Information der Öffentlichkeit über die Gefahren von Störfällen. Diese konnten – nicht gerade nach Auffassung des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie – in der Störfallverordnung keine Berücksichtigung finden. Sie sollen daher im bereits erwähnten Umweltinformationsgesetz berücksichtigt oder gesondert geregelt werden.

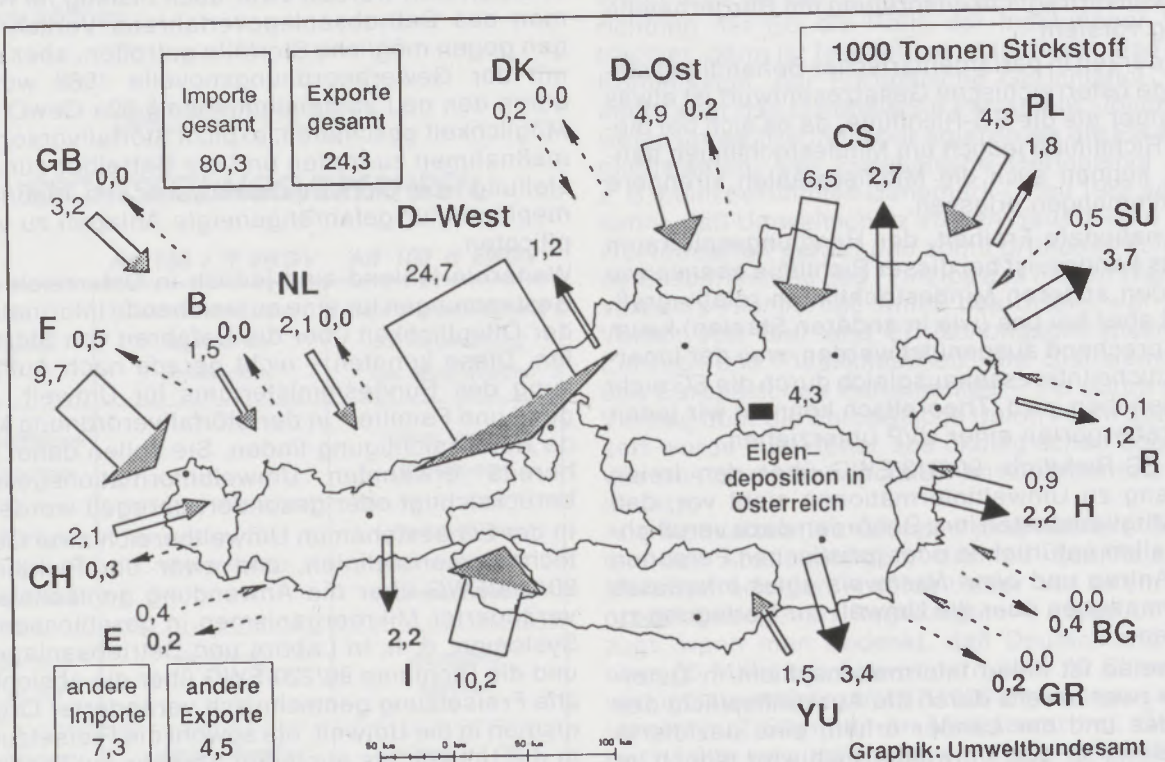
In der EG bestehen im Umweltbereich zwei Gentechnologierichtlinien, und zwar die Richtlinie 90/219/EWG über die Anwendung gentechnisch veränderter Mikroorganismen in geschlossenen Systemen, d. h. in Labors und Betriebsanlagen, und die Richtlinie 90/220/EWG über die absichtliche Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen in die Umwelt, die sowohl die Freisetzung in die Umwelt als auch den Verkehr mit Produkten, die genetisch veränderte Organismen enthalten, regelt.

In Österreich herrscht insofern noch ein Nachholbedarf, als diesen beiden Richtlinien 200 verschiedene Bestimmungen, aber kein eigenes



Import/Export von Gesamtschwefel ($\text{SO}_2 + \text{SO}_4^{2-}$) von und nach Österreich 1990 (in 1000 Tonnen Schwefel – Vorläufige Daten)

Abb. 5



Import/Export oxidiertes Stickstoffverbindungen ($\text{NO}, \text{NO}_2, \text{NO}_3^-$) von und nach Österreich 1990 (in 1000 Tonnen Stickstoff – Vorläufige Daten)

Abb. 6

Gesetz gegenüberstehen. Dies ist derzeit unter Federführung des Gesundheitsministers in Ausarbeitung.

Traditionellerweise sind die österreichischen Bestimmungen im anlagenbezogenen Bereich sehr streng – das Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen normiert teilweise europaweit die höchsten Normen in EG-konformer Weise, da die EG auf diesem Gebiet nur Mindeststandards vorgibt. Strenger als in der EG ist auch das österreichische Chemikaliengesetz, das sich grundsätzlich an den EG-Bestimmungen der Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung orientiert (bzw. diese übernommen hat), der österreichische Gesetzgeber verlangt jedoch zusätzliche Kennzeichnungsbestimmungen und strengere Herstellerverantwortlichkeit.

Österreich normiert auch eine Kennzeichnung für schadlose Beseitigung und Gegenmaßnahmen im Unglücksfall. Die strengere Herstellerverantwortlichkeit, bei der Hersteller und Importeur Informations- und Sorgfaltspflichten unterliegen, ergibt sich aus dem Verursacherprinzip, aber auch dem kleineren Markt und ist für den Vollzug insofern unverzichtbar, als die Letztverantwortung sonst bei der Behörde liegen müßte.

Einige Verordnungen, die auf Basis des Chemikaliengesetzes erlassen wurden, gehen über Stoffverbote bzw. -beschränkungen der EG hinaus, so z. B.

- Asbest
- Formaldehyd
- Pentachlorphenol (PCP)
- Quecksilberverbindungen
- zinnorganische Verbindungen

Im Bereich der Abfallwirtschaft sind die österreichischen Bestimmungen nicht zuletzt deshalb fortschrittlich, weil das Abfallwirtschaftsgesetz ein junges Gesetz aus dem Jahr 1989 ist, das z. B. die Umsetzung der Baseler Konvention vorwegnimmt.

Im Bereich der Abfallregelungen werden in der EG derzeit Änderungen über deren grenzüberschreitende Verbringung vorbereitet, und ebenso wie in Österreich sind heftige Diskussionen um eine möglichst weitgehende Reduktion von Verpackungsmüll im Gange.

Strengere Bestimmungen sieht die österreichische Umweltgesetzgebung noch in folgenden Bereichen vor:

- Schadstoffe in Batterien (auf Basis des Abfallwirtschaftsgesetzes).
- Schwefelgehalt in Dieseltreibstoffen.
- Benzolgehalt in Kraftstoffen.
- Abgasemissionen von Kfz (Katalysator) und andere produktbezogene Regelungen im Verkehrsbereich.

In diesem Zusammenhang sollte vielleicht noch darauf hingewiesen werden, daß im Zuge der *EWR-Verhandlungen* für all jene Bereiche, in welchen Österreich strengere Umweltgesetze erlassen hat, *Übergangsfristen* vereinbart wur-

den. 1994 werden sich Experten der EFTA-Staaten und der EG-Kommission zu Verhandlungen treffen, um zu klären, ob die EG-Bestimmungen bereits genauso streng sind wie jene der EFTA-Länder. Es kann davon ausgegangen werden, daß das der Fall sein wird, weil die jüngsten Vorschläge der EG-Kommission sehr umweltfreundlich sind.

Jene Regelungen, die in den Gemeinschaften ökologisch fortschrittlicher sind, übernimmt Österreich – mit den Gentechnik-Richtlinien als einziger Ausnahme – mit Inkrafttreten des Vertrages – mit 1. Jänner 1993.

Von vielen wird als wesentliche Schwäche des EWR-Vertrages der Umstand zitiert, daß den EFTA-Staaten nicht die Möglichkeit eingeräumt wird, über EG- und damit oft auch EWR-Regelungen mitzubestimmen. Tatsächlich wäre es wünschenswert und zielführend, umweltpolitisch fortschrittliche Positionen auch in den Entscheidungsgremien der Europäischen Gemeinschaft mit Sitz und Stimme vertreten zu können. Aus umweltpolitischer Sicht wäre der EWR daher in einigen Bereichen wenig zufriedenstellend, würde er nicht ein integrationspolitisch wertvolles Zwischenglied für die angestrebte österreichische Mitgliedschaft darstellen. Man könnte ihn daher sozusagen als „Gehschule“ für die volle Integration Österreichs in die Europäischen Gemeinschaften ansehen.

Ziel der österreichischen Umweltpolitik im EWR wird es sein, gemeinsam mit den umweltpolitisch fortschrittlichen EFTA-Staaten und den ökologischen Vorreitern innerhalb der Gemeinschaft eine starke Umweltlobby gegen die „Hardliner“ dieses größten Wirtschaftsraumes zu bilden. Der EWR bietet vielfältige Möglichkeiten, durch intensive Zusammenarbeit den Meinungsbildungsprozeß in umweltrelevanten Fragestellungen entscheidend mitzubeeinflussen. Allein im Umweltbereich werden EFTA-Experten in über 20 unterschiedlichen hierarchischen Komitees mitarbeiten und Entscheidungen zwar nicht im Rahmen von Abstimmungen, aber doch im Wege des Meinungsbildungsprozesses beeinflussen können.

So ist etwa im laufenden Diskussionsprozeß zum Thema „Ökosteuern“ zu erwarten, daß die fortschrittliche Position Österreichs und anderer EFTA-Länder zu einer Dynamisierung der zurückhaltenden Politik der Gemeinschaft beitragen wird. Die gerade am Beispiel „CO₂-Abgabe“ seitens der EG, noch dazu im Vorfeld der UNCED formulierte Rückzugsposition, wonach derartige Schritte nur in Abstimmung mit den beiden anderen großen Märkten realisiert werden könnten, entspricht weder den österreichischen Vorstellungen in dieser Frage, noch denen anderer EFTA- und einzelner EG-Staaten. Österreich wird sich gerade auch im EWR konsequent für eine Vorreiterrolle Europas in dieser Frage engagieren oder aber diesen Schritt – wie bereits vor Jahren bei der Einführung der Katalysatorpflicht – notfalls auch alleine setzen. Die EWR-Bestim-

mungen würden eine derartige Initiative jedenfalls nicht beschränken.

Der Transitvertrag, dessen Bestimmungen aus Sicht der österreichischen Bundesregierung nicht Gegenstand kommender Beitrittsverhandlungen sein werden, ist – obwohl manchmal kritisiert – grundsätzlich als ökologischer Verhandlungserfolg zu werten, der auch die zaghaften Bemühungen der Gemeinschaft um ein umweltadäquates gesamteuropäisches Verkehrskonzept positiv beeinflussen sollte; das österreichische Gesamtverkehrskonzept kann hier zweifellos Vorbildfunktion übernehmen.

Umweltpolitischer Nachhol- bzw. Handlungsbedarf ist aber insbesondere auch in jenen Problem-bereichen zu konstatieren, deren Bewältigung auf nationaler Ebene allein vielfach nur in Form von

Symptombekämpfung möglich ist und die damit auch die zunehmende Bedeutung überregionaler, europäischer und wohl auch globaler Strategien dokumentieren.

Die Probleme Europas in den Bereichen Verkehr, troposphärisches Ozon, saure Deposition sind ebenso wie die globalen Problemstellungen der zunehmenden Meeresverschmutzung, der Bedrohung der Artenvielfalt und insbesondere der drohenden Klimaveränderung national mitverursacht, aber nur durch international akkordierte, konzertierte Maßnahmen wirklich in den Griff zu bekommen. Das vielfach bedrückende Bewußt-

Umweltschutzausgaben des Staates in Millionen US-Dollar¹⁾

	1980	1986	1990 ^{s)}
Kanada	3.219	3.242	3.254
USA	17.649	19.355	20.541
Japan	16.812	15.364	14.462
Westdeutschland	7.522	6.793 ²⁾	6.140
Dänemark	619	635	645
Finnland	314	318	320
Frankreich	3.735 ³⁾	4.081	4.382
Großbritannien	4.272 ³⁾	3.656 ²⁾	3.012
Niederlande	1.305	1.692 ²⁾	2.190
Norwegen	422 ⁴⁾	371 ²⁾	333
Österreich	615 ⁵⁾	630 ^{s)}	640
Schweden	985	902	862

¹⁾ In Preisen und Wechselkursen von 1980

²⁾ 1985 ³⁾ 1981 ⁴⁾ 1978 ⁵⁾ 1979

^{s)} geschätzt

Tab. 1

Gesamtwirtschaftliche Umweltschutzausgaben¹⁾ in Millionen US-Dollar²⁾

	1980	1986	1990
Kanada	5.387	4.982	4.756
USA	43.570	47.105	49.645
Japan	19.572	17.629	16.450
Westdeutschland	11.829	13.209	14.965
Dänemark	677	705	729
Finnland	675	711	735
Frankreich	5.687	6.464	7.022
Großbritannien	8.297	7.312	6.333
Niederlande	1.875	2.293	2.812
Norwegen	633	556	495
Österreich	911	1.255	1.669
Schweden	1.235	1.267	1.280

¹⁾ Zusammenfassung der Tabellen 1 und 2

²⁾ In Preisen und Wechselkursen von 1980

Quelle: siehe Tabelle 1

Tab. 3

Umweltschutzausgaben der privaten Wirtschaft in Millionen US-Dollar¹⁾

	1980	1986	1990 ^{s)}
Kanada	1.168 ^{s)}	1.740 ^{s)}	1.502
USA	25.921	27.750	29.104
Japan	2.760 ^{s)}	2.265 ^{s)}	1.988
Westdeutschland	4.307	6.416 ²⁾	8.825
Dänemark	58 ^{s)}	70 ^{s)}	84
Finnland	361	393	415
Frankreich	2.152 ³⁾	2.383	2.640
Großbritannien	4.025	3.656 ²⁾	3.321
Niederlande	570	601	622
Norwegen	211 ^{s)}	185 ²⁾	162
Österreich	296	625	1.029
Schweden	250 ⁴⁾	365 ²⁾	418

¹⁾ In Preisen und Wechselkursen von 1980

²⁾ 1985 ³⁾ 1981 ⁴⁾ 1974

^{s)} geschätzt

Quelle: siehe Tabelle 1

Tab. 2

Entwicklung der Umweltschutzausgaben 1980–1990 Durchschnittliche jährliche Veränderung in Prozent

	BSP ¹⁾	Umweltschutzausgaben		
		Staat	private Wirtschaft	Gesamt- wirtschaft
Kanada	3,1	0,1	- 3,6	-1,2
USA	3,0	1,5	1,2	1,3
Japan	1,5	-1,4	- 3,2	-1,7
Westdeutschland	1,4	-2,0	7,4	2,4
Dänemark	2,2	0,4	3,8	0,7
Finnland	3,0	0,2	1,4	0,9
Frankreich	1,5	1,6	2,1	1,8
Großbritannien	2,3	-3,4	- 1,9	-2,7
Niederlande	1,2	5,3	0,9	4,1
Norwegen	3,1	-2,4	- 2,6	-2,4
Österreich	1,4	0,4	13,3	6,2
Schweden	1,8	-1,3	5,3	0,3

¹⁾ In Preisen und Wechselkursen von 1980

Quelle: siehe Tabelle 1

Tab. 4

sein um die Dimension dieser Probleme und der daraus resultierenden Bedrohungsszenarien darf jedoch nicht dazu verleiten, a priori lokale und regionale Initiativen stets dem politisch strategischen Ideal einer international akkordierten Strategie unterzuordnen, auf einzelstaatliche Maßnahmen zugunsten der vielfach schwerfälligeren Realisierung internationaler Abkommen zu verzichten.

Es wird ein Anliegen der österreichischen Umweltpolitik sein, die Zusammenarbeit mit den EG auch in regionalen und globalen Fragestellungen zu verstärken. Österreich wird nicht nur seine bilateralen Bemühungen im Hinblick auf eine ökologisch adäquate Restrukturierung – etwa im Rahmen der relativ großzügigen Förderungsmaßnahmen aus Mitteln des Ökofonds – beibehalten, sondern darüber hinaus im Bereich der umweltrelevanten Aktivitäten der G-24-Initiative verstärkt Akzente suchen und setzen.

Die Analyse der gegenwärtigen EG-Umweltpolitik läßt eine Trendwende hin zu einem wesentlich offensiveren und integrativen Ansatz erkennen. Umweltschutzrelevante Politik scheint sich tatsächlich zu einem integralen Bestandteil aller Politikbereiche zu entwickeln. Dieser programmatisch bereits in der EEA normierte Grundsatz scheint nunmehr auch auf der strategisch konzeptiven Ebene der Gemeinschaftspolitik verwirklicht zu werden. So ist es erstmals gelungen, eine langfristig – nämlich bis zur Jahrtausendwende – orientierte umweltpolitische Strategie zu entwickeln.

Der ehemalige Umweltkommissar, Ripa di Meana, hat das kürzlich verabschiedete 5. Aktionsprogramm der EG für den Umweltschutz als Wendepunkt der Gemeinschaftspolitik bezeichnet. Das Programm skizziert integrative Lösungs- bzw. Problembewältigungsstrategien im Zusammenwirken der gesellschaftspolitischen Akteure „Verwaltung, Wirtschaft, Öffentlichkeit“ mit den großen Sektoren „Industrie, Energie, Landwirtschaft, Verkehr und Tourismus“. Die Umsetzung der drei zentralen Leitlinien „Vorsorgeprinzip, Prinzip der Verantwortlichkeit, Verursacherprinzip“ soll primär durch den Einsatz des neuen umweltpolitischen Instrumentariums erfolgen.

Umweltpolitische Maßnahmen in den einzelnen Sektoren der Gemeinschaftspolitik wie im Agrar- und Verkehrsbereich werden auf der strategischen Ebene in Beziehung zueinander gesetzt, um systemübergreifend und problemadäquat zu agieren und die politischen Synergismen nützen zu können. Die Kommission bekennt sich mit diesem Programm eindeutig und umfassend zu dem im Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung formulierten Prämissen einer nachhaltigen Entwicklung. Sie zieht sich aber nicht auf die vielfach sehr allgemein gehaltenen Positionen dieses Berichtes zurück, sondern skizziert klare, langfristig orientierte und sektorenübergreifende Problembewältigungsstrategien.

Gleichzeitig formuliert das Programm – nicht zuletzt unter dem Eindruck der in vielen Bereichen ernüchternden Bestandsaufnahme im „Bericht über den Zustand der Umwelt in den Gemeinschaften“, der die umweltwissenschaftliche Grundlage des 5. Aktionsprogrammes darstellt – die konsequentere Implementierung der Maßnahmen und die Vollzugskontrolle als ein Hauptanliegen der gemeinschaftlichen Umweltpolitik für die neunziger Jahre. Der Umstand, daß die einzelnen Aktionspläne und Maßnahmen des Programmes nicht den verbindlichen Charakter einer Richtlinie oder Verordnung aufweisen, sondern lediglich als Empfehlung gelten, mag „prima vista“ als Schwäche interpretiert werden. Tatsächlich ermöglicht es jedoch gerade der nicht verbindliche Charakter der einzelnen Elemente dieses Programmes, die umweltpolitischen Leitlinien der Gemeinschaft dynamisch an neue umweltwissenschaftliche Erkenntnisse anzupassen. Der „bloße“ Empfehlungscharakter kann nicht darüber hinwegtäuschen, daß damit ein eindeutiges Bekenntnis der Gemeinschaften zu einer Restrukturierung ihrer Umweltpolitik getroffen wurde, über dessen politische Verbindlichkeit auf Gemeinschafts- und Mitgliedstaatsebene keinerlei Zweifel bestehen.

Möglichkeiten der Implementierung eines QS-Systems für die Deponierung von Abfallstoffen

Hannes Missethon, Christian Trummer, Leoben*)

Die Überarbeitung der Norm DIN ISO 9001 soll die Grundlage für ein Qualitätssicherungssystem liefern, das für die Deponierung von Abfallstoffen Anwendung finden kann. Die 20 überarbeiteten Module des Qualitätssicherungssystems werden vorgestellt und in Beziehung zu ermittelten Bürgerwünschen gesetzt.

Auf Grund der Auswertung dieser Beziehungen werden Lösungsvorschläge angeboten, die die Grundlage dafür bilden, ein QS-System auf einer Deponie zu implementieren.

Possibilities of Implimentating a QS-System for Depositing Waste

The revision of the DIN standard 9001 should be the basis for a quality and safety system applicable when depositing waste. 20 revised modules of the quality and safety system will be presented and compared with the wishes of citizens.

When taking this evaluation into account, solutions will be proposed which will make up the fundamentals for the implementation of a QS-system at a deposit site.

Possibilités offertes par l'installation d'un système de sécurité de qualité pour le dépôt des déchets

Le remaniement de la Norme DIN ISO 9001 doit fournir les bases d'un système de sécurité de qualité pouvant être utilisé pour le dépôt des déchets.

On présente les 20 modules mis au point pour le système de sécurité de qualité et on les confronte avec les souhaits des habitants.

En se basant sur les résultats des relations ainsi obtenues, on propose des solutions constituant le fondement de l'installation d'un système de sécurité de qualité dans une décharge.

1. EINLEITUNG

Sie alle kennen die Schlagzeilen der Presse im Zusammenhang mit Deponieprojekten. „Skandal um Mülldeponie“, so oder ähnlich lauten diese in vielen Fällen. Überall formiert sich der Widerstand gegen Deponieprojekte.

Heute genügt es nicht mehr, technisch gut durchdachte Deponieprojekte in Angriff zu nehmen, da es eine derartige Sensibilisierung der Bevölkerung in diesen Fragen gibt, daß derartige Anlagen kaum noch zu realisieren sind.

Dies war der Ausgangspunkt für die Überlegungen der QAS Qualitätssicherungsges.m.b.H. Leoben. Ausgehend davon, daß offensichtliche Wünsche der Kunden (Bürger) nicht erfüllt werden (siehe Abb. 1).

Durch die Erfahrungen bei der Implementierung von QS-Systemen in Industriebereichen und die genaue Kenntnis der Transparenz dieser Systeme ging die Fa. QAS Leoben im Frühjahr 1991

darán, ein Umweltqualitätssystem („UQS-System“) für die Deponierung von Abfallstoffen zu erarbeiten.

Die Ziele des Gesamtprojektes sind in Abb. 2 dargestellt.

2. PROJEKTABLAUF

Der Projektablauf ist in Abb. 3 dargestellt.

3. ZUSAMMENFASSUNG DER BÜRGERWÜNSCHE

Die Ergebnisse der Umfrage der Seminargruppe der Universität Graz sind in Abb. 4 dargestellt.

4. DIPLOMARBEIT MONTANUNIVERSITÄT LEOBEN

Die vorliegende Diplomarbeit am Institut für Bergbaukunde der Montanuniversität Leoben hatte das Thema „Vorschläge für den Organisationsablauf bei der Deponierung von Abfallstoffen nach

*) Dipl.-Ing. Hannes Missethon, cand. ing. Christian Trummer, QAS, Peter-Tunner-Straße 18, 8700 Leoben

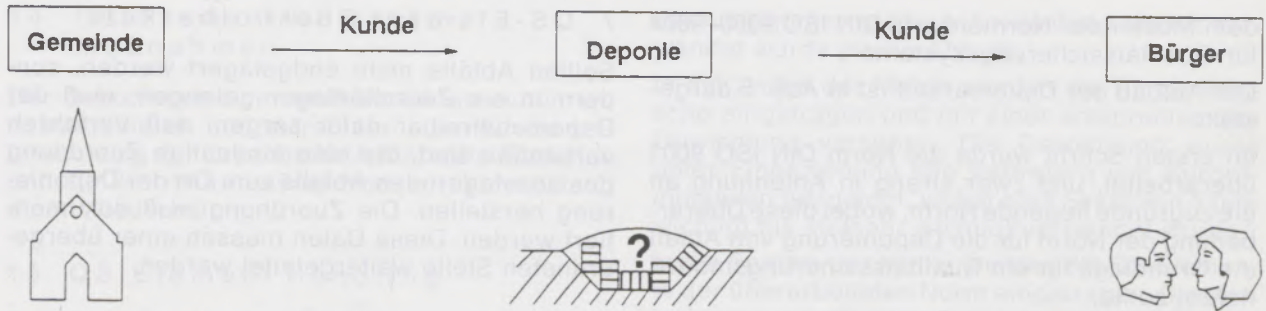


Abb. 1
Qualität ist die Erfüllung von Kundenwünschen

Ziele des Gesamtprojektes

- Umfassende Sicherung von Deponien auf der Basis von dokumentierten QS-Systemen mit abschließender Zertifizierung
- Schnittstellenregelung zu den Bürgern durch Qualitätsmethoden wie
 - * Quality Circles
 - * Quality Function Deployment
- Schnittstellenregelung zu den Zulieferanten durch
 - * Bewertungs- und Stichprobenmodelle
- Aufbereiten von Qualitätsdaten zu Quality Reports für das Deponiemanagement und Behörden

Abb. 2
Ziele des Gesamtprojektes

Projekttablauf

- Umfrage bei Bürgerinitiativen**
Seminargruppe Universität Graz
Institut für Betriebswirtschaftslehre, Prof. Kraus
- Umfrage bei Beamten, Betreibern**
Seminargruppe Universität Graz
Institut für Betriebswirtschaftslehre, Prof. Kraus
- Diplomarbeit**
Montanuniversität Leoben
Institut für Bergbaukunde, Prof. Fettweis
- Diplomarbeit**
Montanuniversität Leoben
Institut für Bergbaukunde, Prof. Fettweis

Thema: Vorschläge für den Organisationsablauf bei der Deponierung von Abfallstoffen nach dem Muster der Normenserie DIN ISO 9000-9004 für Qualitätssicherungssysteme

Thema: Bestandsaufnahme der bestehenden Aktivitäten und Forschungen auf dem Gebiet der Qualitätssicherung betreffend Deponien in Österreich und in Deutschland.

Abb. 3
Projekttablauf

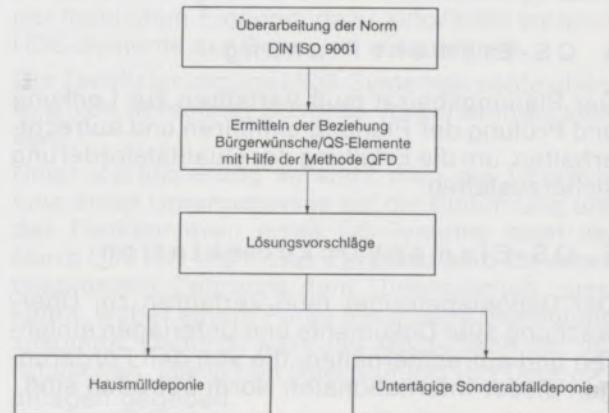
Bürgerwünsche



- * Bürgerbeteiligung
- * Kontrolle des Mülls
- * Information
- * Vermeidung
- * Verwertung
- * Verringerung
- * Trennung
- * Umweltverträglichkeit
- * Standortwahl
- * kein Mülltourismus
- * Verwendung von Material, das die Umwelt wenig belastet
- * Entgiften von Abfällen
- * Müll stinkt
- * Deponiesicherheit
- * lange Lebensdauer
- * Betreiberproblematik
- * Emissionskontrolle
- * Zuordnung zum Ort der Deponierung

Abb. 4
Ergebnisse der Umfrage der Seminargruppe der Universität Graz

Diplomarbeit MU Leoben



Thema: Vorschläge für den Organisationsablauf bei der Deponierung von Abfallstoffen nach dem Muster der Normenserie DIN ISO 9000-9004 für Qualitätssicherungssysteme

Abb. 5
Aufbau der Diplomarbeit Montanuniversität Leoben

dem Muster der Normenserie DIN ISO 9000-9004 für Qualitätssicherungssysteme“.

Der Aufbau der Diplomarbeit ist in Abb. 5 dargestellt.

Im ersten Schritt wurde die Norm DIN ISO 9001 überarbeitet, und zwar streng in Anlehnung an die zugrunde liegende Norm, wobei diese Überarbeitung der Norm für die Deponierung von Abfall die Grundlage für ein Qualitätssicherungsmodell liefern sollte.

Die Norm in ihrer ursprünglichen Form setzt sich aus 20 Modulen zusammen, wobei die ursprünglichen QS-Elemente:

„Entwicklung“, „Beschaffung“, „Beigestellte Produkte vom Auftraggeber“ und „Kundendienst“ durch die neuen QS-Elemente:

„Planung“, „Zulieferungen“, „Rückholbarkeit“ und „Rekultivierung“ in der Überarbeitung ersetzt wurden.

Nachstehend sind die überarbeiteten 20 Module in einer Kurzform dargestellt.

1. Managementaufgaben

Der Deponiebetreiber muß seine grundsätzliche Vorgehensweise sowie seine Zielsetzungen und seine Verpflichtung zur Qualität feststellen und dokumentieren.

2. Qualitätssicherungssystem

Der Deponiebetreiber muß ein dokumentiertes QS-System zur Sicherstellung der Erfüllung der Qualitätsforderung an die Deponie einrichten und aufrechterhalten.

3. QS-Element Vertragsprüfung

Der Deponiebetreiber muß Verfahren zur Vertragsprüfung und für die Koordinierung dieser Tätigkeiten einführen und aufrechterhalten.

4. QS-Element Planung

Der Planungsbeirat muß Verfahren zur Lenkung und Prüfung der Planung einführen und aufrechterhalten, um die Erfüllung der Qualitätsforderung sicherzustellen.

5. QS-Element Dokumentation

Der Deponiebetreiber muß Verfahren zur Überwachung aller Dokumente und Unterlagen einführen und aufrechterhalten, die von den Forderungen dieser internationalen Norm betroffen sind.

6. QS-Element Zulieferungen

Der Deponiebetreiber muß sicherstellen, daß der abzulagernde Abfall die festgelegten Forderungen erfüllt.

7. QS-Element Rückholbarkeit

Sollten Abfälle nicht endgelagert werden, sondern in ein Zwischenlager gelangen, muß der Deponiebetreiber dafür sorgen, daß Verfahren vorhanden sind, die eine eindeutige Zuordnung des abzulagernden Abfalls zum Ort der Deponierung herstellen. Die Zuordnung muß dokumentiert werden. Diese Daten müssen einer übergeordneten Stelle weitergeleitet werden.

8. QS-Element Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit

Der Deponiebetreiber muß Verfahren zur eindeutigen Zuordnung des abzulagernden Abfalls zum Ort der Deponie herstellen, wobei diese Zuordnung dokumentiert werden muß. Diese Daten müssen einer übergeordneten Stelle weitergeleitet werden.

9. QS-Element Produktion

Der Deponiebetreiber muß die Verfahren, die die Qualität von Deponiegas, Sickerwasser und Geruch direkt beeinflussen, festlegen und planen. Er muß sicherstellen, daß diese Verfahren unter beherrschten Bedingungen ablaufen.

10. QS-Element Qualitätsprüfungen

Der Deponiebetreiber muß sicherstellen, daß ein abzulagernder Abfall nicht deponiert wird, solange er nicht geprüft ist oder in anderer Weise der Nachweis erbracht wurde, daß er die vorgegebenen Forderungen erfüllt.

11. QS-Element Prüfmittelüberwachung

Der Deponiebetreiber muß im Hinblick auf seine Nachweispflicht, daß abzulagernder Abfall, Sickerwasser und Deponiegas die vorgegebenen Forderungen erfüllen, die Prüfmittel überwachen, kalibrieren und instandhalten.

12. QS-Element Prüfzustand

Der Prüfzustand des abzulagernden Abfalls muß ausgewiesen werden, durch Anwendung von geeigneten Mitteln, die auf Grund der durchgeführten Qualitätsprüfungen die Erfüllung oder Nichterfüllung der Forderungen an den abzulagernden Abfall anzeigen.

13. QS-Element Behandlung fehlerhafter Einheiten

Der Deponiebetreiber muß Verfahren einführen und aufrechterhalten, die sicherstellen, daß ein abzulagernder Abfall, welcher die Qualitätsforderung nicht erfüllt, von versehentlich Deponierung ausgeschlossen ist.

14. QS-Element Korrekturmaßnahmen

Der Deponiebetreiber muß Verfahren einführen, dokumentieren und aufrechterhalten für die Untersuchung der Ursache für fehlerhafte Einheiten und für Korrekturmaßnahmen zur Vermeidung einer Wiederholung.

15. QS-Element Handling

Der Deponiebetreiber muß Verfahren für den Umgang mit abzulagerndem Abfall einführen und aufrechterhalten.

16. QS-Element Qualitätsaufzeichnungen

Der Deponiebetreiber muß Verfahren für die Identifizierung, Sammlung, Registrierung und Archivierung von Qualitätsaufzeichnungen sowie für die Verfügung über diese einführen und aufrechterhalten.

17. QS-Element Interne Qualitätsaudits

Der Deponiebetreiber muß ein umfassendes System geplanter und dokumentierter, interner Qualitätsaudits einführen, um nachzuweisen, ob die Tätigkeiten der Qualitätssicherung den geplanten Verfahren entsprechen und um die Wirksamkeit des QS-Systems festzustellen.

18. QS-Element Schulung

Der Deponiebetreiber muß Verfahren zur Ermittlung des Schulungsbedarfes einführen und aufrechterhalten und für die Ausbildung aller Mitarbeiter sorgen, die mit qualitätsrelevanten Tätigkeiten betraut sind.

19. QS-Element Rekultivierung

Der Deponiebetreiber muß Verfahren zur Ausführung der Rekultivierung einrichten und aufrechterhalten sowie überwachen, daß die vorgegebenen Forderungen erfüllt werden.

20. QS-Element Statistische Verfahren

Wenn zweckmäßig, muß der Deponiebetreiber Verfahren zur Festlegung angemessener statistischer Verfahren einführen, wie sie für die Nachweisprüfung bezüglich der Qualitätsfähigkeit von Prozessen und von Produktmerkmalen erforderlich sind.

Im zweiten Schritt wurden die ermittelten Bürgerwünsche in Beziehung zu den QS-Elementen gesetzt, wobei die Methode QFD (das ist eine Planungsmethode, die im Bereich der Qualitätssi-

cherung immer größere Anwendung findet) verwendet wurde (siehe Abb. 6).

In die Zeilen der Matrix wurden die Bürgerwünsche eingetragen und mit einer entsprechenden Gewichtung versehen. Die Gewichtung wurde unter Einbeziehung von Vertretern von Bürgerinitiativen festgelegt, wobei eine Skala von 1 (unwichtig) bis 10 (sehr wichtig) verwendet wurde.

In die Spalten der Matrix wurden die QS-Elemente der überarbeiteten Norm eingetragen. Die Verknüpfung von Bürgerwünschen und QS-Elementen wird über die Zahlen im Kernbereich der Matrix verdeutlicht, wobei

- 9 eine starke Beziehung
- 3 eine mittlere Beziehung
- 1 eine schwache Beziehung
- 0 keine Beziehung

darstellt. Diese Bewertung wurde ebenfalls unter Einbeziehung von Vertretern von Bürgerinitiativen festgelegt.

Anschließend wurde die Berechnung „Summe aus den gewichteten Beziehungen“ durchgeführt (Gewichtung \times Beziehung).

Auf Grund dieser errechneten Werte konnte eindeutig festgestellt werden, daß die QS-Elemente „Dokumentation“, „Management“, „QS-System“ und „Zulieferungen“ den größten Einfluß auf die Erfüllung von Bürgerwünschen haben.

Für diese vier Module wurden im nächsten Schritt Lösungsvorschläge erarbeitet, die die Grundlage dafür bilden, ein QS-System auf Deponien zu implementieren.

Es stellt sich die grundsätzliche Frage, wer sollte für die Einführung und Kontrolle von UQS-Systemen zuständig sein?

Es bietet sich eine ideale Lösung an, die sich in anderen Industriebereichen bestens bewährt hat.

Private Unternehmungen sollten von einer Behörde (entweder Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten oder Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie), nach Nachweis der fachlichen Eignung, dazu autorisiert werden, UQS-Systeme auf Deponien einzuführen.

Die Zertifizierung von UQS-Systemen sollte ebenfalls von derselben Behörde vorgenommen werden.

Unter Zertifizierung versteht man die Überprüfung eines Unternehmens auf die Einführung und das Funktionieren eines QS-Systems nach der Norm DIN ISO 9001. Das Zertifikat wird für einen bestimmten Zeitraum dem Unternehmen zuerkannt, wobei einem Punkt besondere Bedeutung zukommt. Dadurch wäre die Möglichkeit der periodischen, jährlichen Überprüfung von Deponieanlagen gegeben.

Die nächste Frage, die zu lösen ist: Wie sollte der Aufbau einer geeigneten Deponieorganisation aussehen, um die Bürgerbeteiligung zu gewährleisten?

Diese Frage soll mit Hilfe eines Vorschlages ge-

Ermitteln der Beziehung Bürgerwünsche/QS-Elemente
mit Hilfe der Methode QFD

HOUSE of QUALITY
Date: 10 Sep 91
b:\UQS

	MANAGEMENT	QS-SYSTEM	VERTRAGSPRUEFUNG	DEFONIEPLANUNG	DOKUMENTATION	ZULIEFERUNGEN	RUECKHOLEARKEIT	KENNZEICHNUNG/RUECKVERFOL	PRODUKTION	QUALITAETSPRUEFUNGEN	PRUEFMITTELUEBERWACHUNG	PRUEFZUSTAND	BEHANDLUNG FEHLERHAFTER E	KORREKTURMASSNAHMEN	HANDLING	QUALITAETSAUFZEICHNUNGEN	INTERNE QUALITAETSAUDITS	SCHULUNG	REKULTIVIERUNG	STATISTISCHE VERFAHREN	GEWICHTUNG	
EUERGEREBETEILIGUNG	9	9		9	9	9	1		3	9	1	3			3	3	3	3	9	1	10	
KONTROLLE DES MUELLS	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10
INFORMATION	9	9		9	9	9	9	9														10
VERMEIDUNG					1	3																10
VERWERTUNG	9	9	9	3	9		9	9	9	3			1		9			3				8
VERRINGERUNG	3				1	9	1			1												10
TRENNUNG	3	9	3	3	9	9	9	9	9	9					9		3	9				5
UMWELTVERTRAEGLICHKEIT	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	9	9	9		9	3	9	9	10	
STANDORTWAHL	9	1		9	9	3	9	9	9	9		3	3		1		3	9	9	9	10	
KEIN MUELLTOURISMUS	9	3	9	3	9	9	3										3			9	8	
BELASTUNGSARMES MATERIAL	3	9	9	3	9	3	1	3	3	3	3	9			9	9	9	9	9	9	10	
ENTGIFTEN VON ABFAELLEN	9	9	9	3	9	1	9	9	9	3	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	
QUANTITAETSVERINGERUNG	9	3	9	9	9	9	1			1							1		9	9	3	
MUELL STINKT	1	9	1		1	3			9	9		9			3	9	9	3	3	3	10	
DEFONIESICHERHEIT	9	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	9	9	9	9	9	9	10	
LANGE LEBENSDAUER	9	1	3	9	1	9	9			9		3	3				3				3	
BETREIBERPROBLEMATIK	9			3	3	9	1			9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	9	8	
EMISSIONSKONTROLLE	9	9		9	9	3		1	9	9	9	9	9	9		3	9	9	9	9	10	
ZUORDNUNG/DEFONIERUNGSORT	9	9	1	9	9	9	9	9	1	1		3	1	9	9	9	9	9	3	3	10	
AUSHERTUNG	1165	1063	605	921	1173	1033	839	787	847	971	532	891	609	702	889	762	993	903	939	988		

Abb. 6

Ermitteln der Beziehung Bürgerwünsche/QS-Elemente mit Hilfe der Methode QFD

klärt werden, wie die Bürgerbeteiligung bei der Rechtsform Ges.m.b.H. aussehen kann. Die Grundlage dazu liefert das Ges.m.b.H.-Gesetz: „Organisation einer Ges.m.b.H.“

Als juristische Person verfügt die Ges.m.b.H. über eigene Organe. Zwei Organe sind stets gesetzlich zwingend vorgeschrieben: der oder die Geschäftsführer als Organ der Unternehmensleitung und die Generalversammlung als Willensbildungsorgan. Daneben kann auch ein Aufsichtsrat als Kontrollorgan obligat sein, aber nur soweit dies der Gesellschaftsvertrag vorsieht oder sonst nur unter bestimmten, gesetzlich geregelten Voraussetzungen, § 19 GmbHG). Von diesen abgesehen, kann freilich auch der Aufsichtsrat – wie jedes andere, gesetzlich nicht besonders geregelte Organ der Gesellschaft – *freiwillig eingerichtet* werden.“

Es wäre durchaus vorstellbar, daß die Bürger (auch Politiker, Techniker, Wissenschaftler) in den Aufsichtsrat miteinbezogen werden. Untermauert wird diese Behauptung durch die Leitlinien zur Bürgerbeteiligung, herausgegeben von der Steiermärkischen Landesregierung, wo es unter Pkt. 3 heißt:

„Wie sollen Bürger in Bürgerbeiräten bei abfallwirtschaftlichen Anlagen mitplanen und mitkontrollieren können?“

Warum Bürgerbeiräte?

Mit der Errichtung von Bürgerbeiräten im Rahmen des Steiermärkischen Abfallwirtschaftskonzeptes soll dem Wandel des demokratischen und umweltpolitischen Bewußtseins der Steirer Rechnung getragen werden. Sich für ihren Nahraum, ihre Heimat engagierenden Bürger sollen dadurch die Möglichkeit haben, sich schon frühzeitig bei Planungsvorgängen (noch vor einer rechtlichen Entscheidung) beteiligen zu können.

Darüber hinaus sollen die Bürgerbeiräte, stellvertretend für die Gesamtheit der vor Ort betroffenen Bürger, Kontrollvorgänge beim Bau und beim Betrieb abfallwirtschaftlicher Anlagen mitgestalten und durchführen können.

Im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsprüfung sollen die Bürgerbeiräte die Interessen der betroffenen Bürger wahrnehmen und die Prüfungsvorgänge bzw. -ergebnisse mitkontrollieren.

Für das spätere Behördenverfahren wird es sich als sinnvoll erweisen, schon zu diesem Zeitpunkt mit der zuständigen Behörde Kontakt aufzunehmen.“

Um einzelnen Bürgern, die in den Aufsichtsrat miteinbezogen werden, den Vorwurf zu ersparen, nicht mehr die Interessen der Bürger zu vertreten, müßte nach einem bestimmten Rhythmus ein dauernder Wechsel der Bürger im Aufsichtsrat vor sich gehen. Ein Vorschlag dazu wäre ein jährlicher Wechsel, wobei zwei Monate zur Übergabe der Aufgaben an den Nachfolger miteingeplant werden sollten.

Damit würde die Qualitätssicherung auf Deponien direkt einem privaten Unternehmen unterstehen, und die Bürger könnten nach der oben genannten Methode Kontrolltätigkeiten durchführen.

In weiterer Folge wird in Organigrammen stets auf diese nach Ansicht der QAS Leoben ideale Lösung Bezug genommen.

Als günstig würde es sich erweisen, wenn die Fülle der anfallenden Daten auf Grund eines dokumentierten „UQS-Systems“ von einer Behörde (Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie) zentral verwaltet wird.

Sollte ein Deponiebetreiber ein QS-System nach der Norm DIN ISO 9001 in seinem Unternehmen installiert haben, wäre es sehr zweckmäßig, daß auch die Zulieferanten ein QS-System derselben

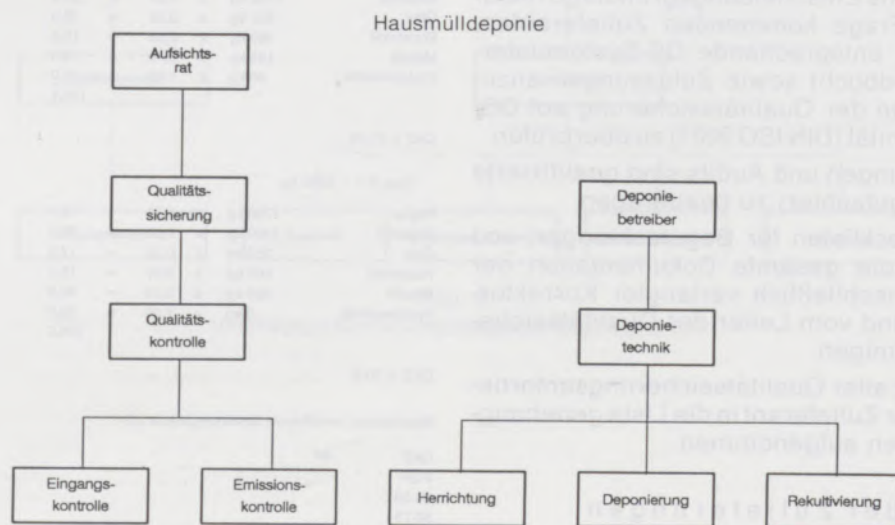


Abb. 7
Hausmülldeponie, Organigramm

Nachweisstufe in ihren Betrieben eingeführt hätten. Dies wäre die Voraussetzung dafür, daß ein Zulieferant in die Liste der qualifizierten Zulieferanten aufgenommen werden könnte.

Denkt man sich dieses System weiter durch, gelangt man zu dem Schluß, daß man bis zu den Produzenten vordringen kann.

Wobei es das Ziel sein muß, eine lückenlose Dokumentation, die abzulagernden Abfälle betreffend, von der Erzeugung bis zur Deponierung zu erreichen.

Abschließend wurden die erarbeiteten Lösungsvorschläge in die Diskussion der Norm DIN ISO 9001 für eine bestehende Hausmülldeponie und eine untertägige Sonderabfalldeponie miteinbezogen, um anhand von zwei Beispielen zu vollständigen Qualitätssicherungsmodellen zu gelangen.

Diskussion der Implementierung eines UQS-Systems für eine bestehende Hausmülldeponie

Das Organigramm sollte aus den zuvor genannten Gründen, wie in Abb. 7 dargestellt, aufgebaut werden.

Bereich Qualitätssicherung

Begutachtung und Audits zur Qualifizierung und Überwachung von Zulieferanten.

Das mit der Qualitätssicherung beauftragte unabhängige Unternehmen ist dafür verantwortlich, daß die Kontrolle von Zulieferanten und Zulieferungen laut gültigem UQS-System sichergestellt ist.

Den in Frage kommenden Zulieferanten ist vorab ein Fragebogen zu übermitteln. Auf der Basis des beantworteten Fragebogens wird beurteilt, ob eine Begutachtung notwendig ist bzw. zweckmäßig erscheint. Als Entscheidungsgrundlage hierfür sind vom in Frage kommenden Zulieferanten, wenn möglich, entsprechende QS-Systemunterlagen (QS-Handbuch) sowie Zulassungen anzufordern und von der Qualitätssicherung auf QS-Systemkonformität (DIN ISO 9001) zu überprüfen.

Für Begutachtungen und Audits sind qualifizierte Auditoren (Begutachter) zu beauftragen.

Pläne und Checklisten für Begutachtungen und Audits sowie die gesamte Dokumentation der Ergebnisse einschließlich verlangter Korrekturmaßnahmen sind vom Leiter der Qualitätssicherung zu genehmigen.

Nach Erfüllung aller Qualitätssicherungsanforderungen wird der Zulieferant in die Liste genehmigter Zulieferanten aufgenommen.

Kontrolle der Zulieferungen

Es ist eine bekannte Tatsache, daß die Bewertung von Hausmüll ein großes Problem darstellt. Es

wird immer wieder auf seine heterogene Zusammensetzung hingewiesen und auf die sehr komplizierten Reaktionen der abzulagernden Abfallstoffe untereinander.

Ich möchte in meinem Vortrag ein einfaches Prinzip vorstellen, wie die Bewertung von Hausmüll erfolgen könnte – ausgehend von der Frage, welche Möglichkeiten der betroffene Bürger hat, seinen Müll zu entsorgen, ohne seine Restmülltonne zu benutzen.

Angeboten werden im allgemeinen die Entsorgung von Weißglas, Buntglas, Problemstoffen, Altpapier, Batterien und die „Biotonne“.

Den Inhalt der Restmülltonne zu bewerten, stellt die eigentliche Problematik dar. Die Grundüberlegung dazu ist eine sehr einfache. Alle Abfälle, für die eine andere Möglichkeit der Entsorgung besteht, sollten im Idealfall nicht in der Restmülltonne zu finden sein.

Wie sollte nun diese Überprüfung erfolgen?

Diese Überprüfung sollte mit Hilfe einer Qualitätskennziffer (QKZ) erfolgen. Nach geeigneten Stichprobenplänen werden Zulieferungen beurteilt.

Beispiel zur Bewertung von Hausmüll mit Hilfe einer Qualitätskennziffer (QKZ)

$$QKZ = \frac{\text{Summe } B_{fi} \times Z_{fi}}{n} \times 1000 \quad n = \text{Gesamtmasse}$$

Klasse	Material	Gewichtung (B _{fi})	Masse (Z _{fi})
1	Papier, Textilien	0,01	
2	Glas	0,05	
3	Biomüll	0,02	
4	Metalle	0,10	
5	Kunststoffe	0,03	
6	Sonderabfall	1,00	

Bsp.1 n = 5000 kg

Papier	1680 kg	x	0,01	=	16,8
Bioabfall	1165 kg	x	0,02	=	23,3
Glas	520 kg	x	0,05	=	26,0
Kunststoff	350 kg	x	0,03	=	10,5
Metalle	185 kg	x	0,10	=	18,5
Problemstoffe	40 kg	x	1,00	=	40,0
					135,1

QKZ = 27,02

Bsp.2 n = 5000 kg

Papier	1350 kg	x	0,01	=	13,5
Bioabfall	1400 kg	x	0,02	=	28,0
Glas	350 kg	x	0,05	=	17,5
Kunststoff	500 kg	x	0,03	=	15,0
Metalle	300 kg	x	0,10	=	30,0
Problemstoffe	0 kg	x	1,00	=	0,0
					104,0

QKZ = 20,8

Empirisch zu ermittelnde Bewertungsskala z.B.:

QKZ	\$/t
0-25	—
25-50	—
50-75	—
75-100	—
>100	—

Abb. 8
Ablauf der QKZ-Ermittlung

Unter Stichprobe versteht man in diesem Fall das Auswählen von bestimmten Zulieferanten, deren abzulagernder Abfall einer kompletten Prüfung unterzogen wird.

Der Ablauf der Qualitätskennzifferermittlung sollte so vor sich gehen:

1. Bestimmung der Gesamtmasse der Ladung (n).
2. Bestimmung der Einzelmassen (Zfi) der Bestandteile, die nicht im Hausmüll enthalten sein sollten (Handsortierung).
3. Einteilung des Hausmülls in Klassen und Gewichtung (Bfi) dieser.
4. Qualitätskennziffer nach der Formel $QKZ = \text{Summe Bfi} \times \text{Zfi} / n \times 1000$ aktuelle QKZ für einen Monat.
5. Vergleich der Qualitätskennziffer mit einer empirisch zu bestimmenden Skala, um die QKZ entsprechend bewerten zu können.
6. Auf Grund der Einordnung der QKZ in die Skala ergibt sich für einen Zulieferanten ein bestimmter Preis, der für den abzulagernden Abfall im nächsten Monat zu bezahlen ist.

Mit der QKZ hat man ein Instrument in der Hand, um einen Zulieferanten laufend bewerten zu können. Weiters kann man einem Zulieferanten vorschreiben, bis zu welchem Zeitpunkt eine bestimmte QKZ erreicht sein sollte. Außerdem besteht bei Nichterfüllung der Qualitätsforderung die Möglichkeit, einen Zulieferanten aus der Liste

der qualifizierten Zulieferanten streichen zu können.

Der Ablauf der QKZ-Ermittlung soll mit zwei Beispielen (Abb. 8) verdeutlicht werden.

Diskussion der Implementierung eines QS-Systems für eine untertägige Sonderabfalldeponie

Das Organigramm sollte wie in Abb. 9 dargestellt aufgebaut werden.

In dem speziellen Fall einer untertägigen Sonderabfalldeponie sollte die Weiterleitung der Daten über die Bergbehörde zur geologischen Bundesanstalt erfolgen.

Grundlage für diese Behauptung ist das Lagerstättengesetz (Bundesgesetz vom 22. Oktober 1947, BGBl. Nr. 46, über die Durchforschung des Bundesgebietes nach nutzbaren Mineralien); es besagt in § 1:

„Der Geologischen Bundesanstalt obliegt im Interesse der einheimischen Wirtschaft in Zusammenarbeit mit der *Bergbehörde* die Durchforschung des Bundesgebietes nach nutzbaren Lagerstätten und die *Sammlung* und *Bearbeitung* der Ergebnisse dieser Untersuchungen.“

Es sei noch darauf hingewiesen, daß heutige Deponien durch die Einführung eines „UQS-Systems“ möglicherweise Lagerstätten der Zukunft sein könnten.

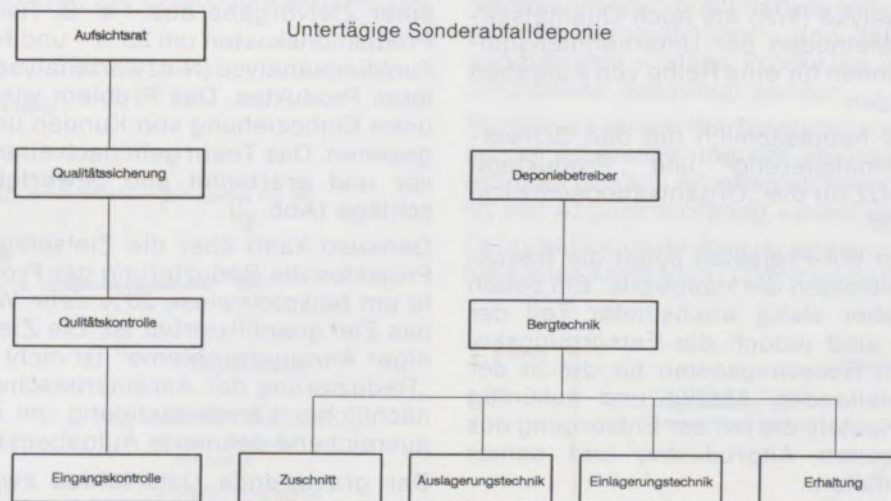


Abb. 9

Untertägige Sonderabfalldeponie, Organigramm

Der Einsatz von Wertanalyse und Qualitätszirkel in der betrieblichen Abfallwirtschaft

Susanne Hrincov, Wien*)

Die Verbesserung der ökologischen Parameter – im speziellen im Bereich der Abfallentsorgung – ohne ökonomische Einbußen in Kauf nehmen zu müssen, ist derzeit eine Herausforderung für alle Betriebe. Werkzeuge wie Wertanalyse und

Qualitätszirkeltechniken können hier mit Erfolg eingesetzt werden, wenn einmal die Bereitschaft vorhanden ist, sich mit diesem Thema auseinanderzusetzen.

The Deployment of Value Analysis and Quality Circle in Industrial Waste Management

The approval of ecology parameters – especially in waste management – without economic loss is a great challenge for every company in industry and commerce. Tools as value

analysis and quality circle can be used with great success. But first one has to be willing to deal with this topic.

Utilisation de l'analyse des résultats et de cercles de qualité, dans la gestion des déchets industriels

L'amélioration des paramètres écologiques, en particulier en matière de gestion des déchets, sans obligation de subir des pertes économiques, est un défi auquel doivent faire face toutes les entreprises. On peut employer avec succès des

moyens tels que l'analyse des résultats et des techniques de cercles de qualité, à condition d'avoir la volonté de s'occuper de ce problème.

Sowohl Wertanalyse (WA) als auch Qualitätszirkel (QZ) sind Methoden der Unternehmensführung und sie können für eine Reihe von Aufgaben eingesetzt werden.

WA wird heute hauptsächlich mit den Schwerpunkten „Rationalisierung“ und „Produktentwicklung“, der QZ für die „Organisationsentwicklung“ eingesetzt.

Bei klassischen WA-Projekten spielt die Reduktion der Herstellkosten die Hauptrolle. Ein selten betrachteter, aber stetig wachsender Teil der Herstellkosten sind jedoch die Entsorgungskosten oder auch Recyclingkosten für die in der Produktion anfallenden Abfälle und zukünftig u. U. auch die Kosten, die bei der Entsorgung des zurückgenommenen Altproduktes und seiner Verpackung anfallen.

Immerhin machen die Produktionsabfälle durchschnittlich über 60% der gesamten im Betrieb anfallenden Abfälle aus. Rechnet man Fehlchargen und Verpackungsabfälle dazu, sind es sogar über 80% (Abb. 1).

Es gibt fast kein Problem, das man nicht wertanalytisch angehen kann. In der Regel geht man von

einer Zielvorgabe aus – z. B. Reduzierung der Produktionskosten um 25% – und beginnt mit der Funktionsanalyse (Nutzwertanalyse) des betrachteten Produktes. Das Problem wird ganzheitlich unter Einbeziehung von Kunden und Lieferanten gesehen. Das Team geht nach einem Arbeitsplan vor und erarbeitet und bewertet Lösungsvorschläge (Abb. 2).

Genauso kann aber die Zielsetzung eines WA-Projektes die Reduzierung der Produktionsabfälle um beispielsweise 30% sein. Wichtig ist, daß das Ziel quantifizierbar ist. Die Zielsetzung „weniger Anrainerprobleme“ ist nicht genau genug. „Reduzierung der Anrainerbeschwerden wegen nächtlicher Lärmbelästigung um 50%“ ist eine ausreichend definierte Aufgabenstellung.

Der gravierende Unterschied zwischen klassischer und ökologischer WA ist die Tatsache, daß zur Zielfindung erst eine IST-Analyse gemacht werden muß, da der IST-Stand bei der Abfallentsorgung und bei den Entsorgungskosten keineswegs immer klar vor Augen steht.

Die umweltrelevanten Stoffströme in einem Betrieb sind in der Regel sehr komplex und ziehen sich durch die gesamte Organisation. Es gibt üblicherweise keine Person, die alle umweltrelevanten Vorgänge beobachtet und auch steuern kann. Der Umweltbeauftragte – sofern vorhanden – beobachtet zwar, hat aber keinen direkten Durch-

*) Dr. Susanne Hrincov
Oekologie Consult Ges.m.b.H.
Wiedner Hauptstraße 79/12
A-1040 Wien

DER EINSATZ VON WA UND QZ AM BEISPIEL DER BETRIEBLICHEN ABFALLENTSORGUNG

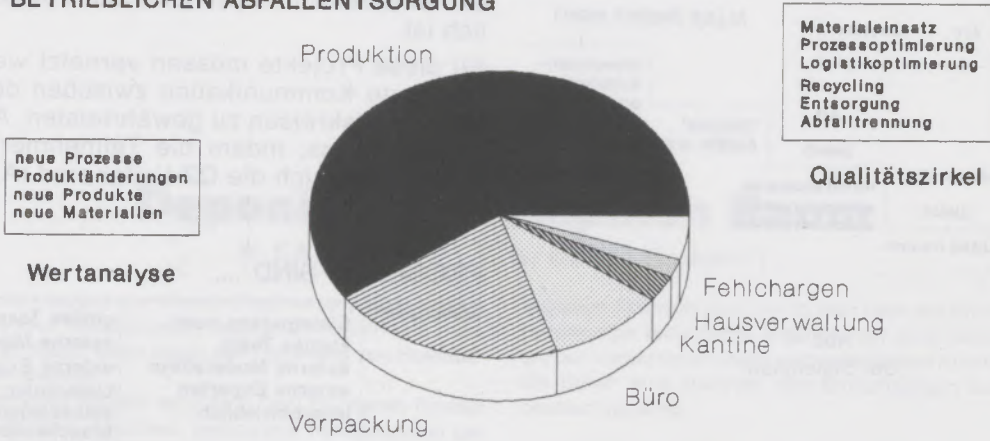


Abb. 1
Typische Abfallteilung eines Produktionsbetriebes

griff auf die Problemlösung, wenn das Problem beispielsweise in der Produktion entsteht. Denn hierarchisch ist hier der Produktionsleiter zuständig.

Umso wichtiger ist es, Umweltprobleme in Teams zu lösen. Dies ist auch eine der Voraussetzungen beim Einsatz von WA.

Im Bereich der Abfallwirtschaft eines Betriebes kann die WA auf verschiedene Arten ansetzen:

- (1) Die Betrachtung der Entsorgung des Betriebes mit dem Ziel, die Entsorgungskosten um

einen vorgegebenen Prozentsatz zu reduzieren

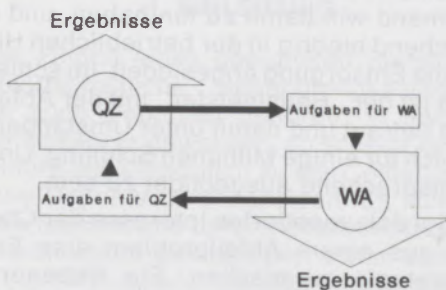
oder

- (2) die Betrachtung des Produktes, mit dem Ziel, die bei dessen Produktion anfallenden Entsorgungskosten zu reduzieren. Dies kann auch die Entwicklung neuer Produkte mit dem Ziel, abfallarm/abfallfrei zu produzieren, beinhalten.

In der Produktentwicklung anzusetzen, ist der weitaus vielversprechendere Weg. Abb. 3 zeigt, daß die Herstellkosten – und damit die Entsorgungskosten – eines Produktes in der Entwicklungsphase festgelegt werden.

Parallel zu einem Wertanalyseprojekt können QZ an der Verbesserung der bestehenden Abläufe arbeiten und so „arbeitsplatzbezogen“ die Qualität der Abfallentsorgung verbessern.

Der praktikabelste Weg ist sicherlich die Verknüpfung aller Methoden. Damit kann man kurzfristig



„Klassisch“

- Ziele vorgeben
- Funktionsanalyse
- Ganzheitliche Betrachtung
- Einbeziehung von Kunden und Lieferanten
- Faktor MENSCH
- Gruppenarbeit
- Arbeitsplan
- Lösungsvorschläge erarbeiten und bewerten

„Umweltbezogen“

- Ziele vorgeben IST-Stand
- Stoffstromanalyse
- Ganzheitliche Betrachtung
- Einbeziehung von Kunden, Lieferanten und evtl. Entsorgern
- Faktor MENSCH
- Gruppenarbeit
- Arbeitsplan
- Lösungsvorschläge erarbeiten und bewerten

Abb. 2
Problemlösungen durch Wertanalyse und Qualitätszirkelarbeit

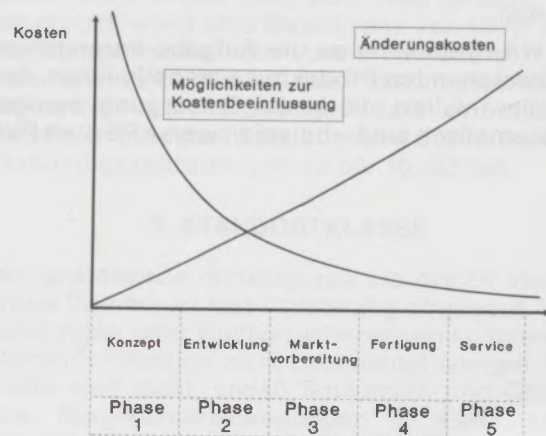


Abb. 3
Möglichkeiten der Kostenbeeinflussung in den Entwicklungsphasen des Produktes

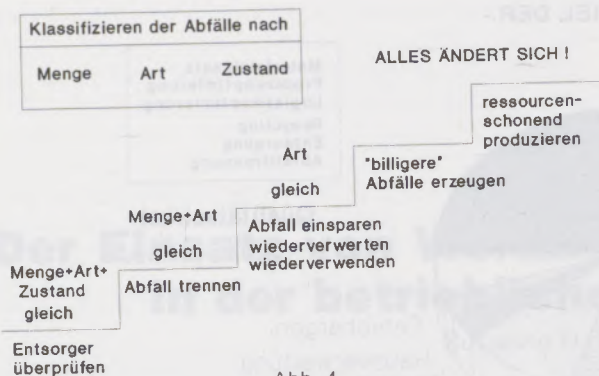


Abb. 4
Der Stufenplan!

logistische Verbesserungen und Kostensenkungen erzielen und langfristig eine „saubere“ und damit kostengünstigere Produktion in die Wege leiten.

Das Vorgehen anhand eines Stufenplanes (Abb. 4) führt in kleinen Schritten zum Ziel, ohne dem Betrieb revolutionäre Veränderungen abzuverlangen. Ein stetiger Strom kleiner Erfolgsergebnisse hält das Team bei der Stange und macht so auch die Bearbeitung langfristiger Projekte möglich.

Die betrieblichen Abfälle müssen vorerst nach Art, Menge und dem Zustand, in dem sie anfallen, klassifiziert werden.

Die ersten kurzfristigen Erfolge können erzielt werden, indem die Entsorgungsfirmen genauso strengen Kriterien genügen müssen wie die anderen Lieferanten des Betriebes. Ein vom Einkauf durchgeführtes Projekt zur Erarbeitung von Entsorgungerrichtlinien und Angebotsvergleiche können hier ganz rasch kleine ökonomische Verbesserungen bringen.

In QZ können mittelfristige Maßnahmen erarbeitet werden, um unnötige Abfälle zu vermeiden, Abfälle entsorgergerecht zu sammeln und Abfälle im Betrieb wiederzuverwerten oder wiederzuverwenden.

Ein WA-Kreis kann an die Aufgabe herangehen, die bestehenden Produkte so zu optimieren, daß Abfälle anfallen, die in der Entsorgung weniger problematisch sind – beispielsweise PE statt PVC

– und die zukünftigen Produkte so konzipieren, daß eine ressourcenschonende Produktion möglich ist.

All diese Projekte müssen vernetzt werden, um eine gute Kommunikation zwischen den einzelnen Arbeitskreisen zu gewährleisten. Am besten geschieht das, indem die Teilnehmer des WA-Kreises zugleich die QZ-Leiter sind (Abb. 5).

PROBLEME SIND

kompliziert	Einzelperson oder kleines Team externe Moderatoren externe Experten innerbetrieblich	großes Team externe Moderatoren externe Experten Lieferanten, Kunden einbeziehen branchenübergreifend
	Einzelpersonen als Problemlöser abteilungsintern Fremdvergabe	Einzelperson oder kleines Team abteilungsübergreifend Fremdvergabe
einfach	kurzfristig	langfristig

..... ZU LÖSEN !

Abb. 5
Teamstrategie

Ein derart langfristiges und komplexes Projekt kann jedoch nur von Erfolg gekrönt sein, wenn die Unternehmensleitung voll dahinter steht und nicht nur die ökonomischen, sondern auch die ökologischen Fragen zur Chefsache erklärt werden.

Abfälle sind in unserer Gesellschaft ein Tabuthema. Niemand will damit zu tun haben, und dementsprechend niedrig in der betrieblichen Hierarchie ist die Entsorgung angesiedelt. Im schlechtesten Fall ist der „Hausmeister“ mit der Abfallentsorgung betraut und damit unter Umständen verantwortlich für einige Millionen Schilling. Und das ohne entsprechend ausgebildet zu sein.

Oft genügt dokumentiertes Interesse der Chefetage, um aus einem Abfallproblem eine Entsorgungsstrategie zu machen. Ein Nebenprodukt dieser Strategie ist das – in vielen Fällen vom Gesetzgeber geforderte – Abfallwirtschaftskonzept.

Deponiebau im alpinen Raum

H. Ehrle, Graz*), P. Gruber, Großarl**)

Um dem immer knapper werdenden Deponievolumen und den immer steigenden Abfallmassen begegnen zu können, müssen im alpinen Raum neue Wege der Lagerung von Reststoffen gegangen werden.

Mit nachfolgendem Projekt wird dem Drei-Barrieren-Prinzip Rechnung getragen. An einem geologisch hervorragend ge-

eigneten Standort wird durch weit über die Richtlinien hinaus notwendige technische Maßnahmen eine Deponie errichtet, die nur vorsortierten oder vorbehandelten Abfall annimmt und die durch eine Vielzahl von Einrichtungen kontrolliert und beobachtet wird.

Erecting Deposit Sites in the Alps

In order to comprehend the ever increasing accumulation of waste with decreasing availability of deposit sites, consideration must be given to new means of depositing waste in the alpine region.

This project will be carried out under the heading of the triple

barrier principle. A geologically suitable site will be selected which more than meets the technical requirements of such an area. Only pre-sorted or pre-treated waste will be deposited, being strictly controlled and monitored with a number of aids.

Construction de décharges dans la zone alpine

Afin de pouvoir faire face au volume de plus en plus réduit des décharges et à la masse de plus en plus accrue des déchets, il faut de emprunter nouvelles voies dans la région alpine pour le dépôt de résidus.

Ce projet est conçu selon le principe des trois barrières. Dans

une site géologique convenant parfaitement à cet effet, on construit une décharge dépassant de loin les règles techniques nécessaires, celle-ci ne recevant que des déchets prétriés ou prétraités, et qui soit contrôlée et surveillée que par un grand nombre de dispositifs.

1. EINLEITUNG

Ist das Finden eines geeigneten Standortes für abfallwirtschaftliche Behandlungsanlagen, zu denen auch Deponien gehören, in letzter Zeit immer schwerer geworden, so scheint es im alpinen Raum fast unmöglich zu sein, einen Standort für eine Deponie durchzusetzen. Es schwindeln sich die Bezirke und deren Abfallverbände in den österreichischen Zentralalpen schon seit Jahren über die Problematik der Abfallentsorgung hinweg. Derzeit gibt es in zwei Bezirken des Bundeslandes Salzburg keine geordnete Hausmülldeponie. Der Abfall wird zu den Behandlungsanlagen der Landeshauptstadt oder auf Deponien in anderen Bundesländern geliefert. Eine Sperrmülldeponie ist schon seit Jahren Thema für die Altlastsanierung. Somit sind neue Ideen gefragt, wie

z. B. die Verfüllung und Rekultivierung eines Steinbruches.

2. DEPONIETYP

Die in der Bewilligungsphase befindliche Deponie wird als Reststoffdeponie im Sinne der Richtlinien für die Ablagerung von Abfällen der BMfUJuF sowie BMfLuF aus dem Jahr 1990 geführt. Der Steinbruch weist eine Basisbreite von 50 m, eine Basislänge von ca. 150 m und eine Höhe im höchsten Punkt von 100 m auf. Das Fassungsvermögen dieses Hohlraumes beträgt 570.000 m³. Mit den derzeit anfallenden Abfallmengen ergibt sich ein Verfüllungszeitraum von 12 bis 15 Jahren.

3. STANDORTKLASSE

Der anstehende dunkelgraue bis örtlich violettgraue Dolomit ist fast vollständig abgebaut. Verkürstungen oder Kluffverwitterungen konnten im Steinbruchbereich nicht beobachtet werden. Die Klüfte sind dicht, sodaß Setzungen und Grund- bzw. Bergwasserbewegungen im Karbonatgestein praktisch auszuschließen sind.

Im Hangenden und Liegenden des quer zum Großarlital streichenden, übersteil nach N bis

*) Dipl.-Ing. Herwig Ehrle
A.E.V. Abfallbehandlungsanlagen, Errichtung und Verwertung GmbH
Auerspergasse 12
8010 Graz

***) Peter Gruber
Markt 48
5611 Großarl

senkrecht einfallenden Karbonatzuges folgen dunkelgraue bis schwarze dichte Phyllite (Bündner Schiefer, Penninikum), in die wiederum dichte Grünschiefer zwischengeschaltet sind.

In fünf Bohrungen, in denen Abpreßversuche durchgeführt wurden, ergaben sich Durchlässigkeitsbeiwerte von $K_f 5 \times 10^{-9}$ m/s und geringer. Dies ergibt nach den Önorm S 2070 eine Standortklasse 5. Das unmittelbar Liegende im Süden des Karbonats wird von Grünschiefern und dunklen Phylliten gebildet. Der geplante Standort liegt außerhalb von Quellschutz-, Wasserschutz- und Wasserschongebieten sowie Grundwasservorkommen, die von regionaler oder überregionaler Bedeutung sind bzw. werden könnten. Desgleichen befindet sich der Standort nicht auf einer verordneten Naturschutzlandschaft, Schutz- und Pflanzenschutzgebiet sowie nicht auf Flächen eines Natur- oder Nationalparks.

4. DEPONIEBAUKLASSE

Die Firma A.S.A. war immer um sehr hohen Deponiebaustandard bemüht. Auch bei dieser Deponie werden die in den Normen festgelegten und in den Richtlinien für Deponien geforderten technischen Maßnahmen weit überschritten. Es wird die Deponiebauklasse 5 gewählt. Dies bedeutet eine Kombinationsdichtung aus drei Lagen mineralischer Dichtung und einer PEHD-Folie (Stärke 2,5 mm). Eine 50 cm starke Drainageschicht (Körnung 16/32 mm) auf profilierter Basisdichtung ermöglicht die freie Sickerwasservorflut.

5. ELUATKLASSE

Der Betreiber will eine Reststoffdeponie führen, in der Sperrmüll, Bauschutt und Reststoffe aus der Industrie und Gewerbe gelagert werden und hat sich selbst eine Beschränkung der Eluatklasse IIb auferlegt. Reststoffe sind Abfälle mit einem hohen aber weitgehend immobilen Schadstoffgehalt. Es kommt zu keiner Gasbildung. Das Sickerwasser weist nur geringe Verunreinigungen auf.

6. BESONDERE TECHNISCHE MASSNAHMEN

6.1. Basisdamm

Es wird ein ca. 21 m hoher Basisdamm errichtet, in dessen Schutz während ca. $\frac{1}{3}$ der Befüllsdauer Abfall eingebaut werden kann. Die luftseitige Böschung ist 35° geneigt, innenseitig 1:2 gegescht.

6.2. Kontrollgang

An der Verschneidung zwischen Basisfläche und vertikalen Deponiewänden wird ein begehrbarer Kontrollgang ausgeführt.

6.3. Vertikale Abdichtung

Diese besteht aus mehreren Schichten, wie Drainageschicht, Dichtsicht und Gleitschicht. Die

Drainageschicht besteht aus Einkornbeton, der auch Unebenheiten der Flanken ausgleichen soll. Auf dieser wird, beidseitig durch Geotextilien geschützt, die 2,5 mm starke PEHD-Folie aufgebracht. Eine noch im Versuch genau zu definierende Gleitschicht aus bindigem Material mit einem sehr niedrigen Reibungswinkel soll die Folie vor den durch Setzungen hervorgerufenen Spannungen schützen. Der Einkorndichtbeton wird in verschiedenen vertikalen Segmenten aufgebracht, um SIWA-Kontrollabschnitte herzustellen. Dieser Einkornbeton kann im Kontrollgang auf seine Wasserführung beobachtet werden. Weiters werden im Einkornbeton Injektionsrohre verlegt, die eine Verpressung zur nachträglichen Abdichtung ermöglichen.

6.4. Drainagen

Die Entwässerung der Basis erfolgt über zwei Drainageleitungen, die in das Sickerwasserbecken führen. Vertikal werden mehrere Drainagekörper parallel mit der Müllschüttung hochgezogen, um so eine rasche Ableitung der Meteorwässer, die mit Müll in Berührung kommen, zu gewährleisten.

6.5. Oberflächenentwässerung

Der erste Basisdamm wird sofort nach Errichtung rekultiviert und begrünt. Ab Erreichen dieses Dammes werden Sichtschutzwälle in der Höhe von 3 m errichtet und auch diese sukzessive begrünt. Das Oberflächenwasser auf dieser Böschung wird in Halbschalen auf Bermen abgeführt.

6.6. Deponieentgasung

Per Definition soll in dieser Deponie kein Gas entstehen. Als Beweissicherung werden Gasleitungen in den Drainageschächten vorgesehen.

6.7. Meßeinrichtungen

Der Deponiekörper wird auf Setzung und Horizontalverschiebungen mit Setzungspegeln und Inklinometern beobachtet werden. Die Felsflanke im Oberbereich der Deponie wird jetzt schon durch ein Inklinometer beobachtet. Weiters werden Piezometer in den Deponiekörper und in die Drainageschichten eingebaut werden.

7. ABFALLWIRTSCHAFTLICHE AKTIVITÄTEN

Auf die Deponie sollen nur behandelte und sortierte Materialien kommen. Das Abfallwirtschaftszentrum wird getrennt von der Deponie errichtet werden. Dort erfolgt die Eingangskontrolle. Es wird Gewerbemüll und Sperrmüll angenommen und sortiert. Abfälle, die direkt vom Erzeuger kommen, brauchen ein Prüfzeugnis für die Annahme und Lagerung. Als Option wird die Lagerung von verfestigten Abfällen vorgesehen.

Inhalt

Heft 3/4

- | | |
|--|-----|
| Die Sauerstoffbestimmung im Stahl als Maß für den Reinheitsgrad
Determination of Oxygen in Steel as an Indication of Steel Cleanliness
<i>A. Jungreithmeier, A. Viertauer, H. Preßlinger, K. Antlinger, Linz</i> | 369 |
| Thermodynamisches und kinetisches Modell der Umschmelzung
von ESU-Ingots aus Cr-Ni-Mo-V-Stählen
Thermodynamic and Kinetic Model for Remelting
of ESR-Ingots made of Cr-Ni-Mo-V Steels Grades
<i>Milan Švajger, Blaženko Koroušič, Andrej Rosina, Slowenien</i> | 388 |
| Richtungen der Untersuchungen von technologischen Anlagen
am Beispiel der Walzenbrikettierpressen
Research Trends in Technological Machines
on Example of Roll Briquetting Machines
<i>Zygmunt Drzymała, Krakau</i> | 403 |
| Über Metalle in Bibeltexten
Metals in Biblical Texts
<i>Heinz Krapp, Friedberg</i> | 421 |
| Deckel für Eisenerzsinteröfen aus Feuerfestfasern
Refractory Fibres Roof for Iron ore Agglomeration Furnaces
<i>Călin I. Tatian, Resita-Romania</i> | 437 |
| Erfahrungen mit Magnesium-Aluminium-
Spinellsteinen in einem 3000-t/d-Drehofen
Experience with Magnesium-Aluminium-Spinel
Bricks in a 3000 t/d Rotary Kiln
<i>H. K. Fleck, Harburg</i> | 446 |
| MILESTONE
Schadstofffreie MgO-C-Steine für die Stahlgießpfannen
MILESTONE
Nontoxic Magnesia Carbon Bricks for Steel Casting Ladles
<i>F. Reiterer, K. Dösinger, Leoben</i> | 455 |



Die Sauerstoffbestimmung im Stahl als Maß für den Reinheitsgrad

A. Jungreithmeier*), A. Viertauer*), H. Preßlinger*), K. Antlinger*)

Voraussetzung für die Beurteilung des oxidischen Reinheitsgrades im Flüssigstahl mittels Sauerstoffbestimmung sind geeignete Proben- und Sondentypen, eine repräsentative Probenahme und eine aussagekräftige Analysenmethode. Deshalb wurden verschiedene Proben- und Sondentypen zur Probenahme aus der Pfanne und dem Verteiler miteinander verglichen. Als Beurteilungskriterien galten die Probenverfügbarkeit sowie die Reproduzierbarkeit von Analyse und Probenahme. Es zeigte sich, daß neuartige Stiftproben der konventionellen Stahlprobe (Dualprobe) in fast allen Belangen überlegen sind. Die Gegenüberstellung der beiden Analysemethoden Gesamtsauerstoffbestimmung und fraktionierte (differenzielle) Sauerstoffbestimmung ließ erkennen, daß die Sauerstoffgehalte im Flüssigstahl mit letzterer Methode signifi-

kant genauer bestimmt werden können. Der Einsatz von Stiftproben und fraktionierter Sauerstoffanalyse führte somit zu optimalen Ergebnissen bei der Bestimmung der Sauerstoffgehalte im Flüssigstahl.

Am Beispiel einer St-52-3- und ULC-IF-Stahlsorte wurden die Verläufe der Sauerstoffkonzentration über die gesamte Verfahrensroute beschrieben. Geeignete metallurgische Maßnahmen führten zur Senkung der Sauerstoffgehalte im Flüssigstahl bzw. im Produkt auf 5 bis 10 ppm (St-52-3-Stahl) bzw. 15 bis 20 ppm (ULC-IF-Stahl). Die verbesserte Analyse- und Probentechnik erlauben es, im Zusammenhang mit lichtmikroskopischen Untersuchungen, Abhängigkeiten zwischen Sauerstoffgehalt und Mikroreinheitsgrad für beide Stahlsorten zu erstellen.

Determination of Oxygen in Steel as an Indication of Steel Cleanliness

To assess oxidic cleanliness of liquid steel by means of oxygen determination, it is a precondition to use appropriate sample and probe types, a representative sampling process and a method of analysis that produces clear and informative results. Therefore, various sample and probe types, used to take samples from the ladle and from the tundish, were compared with each other. The criteria of assessment were the sample availability and the reproducibility of the analysis and of the sampling process. The results achieved showed that the properties of the new pin samples are in nearly every respect superior to those of the conventional steel sample (dual sample). The comparison of the two methods of analysis, the total oxygen determination on the one hand and the fractional (differential) oxygen determination on the other hand, revealed that the oxygen content values of liquid steel can be measu-

red significantly more precisely by using the latter one. Thus, the use of pin samples and of the fractional oxygen analysis led to optimum results at the determination of the oxygen content of liquid steel.

By the example of a StE 355 and of an ULC-IF-steel grade the alternation of oxygen concentration was described throughout all stages of the process. Due to appropriate metallurgical measures the oxygen content of liquid steel and/or of the product were reduced to 5–10 ppm (StE 355-steel grade) and/or to 15–20 ppm (ULC-IF-steel grade). The improved method of analysis and sample technique allow, in connection with lightmicroscopic examinations, to create, for both steel grades, interdependences between the oxygen content and the microcleanliness.

La détermination de l'oxygène dans l'acier comme mesure du degré de pureté

Les conditions préalables à l'évaluation du degré de pureté (c'est à dire la teneur en oxyde dans l'acier liquide) au moyen de l'analyse des teneurs en oxygène, ce sont des types d'échantillons appropriés, un prélèvement d'échantillons représentatifs et une méthode d'analyse fiable. C'est pourquoi on a comparé différents échantillons à partir de la poche et du répartiteur. Comme critère d'évaluation on reconnaît la disponibilité des échantillons ainsi que la reproductibilité de

l'analyse et du prélèvement d'échantillons. On a prouvé que dans presque tous les cas, les nouveaux échantillons en forme de goupille sont supérieurs aux échantillons d'acier conventionnels (échantillons - Dual). La comparaison des deux méthodes d'analyse, l'analyse des teneurs totale en oxygène et la technique de décomposition thermique fractionnée permet de constater que les teneurs en oxygène dans l'acier peuvent être évaluées de façon plus exactes selon la dernière méthode. L'utilisation d'échantillons-goupilles ainsi que la technique de décomposition thermique fractionnée amène à un résultat optimal dans l'évaluation de la teneur en oxygène dans l'acier liquide.

L'évolution de la concentration de l'oxygène au cours de l'ensemble du procédé a été décrit en se reportant aux qualités de l'acier StE 355 e ULC-IF. Des mesures métallurgiques

*) Dipl.-Ing. Alfred Jungreithmeier
Ing. Andreas Viertauer
Dipl.-Ing. Dr. mont. Hubert Preßlinger
Dipl.-Ing. Kurt Antlinger
VOEST-ALPINE Stahl Linz GmbH, A-4031 Linz/Austria

appropriées on conduit à une baisse de la teneur en oxygène dans l'acier liquide respectivement dans le produit final jusqu'à 5–10 ppm (StE 355) respectivement à 15–20 ppm (ULC-IF). La méthode d'analyse améliorée et la technique de prélè-

vement d'échantillons avec des études par microscope optique permet d'établir une interdépendance entre la teneur en oxygène et le degré de pureté microscopique des deux qualités d'acier.

1. EINLEITUNG

Der Ausdruck „Hochreiner Stahl“ erlangte in den vergangenen Jahren zunehmende Bedeutung (1) bis (5). Darunter versteht man Stahlsorten mit niedrigsten Gehalten an Spuren- und Begleitelementen sowie höchstem Reinheitsgrad. Eine Voraussetzung zur Verbesserung des Reinheitsgrades ist die Steuerung der Stahlherstellungsprozesse in die Richtung, die Anzahl der nichtmetallischen Einschlüsse im Fertigprodukt auf tiefste Werte zu senken (6) bis (11). Dies bedingt bei der Stahlerzeugung, die Entstehung von nichtmetallischen Einschlüssen in allen einzelnen Prozessschritten zu vermeiden. Die Menge an nichtmetallischen Einschlüssen im Flüssigstahl wird u. a. durch verschiedene Operationen der Pfannenmetallurgie, durch die Verhinderung von Luftzutritt im Bereich der Gießsysteme, die Wirksamkeit der Einschlußflotation im Verteiler, die Aufnahmefähigkeit metallurgischer Schlacken für Einschlüsse und die Gießparameter beeinflusst.

Um den Einfluß und die Wirkung metallurgischer Prozesse auf die Abscheidung von Einschlüssen beurteilen zu können, sind quantitative Meßmethoden zur Reinheitsgradbestimmung im Stahl notwendig. Eine dieser Methoden stellt die Bestimmung des Gesamtsauerstoffgehaltes im Flüssigstahl dar. Dieser Gesamtsauerstoff setzt sich aus dem freien (aktiven) und dem in oxidischer Form vorliegenden Sauerstoff zusammen. Freier Sauerstoff liegt im Flüssigstahl in gelöster Form vor und eignet sich nicht dazu, den Reinheitsgrad einer Schmelze zu beurteilen. Der in oxidischer Form vorliegende Sauerstoff ist in der Schmelze in Form von endogenen und exogenen nichtmetallischen Einschlüssen vorhanden. Da der aktive Sauerstoff bei aluminiumberuhigten Qualitäten nur sehr geringen Streuungen unterliegt (3–5 ppm), ist es möglich, mit Hilfe der Gesamtsauerstoffbestimmung über den Reinheitsgrad einer Schmelze Aussagen zu gewinnen.

Mit dem Ziel aussagekräftige Zusammenhänge zwischen Sauerstoffgehalt und oxidischem Reinheitsgrad (Anzahl nichtmetallischer Einschlüsse) im Flüssigstahl bzw. Fertigprodukt zu erhalten, wurden Untersuchungen vorgenommen, aus den verschiedenen Analysemethoden und Probenarten zur Sauerstoffbestimmung im Stahl die am besten geeignete Kombination herauszufinden.

2. ANALYSEMETHODEN ZUR SAUERSTOFFBESTIMMUNG

Schrifttumsangaben über die Bestimmung des Sauerstoffes in Stählen reichen bis in die dreißiger Jahre zurück (12), (13). Von den Verfahren

1. INTRODUCTION

The term "highly clean steel" has gained increasing importance over the past years (1) to (5). This means steel grades containing minimum amounts of trace and companion elements and of maximum cleanliness. To improve cleanliness, it is a precondition to control the steel production process so that the number of nonmetallic inclusions in the final product is reduced to a minimum value (6) to (11). To achieve these results, the formation of nonmetallic inclusions has to be avoided in every single stage of the steel production process. The number of nonmetallic inclusions in liquid steel is, among other things, influenced by various operations of the ladle metallurgy, by the prevention of air-pick up in the area of the casting systems, by the efficiency of the inclusion flotation in the tundish, by the ability of metallurgical slags to absorb inclusions and by the casting parameters.

In order to be able to assess the influence and the effect of metallurgical processes on the separation of inclusions, quantitative measuring methods are necessary to determine the cleanliness of steel. One of these methods is used to determine the total oxygen content of liquid steel. This total oxygen content is composed of free (active) oxygen and of oxygen in oxidic form. Free oxygen is contained in liquid steel in dissolved form. It is not suitable to be used for the assessment of the cleanliness of a heat. Oxidic oxygen exists in liquid steel in the form of endogenous and exogenous nonmetallic inclusions. Since active oxygen in aluminium-killed steel grades is only subject to very low levels of scattering (3–5 ppm), it is possible to obtain information about the cleanliness of a heat by using the total oxygen analysis.

It was the aim to achieve clear and informative results concerning the relationship between oxygen content and oxidic cleanliness (number of nonmetallic inclusions) of liquid steel and/or of the final product. Therefore, examinations were performed to find out from various methods of analysis and sample types, used for the determination of the oxygen content of steel, the most suitable combination.

2. METHODS OF ANALYSIS FOR THE DETERMINATION OF OXYGEN

Literature on the determination of oxygen in steels already existed in the thirties (12) and (13). From the process point of view, it is distinguished between the carrier gas process and the vacuum process. A further distinction can be made according to the degree of the extraction temperature

her gesehen wird zwischen Trägergas- und Vakuumverfahren unterschieden. Eine weitere Unterteilungsmöglichkeit kann nach der Höhe der Extraktionstemperatur in Heiß- und Schmelzextraktion erfolgen.

In den vorliegenden Untersuchungen wurden die Sauerstoffanalysen mit einem LECO TC-436-AR-Analysator durchgeführt, der eine rasche und stufenweise Aufheizung der Probe erlaubt.

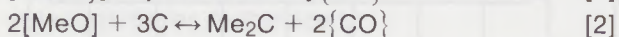
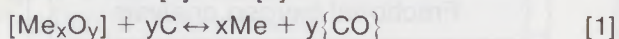
2.1. Gesamtsauerstoffbestimmung

Zur Thematik der Gesamtsauerstoffbestimmung existieren zahlreiche Angaben im Schrifttum (14) bis (20). Die am häufigsten angewendete Bestimmungsmethode ist das Schmelzextraktionsverfahren im Trägergas. In einem integrierten Widerstands- oder Induktionsofen wird dabei das Probengut in einem Graphittiegel im strömenden Argon oder Helium durch Erhitzen über 2200 °C aufgeschmolzen (Aufheizzeit < 5 Sekunden). Der in der Probe vorliegende Sauerstoff setzt sich mit dem Graphit zu Kohlenmonoxid um. Der produzierte CO-Anteil ist abhängig von der Temperatur und auch proportional derselben. Anschließend wird die Infrarot(IR)-Absorption des im Trägergas vorhandenen CO oder CO₂ (nach entsprechender Oxidation von CO) gemessen.

Da der Sauerstoff in der Metallmatrix unterschiedlich vorliegen kann, werden mit dieser Methode folgende Formen des Sauerstoffes bestimmt:

- Physikalisch (interstitiell) gelöster Sauerstoff,
- chemisch gebundener Sauerstoff (als Oxid),
- eventuell gasförmig vorhandener Sauerstoff (molekular an den Korngrenzen, Gaseinschluß als CO).

Ein Problemkreis ergibt sich daraus, daß bei den Reaktionen [1] und [2]



nicht der gesamte Sauerstoff der Probe als CO freigesetzt wird bzw. diese Reaktionen nicht die einzig möglichen sind. Gründe dafür können sein:

- Unvollständige Extraktion wegen hoher Löslichkeit des Sauerstoffes in der Metallschmelze auch bei hohen Temperaturen,
- Bildung von CO₂ bei niedrigen Extraktionstemperaturen,
- unvollständige Umsetzung von adsorbiertem CO₂, H₂O und O₂ zu CO in der Probe während des Aufheizens.

Einen Vorteil bieten daher Analysengeräte, die CO₂ bestimmen, da der in der Probe vorliegende Sauerstoff nicht immer in CO umgesetzt wird. Dieser Einfluß wird bei dem für die Untersuchung verwendeten Analysengerät ausgeschaltet, da ein Katalysator (CuO) das gebildete CO zu CO₂ aufoxidiert, dessen IR-Absorption anschließend im Trägergas gemessen wird.

prevailing during the hot and melting extraction process.

Regarding the examinations already performed, the oxygen analyses were carried out by means of a LECO TC 436 AR-detector which makes rapid and gradual heating of the sample possible.

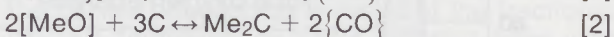
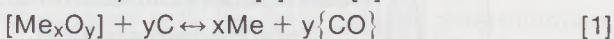
2.1. Total oxygen determination

The available literature on total oxygen determination provides much information about this topic (14) to (20). The most frequently used method of determination is the melting extraction process in the carrier gas. By using an integrated resistance or induction furnace, the sample material is, during this process, completely melted in a graphite crucible in flowing argon or helium by heating it to a temperature of more than 2,200 °C (heating up time < 5 sec). The oxygen contained in the sample is, together with the graphite, transformed into carbon monoxide. The CO-proportion formed depends on the temperature and is also proportional to this temperature. The infra-red (IR) absorption of the CO or CO₂ contained in the carrier gas is then measured (after appropriate oxidation of CO).

Since oxygen can exist in the metal matrix in various forms, this method is used to determine the following forms of oxygen:

- physically (interstitially) dissolved oxygen,
- chemically bound oxygen (as oxides),
- oxygen that may possibly exist in gaseous form (molecularly at the grain boundaries, gas inclusion as CO).

Problems may arise from the fact that during the reaction processes [1] and [2]



not all of the oxygen contained in the sample escapes in the form of CO and/or these reaction processes are not the only ones that are possible. Reasons therefor may be:

- Incomplete extraction due to high solubility of the oxygen in the molten metal bath, even at high temperatures,
- Formation of CO₂ at low extraction temperatures,
- Incomplete transformation of absorbed CO₂, H₂O and O₂ into CO in the sample during heating.

It is of advantage to use analysis devices which determine CO₂ because the oxygen contained in the sample is not always transformed into CO. Due to the analysis device used for the examination this influence is precluded. The reason therefor is that a catalyst (CuO) transforms the CO, that has been formed, into CO₂, the IR-absorption of which is then measured in the carrier gas.

Die über die Zeit aufgenommenen Entgasungskurven werden als Evologramme bezeichnet. Einen typischen Verlauf der Gesamtsauerstoffanalyse zeigt Abb. 1, linkes Teilbild. Der Kurvenverlauf zeichnet sich durch einen einzigen Peak aus, da die im Graphittiegel befindliche Probe rasch geschmolzen und auf hohe Temperatur gebracht wird. Somit erfolgt die Reduktion des Sauerstoffes und die CO-Entwicklung sehr schnell. Die gesamte Analysendauer liegt bei etwa 60 Sekunden.

2.2. Fraktionierte Sauerstoffanalyse

In letzter Zeit wird eine Analysenmethode, die auch bereits früher eingesetzt wurde, verstärkt im Schrifttum (15) bis (18), (20) bis (25) erwähnt und als die geeignetere Methode zur Sauerstoffbestimmung erklärt, nämlich die fraktionierte oder auch differentielle Sauerstoffanalyse.

Das Grundprinzip der fraktionierten Analyse ist folgendermaßen gekennzeichnet:

Der Sauerstoff liegt in Stählen zum größten Teil in Oxidform vor. Es wird dabei zwischen leicht reduzierbaren Oxiden (FeO , Cr_xO_y , MnO , SiO_2 , TiO_x), die sich bei tieferen Temperaturen reduzieren lassen, und Oxiden (Al_2O_3 , Zr_xO_y , Ce_xO_y , CaO , MgO), die erst bei höheren Temperaturen reduziert werden, unterschieden. Weiters sind Verbindungen der Oxide untereinander in Stahlproben vorhanden (Aluminate, Spinelle, Silikate usw.). Wird nun eine Stahlprobe im Graphittiegel bei einer konstanten Aufheizgeschwindigkeit auf-

The curves obtained serve to illustrate degassing processes and are referred to as gas evolution curves. Fig. 1, left part of the illustration, shows a typical example of the total oxygen analysis. The curve describes a line which shows only one single peak because the sample in the graphite crucible is melted rapidly and heated to a high temperature. This means that the process of oxygen reduction and of CO-formation takes place within a very short time. The whole analysis is completed in about 60 seconds.

2.2. Fractional oxygen analysis

Recently, a method of analysis, which was also used in the past, has been mentioned repeatedly in the literature (15) to (18), (20) to (25). This method is called the fractional or differential oxygen analysis and is described as the method that is more suitable for the measurement of oxygen.

The fractional analysis is based on the following principle:

Most of the oxygen contained in steels is present in the form of oxides. It is distinguished between easily reducible oxides (FeO , Cr_xO_y , MnO , SiO_2 , TiO_x), which can be reduced at lower temperatures, and oxides (Al_2O_3 , Zr_xO_y , Ce_xO_y , CaO , MgO) which require higher temperatures for the reduction. Moreover, there are oxides which combine with each other in steel samples (aluminates, spinels, silicates etc.). If a steel sample is completely melted in the graphite crucible at a constant heating speed, the amount of oxygen

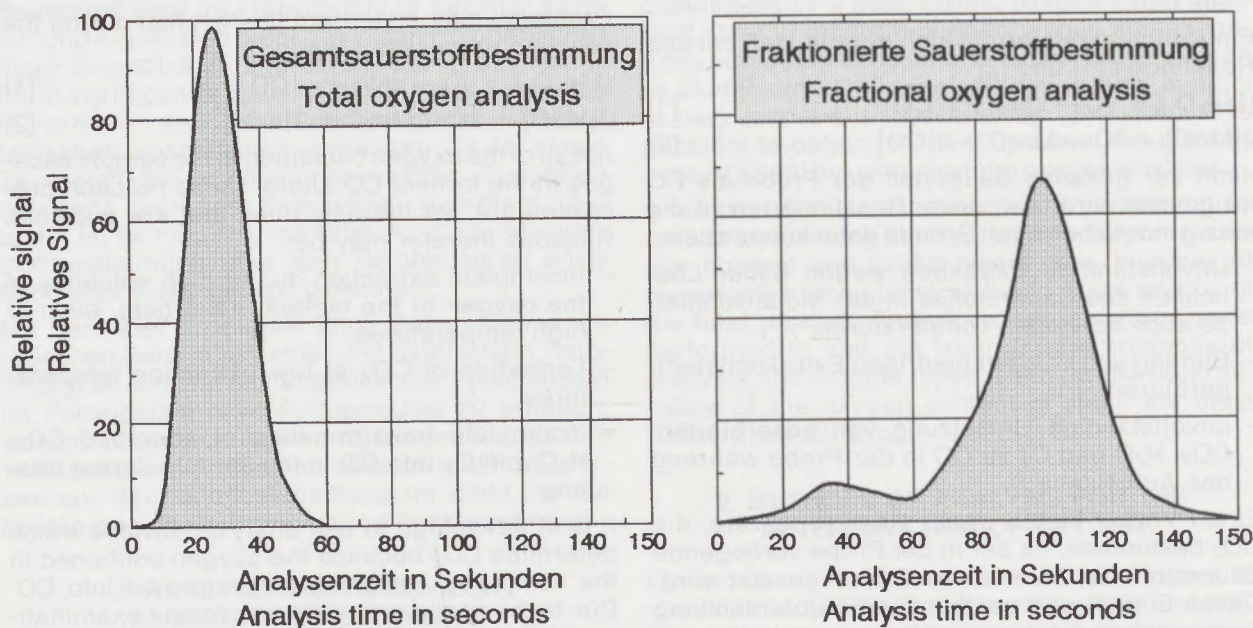


Abb./Fig. 1

Evologramm der Sauerstoffbestimmung (schematisch)
Gas evolution curves of oxygen analysis (schematic)

Tabelle/Table 1

Freie Bildungswärmen und gerundete Gleichgewichtstemperaturen der Reduktion der verschiedenen Oxide mit Kohlenstoff bei 1 bar.

Heats of formation and equilibrium temperatures in the reduction of oxides by carbon at 1 bar.

Reaktion Reaction	Bildungswärmen in cal/mol; T in K Heat of formation in cal/mol; T in K	Gerundete Gleichgewichtstemperaturen, in °C Equilibrium temperature, rounded, in °C	Lit. lit.
$\text{Fe} + 1/2 \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{FeO}$	$-55620 + 10,83 \cdot T$	500	(22)
$2 \text{Cr} + 3/2 \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_3$	$-267750 + 62,10 \cdot T$	1200	(22)
$\text{Mn} + \text{O} \rightleftharpoons \text{MnO}$	$-95400 + 19,70 \cdot T$	1400	(22)
$\text{Si} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{SiO}_2$	$-215600 + 41,50 \cdot T$	1500	(22)
$\text{Ti} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{TiO}_2$	-212292 (for $T=298 \text{ K}$)	1580	(22)
$2 \text{Al} + 3/2 \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{Al}_2\text{O}_3$	$-405760 - 3,75 \cdot \log(T) + 92,22 \cdot T$	1950	(22)
$\text{Mg} + \text{O} \rightleftharpoons \text{MgO}$	$-145350 - 0,24 \cdot \log(T) + 26,95 \cdot T$	1800	(22)
$\text{Zr} + \text{O} \rightleftharpoons \text{ZrO}$	$-260200 - 6,44 \cdot \log(T) + 65,99 \cdot T$	1970	(46)
$2 \text{Ca} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2 \text{CaO}$	$-380200 + 93,24 \cdot T$	2050	(46)

geschmolzen, so reagiert der in Abhängigkeit von der Zeit freigesetzte Sauerstoff mit dem Kohlenstoff des Graphittiegels zu CO (aufgrund des Massenwirkungsgesetzes in Abhängigkeit von Druck, Temperatur und Konzentration der Reaktionspartner) nach der vorstehenden Gleichung [1].

Das im Trägergas (Helium) befindliche CO wird nach Aufoxidation als CO₂ dem Analysator zugeführt.

Beim Aufheizen ist die Reihung der Reaktionen der verschiedenen Oxide mit dem Kohlenstoff durch die freien Bildungsenthalpien (Tabelle 1) gekennzeichnet. Aufgrund von

- längerer Analysenzeit,
- langsamerer Aufheizzeit,
- geringerem Sauerstoffumsatz/Zeiteinheit

im Vergleich zur Gesamtsauerstoffbestimmung resultieren bei der fraktionierten Sauerstoffbestimmung Kurven unterschiedlicher Form und Maxima (Abb. 1, rechtes Teilbild). Die Analysenzeit ist in diesem Fall gegenüber der Gesamtsauerstoffbestimmung etwa verdreifacht. Der „Oberflächensauerstoff“ (Oxidation der Stahlprobe durch Lagerung an Luft), ausgedrückt durch den ersten Peak in Form von Eisenoxiden bzw. MnO, wird bereits bei niedrigen Temperaturen reduziert. Gemäß der kontinuierlichen Temperatursteigerung folgen die Reduktionen der stabileren Oxide, die sich im Hauptpeak ausdrücken. Nach dem Schrifttum (18), in dem Al-desoxidierte Stähle auf Sauerstoff untersucht wurden, weist das Evologramm nur kleine Peaks für FeO und MnO auf, wobei der folgende Aluminiumoxidpeak etwa zwei Drittel des in der Probe insgesamt vorhandenen Sauerstoffes entspricht. Nach unseren Erfah-

ungen escaped in dependence on time reacts with the carbon of the graphite crucible and is transformed into CO (due to the law of mass action in dependence on pressure, temperature and concentration of the reacting agents) according to the above mentioned equation [1].

After the transformation process, the CO contained in the carrier gas (helium) is caused to flow in the form of CO₂ across the IR-detector.

During heating, the sequence of the reactions of the various oxides with carbon is identified by the free enthalpies of formation (table 1).

Compared with the total oxygen determination, the curves obtained as a result of the fractional oxygen determination show different lines with different peaks (fig. 1, right part of the illustration). This is due to a

- longer time of analysis,
- lower heating-up rate,
- lower rate of oxygen escaped per time unit.

In this case, and compared with the total oxygen determination, the analysis process lasts about as much as three times longer. The "surface oxygen" (oxidation of the steel sample due to storage in the open air), shown by the first peak in the form of iron oxides and/or MnO is already reduced at lower temperatures. According to the continuous temperature increase, the reductions of the higher oxides occur and result in the main peak. In accordance with the literature (18), which is about the examination of oxygen content of Al-deoxidized steels, the gas evolution curve shows only low peaks for FeO and MnO, with the following aluminium oxide peak being approximately

rungen liegt dieser Wert bei etwa 85% des gesamten in der Probe vorhandenen Sauerstoffes.

Als Endziel der fraktionierten Sauerstoffanalyse ist die Schnellbestimmung der in den Werkstoffen vorliegenden Bindungsformen des Sauerstoffes anzusehen (= „minutenschnelle Phasenanalytik“).

Die Problematik der fraktionierten Sauerstoffanalyse ist:

- Die Kenntnis der freien Bildungsenthalpien und Gleichgewichtstemperaturen für die Reduktion der Oxide durch Kohlenstoff entsprechend dem Richardson-Diagramm nach Gleichung [1] genügt noch nicht, um die Oxidzusammensetzung qualitativ und quantitativ eruieren zu können.
- Die Reduktion und somit Form und Lage der Peaks wird beeinflusst durch:
 - Geschwindigkeit und Art des Aufheizens (rasch oder stufenweise),
 - Teilchengröße der Oxidphasen,
 - Konzentration der Reaktionspartner,
 - Sauerstofflöslichkeit und -diffusion,
 - Konkurrenzreaktionen, die zur Nachbildung von Oxiden führen.

Künftige Untersuchungen werden sich mit diesen Problemen zu befassen haben, um diese einer Lösung zuzuführen.

3. SAUERSTOFFPROBEN

Bei der Probenahme aus dem Flüssigstahl ist zu berücksichtigen, daß alle standardisierten Proben systematisch inhomogen sind (3). Um die geeignetste Probenart zur Sauerstoffbestimmung herauszufinden, war der Vergleich verschiedener Proben- und Sondentypen notwendig.

3.1. Probenarten

Von Fa. ELECTRO-NITE sind derzeit zwei Probenarten in Stiffform erhältlich, die als TOS (Total Oxygen Sampling System)-Probe und QS-8000-Probe bezeichnet werden (Abb. 2). Beide Arten unterscheiden sich in Durchmesser und Länge. Die TOS-Probe weist eine Länge von 70 mm und einen Durchmesser von 4 mm auf, die QS 8000-Probe wiederum ist ca. 145 mm lang und 6 mm im Durchmesser. Das Probengehäuse dieser Stifftypen besteht aus einem Quarzglasröhrchen, auf dem sich eine Schutzkappe aus Stahl befindet. Die Stahlkappen sollen das Eindringen von Schlacke in das Röhrchen verhindern. Das Quarzglasröhrchen selbst ist in einem keramischen Teil der Sonde, die einer Thermoelementsonde ähnlich ist, eingebettet.

Als Stahlprobe zur Bestimmung der chemischen Stahlzusammensetzung wird derzeit die sog. Dualprobe (Abb. 2) eingesetzt. Die Lasche dieser

equivalent to 2/3 of the total oxygen contained in the sample. According to our experience, this value is at about 85% of the total oxygen contained in the sample.

A rapid analysis of the various binding forms of oxygen in the materials is to be considered as the final target of the fractional oxygen analysis (= "phase analysis which takes only a few minutes").

The problems connected with the fractional oxygen analysis are:

- Knowledge of the free enthalpies of formation and of equilibrium temperatures for the reduction of the oxides through carbon in accordance with the diagram by Richardson and according to the equation [1] does not allow to determine the qualitative and quantitative oxide composition exactly.
- The reduction process and, thus, the form and position of the peaks is influenced by the:
 - speed and method of heating (rapid or gradual),
 - particle size of the oxide phases,
 - concentration of reacting agents,
 - solubility and diffusion of oxygen,
 - competing reactions resulting in a re-formation of oxides.

Future investigations will have to deal with this problems in order to get a solution.

3. OXYGEN SAMPLES

When taking samples from liquid steel, it has to be taken into account that all standardized samples are systematically inhomogeneous (3). To find out the sample type that is most suitable for the oxygen determination, it was necessary to compare various sample and probe types.

3.1. Sample types

The company ELECTRO-NITE currently offers two different types of pin samples which are referred to as TOS (Total Oxygen Sampling System)-sample and as QS 8000-sample (fig. 2). Both sample types are different from each other with regard to their diameter and length. The TOS-sample is 70 mm in length and 4 mm in diameter. The QS 8000-sample, however, is about 145 mm in length and 6 mm in diameter. The sample case of these pin samples consists of a silica glass tube with a protecting steel cap. The steel caps are intended to avoid the penetration of slag into the tube. The silica glass tube itself is embedded in the ceramic part of the probe which is similar to a thermocouple probe.

The steel sample which is currently used for the determination of the chemical composition of steel is the so-called dual sample (fig. 2). The front



Abb./Fig. 2

Probenarten zur Sauerstoffbestimmung im Flüssigstahl
Types of samples for determination of oxygen in liquid steel

Probe wird zur Bestimmung der Elemente C, S und N (Schmelzextraktion), der Körper zur Bestimmung der restlichen Elemente mittels optischer Emissionsspektroskopie verwendet. Es sei bemerkt, daß diese Probenart bei VOEST-ALPINE Stahl Linz GmbH grundsätzlich nicht zur Sauerstoffanalyse herangezogen wird. Da diese Probe jedoch im Rahmen der Produktion anfällt, würde es keinen zusätzlichen Aufwand der Probenahme erfordern, falls sie reproduzierbare Sauerstoffanalysen liefert. Diese Probe wurde daher mit in die Auswertung einbezogen.

In der Literatur sind derzeit nur sehr wenige Angaben über Stiftproben zur Sauerstoffbestimmung vorhanden. Andere Stahlhersteller bestimmen den Sauerstoff meist mittels der Dualprobe (auch Lollypop-Probe genannt) (3), (7), (25) bis (28).

3.2. Probenahme

Die Probenahme mit den verschiedenen Proben- und Sondentypen erfolgte bei verschiedenen Stahlsorten (hochfeste Stähle, Tiefziehstähle, ULC-IF (ultra low carbon – interstitial free)-Stähle, Off-Shore-Stähle, HIC-Stähle, Baustähle) an unterschiedlichen Aggregaten (in der Pfanne am Pfannenofen; vor, während und nach einer RH-Behandlung; aus dem Verteiler während des Stranggießens). Die gesamte getestete Stichprobe umfaßt 188 TOS-Proben, 187 QS 8000-Proben und 112 Dualproben.

Die Probenahme selbst verläuft für die einzelnen Typen sehr unterschiedlich:

- Die QS 8000-Sonde wird auf eine Thermoelementlanze aufgesteckt und anschließend ca. 30 cm tief in die Stahlschmelze getaucht. Nach

part of this sample is used to determine the elements C, S and N (melting extraction). The body is used to determine the remaining elements by means of optical emission spectroscopy. It is to be noted that at VOEST-ALPINE Stahl Linz GmbH this sample type is, in principle, not used for the oxygen analysis. Since this sample, however, is a result of the production process, it would not cause any additional effort for the sampling process, if it produces reproducible oxygen analysis results. Therefore this sample was also taken into consideration in the evaluation.

The currently available literature provides only very little information about pin samples for oxygen determination. Usually other steel manufacturers use the dual sample (is also called Lollypop-sample) for the measurement of the oxygen content (3), (7), (25) to (28).

3.2. Sampling process

The samples were taken from different steel grades (high-strength steel grades, deep-drawing quality steel grades, ULC-IF (ultra low carbon – interstitial free)-steel grades, off-shore steel grades, HIC-steel grades, structural steel grades) at different units (in the ladle at the ladle furnace; before, during and after an RH-treatment; from the tundish during the continuous casting process) by using the various sample and probe types. The whole tested sample taken comprises 188 TOS-samples, 187 QS 8000-samples and 112 dual samples.

The sampling method is very different for the individual types:

- The QS 8000-probe is stuck onto a thermocouple lance and then immersed about 30 cm deep

einer Verweilzeit von 6 bis 8 Sekunden im Stahlbad wird die Sonde aus der Schmelze gezogen und der Stift mittels Zange vom Gehäuse entfernt.

- Die Probenahme mit der TOS-Sonde erfordert eine dazu geeignete Lanze mit Argonspülung. Bereits während des Aufsteckens der Sonde auf die Lanze und vor dem Eintauchen in die Schmelze wird das gesamte System mit Argon geflutet. Die Argonzufuhr wird ca. 5 Sekunden nach Eintauchen der Sonde gestoppt. Die anschließende 4 bis 5 Sekunden dauernde Tauchzeit dient zum Füllen des Quarzröhrchens und somit zur eigentlichen Probenahme. Danach ist die Stiftprobe vom Gehäuse zu trennen. Der Argonvordruck von 1 bis 1,1 bar im Probenahmesystem hat zur Folge, daß
 - der Eintritt von Pfannen- und Verteilerschlacke ins Gehäuse beim Durchstoßen der Schlackenschicht vermieden wird, und
 - das Eindringen des Schutzkappenmaterials in das Quarzglasröhrchen verhindert wird.

Die gesamte Dauer der Probenahme umfaßt für beide Typen ca. 30 Sekunden.

- Die Dualprobenahme aus der Pfanne erfolgt automatisch (an der RH-Anlage, am Pfannenofen) oder manuell (aus dem Verteiler). Die Eintauchzeit beträgt ca. 5 Sekunden.

3.3. Probenverfügbarkeit, Probenfehler

Die Anzahl der verschiedenen Probentypen einschließlich der Probenverfügbarkeit und Fehlerursachen ist in Abb. 3 dargestellt. Als Probenver-

into the liquid steel. After a retention time of 6–8 sec in the steel bath, the probe is drawn out from the heat. The pin is removed from the silica glass tube by using pliers.

- Sampling by using the TOS-probe requires a suitable lance with argon flushing. The whole system is already flooded with argon starting with the process of fixing up the probe before it has been immersed. During the following immersion time of 4 to 5 sec, the silica glass tube is filled, i.e. the actual sampling process takes place. After that, the pin sample is to be separated from the case. Due to the admission pressure of argon of 1–1.1 bar, prevailing in the sampling system,
 - the penetration of slag from the ladle and from the tundish into the case is avoided when the probe is pushed through the slag layer and
 - the penetration of protecting cap material into the silica glass tube is avoided.

The whole sampling process for both types takes about 30 sec.

- The dual sample is taken from the ladle either automatically (at the RH-plant, at the ladle furnace) or manually (from the tundish). The immersion time is approximately 5 sec.

3.3. Availability of samples, sample defects

Fig. 3 shows the number of different sample types with regard to the availability of samples and reasons for defects. The availability of samples is referred to as the percentage of the samples ta-

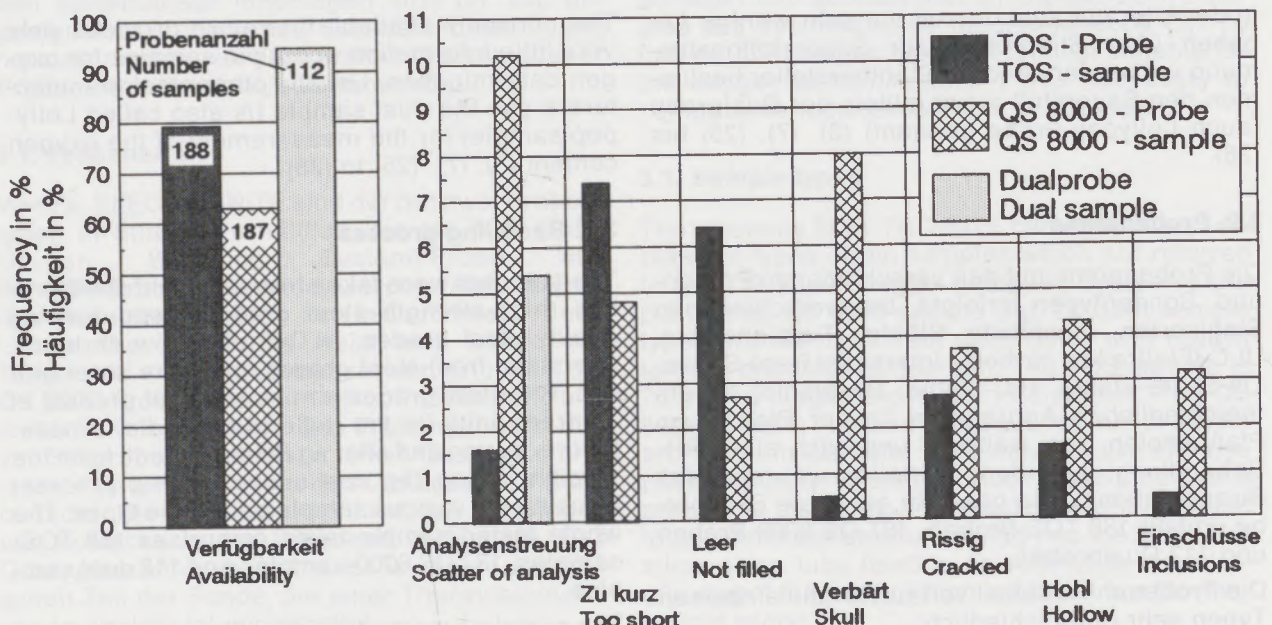


Abb./Fig. 3
 Probenverfügbarkeit und Fehlerarten
 Sample availability and sample defects

fügarkeit wird der Prozentsatz der gezogenen Proben bezeichnet, der für eine Analyse im Labor brauchbar ist. Die Probenverfügbarkeit beträgt für die TOS-Proben ca. 80%, für die QS 8000-Proben rund 63% und für die Dualproben etwa 94%.

Aus Abb. 3 sind auch die einzelnen Fehlerursachen ersichtlich, die meist auf die Probenahme zurückzuführen sind. Die häufigsten Fehlerursachen der TOS-Proben sind zu kurze Stiftproben, leere Quarzröhrchen und eine rissige Oberfläche. Die QS 8000-Probe hat die stärksten Ausfälle aufgrund stark streuender Analyseergebnisse, verbärter, zu kurzer oder hohler Proben. Die einzige Fehlerart der Dualprobe waren stark streuende Analyseergebnisse.

3.4. Probenvorbereitung

Die Methoden zur Probenvorbereitung unterliegen einer genormten Vorgangsweise für Proben im festen Zustand (20), (23), (29). Für Stift- und Dualproben schlagen die Probenhersteller die Probenvorbereitung vor bzw. ist diese in den eigenen Labors zu optimieren.

Die Aufbereitung der QS 8000-Proben wird wie folgt durchgeführt:

- Entfernen von 20 bis 30 mm vom vorderen und hinteren Stifende.
- Durch zahlreiche Untersuchungen stellte der Probenerzeuger eine radiale Aluminiumoxid-segregation in der Probe fest. Um nun bei der Analyse keine zu hohen oder zu niedrigen Sauerstoffwerte zu erhalten, ist es notwendig, den Stift auf einer Drehbank radial um 2 mm abzdrehen.
- Das verbleibende Probenmaterial wird zur Analyse verwendet.

Die Probenvorbereitung der TOS-Proben läuft nach folgendem Schema ab:

- Entfernen von 25 mm vom vorderen und 10 mm vom hinteren Probenende. Diese Vorgangsweise empfiehlt der Probenhersteller. Abb. 4 zeigt die Verteilung des Oxidsauerstoffgehaltes über die Länge von TOS-Proben, wobei 4 Parallelproben hintereinander am Pfannenofen genommen wurden. Ein konstanter Sauerstoffgehalt über die Probenlänge zeigt sich im Bereich von 20 bis 50 mm. Die restlichen Probenteile liefern ein nicht repräsentatives Ergebnis und sind zu verwerfen.
- Langsames Abschleifen der Stiftprobenoberfläche mit SiC-Schleifpapier.
- Das verbleibende Probenmaterial wird zur Analyse herangezogen.

Die Aufbereitung der Dualproben erfolgt durch Abschleifen von 6 bis 7 mm vom Körper (dicker Teil der Dualprobe). Aus dem verbleibenden 5 bis 6 mm dicken Probenstück werden die zu analysierenden Abschnitte (Nippel) mit einer Zange gezwickt.

ken, which is suitable to be used for an analysis in the laboratory. The availability of samples is about 80% for TOS-samples, approx. 63% for QS 8000-samples and about 94% for dual samples.

Fig. 3 also shows the individual reasons for defects which are mostly due to the sampling process. The most frequent reasons for defective TOS-samples are pin samples which are too short, empty silica glass tubes and a surface which shows cracks. Regarding the QS 8000-sample, the main reasons for failures are heavy scattering of analysis, samples which are skulled, too short or with shrinkage cavities. The only kind of defect at the dual sample was heavy scattering of analysis.

3.4. Preparation of samples

The methods used for the preparation of samples are subject to a standard procedure for samples in solid condition (20), (23), (29). For pin and dual samples, sample manufacturers propose the preparation of samples and/or the preparation of samples is to be optimized in the in-house laboratories.

The preparation of QS 8000-samples is carried out as follows:

- Removal of 20 to 30 mm from front and rear pin end.
- Based on a number of examinations, the sample manufacturer determined a radial aluminium oxide segregation in the sample. To make sure that the oxygen values obtained during the analysis are not too high or too low, it is necessary to machine the pin on a lathe to reduce its thickness radially by 2 mm.
- The remaining sample material is used for the analysis.

The preparation of TOS-samples is carried out as follows:

- Removal of 25 mm from the front and 10 mm from the rear sample end. This procedure is recommended by the sample manufacturer. Based on results of in-house examinations, fig. 4 shows the distribution of the oxide oxygen content over the length of TOS-samples. In the area between 20 and 50 mm, the oxygen content is evenly distributed over the length of the sample, whereby 4 parallel samples were taken at the ladle furnace one after another. The results obtained at the remaining sample parts are not representative and are therefore of no value.
- The surface is slowly ground off by using SiC-abrasive paper.
- The remaining sample material is used for the analysis.

Dual samples are prepared by grinding off 6 to 7 mm from the body (thick part of the dual sample). The remaining part of the sample is 5 to

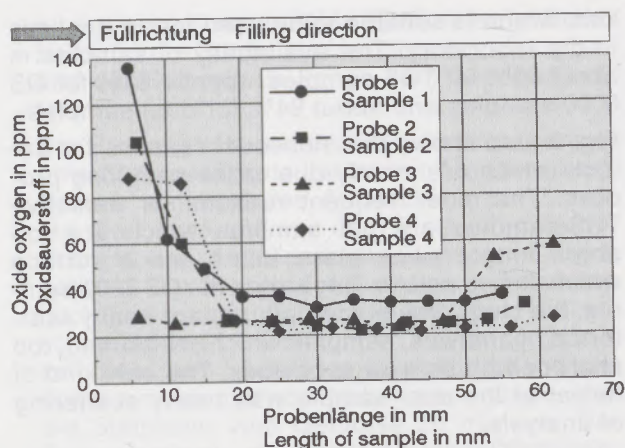


Abb./Fig. 4

Verteilung des Oxidsauerstoffes über die Länge einer TOS-Probe

Distribution of oxide oxygen over the sample length of a TOS-sample

3.5. Vergleich der Probenarten

Um die für die Sauerstoffbestimmung am besten geeigneten Probenarten und Analysenmethoden herauszufinden, waren verschiedene Vergleichsmethoden notwendig. Die Untersuchung umfaßte

- die Ermittlung der Standardabweichung der Analyse,
- die Ermittlung der Standardabweichung der Probenahme und
- den Vergleich der Sauerstoffgehalte der einzelnen Probenarten.

Die Standardabweichung der Analyse gibt eine Aussage über die Reproduzierbarkeit der Sauerstoffbestimmung und somit über die Abweichung der Probeneinzelwerte vom jeweiligen Probenmittelwert. In fast allen Fällen wurden an jeder Probe Vierfachbestimmungen (mind. Dreifachbestimmungen) durchgeführt. Die Bestimmung der Standardabweichung der Analyse erfolgte durch Berechnung der Teilstandardabweichung für jede einzelne Probe und anschließender Summenbildung. Diese Methode wird meist eingesetzt, wenn an Proben verschiedenen Gehaltes Mehrfachbestimmungen durchgeführt werden (30).

Die Ergebnisse sind in Abb. 5 angeführt. Als Oxidsauerstoff ist dabei das Integral über den Hauptpeak des Evogrammes der fraktionierten Sauerstoffanalyse, als Gesamtsauerstoff das Integral über den gesamten Peak des Evogrammes der Gesamtsauerstoffanalyse zu verstehen (siehe Abb. 1). Im Falle der fraktionierten Sauerstoffanalyse sind die Standardabweichungen der Analyse für die TOS- und QS 8000-Probe etwa gleich (ca. 3,2 ppm), die Dualprobe weist einen signifikant höheren Wert (rd. 5,5 ppm) auf. Für zusätzlich analysierte Bandproben ergab sich ebenfalls eine Standardabweichung von 3,2 ppm. Die Verhältnisse sind übertragbar auf die Gesamtsauer-

6 mm thick. From this part the sections (nipples) to be analyzed are pinched off by using pliers.

3.5. Comparison of sample types

To find out the sample types and methods of analysis which are most suitable for the determination of oxygen, various methods of comparison were necessary. This examination included:

- the determination of the standard deviation of the analysis
- the determination of the standard deviation of the sampling process and
- the comparison of the oxygen content of the individual sample types.

The standard deviation of the analysis gives information about the reproducibility of the oxygen determination and thus about the deviation of the sample single values from the respective sample average value. In nearly every case fourfold determinations were carried out at each sample (at least threefold determinations). The standard deviation of the analysis was determined by the calculation of the partial standard deviation for every single sample and by subsequent summation. This method is mostly used when multiple determinations are carried out at samples of different contents (30).

The results are shown in fig. 5. In this connection, oxide oxygen is the integral over the main peak of the gas evolution curve of the fractional oxygen

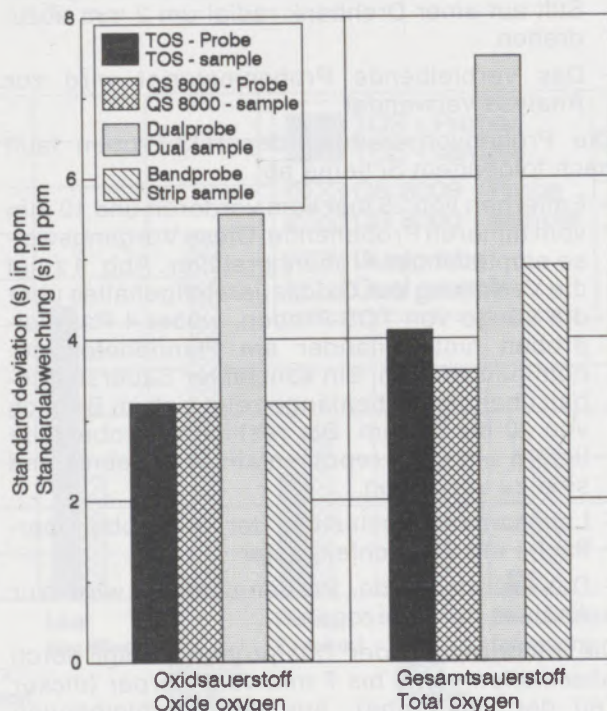


Abb./Fig. 5

Reproduzierbarkeit der Analyse
Reproducibility of analysis

stoffbestimmung, deren Standardabweichung bezüglich der einzelnen Probetypen jedoch über denen der fraktionierten Analyse liegt und somit eine geringere Reproduzierbarkeit der Analyse nach sich zieht.

Zur Beurteilung der Reproduzierbarkeit der Probenahme wurden Parallelproben (mindestens 2, maximal 10) der verschiedenen Probetypen zu einem vergleichbaren Zeitpunkt aus der Stahlschmelze gezogen. Die Standardabweichung der einzelnen Parallelprobenmittelwerte stellt ein Maß für die Reproduzierbarkeit der Probenahme dar. Dieser Wert gibt Aufschluß darüber, wie repräsentativ der Sauerstoffgehalt einer einzelnen Probe für den Sauerstoffgehalt der Schmelze ist. Aus Abb. 6 ist ersichtlich, daß die Reproduzierbarkeit der TOS- und QS 8000-Probe in etwa gleich ist (ca. 5 ppm für die fraktionierte Analyse, rd. 8 ppm für die Gesamtsauerstoffanalyse). Die Standardabweichung der Probenahme bezüglich der Dualprobe liegt für beide Analysenmethoden deutlich höher als für beide Stiftproben und ist von diesem Standpunkt aus gesehen ungeeignet für die Sauerstoffbestimmung im Flüssigstahl.

Die bisher genannten Vergleichsmethoden erlauben keine Aussage, wie gut die analysierten Sauerstoffwerte der unterschiedlichen Probetypen miteinander übereinstimmen. In Abb. 7 sind deshalb die Oxidsauerstoffgehalte der QS 8000- und Dualprobe den Werten der TOS-Probe als Referenz

analysis; total oxygen is the integral over the whole peak of the gas evolution curve of the total oxygen analysis (see fig. 1). As regards the fractional oxygen analysis, the standard deviations of the analysis for the TOS- and QS 8000-sample are of about the same (approx. 3.2 ppm). The dual sample shows a significantly higher value (about 5.5 ppm). The standard deviation obtained for additionally analyzed strip samples was also 3.2 ppm. These relations can be transferred to the total oxygen determination. In this case, the standard deviation of the individual sample types is, however, above the values of the fractional analysis, resulting in a lower reproducibility of analysis.

To assess the reproducibility of the sampling process, parallel samples (at least 2, 10 at the most) of the different sample types were taken from the steel heat at comparable points of time. The standard deviation of the individual average values of the parallel samples is an indication of the reproducibility of the sampling process. This value gives information about how representative the oxygen content of a single sample is for the oxygen content of the heat. As it can be seen from fig. 6, the reproducibility of the TOS- and QS 8000-sample is about the same (approx. 5 ppm for the fractional analysis, about 8 ppm for the total oxygen analysis). The standard deviation of the sampling process with regard to the dual sample is for both methods of analysis clearly higher than for both pin samples. Seen from this point of view, the dual sample is not suitable for the determination of oxygen contained in liquid steel.

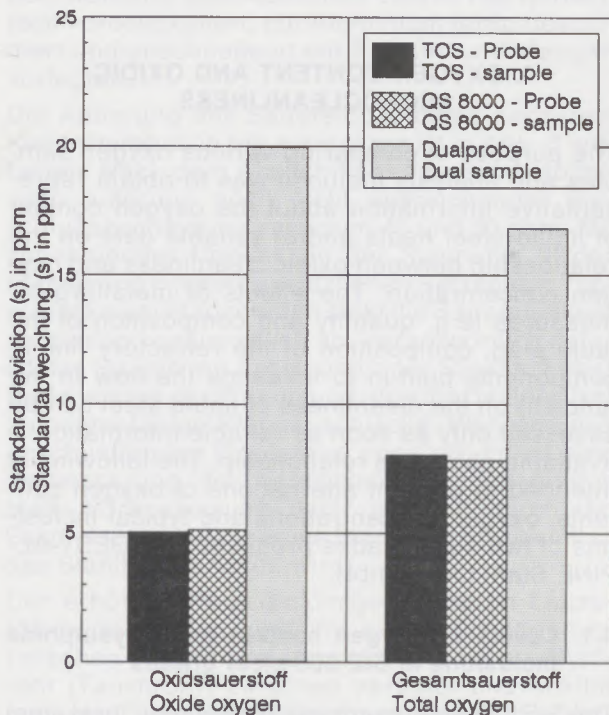


Abb./Fig. 6

Reproduzierbarkeit der Probenahme
Reproducibility of sampling

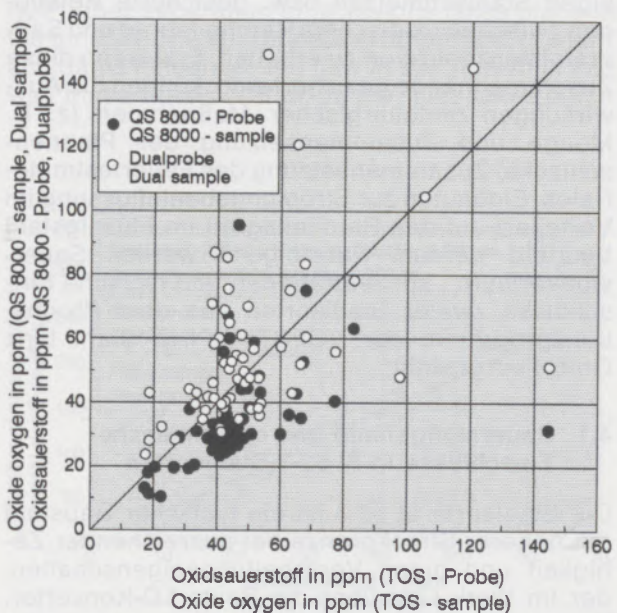


Abb./Fig. 7

Vergleich der Oxidsauerstoffgehalte von TOS-, QS 8000- und Dualproben

Comparison of oxide oxygen content for TOS-, QS 8000- and dual samples

renz auf der x-Achse gegenübergestellt. Die Kernaussage ist folgende:

- Die Oxidsauerstoffgehalte der QS 8000-Probe liegen bis zu einer Konzentration von rd. 50 ppm im Mittel ca. 11 ppm unter denen der TOS-Probe. Bei höheren Sauerstoffgehalten verstärken sich die Abweichungen.
- Die Oxidsauerstoffgehalte der Dualprobe liegen im Mittel ca. 6 ppm über denen der TOS-Probe, wobei teilweise sehr starke Differenzen auftreten, die die Oxidsauerstoffwerte der Dualprobe in Frage stellen.

Eine Gegenüberstellung der Probenmittelwerte bezüglich der Gesamtsauerstoffbestimmung erübrigt sich aufgrund weitgehend ähnlicher Ergebnisse.

All diese Untersuchungen führten zu dem Schluß, daß die fraktionierte Analyse reproduzierbarere Ergebnisse liefert als die Gesamtsauerstoffbestimmung. Weiters sind die Sauerstoffstiftproben der Dualprobe in der Reproduzierbarkeit der Probenahme und Analyse überlegen. Für unsere Gegebenheiten kristallisierte sich wegen der geringeren Verfügbarkeit der QS 8000-Sonde die Kombination von fraktionierter Sauerstoffanalyse und TOS-Probe als beste Methode zur Bestimmung des in oxidischer Form vorliegenden Sauerstoffes im Flüssigstahl heraus.

4. SAUERSTOFFGEHALT UND OXIDISCHER MIKROREINHEITSGRAD

Ziel der Vergleiche verschiedener Sauerstoffproben und Analysemethoden war es, repräsentative Aussagen über den Sauerstoffgehalt von flüssigen Stahlschmelzen bzw. gesicherte Relationen zwischen oxidischem Reinheitsgrad und Sauerstoffkonzentration zu erhalten. Erst wenn diese Zusammenhänge gesichert sind, können die Auswirkungen metallurgischer Maßnahmen (z. B. Menge und Zusammensetzung der Pfannenschlacke, Zusammensetzung des Feuerfestmaterials, Einbauten zur Strömungsbeeinflussung im Verteiler) auf den Reinheitsgrad im Flüssigstahl beurteilt werden. Nachfolgend werden Sauerstoffverläufe, -konzentrationen und typische Einschlüsse zweier Stahlsorten aus dem Produktionsprogramm der VOEST-ALPINE Stahl Linz GmbH vorgestellt.

4.1. Sauerstoffgehalte und oxisulfidische Einschlüsse in St 52-3-Stahlsorten

Die Stahlsorte St 52-3 ist ein typischer Baustahl mit höherer Streckgrenze bei ausreichender Zähigkeit und guten Verarbeitungseigenschaften, der im Werk Linz über die Route LD-Konverter, Pfannenofen (bei Sonderanforderung RH-Behandlung) und Stranggießanlage erzeugt wird.

Die Einstellung niedrigster Sauerstoffgehalte muß bereits beim Abstich des Blaskonverters ansetzen. Die Mitlaufschlackenmenge wirkt auf

The comparison methods mentioned so far do not permit any information about how well the analyzed oxygen values of the different sample types correspond with each other. Therefore, fig. 7 shows the comparison of the values of the oxide oxygen content of the QS 8000- and dual sample with the values of the TOS-sample as a reference on the x-axis. The main information is that:

- the values of the oxide oxygen content of the QS 8000-sample are, up to a concentration of about 50 ppm, on average about 11 ppm below the values of the TOS-sample. At higher oxygen contents higher deviations are observed.
- the values of the oxide oxygen content of the dual sample are on average about 6 ppm above the values of the TOS-sample. Sometimes, very heavy differences arise, due to which the oxide oxygen values of the dual sample may be questioned.

A comparison of the sample average values with regard to the total oxygen determination is not necessary due to results that are largely similar.

All these examinations led to the conclusion that the fractional analysis produces more reproducible results than the total oxygen determination. As regards the reproducibility of the sampling process and of the analysis, the properties of the oxygen pin samples are superior to those of the dual sample. We came to the conclusion that, because of the lower availability of the QS 8000-samples, the combination of the fractional oxygen analysis and of the TOS-sample is the best method for the determination of oxidic oxygen contained in liquid steel.

4. OXYGEN CONTENT AND OXIDIC MICROCLEANNLINES

The purpose of comparing various oxygen samples and analysis methods was to obtain representative information about the oxygen content of liquid steel heats and/or reliable data on the relationship between oxidic cleanliness and oxygen concentration. The effects of metallurgical measures (e.g. quantity and composition of the ladle slag, composition of the refractory lining, components built-in to influence the flow in the tundish) on the cleanliness of liquid steel can be assessed only as soon as reliable information is available about this relationship. The following is intended to present alternations of oxygen contents, oxygen concentrations and typical inclusions of two steel grades produced by VOEST-ALPINE Stahl Linz GmbH.

4.1. Levels of oxygen content and oxysulphide inclusions in StE 355-steel grades

The StE 355-steel grade is a typical structural steel with higher yield strength at sufficient toughness and suitable properties for processing. This steel is produced at the works Linz, with the production

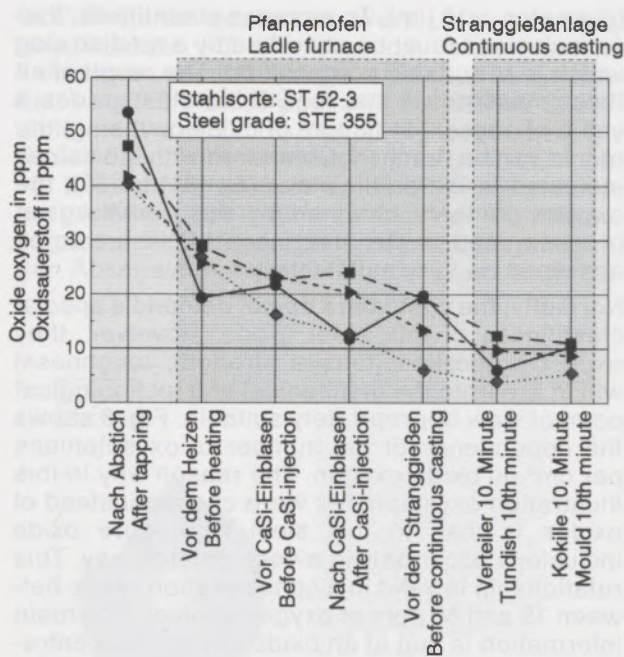


Abb./Fig. 8

Verlauf des Sauerstoffgehaltes bei der Erzeugung der Stahlsorte ST 52-3

Change of oxygen contents during production of steel grade STE 355

die sauerstoffaffinen Legierungselemente als starkes Oxidationsmittel und beeinflusst auch Menge und Zusammensetzung der Pfannenschlacke in starkem Ausmaß. St 52-3-Stähle werden während des Abstiches zuerst mit Kohlenstoff vordesoxidiert, mit Aluminium fertig desoxidiert und anschließend mit Silizium und Mangan vorlegiert.

Die Änderung des Sauerstoffgehaltes nach dem Konverterabstich bis zur Kokille ist in Abb. 8 enthalten. Nach dem Abstich liegt das Sauerstoffniveau aufgrund noch nicht ausreichender Einschlußabscheidung zwischen 40 und 50 ppm. Mit zunehmender Verweilzeit der Schmelze in der Pfanne und mit dem zusätzlichen Setzen von Toppschlacke am Pfannenofen sinkt die Sauerstoffkonzentration kontinuierlich ab. Verantwortlich dafür ist das Spülen mit Argon und/oder Stickstoff über Bodensteine der Pfanne und eine für Oxidpartikel aufnahmefähige Pfannenschlacke. Während des anschließenden Einblasens von CaSi findet eine Verbesserung des oxidischen Reinheitsgrades statt. Voraussetzung dafür ist, daß durch die Schmelzenturbulenz keine Pfannenschlacke mit in das Stahlbad gerissen wird.

Der erhöhten Reoxidationsgefahr durch Luftzutritt beim Gießen wird mit einem Schattenrohr zwischen Pfanne und Verteiler und einem Gießrohr (Tauchrohr) zwischen Verteiler und Kokille begegnet. Weitere Maßnahmen stellen die Verwendung von Abdeck- und Gießpulver im Verteiler bzw. der Kokille dar. Eine weitere Einschlußabscheidung erfolgt im Verteiler. Die entspre-

process comprising the stages LD-converter, ladle furnace (RH-treatment is optional) and continuous casting machine.

The adjustment of minimum levels of oxygen content has already to start when the LD-vessel is tapped. The quantity of carry over slag has the effect of a strong oxidizing agent on the oxygen-affine alloying elements. It also influences the quantity and composition of the ladle slag to a large extent. During the tapping process, StE 355-steel grades are first predeoxidized with carbon, then finally deoxidized with aluminium and after that prealloyed with silicon and manganese.

The change in oxygen content between the tapping of the converter and the mould is shown in fig. 8. Since the separation of inclusions is still insufficient, the oxygen level is between 40 and 50 ppm after the tapping process. With increasing retention time of the heat in the ladle and with additional settling of top slag at the ladle furnace, the concentration of oxygen decreases continuously. This is due to the stirring with argon and/or nitrogen through porous plugs in the bottom of the ladle and to a ladle slag which is able to absorb oxide particles. During the following injection of CaSi, the oxidic cleanliness is improved. The precondition therefor is that due to the turbulence of the heat no ladle slag is taken along into the steel bath.

The increased danger of reoxidation due to the admission of air during the casting process is reduced by means of a shroud between the ladle and the tundish and by a submerged entry nozzle between the tundish and the mould. Additional measures are the use of covering and casting powder in the tundish and in the mould respectively. Further separation of inclusions takes place in the tundish. The appropriate arrangement of weirs and dams influences the flow in the tundish in this way that a flotation of oxide particles takes place

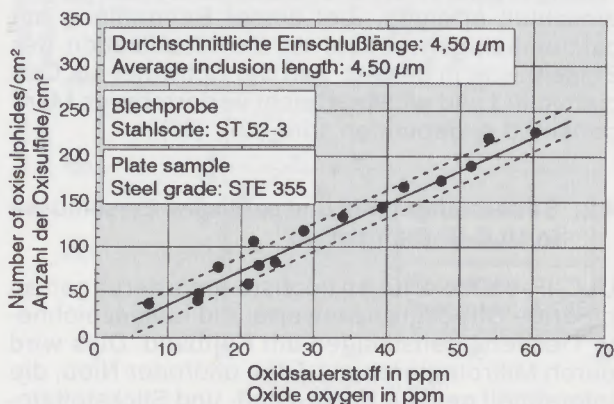


Abb./Fig. 9

Zusammenhang zwischen der Anzahl der Oxisulfide und dem Oxidsauerstoff (Stahlsorte: ST 52-3)

Relation between the number of oxisulphides and oxide oxygen (Steel grade: STE 355)

chende Anordnung von Wehren und Dämmen führt die Strömung im Verteiler so, daß eine Flotation von Oxidpartikeln (Durchmesser $> 10 \mu\text{m}$) erfolgt. Diese Einschlüsse müssen von einer Verteilerschlacke mit entsprechender Zusammensetzung aufgenommen werden, damit sich der Reinheitsgrad erhöht. All diese Maßnahmen führen dazu, daß für St 52-3-Stähle ca. 5 bis 10 ppm Oxidsauerstoff in der Kokille erreicht werden können. Im Vergleich zu den Werten der Publikationen (6), (31) bis (39) sind die durch die im LD-Stahlwerk III angewandte Metallurgie erzielten Sauerstoffgehalte als sehr gut zu beurteilen.

In der Regel existieren keine Kundenanforderungen bezüglich des Reinheitsgrades für diese Stahlsorte, es werden nur entsprechend gute mechanisch-technologische Kennwerte (Zugfestigkeit, Zähigkeit) gefordert. Abb. 9 zeigt die Abhängigkeit der Anzahl der Oxisulfide/cm² vom Oxidsauerstoff. In dieser Darstellung wurden die Oxisulfide anstelle der Oxide deshalb gewählt, da reine Oxideinschlüsse in diesem Stahltyp nur sehr vereinzelt auftreten. Der vorliegende Zusammenhang ist in einem Konzentrationsbereich von 15 bis 60 ppm Sauerstoffgehalt gültig. Die Kernaussage ist die, daß bei einer Oxidsauerstoffkonzentration von 20 bis 30 ppm ungefähr 70 bis 120 Oxisulfide/cm² zu erwarten sind. Oxidsauerstoffgehalte über 30 ppm treten in der routinemäßigen Produktion nur mehr äußerst selten auf.

Abb. 10 zeigt das Schlißbild und die CM (Concentration Mapping)-Analyse eines typischen oxisulfidischen Einschlusses des St 52-3-Stahles, der am Pfannenofen einer CaC₂-Einblasbehandlung unterzogen wurde. Einschlüsse dieses Typs weisen einen oxidischen Kern des Typs xCaO · yAl₂O₃ auf, der geringe Anteile an MgO und SiO₂ enthält. Diese Oxidkerne sind außen von einer CaS-Schicht umgeben, die während der Warmverformung meist ihre globulare Form beibehält und in manchen Fällen elliptisch deformiert wird. Speziell bei Einschlüssen, die sich während einer CaC₂-Behandlung gebildet haben, kann eine Ablösung kleinerer Oxid- und Sulfidteile vom Haupteinschluß erfolgen. Ziel dieser Behandlung mit calciumhaltigen Mitteln ist die Modifikation der Einschlüsse in der Art, daß der Schwefel als Calciumsulfid und nicht als leicht verformbares Mangansulfid abgebunden wird (35), (38).

4.2. Sauerstoffgehalte und oxidische Einschlüsse in ULC-IF-Stahlsorten

ULC-IF-Stähle erfüllen höchste Anforderungen an niedrige Streckgrenzenwerte und ausgezeichnete Tiefzieheigenschaften am Kaltband. Dies wird durch Mikrolegieren mit Titan und/oder Niob, die interstitiell gelöste Kohlenstoff- und Stickstoffatome als Nitride bzw. Karbonitride abbinden, erreicht (40), (41). Die Erzeugung dieser Stahlsorten erfolgt mit den metallurgischen Aggregaten LD-Konverter mit Bodenspülen, RH-Anlage und Stranggießanlage.

(diameter $> 10 \mu\text{m}$). To increase cleanliness, these inclusions must be absorbed by a tundish slag which is of suitable composition. The result of all these measures is that, for StE 355-steel grades, a value of approx. 5–10 ppm of oxide oxygen in the mould can be reached. Compared with the values indicated in the publications (6), (31) to (39), the oxygen contents obtained by the metallurgical process used in the steel shop LD III are to be assessed as very satisfactory.

Normally, the customers do not demand a special cleanliness of this steel grade. However, they expect properties (tensile strength, toughness) which are from the mechanical and technological point of view appropriately suitable. Fig. 9 shows the dependence of the number of oxysulphides per cm² on oxide oxygen. The reason why in this illustration oxysulphides were chosen instead of oxides is that, in this steel type, pure oxide inclusions occur only in a very isolated way. This relationship is valid in a concentration range between 15 and 60 ppm of oxygen content. The main information is that at an oxide oxygen concentration of 20 to 30 ppm, approx. 70 to 120 oxysulphides per cm² can be expected. In the normal way of production oxide oxygen contents higher than 30 ppm can be considered as an exceptional case.

Fig. 10 shows the micrograph and the CM (Concentration Mapping)-analysis of a typical oxysulphide inclusion of the StE 355-steel grade which was subjected to a CaC₂-injection treatment at the ladle furnace. Inclusions of this type have an oxide core of the xCaO · yAl₂O₃-type which contains small amounts of MgO and SiO₂. On the outside, these oxide cores are coated with a CaS-layer which, in most cases, maintains its globular shape throughout the hot forming process. Sometimes, it may change into an elliptical shape. It may happen that, especially as far as inclusions are concerned which are originated during CaC₂-treatment, small oxide and sulphide parts separate from the main inclusion. The purpose of this treatment with calcium-containing agents is to modify the inclusions in such a way that sulphur is bound as calcium sulphide and not as manganese sulphide which can be deformed easily (35), (38).

4.2. Levels of oxygen content and oxidic inclusions in ULC-IF-steel grades

ULC-IF-steel grades meet maximum requirements with regard to low yield strength and have superior deep-drawing properties when used for cold rolled strips. This result is achieved by microalloying with titanium and/or niobium which bind interstitially dissolved carbon and nitrogen atoms as nitrides and/or carbon nitrides (40), (41). These steel grades are produced by using the metallurgical units LD-converter with bottom stirring, RH-degasser and continuous casting machine.

At the works Linz, ULC-IF-steel grades are tapped in rimming condition. As regards the following

ULC-IF-Stähle werden im Werk Linz unberuhigt abgestochen. Für die folgende Vakuumfein-entkohlung an der RH-Anlage ist ein Kohlenstoffgehalt von 250 bis 350 ppm und ein aktiver Sauerstoffgehalt von 500 bis 700 ppm anzustreben. Die Desoxidation mit Aluminium erfolgt etwa in der 16. Behandlungsminute an der RH-Anlage. Dies hat zur Folge, daß 3 Minuten nach der Aluminiumzugabe der Oxidsauerstoff aufgrund ungenügender Abscheidung der Oxidpartikel noch im Be-

vacuum fine-decarburization, a carbon content of 250 to 350 ppm and an active oxygen content of 500 to 700 ppm are recommended before treatment. Deoxidation with aluminium takes place at the RH-plant in about the 16th minute of the process. This leads to the result that 3 minutes after the addition of Aluminium the oxide oxygen con-

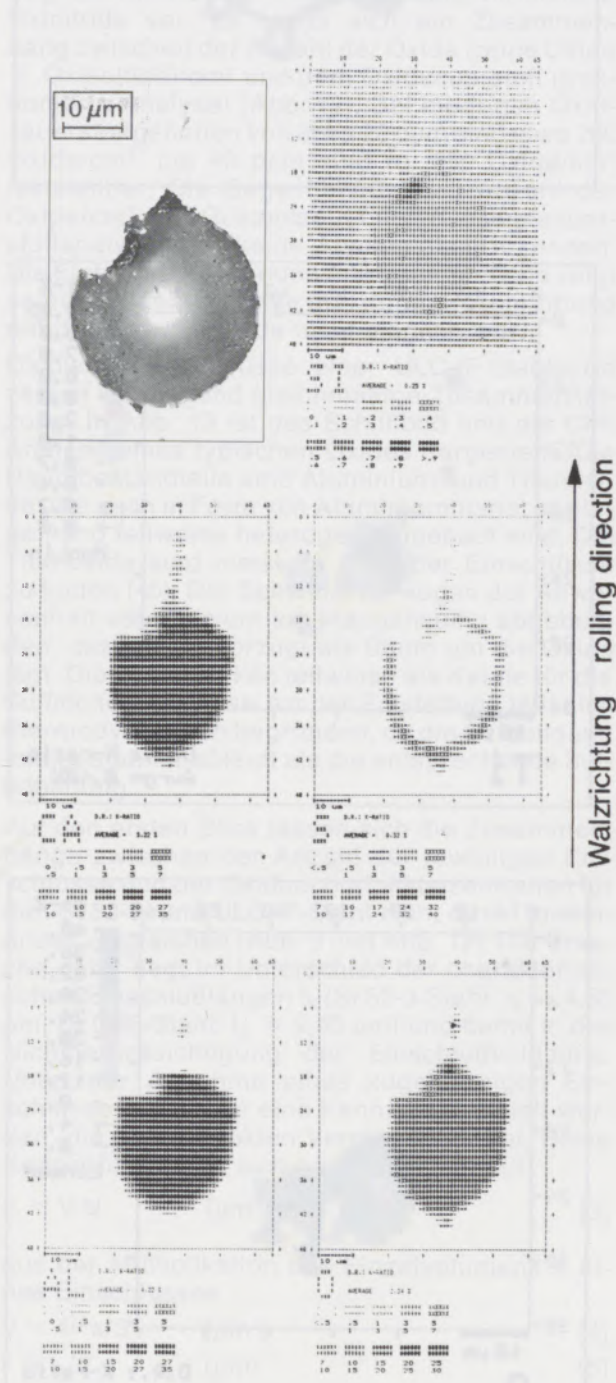


Abb./Fig. 10

Schliffbild und CM-Analyse eines Oxisulfides (Stahlsorte: ST 52-3)

Micrograph and CM analysis of an oxisulfide inclusion (Steel grade: STE 355)

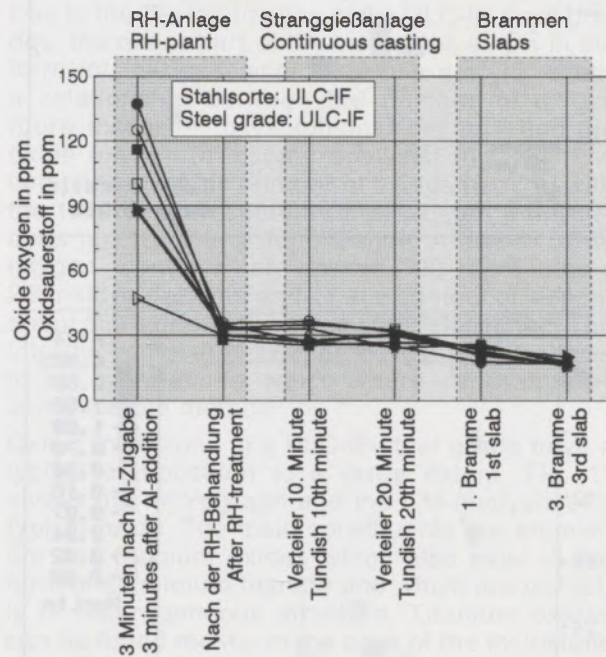


Abb./Fig. 11

Verlauf des Sauerstoffgehaltes bei der Erzeugung der Stahlsorte ULC-IF

Change of oxygen contents during production of steel grade ULC-IF

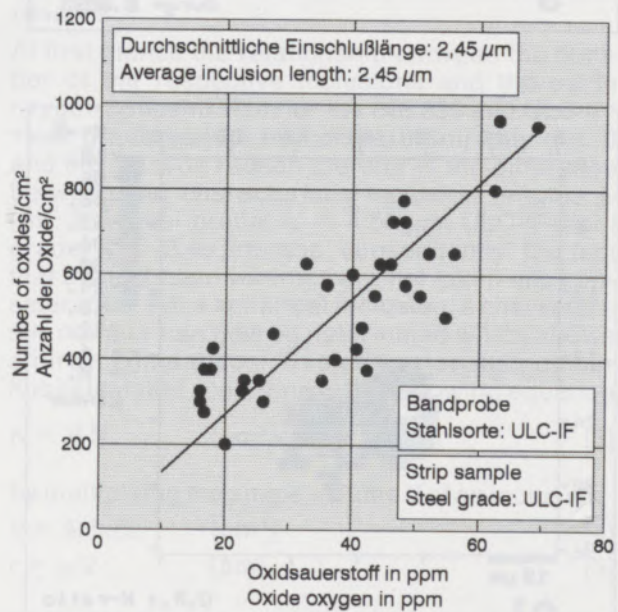


Abb./Fig. 12

Zusammenhang zwischen der Anzahl der Oxide und dem Oxidsauerstoff (Stahlsorte: ULC-IF)

Relation between the number of oxides and oxide oxygen (Steel grade: ULC-IF)

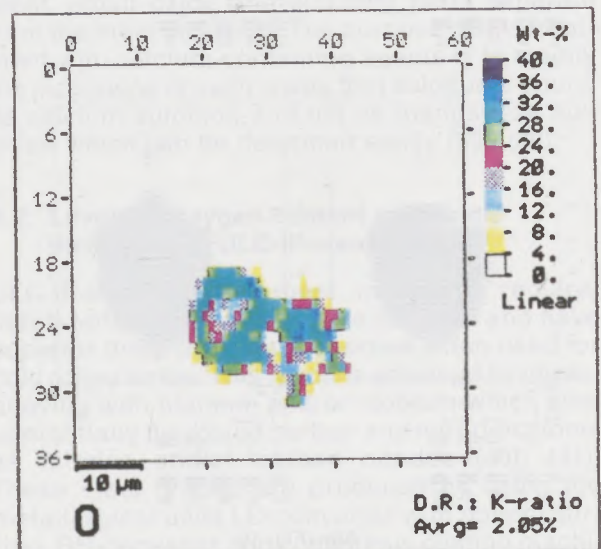
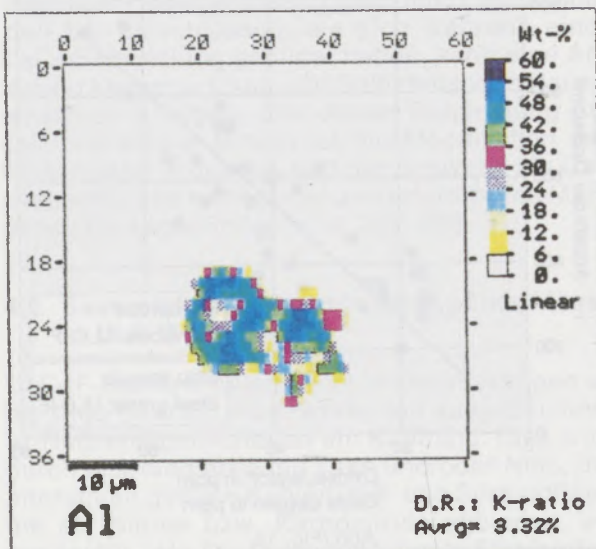
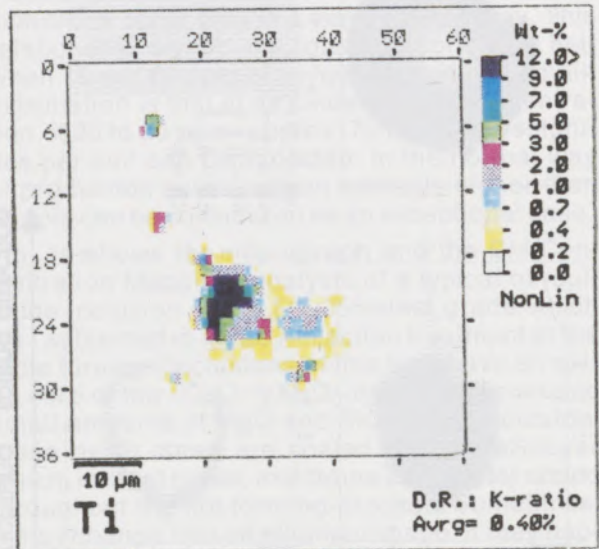
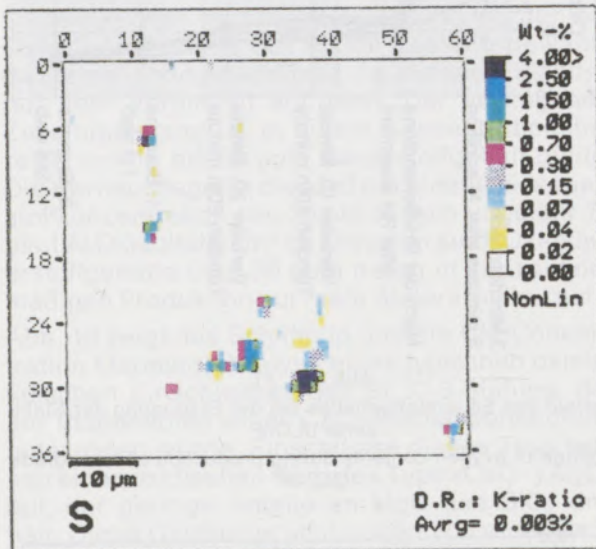
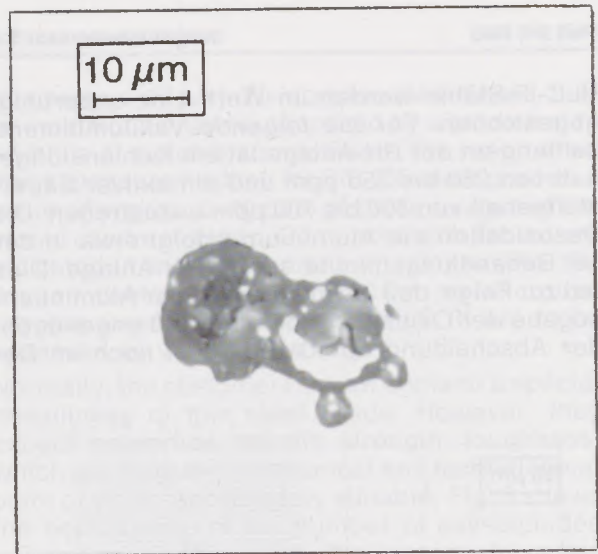
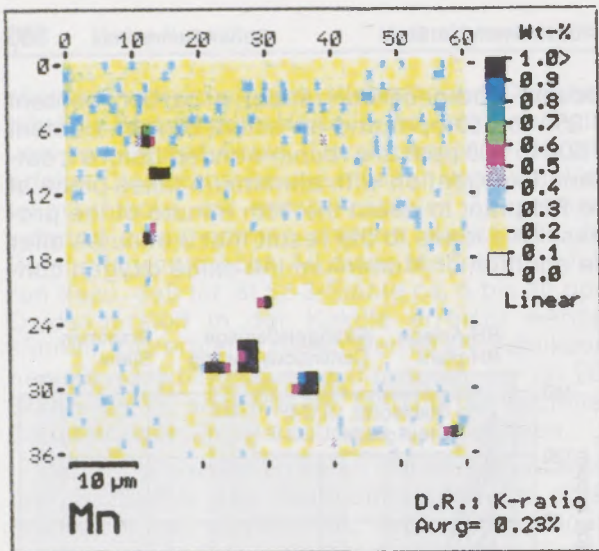


Abb./Fig. 13

Schliffbild und CM-Analyse eines Oxides (Stahlsorte: ULC-IF)
Micrograph and CM analysis of an oxide inclusion (Steel grade: ULC-IF)

reich von 100 bis 140 ppm liegt (Abb. 11). Nach der RH-Behandlung liegt die Sauerstoffkonzentration bei etwa 30 ppm. Die Oxide sind zum Großteil koaguliert und von der Pfannenschlacke aufgenommen. Die weitere Abscheidung im Verlauf des Stranggießens ermöglicht Oxidsauerstoffgehalte in der Bramme von ca. 15 bis 20 ppm (10), (32), (42) bis (44).

Infolge der Ti-Stabilisierung der ULC-IF-Stähle liegt der Großteil der Einschlüsse als Nitride bzw. Oxinitride vor. Es ergibt sich ein Zusammenhang zwischen der Anzahl der Oxide (reine Oxide + Oxisulfide)/cm² und dem Oxidsauerstoff (fraktionierte Analyse) (Abb. 12). Bei niedrigen Oxidsauerstoffgehalten von etwa 20 ppm sind etwa 250 Oxide/cm², bei 40 ppm sind rd. 550 Oxide/cm² feststellbar. Die Gegenüberstellung Anzahl der Oxide/cm² und Gesamtsauerstoff (Gesamtsauerstoffanalyse) läßt keine Abhängigkeit erkennen. Die Einführung der neuen Analyseverfahren zeigt somit Zusammenhänge auf, deren Beschreibung mit der alten Methode nicht möglich war.

Oxidische Einschlüsse einer ULC-IF-Stahlsorte zeigen weitgehend gleichmäßige Zusammensetzung. In Abb. 13 ist das Schlibbild und die CM-Analyse eines typischen Oxides dargestellt. Die Hauptbestandteile sind Aluminium- und Titanoxide, die auch in Form von Aluminiumtitanat vorliegen und teilweise heterogen aufgebaut sind. Die Titanoxide sind meist im Kern der Einschlüsse zu finden (45). Der Schwefel ist wegen der Abwesenheit von Calcium als Mangansulfid abgebunden, das sich bevorzugt als Saum um die Oxide legt. Die Oxide wirken teilweise als Keime für die Sulfidbildung. Diese Art der Entstehung läßt sich thermodynamisch begründen, da die Oxidbildung immer stabiler abläuft als die entsprechende Sulfidbildung.

Auf den ersten Blick lassen sich die Zusammenhänge zwischen der Anzahl der jeweiligen Einschlüsse und der Oxidsauerstoffkonzentration für den St 52-3- und ULC-IF-Stahl nicht direkt miteinander vergleichen (Abb. 9 und Abb. 12). Die Ursache dafür liegt im Unterschied der charakteristischen Einschlußlängen l_k (St 52-3-Stahl: $l_k = 4,50 \mu\text{m}$, ULC-IF-Stahl: $l_k = 2,45 \mu\text{m}$) und damit in der Nichtberücksichtigung der Einschlußvolumina. Unter der Annahme eines kugelförmigen Einschlusses kann nun eine Kennzahl ermittelt werden, die einen direkten Vergleich erlaubt. Diese Kennzahl K bildet sich nach Gleichung [3]

$$K = V \cdot N \quad [\mu\text{m}^3/\text{cm}^2] \quad [3]$$

aus der Multiplikation des Einzelvolumens V eines Einschlusses

$$V = 4r^3\pi/3 \quad [\mu\text{m}^3] \quad [4]$$

$$r = l_k/2 \quad [\mu\text{m}] \quad [5]$$

mit (N) der Anzahl/cm². Die Kennzahl, bezogen auf einen Oxidsauerstoffgehalt von 20 ppm, ist für beide Stahlsorten fast identisch (St 52-3-Stahl: 2350 $\mu\text{m}^3/\text{cm}^2$, ULC-IF-Stahl 2250 $\mu\text{m}^3/\text{cm}^2$).

is, due to inadequate separation of oxide particles, within the range of 100 to 140 ppm (fig. 11). After the RH-treatment the oxygen concentration is about 30 ppm. The oxides are, for the most part, coagulated and absorbed by the ladle slag. Further separation during the continuous casting process leads to an oxide oxygen content of about 15 to 20 ppm in the slab (10), (32), (42) to (44).

Due to the Ti-stabilization of the ULC-IF-steel grades, the major part of the inclusions exists in the form of nitrides and/or oxynitrides. It exists a relationship between the number of oxides (pure oxides + oxysulphides) per cm² and the oxide oxygen (fractional analysis) (fig. 12). The comparison of the number of oxides per cm² with the total oxygen content (total oxygen analysis) does not show any dependence. At lower oxide oxygen contents of approx. 20 ppm about 250 oxides per cm², and/or at a content of 40 ppm about 550 oxides per cm² can be determined. The introduction of the new method of analysis allows to set up relations, which were impossible by using the old method.

Oxidic inclusions in a ULC-IF-steel grade have a typical composition to a large extent. Fig. 13 shows the micrograph and the CM-analysis of a typical oxide. The main constituents are aluminium and titanium oxides which also exist in the form of aluminium titanate and which are partially of heterogeneous structure. Titanium oxides can be found mostly in the core of the inclusions (45). Due to the lack of calcium, the remaining sulphur is bound in the form of manganese sulphide which tends to form an outer layer around the oxides. The oxides act partially as nucleus for the formation of sulphides. This oxysulphide formation can be explained by thermodynamical reasons.

At first glance the relationship between the number of the respective inclusions and the oxide oxygen concentration for the StE 355 and ULC-IF-steel grade cannot be compared directly (fig. 9 and fig. 12). The reason therefor is the difference between the characteristic inclusion lengths l_k (StE 355-steel grade: $l_k = 4.50 \mu\text{m}$, ULC-IF-steel grade: $l_k = 2.45 \mu\text{m}$) and, consequently, the fact that the inclusion volumes are not taken into consideration. For a spherical inclusion, a characteristic number can now be determined which allows a direct comparison. This characteristic number K is calculated according to the following equation

$$K = V \cdot N \quad [\mu\text{m}^3/\text{cm}^2] \quad [3]$$

by multiplying the single volume V of an inclusion

$$V = 4r^3\pi/3; \quad [\mu\text{m}^3] \quad [4]$$

$$r = l_k/2 \quad [\mu\text{m}] \quad [5]$$

by the number per cm² (N). At an oxide oxygen content of 20 ppm, the characteristic number is nearly identical for both steel grades (StE 355-steel grade: 2350 $\mu\text{m}^3/\text{cm}^2$, ULC-IF-steel grade 2250 $\mu\text{m}^3/\text{cm}^2$).

5. ZUSAMMENFASSUNG

Zur Bestimmung des Sauerstoffgehaltes im Stahl wurden einerseits verschiedene Analysemethoden und andererseits unterschiedlich aufgebaute Probenahmesonden vorgestellt. Ein Vergleich der Analysemethoden zeigt, daß die fraktionierte Sauerstoffanalyse bessere Ergebnisse liefert als die Gesamtsauerstoffbestimmung. Die nur für die Sauerstoffbestimmung vorgesehenen Stiftproben (TOS-Probe, QS 8000-Probe) sind in allen Bereichen der konventionellen Stahlprobe (Dualprobe) überlegen. Sie zeigen sowohl eine höhere Reproduzierbarkeit der Probenahme als auch eine höhere Reproduzierbarkeit der Analyse. Die geringe Probenverfügbarkeit der QS 8000-Probe von nur rd. 60% führte im Werk Linz dazu, daß derzeit zur Bestimmung des in oxidischer Form vorliegenden Sauerstoffes im Flüssigstahl die Kombination fraktionierte Sauerstoffanalyse und TOS-Probe verwendet wird.

Diese verfeinerte Analysemethoden läßt nun Abhängigkeiten zwischen dem Sauerstoffgehalt und der Anzahl oxidischer bzw. oxisulfidischer Einschlüsse erkennen. Diese Zusammenhänge wurden am Beispiel der St 52-3- und ULC-IF-Stahlsorten beschrieben. Die Zusammensetzung der für diese Stahlsorten charakteristischen Einschlüsse wurde durch Mikrosondenuntersuchungen ermittelt.

Diese Arbeit wurde mit Unterstützung durch den „Forschungsförderungsfonds für die gewerbliche Wirtschaft“ durchgeführt, wofür an dieser Stelle gedankt wird.

5. SUMMARY

For the determination of the oxygen contained in steel, various methods of analysis on the one hand and sampling probes of different structure on the other hand were presented. A comparison of the analysis methods shows that by using the fractional oxygen analysis better results can be obtained than by using the total oxygen analysis. The pin samples (TOS-sample, QS 8000-sample) are intended to be used only for the determination of oxygen. Their properties are superior to those of the conventional steel sample (dual sample) in every respect. They show a higher reproducibility both of the sampling process and of the analysis. The low sample availability of the QS 8000-sample of about 60% only is the reason why at the works Linz the fractional oxygen analysis is currently combined with the TOS-sample to determine the oxidic oxygen content of liquid steel.

This improved method of analysis shows that there is a relation between the oxygen content and the number of oxidic and/or oxysulphide inclusions. This interdependence was described by presenting the example of a StE 355 and ULC-IF-steel grade. An examination carried out by using a microprobe gave information about the composition of the inclusions, which are typical for these steel grades.

This work was sponsored by the Austrian "Forschungsförderungsfonds für die gewerbliche Wirtschaft", to whom the authors here wish to express their special gratitude.

Literaturverzeichnis/References

- Haastert, H. P.: Stahl und Eisen 111 (1991), Nr. 3, S. 103–109.
- Sosinsky, D. J., F. L. Kemeny, J. B. Munro: Proceedings: 4. Internationale Tagung „Clean Steel“ 8.–10. Juni (1992), Teil 3, S. 732–742.
- Jacobi, H.: „Kontrolle des makroskopischen Reinheitsgrades“, Kontaktstudium Metallurgie des Eisens: Teil 2, 4.–9. Oktober (1992), Goslar-Hahnenklee.
- Thomas, K., P. J. Appleton, W. S. Wilson, W. J. Worrall: Proceedings: 4. Internationale Tagung „Clean Steel“ 8.–10. Juni (1992), Teil 2, S. 352–369.
- Shirota, Y., Y. Higuchi: 4. Internationale Tagung „Clean Steel“ 8.–10. Juni (1992), Teil 3, S. 774–784.
- Höfer, F., P. Patel, H. J. Selenz: Stahl und Eisen 110 (1990), Nr. 10, S. 131–134.
- Jacobi, H., R. Klemp, K. Wünnenberg: Stahl und Eisen 107 (1987), Nr. 17, S. 773–780.
- El-Ghazaly, S. A.: Neue Hütte 33 (1988), Heft 9, S. 324–327.
- Uemura, K., M. Takahasi, S. Koyama, M. Nitta: Trans. ISIJ Vol. 32 (1992), No. 1, S. 150–156.
- Bessho, N., H. Yamasaki, T. Fujii, T. Nozaki, S. Hiwasa: Trans. ISIJ Vol. 32 (1992), No. 1, S. 157–163.
- Tinjakov, V. V., O. A. Hohlov, V. A. Salautin, V. O. Krassilnikov, V. I. Trahimovich: Proceedings: 4. Internationale Tagung „Clean Steel“ 8.–10. Juni (1992), Teil 1, S. 147–158.
- Diergarten, H.: Arch. Eisenhüttenwes. 3 (1930), S. 577–586.
- Reeve, L.: Stahl und Eisen 53 (1933), S. 1281–1282.
- Kraus, T., M. G. Froberg, A. Gerhardt: Arch. Eisenhüttenwes. 35 (1964), Heft 1, S. 39–44.
- Koch, K. H.: Arch. Eisenhüttenwes. 52 (1981), Nr. 12, S. 479–481.
- Sommer, D., K. Ohls: Fresenius Z. Anal. Chem. (1982) 313, S. 28–33.
- Grallath, E.: Gase in Metallen, herausgegeben von D. Hirschfeld, Deutsche Gesellschaft für Metallkunde e. V., Oberursel (1984), S. 1–26.
- Berglund, U. S.: Kem.-Kemi Vol. 49 (1987), No. 6, S. 156–158.
- Beese, K., E. Grallath: Gase in Metallen, herausgegeben von D. Hirschfeld, Deutsche Gesellschaft für Metallkunde e. V., Oberursel (1986), S. 219–232.
- Thierig, D.: Gase in Metallen, herausgegeben von D. Hirschfeld, Deutsche Gesellschaft für Metallkunde e. V., Oberursel (1986), S. 207–217.
- Feichtinger, H., J. Gremminger, H. Bächtold, D. Manderon: BHM 102 (1957), Heft 10, S. 257–271.
- Prumbaum, R., K. Orths: Gießerei-Forschung 31 (1979), Heft 2/3, S. 71–82.
- Ortner, H. M., E. Grallath: Gase in Metallen, herausgegeben von D. Hirschfeld, Deutsche Gesellschaft für Metallkunde e. V., Oberursel (1986), S. 163–195.
- Hocquaux, H., R. Meilland: Rev. de Mét (1992), Heft 2, S. 193–199.

25. Tiekink, W., J. Brockhoff, J. Van der Stel: Proceedings: 4. Internationale Tagung „Clean Steel“, 8.–10. Juni (1992), Teil 3, S. 785–802.
26. Hoh, B., H. Jacobi, H. E. Wiemer, K. Wünneberg: MPT (1989), No. 1, S. 19–31.
27. Ehrenberg, H. J., J. Glaser, H. Jacobi, K. Wünneberg: Stahl und Eisen 107 (1987), Nr. 19, S. 889–893.
28. Jauch, R., H. Jacobi, H. Litterscheidt, W. Pluschke, P. Valentin, K. Wünneberg: Stahl und Eisen 109 (1989), Nr. 6, S. 269–276.
29. Verlag Stahleisen m.b.H.: Handbuch für das Eisenhüttenlaboratorium, Band 3A (1987), Düsseldorf, S. 3.7-1–3.7-2.
30. Doerffel, K.: Statistik in der analytischen Chemie, 4. Auflage, Leipzig (1987), S. 73–79.
31. Arno, M., P. Buglione, M. De Lisi, A. Romanazzi: Proceedings: 4. Internationale Tagung „Clean Steel“, 8.–10. Juni (1992), Teil 2, S. 370–402.
32. Debiesme, B., I. Poissonnet, P. Choquet, F. Penet: Proceedings: 4. Internationale Tagung „Clean Steel“, 8.–10. Juni (1992), Teil 2, S. 403–422.
33. Binder, P., W. Pulvermacher, G. Stolte, J. Rushe: Ironmaking and Steelmaking Vol. 13 (1986), No. 5, S. 267–275.
34. Bauer, K. H., H. Wagner: Stahl und Eisen 107 (1987), Nr. 9, S. 426–430.
35. El Gammal, T., H. Lischka: Steel Res. 59 (1988), No. 7, S. 295–300.
36. Bergmann, B., N. Bannenberg: Stahl und Eisen 112 (1992), Nr. 7, S. 83–89.
37. Bannenberg, N., B. Bergmann, H. Gaye: Steel Res. 63 (1992), No. 10, S. 431–437.
38. El Gammal, T., W. Dahl, Z. Zu: Steel Res. 64 (1993), No. 1, S. 93–96.
39. Höfer, F., H. Abratis, H. G. Geck, P. Patel: Steel Res. (1993), No. 1, S. 48–53.
40. Preßlinger, H., K. Jandl, A. Jungreithmeier, R. Rathner: Radex-Rdsch. 4 (1992), S. 171–193.
41. Antlinger, K., H. Preßlinger, K. Jandl, K. Weiß, P. Stiaszny: Proceedings: 4. Internationale Tagung „Clean Steel“, 8.–10. Juni (1992), Teil 1, S. 101–121.
42. Lee, D. C., M. R. Kim: Proceedings: 4. Internationale Tagung „Clean Steel“, 8.–10. Juni (1992), Teil 2, S. 473–484.
43. Yang, H. C., K. K. Lee, J. K. Kim: 4. Internationale Tagung „Clean Steel“, 8.–10. Juni (1992), Teil 3, S. 617–635.
44. Nilsson, C., G. Carlsson: Proceedings: Scaninject VI, 6th International Conference on Refining Processes, Lulea, Sweden, June 2–4 (1992), Part 1, S. 429–440.
45. Preßlinger, H., K. Jandl, K. Antlinger, A. Jungreithmeier: BHM 138 (1993), soon.
46. Knacke, O., O. Kubaschewski, K. Hesselmann: Thermochemical Properties of Inorganic Substances, Part I + II, (1991) Verlag Stahleisen m. b. H. Düsseldorf.

Thermodynamisches und kinetisches Modell der Umschmelzung von ESU-Ingots aus Cr-Ni-Mo-V-Stählen*

Milan Švajger**, Blaženko Koroušič***, Andrej Rosina****, Slowenien

Der Artikel behandelt das thermodynamische und kinetische Modell von metallurgischen Reaktionen bei der Umschmelzung von Cr-Ni-Mo-V-Stählen unter Schlacke.

Das Modell beruht auf thermodynamischen und kinetischen Gesetzen, die die Umschmelzung von legierten Stählen unter Schlacke in der Luftatmosphäre regeln. Den Ausgangspunkt dieser Gesetze stellen die thermodynamischen Aktivitäten der Schlacken- und Elementenkomponenten in geschmolzenem Stahl, die Übertragung der Masse zwischen die Gas-, Schlacken- und Metallphase wie auch die Materialbilanz von chemischen und technologischen Prozessen bei der Umschmelzung dar. Thermodynamische Aktivitäten der Schlackenkomponenten sind für die vorgegebenen Umschmelzungsbedingungen in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung und Temperatur durch statistische Thermodynamik bestimmt, entsprechende Aktivitäten der Elemente in geschmolzenem Stahl jedoch durch die Wirkungsparameter.

Die ermittelten Resultate dieser Arbeit bestätigen, daß für den Verlauf aller wichtigsten metallurgischen Reaktionen dasjenige Element bzw. seine Gleichgewichtsreaktion mit Sauerstoff maßgebend ist, welches in einem bestimmten Moment die niedrigste Gleichgewichtsaktivität von Sauerstoff besitzt.

Das Rechnerprogramm erlaubt eine schnelle Bestimmung der Sauerstoff-, Aluminium- und Siliziumgehalte im Ingot, derjenigen Elemente also, deren Anteil im Ingot im Vergleich zum Anteil in der Elektrode am meisten geändert wird. Die Änderungen der restlichen Elemente, wie z. B. Mangan, Chrom, Nickel, Vanadium und Molybden hängen vor allem von thermodynamischen Bedingungen ab, die von Sauerstoff, Aluminium und Silizium bestimmt werden. Die gewonnenen Resultate des Modells sind beim Betrieb einer industriellen Anlage für die Umschmelzung unter Schlacke überprüft und bestätigt worden.

Thermodynamic and Kinetic Model for Remelting of ESR-Ingots Made of Cr-Ni-Mo-V Steels Grades

The article deals with a thermodynamic and kinetic model for metallurgical reactions when remelting Cr-Ni-Mo-V steels under slag.

The model is based on thermodynamic and kinetic law principles which regulate remelting of alloyed steels under slag in the air atmosphere. The basis of these law principles are thermodynamic activities of the slag and elements components in molten steel, mass transition between the gaseous, slag and metal phase and material balance of chemical and technological processes at remelting. Thermodynamic activities for slag components are for the specified remelting conditions in dependence upon chemical composition and temperature defined by statistic thermodynamics, and appropriate activities of elements in molten steel by means of interaction coefficients.

The results established for this part confirm that what is decisive for the development of all important metallurgical reactions is the alloying element and/or its equilibrium reaction with oxygen which has in a given moment the lowest equilibrium of oxygen activity.

The computer program allows us to quickly determine the content of oxygen, aluminium and silicon in an ingot. These are the elements, the share of which is mostly subjected to changes in an ingot in comparison to the share in an electrode. Changes of other elements like manganese, chrome, nickel, vanadium and molybdenum depend mostly on thermodynamic conditions which define oxygen, aluminium and silicon. The gained results of the model have been examined and confirmed at the industrial operation of an ESR-plant.

Modèles thermodynamiques et cinétiques des réactions métallurgiques durant la refusion sous laitier électroconducteur des aciers aux Cr-Ni-Mo-V

Dans l'article sont exposés les modèles thermodynamiques et cinétiques des réactions métallurgiques durant la refusion sous laitier électroconducteur des aciers aux Cr-Ni-Mo-V. Le modèle est conçu obéissant aux lois thermodynamiques

et cinétiques qui règlent la refusion sous laitier électroconducteur sous atmosphère normale. Il est basé sur la conformité des activités thermodynamiques des composants du laitier et des éléments dans la phase métallique liquide, sur le transfert

* Der Artikel ist Auszug des von der Fakultät für Naturwissenschaften und Technologie der Universität in Ljubljana genehmigten Dissertation von Herrn Dr. M. Švajger.

** Dr. Milan Švajger, Mag., Dipl.-Ing., Leiter der Forschungsabteilung im Stahlwerk Ravne, Ravne na Koroškem, Slowenien

*** Prof. Dr. Blaženko Koroušič, Mag., Dipl.-Ing., Institut für Materialien und Technologien, Ljubljana, Slowenien

**** Prof. Dr. Andrej Rosina, Mag., Dipl.-Ing., Abteilung Hüttenwesen, FNT, Universität Ljubljana, Slowenien

de masses entre la phase gazeuse, laitier et métal et aussi sur le bilan matériel des procédés chimiques et technologiques au cours de la refusion.

Les activités thermodynamiques des composant du laitier sont déterminées pour des conditions de refusion donnée en fonction de la composition chimique, et de la température au moyen de la statistique thermodynamique pendant que les activités correspondantes aux éléments dans le métal liquide, sont calculées par des coefficients d'interaction.

Les résultats obtenus confirment que le déroulement des réactions métallurgiques importantes est déterminé par influence

des éléments d'addition, qui possèdent dans le moment donné l'activité équilibrée de l'oxygène la plus basse.

Le programme numérique mis au point nous permet de déterminer rapidement la teneur en oxygène, en aluminium et en silicium dans lingot refondu. Ces-ci sont les éléments dont la teneur diffère le plus entre l'électrode et l'ingot refondu. Les variations en teneur d'autres éléments comme manganèse, chrome, nickel, vanadium et molybdène sont déterminées avant tous par des conditions thermodynamiques réglées par l'oxygène, l'aluminium et le silicium. Les résultats ont été vérifiés et confirmés dans des conditions d'une installation industrielle de refusion sous laitier électroconducteur.

EINLEITUNG

Zahlreiche Forschungen der metallurgischen Reaktionen bei ESU-Verfahren, durchgeführt an Ingots, kürzer als 6 m, haben ergeben, daß der Sauerstoff stark die Kinetik und den Mechanismus aller wichtigen metallurgischen Reaktionen, die die Reinheit und chemische Homogenität des Ingots beeinflussen, bestimmt (1) bis (12).

Die Überwachung des Sauerstoffpotentials im Schlacken- und Metallbad ist aufgrund der thermodynamischen Gesetze innerhalb der akzeptablen Grenzen der Ausgangspunkt des Voraussagungsmodells der „Homogenitätsstufe“ bzw. Qualität der ESU-Ingots.

Mit der statistischen Thermodynamik, der Methode der Wirkungsparameter und thermodynamischem Gleichgewicht einiger Gleichungen wollen wir die Kinetik der Oxidierung und Reduktion der Stahlelemente aufklären und ein dynamisches Modell der Sauerstoffverteilung während der Umschmelzung von bis zu 6 m langen ESU-Ingots erstellen. Das Endziel der Arbeit war die Voraussage der Zusammensetzung einiger Schlüssel elemente in ESU-Ingots in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Elektrode und den Umschmelzbedingungen.

MODELLSTELLUNG

Die Struktur und der Ablauf des Modells sind in Abb. 1 dargestellt. Der erste Block umfaßt die für thermodynamische und kinetische Rechnungen erforderlichen Angaben:

- Angaben über die Elektrode umfassen ihre Zusammensetzung und ihren Durchmesser
- Angaben über den Ingot umfassen dessen Durchmesser und Endlänge
- Angaben über Schlacke umfassen ihre Ausgangszusammensetzung, Gewicht und Dichte
- Angaben über den Prozeß umfassen Schmelzgeschwindigkeit, Temperatur an der Phasengrenze Metall-Schlacke wie auch Stufe und Art der Desoxidation des Schlackenbades.

Es folgt ein weiterer, größerer Block, der die gesamten thermodynamischen und kinetischen Umrechnungen innerhalb des j-Schrittes durchführt und besteht aus Unterblöcken.

INTRODUCTION

Numerous researches of metallurgical reactions during an ESR-process which were carried out on ingots shorter than 6 m showed that oxygen strongly defines the kinetics and the mechanism of all important metallurgical reactions that have an influence upon the cleanliness and chemical homogeneity of ingots (1) to (12).

The control of the oxygen potential in a slag and metal bath is on the basis of thermodynamical laws and within the acceptable limits the initial point for the forecast model of the "homogeneity level" and/or quality of ESR-ingots.

With statistic thermodynamics, the method of interaction parameters and thermodynamic equilibrium of some equations, we wish to observe the kinetics of oxidation and reduction of steel elements and make a dynamic model for oxygen distribution during remelting of 6 m long ESR-ingots. The final aim of this task is to predict the composition of some key elements in the ESR-ingots depending on the composition of an electrode and remelting conditions.

MODEL

The structure and development of the model are evident from fig. 1. The first block contains information required for thermodynamic and kinetic calculations:

- data on the electrode involved its composition and diameter
- data on the ingot contained its diameter and the final length
- data on slag involved its input and output composition, weight and density
- data on the process evidences melting rate, temperature on the phase interface metal-slag as well as also the level and manner of slag bath deoxidation.

This is followed by a further, larger block which represents all thermodynamic and kinetic recalculations within the j-step and consists of a number of subblocks.

Koroušič (2) provided a sufficiently accurate estimation of thermodynamic activities of components by the application of the Kožurov theory.

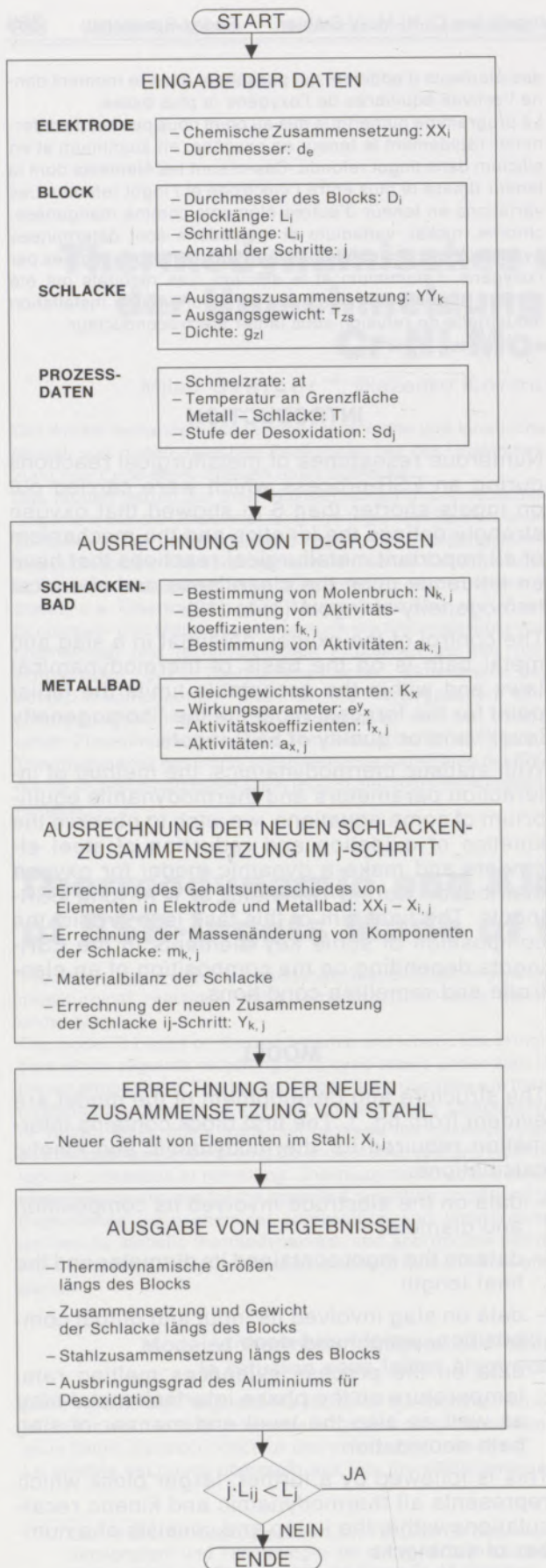


Abb. 1

Verlauf des thermodynamischen und kinetischen Modells von Elektrodenumschmelzung

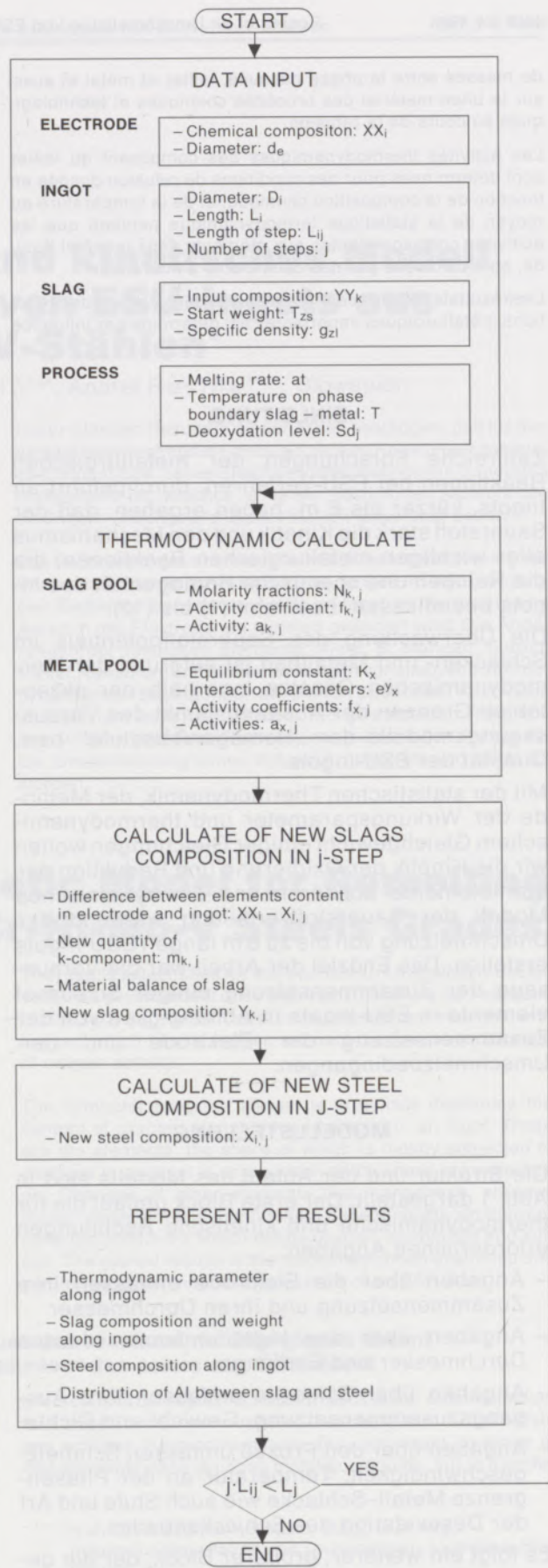


Fig. 1

Development of thermodynamic and kinetic pattern of electrode remelting

Koroušič (2) hat mit der Anwendung der Theorie von Kožurov eine ausreichend genaue Bewertung der thermodynamischen Aktivitäten der Komponenten ermöglicht. Da bis heute keine andere bekannte Methode der Bestimmung von thermodynamischen Aktivitäten der Schlackenkomponenten für diese Zwecke anwendbaren Wert hat, haben wir uns für die Methode von Koroušič entschlossen.

Die Methode von Kožurov (20) beruht auf statistischer Thermodynamik der realen ionischen Lösungen, da man sich die Schlacke als ein elektrochemisches Modell vorstellt.

Laut Temkin (19) ist die Schlacke aus Kationen und Anionen zusammengestellt. Ähnlich wie in Kristallen sind in geschmolzenen Schlacken die nächsten Nachbarn Ionen mit Gegenvorzeichen. Jeder Kation ist von Anionen und jeder Anion von Kationen umgeben. Ione mit gleichen Vorzeichen unterscheiden sich untereinander in bezug auf den Einfluß auf ihre Nachbarn nicht. Diese Bedingungen ergeben sich aus der statistischen Verteilung von Ionen mit gleichen elektrischen Ladungen um das Ion mit Gegenvorzeichen, was bedeutet, daß die Mischungswärme solcher Lösung gleich Null ist.

Obwohl die Theorie von Kožurov einige heute nicht mehr aufgenommene Voraussetzungen benutzt, ist sie besonders wegen der Möglichkeit der numerischen Bewertung der Aktivität von beliebiger Komponente im Mehrkomponentensystem interessant.

Um das Modell von Kožurov verwenden zu können, mußte Koroušič (1) bei ESU-Schlacken folgende Voraussetzung berücksichtigen:

- Bei Temperaturen des ESU-Prozesses besteht die Schlacke aus einfachen Kationen und Anionen Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Si^{4+} , Al^{3+} , O^{2-} und F^- .
- F-Ionen haben keinen wesentlichen Einfluß auf die Energie der gegenseitigen Wirkung von Kationen. CaF_2 wirkt als Lösungsmittel und hat keinen Einfluß auf die Aktivität der Katione. Die Mischungswärme Q_{ij} zwischen CaF_2 und anderen Oxiden kann vernachlässigt werden.
- Die Temperatur hat keinen wesentlichen Einfluß auf die Veränderung der Mischungswärme.

Endformen der Gleichungen zur Ausrechnung der Aktivitätskoeffizienten f_{FeO} , f_{SiO_2} , f_{MnO} und $f_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ lauten:

$$\log f_{\text{FeO}} = \frac{5900 (N_{\text{CaO}} + N_{\text{MgO}}) (N_{\text{SiO}_2} + \frac{1}{2} N_{\text{AlO}_{1,5}})}{T} + \frac{2185 N_{\text{MnO}} N_{\text{SiO}_2} + 4750 N_{\text{SiO}_2} N_{\text{AlO}_{1,5}}}{T} \quad [1]$$

$$\log f_{\text{SiO}_2} = \log f_{\text{FeO}} - \frac{5900 (N_{\text{CaO}} + N_{\text{MgO}}) - 2185 N_{\text{MnO}} - 4750 N_{\text{AlO}_{1,5}}}{T} \quad [2]$$

As no other known method for determination of thermodynamic activities of slag components has an applicable value for this aim, we have decided to apply this method by Koroušič.

The method by Kožurov (20) is based on statistic thermodynamics of actual ionic solutions, as slag is considered to be an electrochemical model.

According to Temkin (19), slag is composed of cations and anions. Similarly as in crystals, ions with a counter sign are the closest neighbours in a molten slag. Each cation is surrounded by anions and each anion by cations. According to their influence upon their neighbours, there is no difference among ions with equal signs. These conditions result from a statistic distribution of ions with equal electrical charges around an ion with counter signs which means that the temperature of blending such a solution is equal to zero.

Although the theory by Kožurov applies some conditions which are today no longer acceptable, it is still interesting, particularly as it provides the possibility to numerically estimate the activity of any component in a multicomponent-system.

In order to apply the pattern by Kožurov, Koroušič (1) had to consider the following conditions for ESR-slag:

- with the ESR-process temperature, slag involves simple cations and anions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Si^{4+} , Al^{3+} , O^{2-} and F^- .
- F-ions have no essential influence upon the energy of a reciprocal effect of cations. CaF_2 acts as a solvent and has no influence upon the activity of cations. The temperature of blending Q_{ij} between CaF_2 and other oxydes is of minor importance.
- Temperature has no major influence upon the change of the temperature of blending.

Final forms of equations to calculate the activity coefficients f_{FeO} , f_{SiO_2} , f_{MnO} and $f_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ are:

$$\log f_{\text{FeO}} = \frac{5900 (N_{\text{CaO}} + N_{\text{MgO}}) (N_{\text{SiO}_2} + \frac{1}{2} N_{\text{AlO}_{1,5}})}{T} + \frac{2185 N_{\text{MnO}} N_{\text{SiO}_2} + 4750 N_{\text{SiO}_2} N_{\text{AlO}_{1,5}}}{T} \quad [1]$$

$$\log f_{\text{SiO}_2} = \log f_{\text{FeO}} - \frac{5900 (N_{\text{CaO}} + N_{\text{MgO}}) - 2185 N_{\text{MnO}} - 4750 N_{\text{AlO}_{1,5}}}{T} \quad [2]$$

$$\log f_{\text{MnO}} = \log f_{\text{FeO}} - \frac{2185 N_{\text{SiO}_2}}{T} \quad [3]$$

$$\log f_{\text{MnO}} = \log f_{\text{FeO}} - \frac{2185 N_{\text{SiO}_2}}{T} \quad [3]$$

$$\log f_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \log f_{\text{FeO}} - \frac{2950 (N_{\text{CaO}} + N_{\text{MgO}}) - 4750 N_{\text{SiO}_2}}{T} \quad [4]$$

Die Gleichung zur Ausrechnung von thermodynamischer Aktivität einer beliebigen k-Komponente im Schlackenbad für j-Schritt (beliebige Ingotlänge) lautet:

$$a_{j,k} = f_{j,k} N_{j,k} \quad [5]$$

$N_{j,k}$ ist Molenbruch der k-Komponente im j-Schritt. Thermodynamische Aktivitäten der Elemente im Metallbad werden mit der Methode der Wirkungsparameter laut Gleichung [6] bestimmt:

$$a_x = e \left(2,303 \sum_{x=3}^n e_y^x [\%X] \right) [\%Y] \quad [6]$$

wobei e_y^x als Wirkungsparameter des Einflusses des Y-Elementes auf die Aktivität des X-Elementes folgende Temperaturabhängigkeit berücksichtigt ist (12):

$$e_y^x = e_{y(1873\text{K})}^x \frac{1873}{T} \quad [7]$$

$$\log f_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \log f_{\text{FeO}} - \frac{2950 (N_{\text{CaO}} + N_{\text{MgO}}) - 4750 N_{\text{SiO}_2}}{T} \quad [4]$$

The equation to calculate thermodynamic activity of any k-component in a slag bath for j-step (any ingot length) is:

$$a_{j,k} = f_{j,k} N_{j,k} \quad [5]$$

$N_{j,k}$ is the mole fraction of k-component in a j-step.

Thermodynamic activities of elements in a slag bath shall be defined using the method of interaction parameters according to the equation [6]:

$$a_x = e \left(2,303 \sum_{x=3}^n e_y^x [\%X] \right) [\%Y] \quad [6]$$

where the following temperature dependence is considered at e_y^x as the interaction parameter of the influence of Y-element upon the activity of X-element (12):

$$e_y^x = e_{y(1873\text{K})}^x \frac{1873}{T} \quad [7]$$

Tabelle 1/Table 1

Metallurgische Grundreaktionen, die während der Umschmelzung des Cr-Ni-Mo-V Vergütungsstahles auftreten können.

Metallurgical basic reactions which can appear during remelting of the Cr-Ni-Mo-V heat-treatable steel.

Reaktion	Gleichgewichtskonstante	Quelle Nr.
Reaction	Equilibrium constant	Source No.
$[\text{Si}] + 2[\text{O}] \leftrightarrow (\text{SiO}_2)$	$K_{\text{Si}} = \frac{a_{\text{SiO}_2}}{a_{\text{Si}} a_{\text{O}}^2} = 10 \left(\frac{32104}{T} - 12,65 \right)$	[8] 14
$2[\text{Al}] + 3[\text{O}] \leftrightarrow (\text{Al}_2\text{O}_3)$	$K_{\text{Al}} = \frac{a_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{a_{\text{Al}}^2 a_{\text{O}}^3} = 10 \left(\frac{62690}{T} - 20,54 \right)$	[9] 15
$[\text{Fe}] + [\text{O}] \leftrightarrow (\text{FeO})$	$K_{\text{Fe}} = \frac{a_{\text{FeO}}}{a_{\text{O}}} = 10 \left(\frac{6320}{T} - 2,73 \right)$	[10] 16
$[\text{Mn}] + [\text{O}] \leftrightarrow (\text{MnO})$	$K_{\text{Mn}} = \frac{a_{\text{MnO}}}{a_{\text{Mn}} a_{\text{O}}} = 10 \left(\frac{12760}{T} - 5,57 \right)$	[11] 17
$2[\text{Cr}] + 3[\text{O}] \leftrightarrow (\text{Cr}_2\text{O}_3)$	$K_{\text{Cr}} = \frac{a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}}{a_{\text{Cr}}^2 a_{\text{O}}^3} = 10 \left(\frac{44040}{T} - 19,42 \right)$	[12] 16

Reaktion	Gleichgewichtskonstante	Quelle Nr.
Reaction	Equilibrium constant	Source No.
$2[V] + 3[O] \leftrightarrow (V_2O_3)$	$K^V = \frac{a_{V_2O_3}}{a_V^2 a_O^3} = 10^{\left(-\frac{42800}{T} - 17,10\right)}$ [13]	16
$3[Si] + 2[Al_2O_3] \leftrightarrow 4[Al] + 3(SiO_2)$	$K_{Si, Al} = \frac{a_{Al}^4 a_{SiO_2}^3}{a_{Si}^3 a_{Al_2O_3}^2} = 10^{\left(-\frac{42300}{T} + 16,615\right)}$ [14]	18

Die Anwendung der Gleichungen von thermodynamischem Gleichgewicht zwischen Sauerstoff und den Elementen [8] bis [13] ermöglicht parallele Bestimmung der thermodynamischen Aktivität von Sauerstoff über mehrere Elemente, wobei das Sauerstoffpotential denjenigen Desoxidanten bestimmt, der augenblicklich den niedrigsten Wert gibt.

Ein so bestimmtes Sauerstoffpotential ist die Grundlage zur Bestimmung von neuen Gleichgewichtsgehalten der Legierungselemente im Metallbad innerhalb des j-Schrittes, d. h. des partiellen Volumens bzw. der partiellen Masse des umgeschmolzenen Stahles (siehe Gleichungen [15] und [16] bzw. Abb. 2):

$$dV_j = \frac{\pi D_i^2}{4} (L_j - L_{j-1}) \quad [15]$$

$$dT_j = 0,92 \rho_{Me} \frac{\pi D_i^2}{4} (L_j - L_{j-1}) \quad [16]$$

Die augenblickliche Differenz zwischen dem Gehalt des einzelnen Elementes in partieller Masse des Metallbades und dem Gehalt in der Elektrode bestimmt die partielle Masse des einzelnen Elementes, welches oxidiert und ins Schlackenbad übergeht, wie z. B. Si:

$$dmSi_j = 0,92 \rho_{Me} \frac{\pi D_i^2}{4} (L_j - L_{j-1}) \cdot \frac{([\%Si]_E - [\%Si]_{i,j})}{100} \quad [17]$$

bzw. die Schlackenmasse vergrößert sich im j-Schritt um den Zuwachs SiO_2 , da das ganze Si aus der Differenz zwischen der Elektrode und dem Ingot nach der Gleichung [8] oxidiert:

$$dmSiO_{2,j} = 0,92 \rho_{Me} \frac{\pi D_i^2}{4} (L_j - L_{j-1}) \cdot \frac{MSiO_2}{MSi} \cdot \frac{([\%Si]_E - [\%Si]_{i,j})}{100} \quad [18]$$

The application of equations of thermodynamic equilibrium between oxygen and the elements [8] to [13] allows a parallel determination of thermodynamic activity of oxygen over several elements, whereby the oxygen potential defines the deoxidant which gives at that moment the lowest value.

Such oxygen potential represents the basis for determination of a new equilibrium content for alloying elements in a metal bath within the j-step i.e. partial volume and/or partial mass of remelted steel (see equations [15] and [16] and/or the fig. 2):

$$dV_j = \frac{\pi D_i^2}{4} (L_j - L_{j-1}) \quad [15]$$

$$dT_j = 0,92 \rho_{Me} \frac{\pi D_i^2}{4} (L_j - L_{j-1}) \quad [16]$$

The difference between the content of individual elements in a partial mass of metal bath and the content in the electrode defines the partial mass of individual elements which oxidizes and goes over to the slag bath as for example Si:

$$dmSi_j = 0,92 \rho_{Me} \frac{\pi D_i^2}{4} (L_j - L_{j-1}) \cdot \frac{([\%Si]_E - [\%Si]_{i,j})}{100} \quad [17]$$

and/or the slag bath increases in j-step for the SiO_2 growth, as the complete Si from the difference between the electrode and the ingot oxidizes according to the equation [8]:

$$dmSiO_{2,j} = 0,92 \rho_{Me} \frac{\pi D_i^2}{4} (L_j - L_{j-1}) \cdot \frac{MSiO_2}{MSi} \cdot \frac{([\%Si]_E - [\%Si]_{i,j})}{100} \quad [18]$$

Die Gleichung [18] kann wie folgt geschrieben werden:

$$dmSiO_2 = 15,45 \cdot 10^{-6} \rho_{Me,j} D_i^2 (L_j - L_{j-1}) \cdot ([\%Si]_E - [\%Si]_{i,j}) \quad [19]$$

Auch für andere Elemente gilt per Analogie das gleiche:

$$dmMnO_{,j} = 9,3 \cdot 10^{-6} \rho_{Me,j} D_i^2 (L_j - L_{j-1}) \cdot ([\%Mn]_E - [\%Mn]_{i,j}) \quad [20]$$

$$dmCr_2O_{3,j} = 10,55 \cdot 10^{-6} \rho_{Me,j} D_i^2 (L_j - L_{j-1}) \cdot ([\%Cr]_E - [\%Cr]_{i,j}) \quad [21]$$

$$dmV_2O_{5,j} = 10,63 \cdot 10^{-6} \rho_{Me,j} D_i^2 (L_j - L_{j-1}) \cdot ([\%V]_E - [\%V]_{i,j}) \quad [22]$$

$$dmFeO_{,j} = 9,3 \cdot 10^{-6} \rho_{Me,j} D_i^2 (L_j - L_{j-1}) \cdot ([\%Fe]_E - [\%Fe]_{i,j}) \quad [23]$$

$$dmAl_2O_{3,j} = 13,65 \cdot 10^{-6} \rho_{Me,j} D_i^2 (L_j - L_{j-1}) \cdot \left\{ \frac{S_d}{at} + ([Al]_{i,j} - [\%Al]_E) \right\} \quad [24]$$

Falls wir den Einfluß des Ablaufes von einzelnen Reaktionen und unterschiedlichen Umschmelzbedingungen auf die Veränderung der Zusammensetzung und der Schlackenmasse analysieren wollen, müssen wir im thermodynamischen und kinetischen Modell alle Parameter, die die materielle Schlackenbilanz beeinflussen, einschließen. Die Änderung der Schlackenmasse wegen des Ausdampfens von gasigen Reaktionsprodukten ist gleich:

$$dmi_j = (K_i - 0,1 \frac{dE}{Di}) (L_j - L_{j-1}) \quad [25]$$

Die Verdampfungskonstante K_i wurde am einfachsten aus der Differenz der Stoffbilanz bestimmt, indem die Anfangs- und die Endschlackenmasse, die Desoxidation der Schlacke mit Al-Granulen und das Ausscheiden der Schlacke in Form einer Kruste an der Oberfläche während der Umschmelzung einer Serie von Ingots aus Cr-Ni-Mo-V-Stahl unter konstanten Desoxidationsbedingungen begleitet wurden. Das Ausscheiden der Schlacke an der Ingotoberfläche in Form von erstarrter Kruste hängt von mehreren Faktoren ab, wie z. B. von Temperaturverhältnissen im System Schlacke-Metallbad, von Oberflächenspannungen des Stahles und der Schlacke usw. Durch rechnerunterstützte Steuerung des Umschmelzverfahrens und durch sichere Überwachung der Elektrodeneintauchung ins Schlackenbad in die Tiefe von 10 bis 20 mm ist die Schlackenkruste bei Cr-Ni-Mo-V-Stahl 0 bis 6 mm dick. Der statistische Durchschnitt für 10 In-

The equation [18] can be put down as follows:

$$dmSiO_2 = 15,45 \cdot 10^{-6} \rho_{Me,j} D_i^2 (L_j - L_{j-1}) \cdot ([\%Si]_E - [\%Si]_{i,j}) \quad [19]$$

According to the analogy, the same applies also to other elements:

$$dmMnO_{,j} = 9,3 \cdot 10^{-6} \rho_{Me,j} D_i^2 (L_j - L_{j-1}) \cdot ([\%Mn]_E - [\%Mn]_{i,j}) \quad [20]$$

$$dmCr_2O_{3,j} = 10,55 \cdot 10^{-6} \rho_{Me,j} D_i^2 (L_j - L_{j-1}) \cdot ([\%Cr]_E - [\%Cr]_{i,j}) \quad [21]$$

$$dmV_2O_{5,j} = 10,63 \cdot 10^{-6} \rho_{Me,j} D_i^2 (L_j - L_{j-1}) \cdot ([\%V]_E - [\%V]_{i,j}) \quad [22]$$

$$dmFeO_{,j} = 9,3 \cdot 10^{-6} \rho_{Me,j} D_i^2 (L_j - L_{j-1}) \cdot ([\%Fe]_E - [\%Fe]_{i,j}) \quad [23]$$

$$dmAl_2O_{3,j} = 13,65 \cdot 10^{-6} \rho_{Me,j} D_i^2 (L_j - L_{j-1}) \cdot \left\{ \frac{S_d}{at} + ([Al]_{i,j} - [\%Al]_E) \right\} \quad [24]$$

If we want to analyse also the influence of development of each reaction and of different remelting conditions upon the change of composition and the slag mass, we have to include all parameters in the thermodynamic and kinetic model which effect the material balance of slag. The change of the slag mass due to the evaporation of gaseous reaction products is:

$$dmi_j = (K_i - 0,1 \frac{dE}{Di}) (L_j - L_{j-1}) \quad [25]$$

It was the easiest way to define the evaporation constant called K_i out of the difference of the material balance, whereby the initial and the final slag mass, slag deoxidation with Al granules and the elimination of slag in the form of a crust on the surface during the remelting of one series of ingots made of Cr-Ni-Mo-V steel were observed under constant deoxidation conditions. The elimination of slag on the ingot surface in the form of solidified crust depends on several factors as for example on temperature ratio in the system of slag-metal bath, surface stresses of steel and slag, etc. With computer-aided control of remelting process and with accurate monitoring of the electrode immersion into the slag bath 10 to 20 mm deep, the slag crust at the Cr-Ni-Mo-V steel is 0 to 6 mm thick. Statistic average for 10 ingots and 50 measurements shows 1,2 mm. However, the crust is not closed and it appears on the ingot surface here and there in the form of irregular

gots und 50 Messungen beträgt 1,2 mm. Die Kruste ist dabei nicht geschlossen und erscheint auf der Ingotoberfläche stellenweise in Form von unregelmäßig ausgebildeten parallelen Pässen mit einer Breite bis 100 mm und Masse:

$$dms_j = \pi D_{is} \rho_{zI}(L_j - J_{j-1}) \quad [26]$$

Die Summe der beschriebenen Einflüsse auf die Änderung der Schlackenmasse ergibt die gesamte Änderung der Schlackenmasse im j-Schritt:

$$dmz_j = dm_{SiO_2,j} + dm_{MnO,j} + dm_{Cr_2O_3,j} + dm_{FeO,j} + dm_{Al_2O_3,j} - dm^{li} - dm^{ei} \quad [27]$$

Die neue Schlackenmasse im j-Schritt wird so bestimmt, daß die Änderungen der Masse im j-Schritt der Schlackenmasse im (j-1)-Schritt zugeordnet werden:

$$Tz_j = Tz_{j-1} + dmz_j \quad [28]$$

Dabei wird im ersten Schritt anstatt Tz_{j-1} die Anfangsschlackenmasse Tz_{zs} genommen. Bei der Errechnung der neuen Zusammensetzung der Schlacke wird die Masse der einzelnen Schlackenkomponenten aus dem (j-1)-Schritt berücksichtigt:

$$m_{j-1,k} = Y_{j-1,k} \frac{Tz_{j-1}}{100} \quad [29]$$

Die Änderung der Masse im j-Schritt nach der allgemeinen Gleichung wird dazugerechnet:

$$m_{k,j} = m_{k,j} + dm_{k,j}^z \quad [30]$$

was die neue Zusammensetzung der Schlacke im j-Schritt feststellen ließ:

$$Y_{k,j} = m_{k,j} \frac{Tz_j}{10} \quad [31]$$

Die neue Zusammensetzung ist der Ausgangspunkt für die Errechnung von thermodynamischen Aktivitäten der Schlackenkomponenten im j+1-Schritt laut den Gleichungen [1] bis [5] und für die Errechnung des Sauerstoffpotentials und des Gehaltes der restlichen Elemente.

ERGEBNISSE

Aufgrund des aufgestellten Algorithmus wurde ein Rechnerprogramm ausgearbeitet, welches an den Probeschmelzen in Betriebsbedingungen überprüft wurde. Tabelle 2 zeigt die Umschmelzbedingungen für die Schmelze 03756. Aus Abb. 2 ist die tatsächliche Aluminiumverteilung, aus Abb. 3 jedoch die Siliziumverteilung längs des Blocks ersichtlich, und zwar im Vergleich mit dem Modell für die minimal, mittel und maximal ausgemessene Temperatur an der Grenzfläche Metall-Schlacke. Parallel verlief auch die Analyse der

parallel zones up to 100 mm wide and with the following mass:

$$dms_j = \pi D_{is} \rho_{zI}(L_j - J_{j-1}) \quad [26]$$

The sum of the described influences upon the change of the slag mass provides the whole change of the slag mass in j-step:

$$dmz_j = dm_{SiO_2,j} + dm_{MnO,j} + dm_{Cr_2O_3,j} + dm_{FeO,j} + dm_{Al_2O_3,j} - dm^{li} - dm^{ei} \quad [27]$$

The new slag mass in j-step shall be defined by adding the changes of the mass in j-step to the slag mass in (j-1)-step:

$$Tz_j = Tz_{j-1} + dmz_j \quad [28]$$

In the first step, the initial slag mass Tz_{zs} shall be applied instead of Tz_{j-1} . When calculating the new slag composition, the mass of individual slag components from the (j-1)-step shall be considered:

$$m_{j-1,k} = Y_{j-1,k} \frac{Tz_{j-1}}{100} \quad [29]$$

The change of the mass in j-step is added using the general equation:

$$m_{k,j} = m_{k,j-1} + dm_{k,j}^z \quad [30]$$

which allows us to determine the new composition of slag in the j-step:

$$Y_{k,j} = m_{k,j} \frac{Tz_j}{10} \quad [31]$$

New composition represents the basis for the calculation of thermodynamic activities of slag components in j+1-step according to the equations [1] to [5] and for the calculation of the oxygen potential as well as the content of the remaining elements.

RESULTS

On the basis of the established algorithm, a computer program was made which was checked on test heats under operation conditions. Table 2 shows remelting conditions for the heat 03756. Fig. 2 shows actual aluminium distribution and fig. 3 the silicon distribution along the ingot, and this is made in comparison to the model for the minimal, medium and maximal temperature on the interface metal-slag. Parallely, the analysis of slag composition was running, which is represented on fig. 4 to 7 in an analogous way.

This model helped us also define the activity coefficients of slag components in dependence upon composition and temperature. On fig. 8 we can see the activity of FeO, on fig. 9 the activity of

Tabelle 2

Eingabedaten zu den Modelltesten bzw. die Bedingungen der Umschmelzung der Probeschmelze 03756

1. Elektrodeschmelze Nr. 26947	
Zusammensetzung (Mas.-%):	
Al	0,010
C	0,37
Co	0,06
Cr	1,05
Cu	0,19
H	0,0003
Mn	0,26
Mo	0,59
N	0,0100
Ni	3,13
O	0,0060
P	0,0090
S	0,0030
Si	0,36
V	0,14
Durchmesser (mm)	350
2. Schlacke	
Zusammensetzung (Mas.-%):	
CaO	28,15
CaF ₂	30,20
Al ₂ O ₃	31,40
SiO ₂	2,40
MgO	7,60
FeO	0,22
MnO	0,03
Dichte (bei 293 K in kg/m ³)	3400
3. Temperatur (gemessen an der Schmelzgrenzfläche Schlacke-Stahl in K)	
- Mitteltemperatur	1968
- min. Temperatur	1853
- max. Temperatur	2072
4. Kristallisator	
(Durchmesser in m)	0,50
5. Block	
- Durchmesser (m)	0,48
- Länge (m)	5,00
6. Schmelzrate (kg/h)	
	450
7. Schlackengewicht beim Start (kg)	
	50
8. Desoxidation der Schlacke	
- in % der Schmelzrate	0,07
- in kg der Al-Granulen/h	0,315

Table 2

Input data for the model testing and/or remelting conditions for a test heat 03756

1. Electrode - heat No. 26947	
composition (mass %):	
Al	0,010
C	0,37
Co	0,06
Cr	1,05
Cu	0,19
H	0,0003
Mn	0,26
Mo	0,59
N	0,0100
Ni	3,13
O	0,0060
P	0,0090
S	0,0030
Si	0,36
V	0,14
diameter (m)	0,350
2. Slag	
composition (mass %):	
CaO	28,15
CaF ₂	30,20
Al ₂ O ₃	31,40
SiO ₂	2,40
MgO	7,60
FeO	0,22
MnO	0,03
density (at 293 K in kg/m ³)	3400
3. Temperature (taken at the melting interface slag-steel in K)	
- medium temperature	1968
- min. temperature	1853
- max. temperature	2072
4. Crystallizer	
(diameter in m)	0,50
5. Ingot	
- diameter (m)	0,48
- length (m)	5,00
6. Melting rate (kg/h)	
	450
7. Slag weight at starting point (kg)	
	50
8. Deoxidation of slag	
- in % of melting rate	0,07
- in kg of Al-granules/h	0,315

Schlackenzusammensetzung, was in den Abb. 4 bis 7 analog dargestellt ist.

Mit dem Modell haben wir auch die Aktivitätskoeffizienten der Schlackenkomponenten in Abhängigkeit von der Zusammensetzung und Temperatur festgesetzt. In Abb. 8 wird die Aktivität des FeO dargestellt, in Abb. 9 die Aktivität des MnO, in

MnO, on fig. 10 the activity of SiO₂ and on fig. 11 the activity of Al₂O₃.

Fig. 12, 13 and 14 represent the oxygen activities which are defined through the equilibrium with silicon and aluminium, the instantaneous activity and the oxygen content. It is evident that with the temperature of 1853 K, the oxygen content is con-

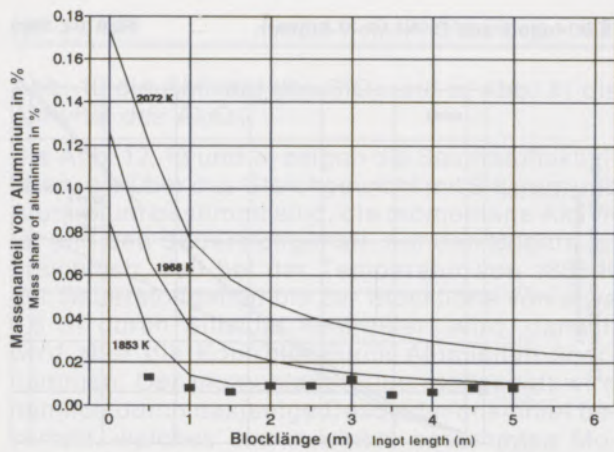


Abb./Fig. 2

Al-Verteilung im Block, Cr-Ni-Mo-V Stahl, Schmelze 03756
 Al-Distribution in ingot, Cr-Ni-Mo-V steel, Heat Nr. 03756

■ die tatsächlich ausgemessenen Werte der Schmelze Nr. 03756
 ■ actual measured values of heat Nr. 03756

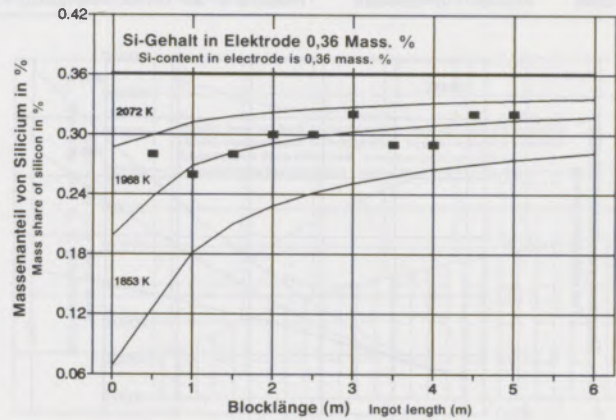


Abb./Fig. 3

Si-Verteilung im Block, Cr-Ni-Mo-V Stahl, Schmelze 03756
 Si-Distribution in ingot, Cr-Ni-Mo-V steel, Heat Nr. 03756

■ die tatsächlich ausgemessenen Werte der Schmelze Nr. 03756
 ■ actual measured values of heat Nr. 03756

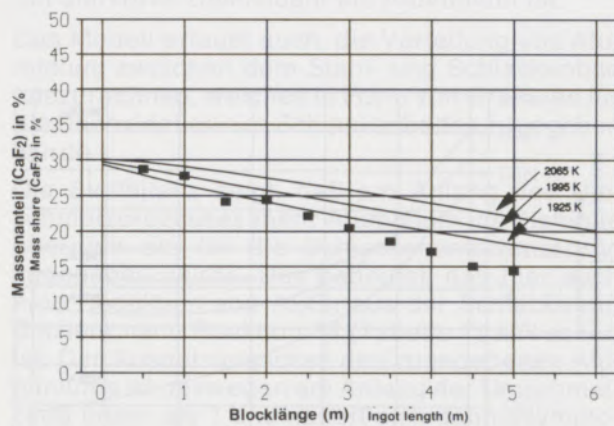


Abb./Fig. 4

CaF₂-Verteilung in der Schlacke, Cr-Ni-Mo-V Stahl, Schmelze 03756

CaF₂-Distribution in slag, Cr-Ni-Mo-V steel, Heat Nr. 03756

■ die tatsächlich ausgemessenen Werte der Schmelze Nr. 03756
 ■ actual measured values of heat Nr. 03756

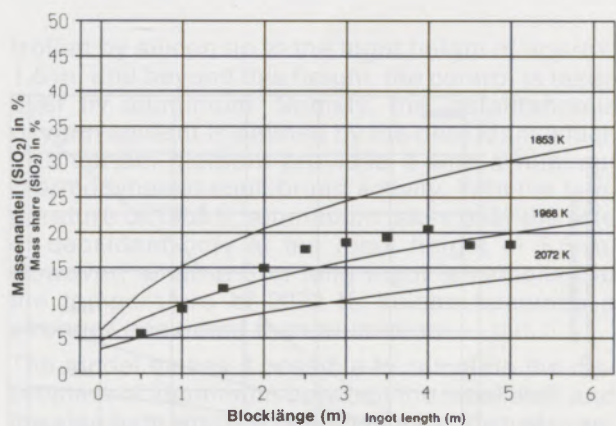


Abb./Fig. 5

SiO₂-Verteilung in der Schlacke, Cr-Ni-Mo-V Stahl, Schmelze 03756

SiO₂-Distribution in slag, Cr-Ni-Mo-V steel, Heat Nr. 03756

■ die tatsächlich ausgemessenen Werte der Schmelze Nr. 03756
 ■ actual measured values of heat Nr. 03756

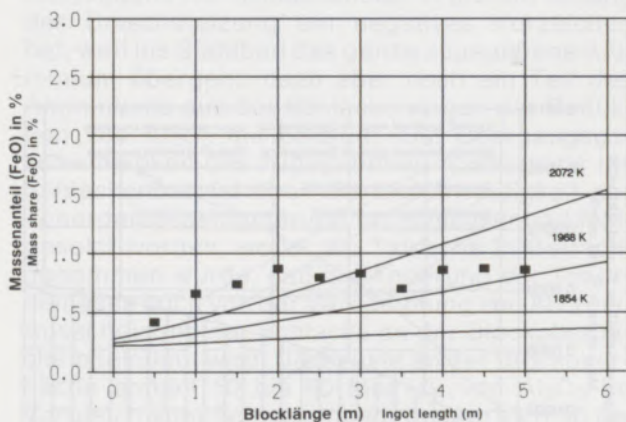


Abb./Fig. 6

FeO-Verteilung in der Schlacke, Cr-Ni-Mo-V Stahl, Schmelze 03756

FeO-Distribution in slag, Cr-Ni-Mo-V steel, Heat Nr. 03756

■ die tatsächlich ausgemessenen Werte der Schmelze Nr. 03756
 ■ actual measured values of heat Nr. 03756

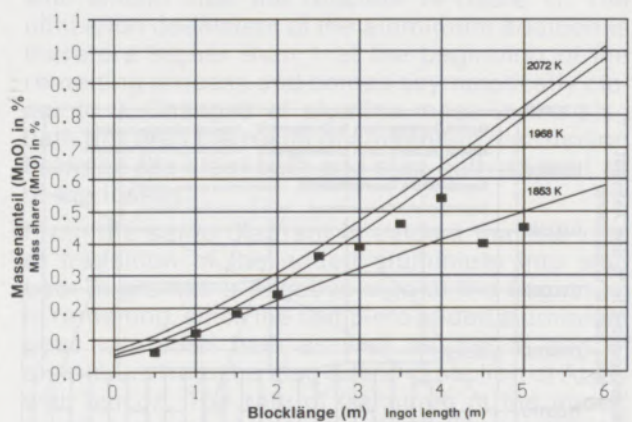


Abb./Fig. 7

MnO-Verteilung in der Schlacke, Cr-Ni-Mo-V Stahl, Schmelze 03756

MnO-Distribution in slag, Cr-Ni-Mo-V steel, Heat Nr. 03756

■ die tatsächlich ausgemessenen Werte der Schmelze Nr. 03756
 ■ actual measured values of heat Nr. 03756

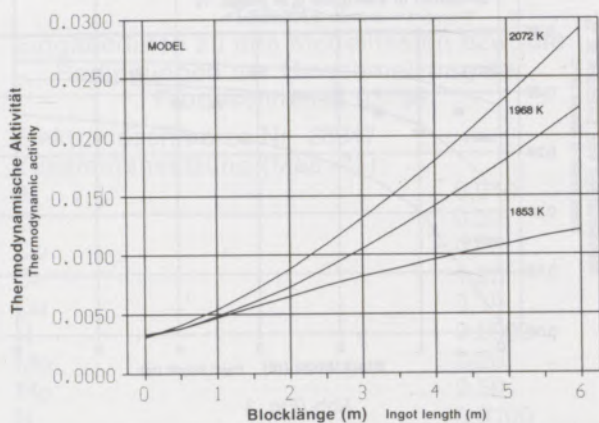


Abb./Fig. 8

FeO-Aktivität, Cr-Ni-Mo-V Stahl, Schmelze 03756
FeO-Activity, Cr-Ni-Mo-V steel, Heat Nr. 03756

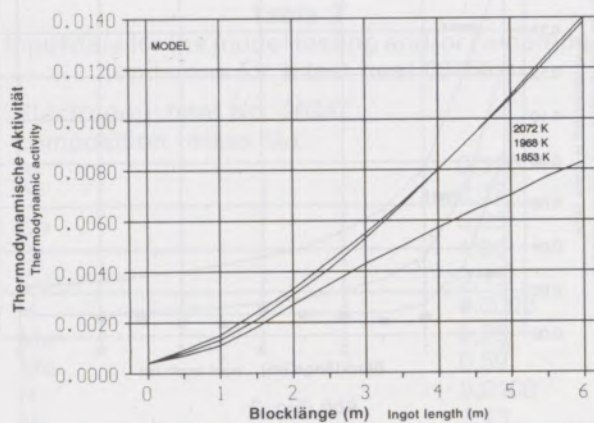


Abb./Fig. 9

MnO-Aktivität, Cr-Ni-Mo-V Stahl, Schmelze 03756
MnO-Activity, Cr-Ni-Mo-V steel, Heat Nr. 03756

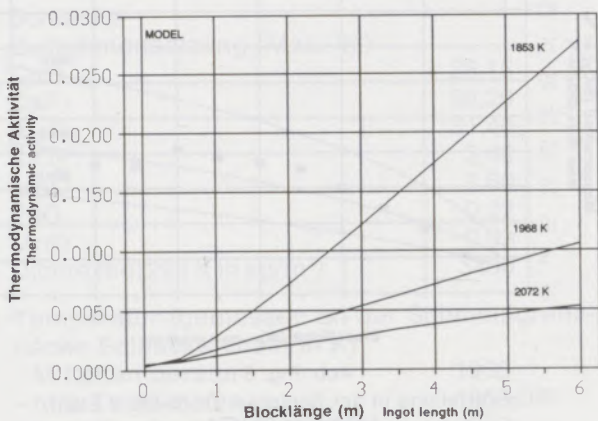


Abb./Fig. 10

SiO₂-Aktivität, Cr-Ni-Mo-V Stahl, Schmelze 03756
SiO₂-Activity, Cr-Ni-Mo-V steel, Heat Nr. 03756

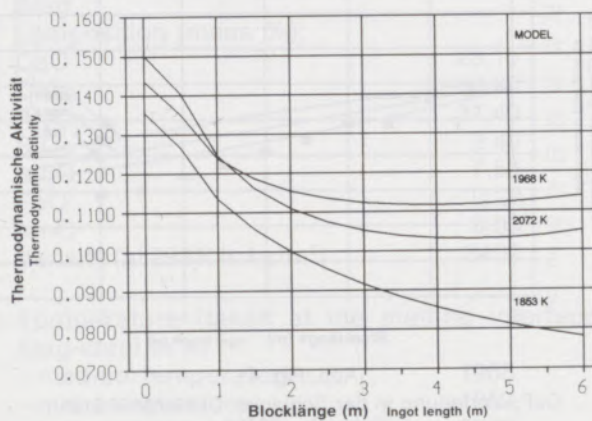


Abb./Fig. 11

Al₂O₃-Aktivität, Cr-Ni-Mo-V Stahl, Schmelze 03756
Al₂O₃-Activity, Cr-Ni-Mo-V steel, Heat Nr. 03756

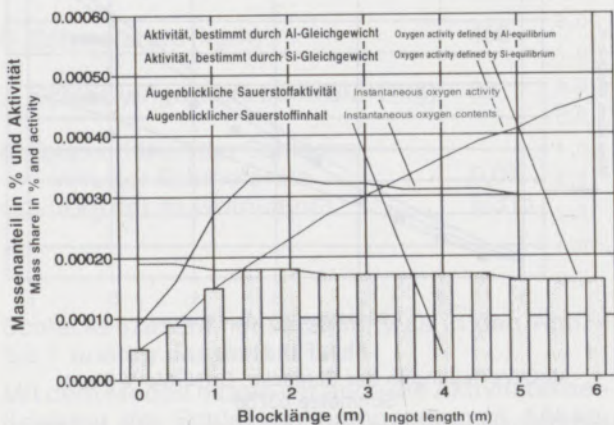


Abb./Fig. 12

Sauerstoffinhalt, Modellanalyse für Ch. 03756, T=1853 K
Oxygen content, model analysis for Heat 03756, T=1853 K

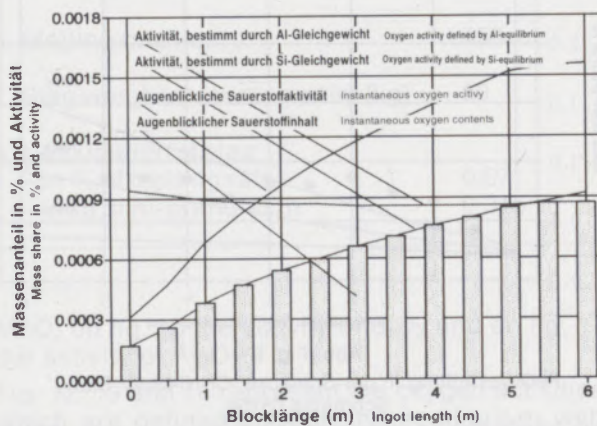


Abb./Fig. 13

Sauerstoffinhalt, Modellanalyse für Ch. 03756, T=1968 K
Oxygen content, model analysis for Heat 03756, T=1968 K

Abb. 10 die Aktivität des SiO_2 und in Abb. 11 die Aktivität des Al_2O_3 .

Die Abb. 12, 13 und 14 zeigen die Sauerstoffaktivitäten, die über das Gleichgewicht mit Silizium und Aluminium bestimmt sind, die momentane Aktivität und den Sauerstoffgehalt. Auf den Bildern ist ersichtlich, daß bei der Temperatur von 1853 K der Sauerstoffgehalt bis zur Blockhöhe von etwa 1,5 m durch Silizium kontrolliert wird, danach wird aber die Kontrolle durch Aluminium übernommen. Der momentane Sauerstoffgehalt wird nämlich durch dasjenige Desoxidationsmittel bestimmt, welches ihm in einem bestimmten Moment die minimale thermodynamische Gleichgewichtsaktivität verschafft. Bei der Temperatur von 1968 K übernimmt Aluminium die Rolle des Desoxidants erst bei der Blockhöhe von 5,5 m, wobei während der Umschmelzung eines 6 m langen Blocks bei der Temperatur von 2072 K Silizium ein stärkeres Desoxidant als Aluminium ist.

Das Modell erlaubt auch, die Verteilung von Aluminium zwischen dem Stahl- und Schlackenbad auszurechnen, welches in Form von Granulen für die Desoxidation des Schlackenbades zugegeben wurde.

Die Stoffbilanz zeigt, daß am Anfang des Umschmelzprozesses mehr Aluminium ins Stahlbad übergeht als für die Schlackenumschmelzung zugegeben wurde. Das bedeutet, daß hier auch eine Reduktion von Al_2O_3 aus der Schlacke mit Silizium nach Reaktion 14 (Tabelle 1) anwesend ist. Der Ausnutzungsgrad des zugegebenen Aluminiums ist deswegen am Anfang der Umschmelzung höher als 1 und nähert sich dann asymptotisch an 0. Die Änderungen der Tonerdemasse im Schlackenbad ist das Resultat der Verteilung von Aluminium zwischen dem Stahl- und Schlackenbad und der Verluste.

Aus dem gleichen Diagramm ist zu ersehen, daß die Übergangsgeschwindigkeit des zugegebenen Aluminiums ins Schlackenbad in g/s am Anfang der Umschmelzung ein negatives Vorzeichen hat, weil ins Stahlbad das ganze zugegebene Aluminium übergeht, dazu aber noch ein Teil des Aluminiums aus der Schlacke wegen der Reduktion von Al_2O_3 mit Silizium. Die Übergangsgeschwindigkeit des zugegebenen Aluminiums ins Schlackenbad ist über die Geschwindigkeit der Tonerdemassenänderung im Schlackenbad festgesetzt worden, wobei die Tatsache in Betracht genommen wurde, daß die Änderung der Tonerdemasse auch von der Verdampfung von AlF_3 und Ausscheidung der Schlacke an der Blockoberfläche beeinflusst wird. Die Kruste an der Blockoberfläche enthält 50 bis 60 Mas.-% von Al_2O_3 im Vergleich zum Schlackenbad, in dem sich 30 bis 35 % Al_2O_3 befinden, was in dieser Stoffbilanz berücksichtigt wurde.

Das Diagramm auf Abb. 15 zeigt den Ausbringungsgrad der zugegebenen Al-Granulen (relativer Anteil des Übergangs ins Stahlbad) und gleichzeitig die Übergangsgeschwindigkeit ins

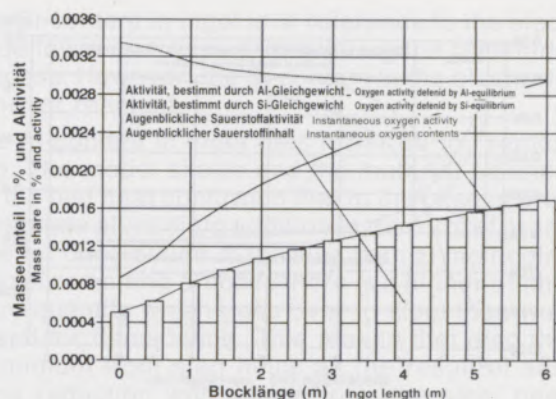


Abb./Fig. 14

Sauerstoffinhalt, Modellanalyse für Ch. 03756, $T = 2072 \text{ K}$
Oxygen content, model analysis for Heat 03756, $T = 2072 \text{ K}$

trolled by silicon up to the ingot height of approx. 1,5 m, and beyond this height, the control is taken over by aluminium. Namely, the instantaneous oxygen content is defined by the deoxidant which in a certain moment provides it with a minimal thermodynamic equilibrium activity. With the temperature of 1968 K, aluminium takes over the role of deoxidant only at the ingot height of 5,5 m. However, when a 6 m long ingot is remelted at the temperature of 2072 K, silicon becomes a stronger deoxidant than aluminium.

The model makes it possible to calculate the distribution of aluminium between the steel bath and the slag bath which was added in the form of granules for the slag bath deoxidation.

The material balance shows that at the beginning of the remelting process there is a larger quantity of aluminium transferred over to the steel bath than was added for slag remelting. This means we have also a reduction of Al_2O_3 from the slag with silicon after the reaction 14 (table 1). The utilization coefficient of the aluminium addition is therefore higher than 1 at the beginning of the remelting process and comes asymptotically closer to 0. Changes of alumina mass in the slag bath are then the result of aluminium distribution between the steel bath and slag bath as well as of the losses.

From the same diagram is evident that the rate of transition of the added aluminium into slag bath in g/s has a negative sign at the beginning of remelting, since the complete added aluminium goes into steel bath as well as also a part of aluminium from the slag due to reduction of Al_2O_3 with silicon. The rate of transition of the added aluminium into slag bath was determined to be above the rate of alumina mass change in a slag bath, whereby the fact was considered that the change of alumina mass was effected also by vaporization of AlF_3 and elimination of slag at the ingot surface. The crust on the ingot surface contains 50–60 mass % of Al_2O_3 in comparison to

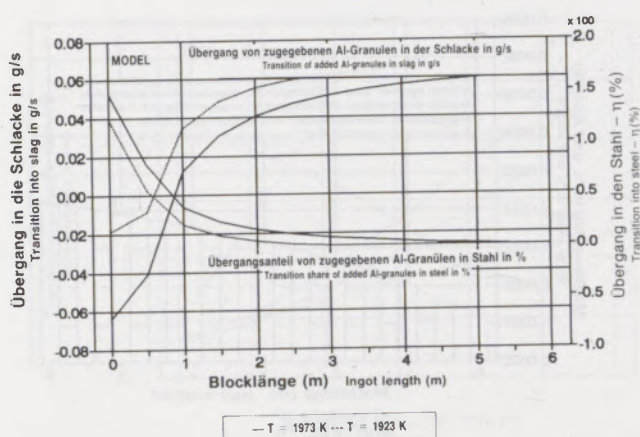


Abb./Fig. 15

Verteilung von Al-Körnern, Cr-Ni-Mo-V Stahl, Ch. 03756 und 03757

Distribution of Al-Grains, Cr-Ni-Mo-V steel, Heats 03756 and 03757

Schlackenbad (in g/s) bei Temperaturen von 1923 bzw. 1973 K. Man sieht, daß bei einer niedrigeren Temperatur ins Stahlbad weniger und ins Schlackenbad mehr Aluminiumkörner in Form von Al_2O_3 übergehen als bei einer höheren Temperatur. Deshalb ist auch der Al-Gehalt im Block höher als bei der Umschmelzung mit einer höheren Temperatur (siehe Abb. 2).

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der Algorithmus des Modells nimmt die Betriebsbedingungen für Elektroschlackenumschmelzung der Stähle wie auch die neuesten Literaturangaben über thermodynamische Mengen in Betracht. Das Modell beruht auf Festlegung der thermodynamischen Aktivitäten der Schlackenkomponenten und -elemente im Stahlbad, Masseübertragung der Stoffe zwischen Gas-, Schlacken- und Metallphase und auf der Stoffbilanz der chemischen Prozesse beim Umschmelzen.

Die thermodynamischen Aktivitäten der Schlackenkomponenten CaO , CaF_2 , Al_2O_3 , SiO_2 , FeO , MnO und MgO waren mittels der statistischen Thermodynamik, thermodynamische Aktivitäten der Elemente im Metallbad jedoch mittels der Wirkungsparameter festgesetzt. Bei der Stoffbilanz des Verfahrens sind die Änderungen berücksichtigt, die wegen der Oxidationsreaktionen von Elementen im Metallbad, Ausdampfung von Schlackenkomponenten, Schlackenausscheidungen auf Blockoberfläche in Form der erstarrten Kruste und Aluminiumzugabe zur Desoxidation des Schlackenbades entstehen.

Die durch das Modell gewonnenen Ergebnisse zeigen, daß das Sauerstoffpotential im Stahlbad durch das Desoxidationsmittel bzw. seine Gleichgewichtsreaktion mit dem Sauerstoff bestimmt wird, welches in einem bestimmten Augenblick

slag bath which contains 30–35 % Al_2O_3 which was also considered in this material balance.

The diagram in fig. 15 shows the recovery level of added Al-granules (a relative share of transition into steel bath) and at the same time the rate of transition into slag bath (in g/s) at temperatures 1923 and/or 1973 K. It is obvious that at lower temperatures there is a lower quantity of aluminium grains which go over to steel bath in the form of Al_2O_3 and a higher quantity of such aluminium grains going over to slag bath than with high temperatures. Therefore, the Al-content in ingot is also higher than when remelting at higher temperatures (see fig. 2).

CONCLUSIONS

The algorithm of the model considers the operation conditions for electric slag remelting of steels as well as also the latest literature information on thermodynamic quantities. The model is based on the determination of thermodynamic activities of slag components and elements in a steel bath, mass transfer of materials between the gas, slag and metal phase and on the material balance of chemical processes during remelting.

Thermodynamic activities of the slag components CaO , CaF_2 , Al_2O_3 , SiO_2 , FeO , MnO and MgO were determined by statistic thermodynamics and thermodynamic activities of elements in metal bath by interaction parameters. In material balance of the process, the changes are viewed which result from oxidation reactions of elements in a metal bath, vaporization of slag components, slag elimination on the ingot surface in the form of a solidified crust and from the aluminium addition for deoxidation of the slag bath.

The results gained with this model show that the oxygen potential in a steel bath is defined by the deoxidant and/or its equilibrium reaction with oxygen which is in a certain moment provided with a minimal thermodynamic equilibrium activity of oxygen. At the beginning of remelting it is approx. 0.0002 and towards the end of remelting of a 6 m long ingot 0.0010, depending upon remelting conditions. The higher the temperature, the higher the thermodynamic activity of oxygen. At the beginning of remelting, oxygen potential is determined by silicon and later on by aluminium; the higher the remelting temperature is, the later aluminium will take over the role of silicon and vice versa.

Thermodynamic activities of Al_2O_3 , FeO and MnO rise parallelly with temperature, and thermodynamic activity of SiO_2 falls. Due to a silicon loss, the activity of SiO_2 rises from approx. 0.0001 at the beginning of remelting to approx. 0.01 at the end of the remelting process of a 6 m long ingot.

The activity of slag oxides: a_{FeO} rises from approx. 0.004 to 0.02, with a_{MnO} from approx. 0.0003 to 0.015 and with $a_{Al_2O_3}$ it falls from 0.15 to approx. 0.11 at the end of remelting.

mit minimaler thermodynamischer Gleichgewichtsaktivität des Sauerstoffs versehen ist. Die beträgt am Anfang der Umschmelzung etwa 0,0002 und gegen das Ende der Umschmelzung eines 6 m langen Blocks 0,0010, bedingt durch die Umschmelzbedingungen. Je höher die Temperatur, desto größer die thermodynamische Aktivität des Sauerstoffs. Am Anfang der Umschmelzung wird das Sauerstoffpotential durch Silizium, später durch Aluminium bestimmt; je höher die Umschmelztemperatur, umso später wird Aluminium die Rolle des Siliziums übernehmen und umgekehrt.

Die thermodynamischen Aktivitäten von Al_2O_3 , FeO und MnO steigen mit der Temperatur, wobei die thermodynamische Aktivität des SiO_2 sinkt. Wegen des Siliziumabbrandes steigt die Aktivität des SiO_2 von etwa 0,0001 am Anfang der Umschmelzung bis ungefähr 0,01 am Ende des Umschmelzverfahrens des 6 m langen Blocks.

Die Aktivität des FeO a_{FeO} steigt von ungefähr 0,004 auf 0,02, bei a_{MnO} von etwa 0,0003 auf 0,015, und bei $a_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ nimmt sie jedoch von 0,15 auf etwa 0,11 am Ende der Umschmelzung ab.

Der Si-Gehalt im Block ist in Hinsicht auf die Elektrode geringer, während der Umschmelzung wird es zwar größer, jedoch wird der Si-Gehalt in der Elektrode nicht erreicht.

Der Al-Gehalt im Block wird während der Umschmelzung geringer. Das Modell zeigt und die Stoffbilanz der Probeschmelzen hat bestätigt, daß bei gleichmäßigeren Zugaben von Aluminium in Form von Granulen für die Desoxidation des Schlackenbades am Anfang des Umschmelzverfahrens eine größere Aluminiummenge in den Stahl übergeht als für die Desoxidation zugegeben wurde. Das bedeutet, daß auch das Aluminium aus der Schlacke als Folge der Tonerdereduktion mit Silizium aus der Stahlschmelze, welches deswegen oxidiert und in die Schlacke übergeht, mitwirkt. Bald nach Anfang der Umschmelzung verändern sich die thermodynamischen Bedingungen, so daß die Reduktion von Al_2O_3 mit Silizium eingestellt und das zugegebene Aluminium in Form von Granulen zwischen der Schlacke und dem Stahl verteilt wird.

Während der Umschmelzung oxidiert immer mehr Aluminium und geht in Form von Al_2O_3 in die Schlacke über, und zwar in Abhängigkeit von der Temperatur und anderen Umschmelzbedingungen. Mit dem Modell kann der Aluminiumanteil bestimmt werden, der in das Schlacken- bzw. Metallbad übergeht. Das verschafft die Möglichkeit, die Aluminiumzugabe in bezug auf seinen gewünschten Wert im Block anzupassen.

The Si-content in ingot is in reference to the electrode lower and rises a little during the remelting process. However, the Si-content in the electrode is never reached.

The Al-content in ingot gets lower during remelting. The model shows and the material balance for the test heat confirmed that in the case of proportionate aluminium addition in the form of granules for deoxidation of the slag bath at the beginning of remelting process there is a higher aluminium quantity which goes over to steel than was added for deoxidation. This means that also the aluminium from slag helps as the result of alumina reduction with silicon from the steel heat which therefore oxidizes and passes over to slag. Soon after remelting begins, thermodynamic conditions change, so that the reaction of Al_2O_3 is stopped with silicon and the aluminium added is distributed in the form of granules between slag and steel.

During the remelting process, more and more aluminium oxidizes and goes into slag in the form of Al_2O_3 in dependence upon temperature and other remelting conditions. This model helps us define the aluminium share which passes into slag bath and/or metal bath. This provides us with the possibility to adapt the addition of aluminium in reference to its demanded value in the block.

Literaturverzeichnis/References

1. Koroušič, B.: „Prispevek k termodinamiki reakcij, ki nastopajo pri EPŽ – procesu“, Železarski zbornik, (Ljubljana) 14, (1980), Nr. 1/2, 65–71.
2. Koroušič, B.: „Über die Oxidationsgleichgewichte beim

3. Koroušič, B., W. Holzgruber: „Über die Oxidationsgleichgewichte bei der Reduktion von Eisenoxid mit Kohlenstoff“, Teil I: Verhalten von Sauerstoff beim ESU-Verfahren, Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, (Leoben) 122 (1977), Heft 7, 287–291.

- gewichte beim Elektro-Schlacke-Umschmelzen", Teil II: Verhalten von Aluminium und Titan beim ESU-Verfahren, Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, (Leoben) 123 (1978), Heft 1, 17-22.
4. Holzgruber, W., E. Plöckinger: „Metallurgische und Verfahrenstechnische Grundlagen des Elektroschlacke-Umschmelzens von Stahl“, Stahl und Eisen, (Düsseldorf) 88 (1968), Nr. 12, 638-648.
 5. Wahlster, M., A. Choudhury, L. Rohde: „Herkunft und Wirkung nichtmetallischer Einschlüsse im Stahl“, Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, (Leoben) 115 (1970), Heft 11, 335-343.
 6. Koroušič, B.: „O termodinamike reakcij pri EŠP“, Problemi specialnoj elektrometallurgii, (Kiev) 13 (1980), 12-23.
 7. Chi-Ho, W., A. Mitchell: „Changes in composition during A.C. ESR“, Proc. 7th ICVM, 1982, Tokyo, Japan, 1224-1230.
 8. Schürmann, E., H. Maas, P. Mathis: „Verhalten des Wasserstoffs beim Elektro-Schlacke-Umschmelzen in einer Versuchsanlage“, Arch. Eisenhüttenwesen, (Düsseldorf) 52 (1981), Nr. 8, 303-310.
 9. Fraser, M. E., A. Mitchell: „Masstransfer in the electroslag process: Part 1 mass transfer model“, Ironmaking and Steelmaking, (London) 1976, No. 5, 279-287.
 10. Fraser, M. E., A. Mitchell: „Masstransfer in the electroslag process: Part 2 masstransfer coefficients“, Ironmaking and Steelmaking, (London) 1976, No. 5, 288-301.
 11. Švajger, M.: „Die Optimierung der Umschmelztechnologie der langen Ingots nach dem ESU-Verfahren“, Magisterarbeit Universität Ljubljana, (1984).
 12. Gmelin - Durrer: Metallurgie des Eisens, Band 5: Trenkler, H., W. Krieger: „Theorie der Stahlerzeugung 1“, Springer-Verlag, (Berlin-Heidelberg-New York) 1978, 127a-167a.
 13. Carmona, F. R., A. Mitchell: ESR ingot and inclusion compositions as a function of slag chemistry“, Proc. 8th ICVM, 1984, Linz, Austria, 973-1013.
 14. Vladimirov, L. P., N. M. Kopiza, V. V. Sumenkova: „Ob aktivnosti kisloroda i kremnija v rasplavah Fe-O-Si“, Akad. nauk SSSR, Metally, (Moskva) 1973, Nr. 5, 89/95.
 15. Jacquemot, A., C. Gatellier, M. Olette: Compt. Rend. C, (Paris) 277 (1973), 271/3.
 16. Knüppel, H.: „Desoxydation und Vakuumbehandlung von Stahlschmelzen, Band I: Thermodynamische und kinetische Grundlagen“, Verlag Stahleisen, (Düsseldorf) 1970, 24-92.
 17. Jacquemot, A., C. Gatellier: IRSID-Rep. RE 289 (mars 1975).
 18. Narita, K., S. Kojama: „Deoxidation Equilibria of Vanadium, Niobium, and Tantalum in Liquid Iron“, Trans. ISIJ, (Tokyo) 9 (1969), 53/8.
 19. Dobovišek, B.: Metalurške žlindre, Ljubljana, (1989), 67-77.
 20. Kožeurov, V. A.: Termodinamika metallurgičeskikh šlakov, Metallurgizdat, Sverdlovsk (1955), 7-12.

SCHLUSSTROCKUNGEN

Das Studium der Vorgänge beim ESU-Verfahren ist für die Optimierung des Verfahrens von großer Bedeutung. Die Untersuchung der Vorgänge beim ESU-Verfahren ist ein sehr komplexes Problem, das eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Metallurgie, Chemie und Physik erfordert. Die vorliegende Arbeit stellt die Ergebnisse der Untersuchung der Vorgänge beim ESU-Verfahren dar und zeigt die Optimierungsmöglichkeiten auf.

Die thermodynamischen und kinetischen Grundlagen des ESU-Verfahrens sind in der Literatur ausführlich behandelt. Die vorliegende Arbeit stellt die Ergebnisse der Untersuchung der Vorgänge beim ESU-Verfahren dar und zeigt die Optimierungsmöglichkeiten auf. Die Untersuchung der Vorgänge beim ESU-Verfahren ist ein sehr komplexes Problem, das eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Metallurgie, Chemie und Physik erfordert.

Die vorliegende Arbeit stellt die Ergebnisse der Untersuchung der Vorgänge beim ESU-Verfahren dar und zeigt die Optimierungsmöglichkeiten auf. Die Untersuchung der Vorgänge beim ESU-Verfahren ist ein sehr komplexes Problem, das eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Metallurgie, Chemie und Physik erfordert.

Die Untersuchung der Vorgänge beim ESU-Verfahren ist ein sehr komplexes Problem, das eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Metallurgie, Chemie und Physik erfordert. Die vorliegende Arbeit stellt die Ergebnisse der Untersuchung der Vorgänge beim ESU-Verfahren dar und zeigt die Optimierungsmöglichkeiten auf.

Die thermodynamischen und kinetischen Grundlagen des ESU-Verfahrens sind in der Literatur ausführlich behandelt. Die vorliegende Arbeit stellt die Ergebnisse der Untersuchung der Vorgänge beim ESU-Verfahren dar und zeigt die Optimierungsmöglichkeiten auf.

Die vorliegende Arbeit stellt die Ergebnisse der Untersuchung der Vorgänge beim ESU-Verfahren dar und zeigt die Optimierungsmöglichkeiten auf. Die Untersuchung der Vorgänge beim ESU-Verfahren ist ein sehr komplexes Problem, das eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Metallurgie, Chemie und Physik erfordert.

Richtungen der Untersuchungen von technologische Anlagen am Beispiel der Walzenbrikettierpressen

Zygmunt Drzymała, Krakau*)

Der vorliegende Beitrag enthält allgemeine Charakteristik der Verfahren zum Verdichten und Stückigmachen von feinkörnigen Stoffen mit besonderer Berücksichtigung der Walzenbrikettierpressen.

Beurteilt wurde der Stand der Theorie zur Verdichtung von feinkörnigen Stoffen in Walzenbrikettierpressen. Unter Zugrundelegung von eigenen Untersuchungen wurde ein modifiziertes mathematisches Modell des Verdichtungsprozesses von feinkörnigen Stoffen in einer Walzenpresse vorgestellt. Angeführt wurden die Ergebnisse von eigenen Versuchen der äußeren Reibungsveränderlichkeit im Brikettiervorgang.

Im gewählten Beispiel wurde die Computersimulation des Verdichtungsprozesses der Stoffe in einer Walzenpresse durchgeführt; dabei hat man die Ergebnisse von Versuchen der inneren Reibungsveränderlichkeit berücksichtigt.

Die Ergebnisse der Computersimulation wurden zur Erstellung der Richtlinien für eigene Konstruktionen der Walzenbrikettierpressen herangezogen. Mitgeteilt wurden auch die Ergebnisse der Untersuchungen über Verwendbarkeit der gewählten Werkstoffe für Betriebselemente der Walzenbrikettierpressen. Die Richtungen für weitere Untersuchungen wurden vorgeschlagen.

Research Trends in Technological Machines on Example of Roll Briquetting Machines

The paper presents a general outline of methods for compaction and consolidation of fine-grained materials with particular stress on roll briquetting machines. The evaluation of theories has been attempted on compaction of fine-grained materials in roll briquetting machines. A modified, based on own research, mathematical model of the process of compaction of fine-grained materials in a roll press was proposed.

The paper reveals the results of own experiments on variation in external friction in the process of briquetting.

For some materials computer simulation of compaction in a roll press was carried out, which included experimental results of external friction variation.

The results of computer simulation were used to work out directions for roll briquetting machines of own construction design.

The paper presents also the experimental results of usefulness of selected materials for working elements of roll machines, and proposes the ways in further research.

Les directions des études des appareils technologiques à l'exemple des presses à briquettes

Dans l'article on a présenté la caractéristique générale des méthodes de compactage et de fusion des matériaux à grains fins, en prenant surtout en considération les presses à briquettes cylindriques.

On a estimé l'état de connaissance de la théorie de compactage des matériaux à grains fins dans les presses à briquettes cylindriques.

On a présenté – à la base de propres expériences – un modèle mathématique modifié du procédé de compactage des matériaux à grains fins dans la presse à laminer.

On a inséré les résultats de propres recherches de la variation du frottement externe pendant le briquetage.

On a fait – sur les modèles choisis – la simulation numérique du procédé de compactage des matériaux dans la presse à laminer en prenant en considération les résultats des études de variation du frottement externe.

Les résultats de simulation numérique ont servi à la composition des directives de propres constructions des presses à briquettes cylindriques.

On a aussi présenté les résultats des recherches de l'aptitude des matériaux choisis aux éléments de travail des presses à briquettes.

On a proposé les directions des futures études.

1. EINLEITUNG

Die modernen Verfahren zur Gewinnung, Aufbereitung und Verarbeitung der Rohstoffe, beson-

*) Univ.-Prof. Dr.-Ing. hab. Zygmunt Drzymała
Technologische Anlagen und Umweltschutz,
Berg- und Hüttenuniversität Krakau

1. INTRODUCTION

Contemporary techniques of mining, enrichment and processing of raw materials, especially of minerals, generate substantial quantities of fine-grained waste of different kind, such as fines and minus-mesh in excavated material, dusts, sludge, chips etc. To rationally utilize these wastes in

ders aber der Mineralrohstoffe, haben auch das Entstehen bedeutender Mengen von verschiedenartigen feinkörnigen Abfällen (Staubkohle und Unterkorn im Fördergut, Stäube, Schlämme, Späne u. dgl.) zur Folge. Für rationelle Ausnutzung dieser Stoffe in der Wirtschaft sind in der Regel die frühere Verdichtung und das Erhalten einer stückigen Struktur des Materials unbedingt notwendig.

In mehreren verfahrenstechnischen Verarbeitungsprozessen der Rohstoffe und Mineralien wurden überdies das Brechen und Mahlen zur Gewinnung der bestimmten Abmessungen und Formen von Teilchen und zur Erhaltung deren Verteilung und dann die Verfahren zur Verdichtung und zum Stückigmachen der Stoffe (wie Erze und Metallkonzentrate, Metallpulver, keramische Stoffe u. dgl.) vorgesehen.

Zum Stückigmachen feinkörniger Stoffe werden drei wesentliche Verfahren eingesetzt: Sintern (Agglomerieren), Pelletisieren (anwachsendes Stückigmachen), Verdichten und Pressen (Brikettierung) (7), (13). Vom Standpunkt der Wirtschaftlichkeit des Prozesses aus ist das Sintern ein bis jetzt billigstes Verfahren zum Stückigmachen feinkörniger Stoffe, und daher hat diese Methode breite Anwendung, besonders im Hüttenwesen, gefunden. Es gibt aber besondere Fälle, wo das Sintern nicht eingesetzt werden kann.

Es betrifft Kohlenmaterialien, schlecht sinterbare Stoffe und Materialien, deren Rösten zu Änderungen der ursprünglichen chemischen Zusammensetzung dieser Stoffe führt; diese Änderungen erschweren oder machen die Führung des Umschmelzvorgangs in die gewünschte Richtung sogar unmöglich. Ein Beispiel dafür können hier polnische Kupfererze wegen ihres niedrigen Schwefelgehaltes und erhöhten Bitumengehaltes liefern. Für Fälle wie die beschriebenen oder ähnliche stehen die Pelletisierung oder das Brikettierungsverfahren zur Verfügung.

Das Pelletisieren erfordert aber einen hohen Zerkleinerungsgrad des Materials ($40 - 80 \mu\text{m}$), Anwendung eines Bindemittels und Erhaltung der Feuchtigkeit der zu granulierenden Masse auf einem unveränderlichen Niveau. Das „grüne“ Granulat bedarf in der Regel weiterer Verarbeitung durch Trocknen, Teilsintern, Erhitzen u. dgl., was den Pelletisierungsprozeß wesentlich kompliziert. Die Abmessungen und die Dichte des Granulats sind verhältnismäßig gering und unterschiedlich.

Zum Stückigmachen von mehreren feinkörnigen Stoffen, insbesondere von Abfallstoffen, bleibt somit einzig und allein das Brikettierverfahren. Zur Realisierung dieses Verfahrens werden Pressen verschiedener Bauart eingesetzt, nämlich Stempelpressen, Walzenpressen und Ringpressen.

Dieses Verfahren ist gekennzeichnet durch größte Entwicklungsdynamik weltweit, besonders

economy it is required to compact them and give them a lump form.

Moreover, many processing technologies for various raw materials include operations of crushing and milling to achieve specific sizes and shapes of particles, and required distribution of particles, and further operations like compaction and consolidation of materials. It refers to ores and metal concentrates, metal powders, ceramic materials, etc.

There are three basic methods of consolidating fine-grained materials, namely sintering (agglomeration), pelletization (accumulative consolidation), compaction and pressing (briquetting) (7), (13). As far as economics of the process is concerned the cheapest method of consolidating fine-grained materials is sintering, which, for this reason has been widely applied, especially in metallurgy. There are, however, some particular cases when sintering cannot be applied. It regards coal materials, materials sintering-resisting, and materials which change their chemical composition during roasting, and make it difficult or even impossible to lead the process of penetration in a required direction. This all applies to Polish copper ores, which have low content of sulphur and high content of bitumen. For all the materials mentioned and similar ones the only methods that can be applied are pelletization and briquetting.

Pelletization, however, demands the materials have high ratio of disintegration ($40 - 80 \mu$), binder should be used, and a specific constant level of humidity of the granulated pulp maintained. What more, a raw ("green") granulated product has to be subjected to further processing through drying, heating, partial sintering, etc., what makes the process of pelletization quite complicated. Size and density of granulated product are relatively small and different.

Thus, the only way of consolidating many fine-grained materials, especially waste materials, is the method of briquetting, which implies the application of various types of presses (briquetting machines), like stamp, roll and ring presses. This method is extensively developing in many countries, especially with the use of modern roll presses.

Decisions undertaken in the sixties on the construction of coal fines and semi-coke briquetting plants caused that the interest in roll presses in Poland increased. Compared to other types of briquetting presses, the roll presses show up many qualities, the most important of which are: low power demand for unit of finished product, permanent operation mode, high efficiency and consistency of construction. This is why roll presses have found the application also in copper-metallurgy for briquetting fine-grained copper concentrates. First roll briquetting machines were bought abroad, then the process of designing and constructing went on in Poland, with the attention put to gradual increase in their efficiency and to

dort, wo seine Realisierung auf moderne Walzenpressen gestützt wird.

Die in den sechziger Jahren getroffenen Entscheidungen über den Bau einer Brikettfabrik für Kohlenstaub und dann für Halbkoks haben auch ein wachsendes Interesse an Walzenpressen im Lande erweckt. Im Vergleich mit anderen Brikettierpressen haben sie mehrere Vorteile. Die wichtigsten davon sind: niedriger Energiebedarf auf eine Einheit des Endproduktes, stetiger Charakter des Betriebs, hohe Leistung und Kompaktaufbau. Damit haben die Walzenpressen ihre Anwendung auch in der Kupfermetallurgie zum Brikettieren von feinkörnigen Kupferkonzentraten gefunden. Die ersten Walzenbrikettierpressen wurden im Ausland eingekauft. Die weiteren wurden im Inland projektiert und hergestellt, wobei ihre Leistung allmählich erhöht und das Antriebssystem entwickelt wurden. Die in Polen hergestellten Pressen waren mit Schwerkraftspeiseeinrichtungen und mit Formringen mit tropfenförmigen Eintiefungen ausgerüstet. Derartige Konfiguration des Verdichtungssystems ermöglichte die Anwendung der inländischen Brikettierpressen zum Stückigmachen der verdichtungsfähigen Stoffe, in der Regel nach der Zugabe eines Bindemittels. Immer häufiger suggerierte man aber auch das erforderliche Zusammenpressen der schwer verdichtfähigen, lockeren Medien ohne Beimischung der Bindemittel. Aus dem Grunde wurden also am Lehrstuhl für Technologische Anlagen und Umweltschutz, Berg- und Hüttenuniversität Krakow (das ehemalige Institut für Hüttenmaschinen und Automatik) die Komplexuntersuchungen aufgenommen, deren Ziel die Erarbeitung einer verallgemeinerten Methode zur Wahl der Walzenpressen sowie auch die Entwicklung des Verdichtungssystems dieser Pressen war. Unter Zugrundelegung der Ergebnisse von eigenen Untersuchungen wurden die Prototypen zweier mit Symbolen PW 500 und PW 1000 bezeichneten Pressen zuerst konstruiert und dann ausgeführt. Sie können mit Erfolg zum Brikettieren so schwer verdichtbaren feinkörnigen Stoffen dienen, wie z. B. Braunkohle, Kalziumfluorid, gebrannter Kalk, Sätze für Glasfaser. In genannten Fällen können die Bindemittel aus verfahrenstechnischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht verwendet werden.

Moderne Walzenpressen eigener Konstruktion können zur Lösung des in Polen wesentlichen Problems beitragen, wie es die Verwertung feinkörniger Produktionsabfälle darstellt. Die Mehrheit dieser Abfälle gehört zu einer Gruppe der Materialien, die sich schwer brikettieren lassen. Die Formgebung eines feinkörnigen Abfallstoffes bildet in der Regel als ein stückiges Material – wie schon erwähnt – den ersten Schritt im Verwertungsprozeß dieses Materials. Es ist auch zu bemerken, daß die Entwicklung der Herstellung von zweckentsprechenden Walzenpressen eine Chance für viele Industriebetriebe bietet, die zur Veränderung ihres Produktionsprogramms oder

improvement of drive unit. The presses produced in Poland were equipped in gravity feeders and forming rings with drop-shaped cavities. Such a structure of the compaction unit made it possible to apply Polish briquetting machines to compact the materials compactible, usually after adding a binder. Because the demand has strongly arised for compaction of bulk materials hard to compact and without the use of binders, a complex research has been undertaken in the Department of Technological Machines and Environmental Protection, University of Mining and Metallurgy, Cracow, Poland (former Institute of Metallurgical Machines and Automatic Control) aimed at elaboration of a general method of selection of roll presses and at improvement of compaction unit of roll presses. Basing on the experimental results the prototypes of two roll presses, marked as PW 500 and PW 1000, were designed and constructed. They may be used with success for briquetting such highly incompactible fine-grained materials like, for example, brown coal, calcium fluoride, quicklime, and glass fibre concentrates. In these cases the binders cannot be used for technological and economic reasons. Modern roll presses of Polish origin may contribute to solving the problem of utilization of fine-grained industrial waste, which is crucial in Poland. Most of these materials are highly incompactible. The first stage in utilization of such materials, as has been mentioned before, is usually forming them into lumps. It should also be stressed that development in production of appropriate roll presses create new chances for many plants forced to changing the production profile, or to rational utilization of fine-grained technological waste.

This paper presents, most of all, the results of own, both cognitive and utilitarian research, which may contribute to modern design solutions of Polish roll presses. Trends in further research, part of which is now in progress, have also been presented.

2. THE PROBLEMS IN THEORY OF FINE-GRAINED MATERIALS COMPACTION

In practice, two kind of granular media have to be distinguished: cohesion media, for example natural land, and cohesionless media, for example porous bulk materials to be compacted.

In spite of granular structure of natural land and from view-point of its strength properties, it is treated as a continuous medium, with the strength model of elastic-plastic body. It is difficult to really reflect the relationship between stress and strain, so simplification has often been introduced to identify natural land with rigid-plastic bodies.

It is quite different with cohesionless porous bulk materials. Pressure exerted upon them causes compaction resulting in changes in physical properties. It makes impossible to treat consolidated materials as continuous media. Thus, indiscriminate application of continuous media

zur rationellen Verwertung feinkörniger Produktionsabfälle gezwungen sind.

In der vorliegenden Arbeit wurden vor allem die Ergebnisse eigener Erkennungs- und Utilitätsuntersuchungen angegeben, die zum Entstehen neuer Konstruktionsentwicklungen von einheimischen Walzenpressen beitragen könnten. Vorge stellt wurden auch die Richtlinien für weitere Untersuchungsarbeiten. Ein Teil davon ist aktuell realisiert.

2. PROBLEME ZUR VERDICHTUNGSTHEORIE VON FEINKÖRNIGEN STOFFEN

In der Praxis unterscheidet man zwei Arten von körnigen Medien: kohäsive, z. B. Naturböden und kohäsionslose Medien, z. B. die zum Verdichten vorbereiteten porösen, lockeren Stoffe. Bei der Beschreibung der Festigkeitseigenschaften betrachtet man die Naturböden trotz des körnigen Gefüges als kontinuierliche Medien. Sie haben das Festigkeitsmodell eines elastisch-plastischen Körpers. Die Berücksichtigung der reellen Abhängigkeit Spannung-Umformung stößt in der Praxis auf Schwierigkeiten. Aus dem Grunde wird häufig eine Vereinfachung eingeführt, und daher sind die Naturböden als starr-plastische Körper betrachtet.

Ganz anders sieht die Situation bei kohäsionslosen, porösen, lockeren Materialien aus. Der darauf ausgeübte Druck verursacht die Verdichtung, deren Folge die Änderungen der physikalischen Eigenschaften dieser Stoffe sind. Dies nun ermöglicht, konsolidierte Materialien als kontinuierliche Medien zu betrachten. Man kann nicht von Erkenntnissen der Mechanik kontinuierlicher Medien bei Modellierung des Verdichtungsprozesses von porösen, lockeren, sog. feinkörnigen Stoffen kritiklos Gebrauch machen. Damit läßt sich die Unvollkommenheit z. B. der Modelle für Verdichtungsprozesse bezüglich der Walzenpressen erklären. Diese Tatsache gab Anregung dazu, die Möglichkeiten zur genaueren mathematischen Beschreibung der wirklichen physikalischen Situation zu suchen.

2.1. Modellierung des Verdichtungsprozesses von feinkörnigen Stoffen in einer Walzenpresse

Bisher verwendete man hauptsächlich ein von J. R. Johanson (15) aufgebautes Modell. In seinen theoretischen Betrachtungen hat er wesentliche Vereinfachungen eingeführt. Eine Grundlage zur Erarbeitung dieses Modells bildete eine eigene empirische Formel, genannt die Verdichtungsgleichung. Ähnlich wie viele andere Formeln dieser Art, betrifft sie das Brikettieren von feinkörnigen Stoffen in einem geschlossenen Gesenk. Die veränderlichen Eigenschaften des Brikettiergutes hat J. R. Johanson mit Hilfe einer Konstanten berücksichtigt. Die Streitfrage bietet auch die Weise, auf die das Brikettieren durch Verdichtung

mechanics in modelling of compaction of porous bulk materials called fine-grained materials, is not possible. This accounts for deficiencies, for instance, in models of compaction processes especially in roll presses, and has made a stimulus to search for more precise mathematical description of real physical situation.

2.1. Modelling of the process of compaction of fine-grained materials in roll press

Mostly in use up to now has been a model elaborated by J. R. Johanson (15), who made considerable simplifications in his theoretical work. The model was based on the researchers' own empirical formula called the compaction equation. Like many other formulas of this type it regards briquetting of fine-grained materials in a closed die. Variation in properties of the briquetted material was reflected by J. R. Johanson by means of a constant. The way in which briquetting was replaced by compaction of bulk material between smooth rolls is also controversial. It was assumed that the width of a compacted band in the substitute system of fine-grained material is the same as an average height of the briquette. This means that the existence of the spaces separating cavities in the working area of forming rolls was omitted.

Shortcomings in Johanson's model inspired the search for more precise mathematical description of the process of briquetting in roll press. Specialistic literature (16), (17) presented a concept that in the case in question the mathematical models of rolling of continuous media can successfully be used. However, there was no single proposal how to solve a lot of problems resulting from substantial differences between the rolling of continuous media and the briquetting of fine-grained materials in a roll press. This is why the researchers made an attempt that resulted in a new mathematical model of briquetting fine-grained materials in a roll press with gravity feeding (2), (3), (7), (9) and (13). It was developed on the grounds of the so-called slab method, and on the theory of rolling of metal powders. In theoretical considerations the briquetting of fine-grained material was replaced by its compaction between smooth rolls, which was presented in fig. 1. In this case a mathematical model makes a set of equations and empirical formulas given below:

$$R_0 = \sqrt{R^2 - \frac{kV_b}{2\pi B}} \quad [1]$$

$$\frac{dp_y}{dh_y} + p_y \frac{\mu \operatorname{ctg}(\alpha_0/2)}{h_y} = \frac{v}{h_y} + \frac{dv}{dh_y} \quad [2]$$

$$v = C_s D_w^E \quad [3]$$

$$\mu = f(s, w) \quad [4]$$

eines lockeren Mediums zwischen Glattwalzen ersetzt wurde. Es wurde angenommen, daß die Dicke des im Ersatzsystem zu verdichtenden Bandes von feinkörnigem Stoff der mittleren Brikkett Höhe gleich ist.

Damit vernachlässigte man die Bereiche, die im Arbeitsteil der Formringe erscheinen und die Eintiefungen voneinander trennen. Die Unvollkommenheiten des Modells von Johanson bildeten einen Grund dafür, die Möglichkeiten einer genaueren mathematischen Beschreibung des Brikkettierprozesses in einer Walzenpresse zu suchen. In der Fachliteratur (16), (17) war eine Ansicht vertreten, daß man im betrachteten Fall von mathematischen Modellen des Walzvorgangs kontinuierlicher Medien mit Erfolg Gebrauch machen kann. Es wurde jedoch nicht vorgeschlagen, wie viele Probleme, die sich aus wesentlichen Unterschieden zwischen dem Walzen kontinuierlicher Medien und dem Brikkettieren von feinkörnigen Stoffen in einer Walzenpresse ergeben, gelöst werden können. Diese Frage wurde zum Gegenstand eigener Untersuchungen, deren Resultat ein neues mathematisches Modell des Brikkettierprozesses von feinkörnigen Stoffen in einer Walzenpresse mit Schwerkraftspeisung ist (2), (3), (7), (9), (13). Dieses Modell wurde hergestellt unter Ausnützung der sog. Methode der Dünnschnitte (slab method) sowie auch der Theorie des Walzens von Metallpulvern. Bei theoretischen Erwägungen wurde das Brikkettieren des feinkörnigen Stoffes durch die Verdichtung dieses Brikkettiergutes zwischen Glattwalzen ersetzt.

Der Übersichtsschaltplan des Verdichtungssystems einer Walzenpresse wurde in Abb. 1 dargestellt. In dem betrachteten Fall bildet das mathematische Modell ein System der unten angegebenen Gleichungen und empirischen Formeln:

$$R_0 = \sqrt{R^2 - \frac{kV_b}{2\pi B}} \quad [1]$$

$$\frac{dp_y}{dh_y} + p_y \frac{\mu \operatorname{ctg}(\alpha_0/2)}{h_y} = \frac{v}{h_y} + \frac{dv}{dh_y} \quad [2]$$

$$v = C_s D_w^E \quad [3]$$

$$\mu = f(s, w) \quad [4]$$

$$p_y = P_{\max} \left[1 - \left(\frac{\beta_y}{\beta} \right)^2 \right] \quad [5]$$

- R_0 – Walzenradius im Ersatzsystem der Verdichtung
- R – reeller Walzenradius
- k – Anzahl der Formeintiefungen der Walze
- V_b – Brikkettvolumen
- B – Walzenbreite im reellen Verdichtungssystem
- p_y – spezifischer Druck

$$p_y = P_{\max} \left[1 - \left(\frac{\beta_y}{\beta} \right)^2 \right] \quad [5]$$

- R_0 – roll radius in a substitute compaction system
- R – real roll radius
- k – number of forming cavities of roll
- V_b – briquette volume
- B – roll width in a real compaction system
- p_y – unit pressure
- P_{\max} – maximum value of unit pressure
- h_y – distance between rolls at α_y
- $\alpha_y(\beta_y)$ – compaction angle
- μ – coefficient of kinetic external friction
- α_0 – nip angle
- v – unit compaction resistance
- s – compaction ratio of material
- w – humidity of briquetting material
- C, D, E – coefficients of regression equation
- β – angle defining a zone of elastic expansion of briquette
- γ_w – feed angle
- ψ – inclination angle of material layers
- I – feed zone
- II – flow zone
- III – compaction zone

Equation [1] expresses a relationship between roll radius in a substitute and real system.

Equation [2] defines a relationship between unit pressure exerted on a compacted medium in a

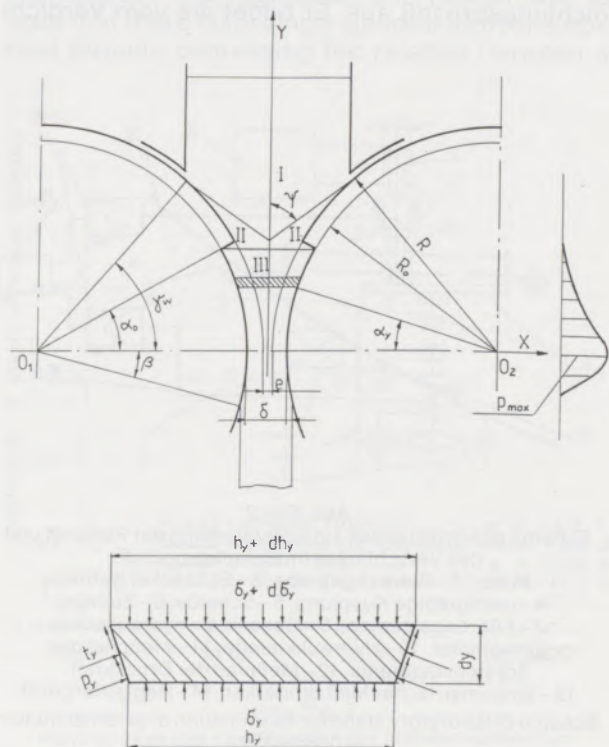


Abb./Fig. 1
Übersichtsschaltplan des Verdichtungssystems einer Walzenpresse.
Scheme of ideal compaction unit of roll press.

p_{\max}	– Maximalwert des spezifischen Drucks
h_y	– Abstand zwischen den Walzen auf dem Niveau des Winkels
$\alpha_y(\beta_y)$	– Verdichtungswinkel (Entspannungswinkel)
μ	– Koeffizient der kinetischen äußeren Reibung
α_o	– Eingriffswinkel
v	– spezifischer Verdichtungswiderstand
s	– Verdichtungsgrad des Stoffes
w	– Feuchtigkeit des Brikettiergutes
C, D, E	– Koeffizienten der Regressionsgleichung
β	– Winkel, der die Zone der elastischen Brikettausdehnung bestimmt
γ_w	– Schüttwinkel
ψ	– Neigungswinkel der Materialschichten
I	– Schüttzone
II	– Aufgabebzone
III	– Verdichtungszone

Die Gleichung [1] drückt einen Zusammenhang zwischen den Walzenradien im reellen und dem Ersatzsystem aus.

Die Gleichung [2] bestimmt eine Abhängigkeit zwischen dem auf das zu verdichtende Medium in der Mittelzone der Formeintiefung ausgeübten spezifischen Druck, der Geometrie des Ersatzsystems der Verdichtung und den Eigenschaften des Brikettiergutes.

Die empirische Formel [3] drückt die Veränderlichkeit des Äquivalents der Dehngrenze, genannt spezifischer Verdichtungswiderstand, im Verdichtungsprozeß aus. Er bildet die vom Verdich-

central zone of forming pit, geometry of the substitute compaction system, and properties of briquetted material.

Empirical formula [3] represents variation of equivalent of yield stress in the process of compaction called unit compaction resistance. It makes a variable dependent on compaction ratio and moisture of a briquetted material, and means the value of unit pressure necessary to achieve a specific compaction ratio of the material consolidated in a closed cylindrical die, with maximum limited value of friction and comparable volumes of briquettes, and the ratio of briquettes heights to cross sections.

Equation [5] makes it possible to determine the course of unit pressure in the stress relieving zone of briquettes. Its shape was assumed basing on the experimental results for various bulk materials. It is considered to replace equation [5] by a deductive formula.

Another problem is variation in external friction in the briquetting process. It is represented by different empirical formulas, the form of which depends on varying properties of the compacted medium. It is explained by a general formulation of function [4] in the mathematical model.

2.2. A problem of variation in external friction during briquetting

All modelling work done so far of the compaction of fine-grained materials in roll and stamp presses was based upon the assumption that the coefficient of external friction has a constant value. It is not in conformity with a real physical state, and is one of the reasons for discrepancy between theory and practice. To eliminate this discrepancy a research has been undertaken on variation in external friction during briquetting (10). The aim of the research was to determine a qualitative and quantitative character of changes in coefficients of static and kinetic external friction for steel and the following fine-grained materials compacted: waste from bearing industry, brown coal, deposits of iron-bearing sludge and calcium fluoride. Further experiments were carried out on a specially designed and modernized universal stand STZ-1M, the scheme of which is presented in fig. 2. The stand is composed of a steel disc 5 driven by direct current motor 1 through belt 2 and worm gear 3 to place anti-samples. Fine-grained materials are compacted with the use of die 8 and stamp 6. The adequate pressure of the stamp is assured by hydraulic servo-motor 9. The research stand is equipped with three measuring paths, the two of which are shown in fig. 2 . . . The third measuring path is made after stopping the disc 5, dismantling a leading stamp 7, and lifting the die 8 to place a sensor under it to measure a real pressure on a contact area between sample and anti-sample. The conditions under which the experiments were performed, were close to a real physical situation. The range of pressure variation was

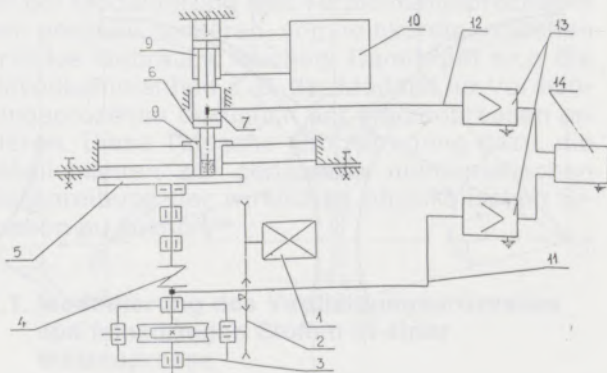


Abb./Fig. 2

Schema des Prüfstandes zur Untersuchung der Reibung und des Verschleißes im Brikettierprozeß:

- 1 – Motor, 2 – Riemengetriebe, 3 – Schneckengetriebe,
- 4 – nachgiebige Kupplung, 5 – Scheibe, 6 – Stempel,
- 7 – Führungsstempel, 8 – Gesenk, 9 – hydraulischer Servomotor, 10 – Hydraulikquelle, 11 – Meßpfad des Torsionsmoments, 12 – Meßpfad der Druckkraft,
- 13 – tensometrischer Meßverstärker, 14 – Registriergerät.

Scheme of laboratory stand for examination of external friction in briquetting:

- 1 – electric motor, 2 – belt gear, 3 – worm gear, 4 – flexible clutch, 5 – plate, 6 – stamp, 7 – leading stamp, 8 – die,
- 9 – hydraulic servo-motor, 10 – hydraulic source,
- 11 – measuring path of torque moment, 12 – measuring path of pressure force, 13 – strain gauge amplifier, 14 – recorder.

tungsgrad und von der Feuchtigkeit des Brikettgutes abhängige Variable und stellt den Wert vom spezifischen Druck dar; dieser Wert ist unentbehrlich, um einen bestimmten Verdichtungsgrad des dem Stückigmachen in einem zylinderförmigen geschlossenen Gesenk unterzogenen Brikettguts zu erhalten. Dabei müssen die Reibungswerte maximal beschränkt und das vergleichbare Volumen und das Verhältnis der Brikethöhe zum Quermaß beibehalten werden.

Die Gleichung [5] ermöglicht, den Verlauf des spezifischen Drucks in der Entspannungszone der Briketts zu ermitteln. Die Form dieser Gleichung wurde unter Zugrundelegung von Ergebnissen der für verschiedene lockere Medien durchgeführten Experimentaluntersuchungen angenommen. Man sieht vor, die Gleichung [5] in der Zukunft durch eine Deduktionsformel zu ersetzen.

Eine besondere Frage bildet das Problem der Veränderlichkeit der äußeren Reibung im Brikettierprozeß. Ausgedrückt wird es durch verschiedene empirische Formeln, deren Form von veränderlichen Eigenschaften des zu verdichtenden Mediums abhängt. Es erklärt eine allgemeine Aufzeichnung der Funktion [4] im mathematischen Modell.

2.2. Untersuchungen über die Veränderlichkeit der äußeren Reibung im Brikettierprozeß

Bei der Modellierung der Verdichtungsprozesse von feinkörnigen Stoffen in einer Walzen- und Stempelpresse wurde bis jetzt ein unveränderlicher Koeffizientenwert der äußeren Reibung angenommen. Diese Annahme stimmt mit der wirklichen physikalischen Tatsache nicht überein und ist eine der Ursachen der Diskrepanzen zwischen der Theorie und der Praxis. Um sie auszuscheiden, wurden die Untersuchungen über die Veränderlichkeit der äußeren Reibung im Brikettierprozeß aufgenommen (10). Zum Ziel dieser Untersuchungen war die Bestimmung des qualitativen und quantitativen Charakters der Änderungen der Koeffizienten von äußerer statischer und kinetischer Reibung der Reibpaare: Stahl – feinkörnige zu verdichtende Stoffe. Zu diesen Stoffen gehörten: technologische Abfälle der Industrie für Lagerherstellung, Braunkohle, Niederschläge von eisenhaltigen Schlämmen, Kalziumfluorid. Weitere Experimente realisierte man auf einem besonders aufgebauten und modernisierten Universalprüfstand STZ-1M, dessen Schema in Abb. 2 dargestellt ist. Die Bestandteile dieses Prüfstandes sind: Stahlscheibe 5 für Aufnahme der Gegenproben, angetrieben mit Gleichstrommotor 1 durch Riemengetriebe 2 und Schneckengetriebe 3. Zum Verdichten feinkörniger Stoffe dienen das Gesenke 8 und der Stempel 6. Die entsprechende Druckkraft stellt ein hydraulischer Servomotor 9 sicher. Der Prüfstand ist mit drei Meßpfaden ausgerüstet. Zwei davon sind in Abb. 2 ersichtlich. Der dritte Meßpfad wird nach dem Stillsetzen der Scheibe 5, der Demontage des Führungsstempels

assumed 18 MPa to 136 MPa. As an antisample a ring of steel NC4 heat treated to hardness of 55 HRC was used. The samples of fine-grained materials compacted in a closed die had a shape of cylinder, diameter 20 mm. Volumes of the samples were selected experimentally so as to achieve the ratio of briquette height and diameter equal to 2/3 after achieving the highest ratio of compaction. The assumed constant speed of a sample against the disk was 0.02 m/sec.

The examples of a qualitative and quantitative character in variation of coefficients of static and kinetic external friction for steel and selected fine-grained materials of given values of moisture are presented in fig. 3 and 4. They show that for waste from bearing industry and for brown coal the coefficients of static and kinetic external friction decrease with the increase in unit pressure. Some small changes in coefficients were observed in the process of compaction of ironbearing sludge deposits in the range of unit pressure from 30 to 110 MPa. The course of changes in external friction coefficients for calcium fluoride is quite different. They rise as the pressure increases, so for the reason calcium fluoride is briquetting-resistant.

Basing on the experimental results an attempt was made to generalize the problem of variation of friction in briquetting process. Unit pressure was expressed by the compaction ratio of a fine-grained material and a second essential independent variable which is its moisture, was taking into account. The regression analysis allowed to state that there is no single general form of empirical formula expressing the relation between a

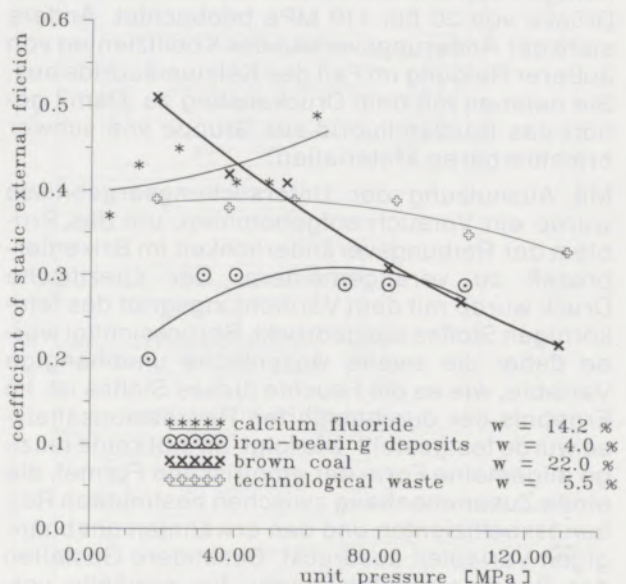


Abb./Fig. 3

Abhängigkeit des Koeffizienten der äußeren statischen Reibung vom spezifischen Druck im Verdichtungsprozeß von gewählten feinkörnigen Stoffen.

Relationship between coefficient of static external friction and unit pressure during compaction of selected fine-grained materials.

7 und dem Abheben des Gesenkes 8 zusammengestellt. Das Gesenk wird abgehoben, um darunter einen Meßfühler anzubringen, der zur Messung der reellen Druckkraft auf der Kontaktfläche: Probe-Gegenprobe dient.

Die Bedingungen, unter denen die Versuche realisiert wurden, waren der tatsächlichen physikalischen Situation angenähert. Angenommen wurde der Veränderlichkeitsbereich des Druckes von 18 MPa bis 136 MPa.

Als Gegenproben verwendete man einen aus Stahl NC4 hergestellten und bis Härte 55 HRC warmbehandelten Ring. Die Proben der im geschlossenen Gesenk verdichteten feinkörnigen Stoffe hatten die Form eines Zylinders mit 20 mm Durchmesser. Ihr Volumen wurde experimentell so angepaßt, daß der Quotient aus der Brikethöhe und dem Brikettdurchmesser nach dem erreichten höchsten Verdichtungsgrad zwei Drittel betrug. Vorausgesetzt wurde ein konstanter Geschwindigkeitswert der Probe gegen die Scheibe von 0,02 m/s.

Die Beispiele des qualitativen und quantitativen Charakters der Koeffizientänderungen von äußerer kinetischer und statischer Reibung der Reibpaare: Stahl – gewählte feinkörnige Stoffe mit bestimmten Feuchtigkeiten sind in Abb. 3 und 4 veranschaulicht. Daraus ist folgendes zu ersehen: Im Fall technologischer Abfälle der Industrie für Lagerherstellung und der Braunkohlenindustrie nehmen die Koeffizienten (der äußeren statischen und auch kinetischen Reibung) mit der Steigerung des spezifischen Druckes ab. Geringe Änderungen dieser Koeffizienten wurden im Verdichtungsprozeß der Niederschläge von eisenhaltigen Schlämmen im Bereich der spezifischen Drücke von 30 bis 110 MPa beobachtet. Anders sieht der Änderungsverlauf der Koeffizienten von äußerer Reibung im Fall des Kalziumfluorids aus. Sie nehmen mit dem Druckanstieg zu. Damit gehört das Kalziumfluorid zur Gruppe von schwer brikettierbaren Materialien.

Mit Ausnutzung der Untersuchungsergebnisse wurde ein Versuch aufgenommen, um das Problem der Reibungsveränderlichkeit im Brikettierprozeß zu verallgemeinern. Der spezifische Druck wurde mit dem Verdichtungsgrad des feinkörnigen Stoffes ausgedrückt. Berücksichtigt wurde dabei die zweite wesentliche unabhängige Variable, wie es die Feuchte dieses Stoffes ist. Im Ergebnis der durchgeführten Regressionsanalyse wurde festgestellt, wie folgt: Es gibt keine einzige allgemeine Form der empirischen Formel, die einen Zusammenhang zwischen bestimmten Reibungskoeffizienten und den erwähnten unabhängigen Variablen ausdrückt. Besondere Gestalten der Regressionsgleichungen für gewählte verdichtete Medien wurden unten dargestellt.

A. Technologische Abfälle der Industrie für Lagerherstellung

$$\begin{aligned} \mu_{st} &= -0.1157s - 0.0129w + 0.7241 & k &= 0.521 \quad (6) \\ \mu_k &= -0.9949s - 0.182w + 5.1829 & k &= 0.840 \quad (7) \end{aligned}$$

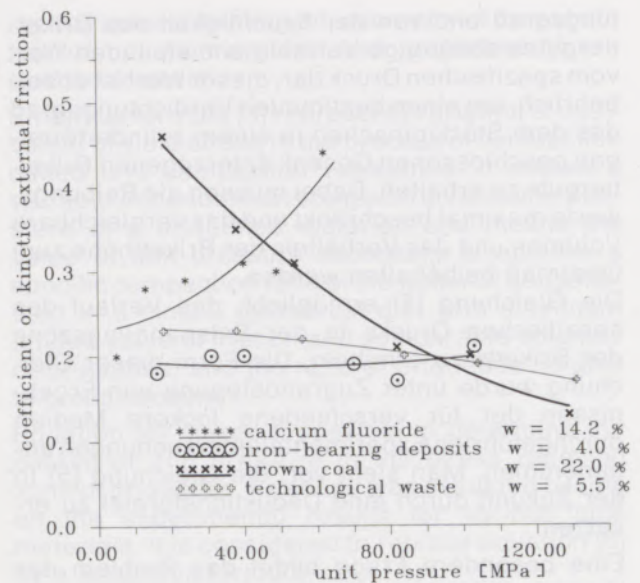


Abb./Fig. 4.

Abhängigkeit des Koeffizienten der inneren kinetischen Reibung vom spezifischen Druck im Verdichtungsprozess von gewählten feinkörnigen Stoffen.

Relationship between coefficient of kinetic internal friction and unit pressure during compaction of selected fine-grained materials.

given friction coefficient and mentioned independent variables. Specific forms of regression equations for selected compacted materials are presented below.

A. Technological waste from bearing industry

$$\mu_{st} = -0.1157s - 0.0129w + 0.7241 \quad k = 0.521 \quad (6)$$

$$\mu_k = -0.9949s - 0.182w + 5.1829 \quad k = 0.840 \quad (7)$$

where:

μ_{st} = coefficient of static external friction

μ_k = coefficient of kinetic external friction

s = compaction ratio of fine-grained material

w = moisture of fine-grained material

k = correlation coefficient

B. Brown coal

$$\mu_{st} = -0.5764s - 0.0148w + 0.9518 \quad k = 0.927 \quad (8)$$

$$\mu_k = -0.6535s + 0.0198w + 0.8938 \quad k = 0.953 \quad (9)$$

C. Deposits of iron-bearing sludge

$$\mu_{st} = e^{45.0453s} + 0.3554w - 14.0380s^2 - 0.0315w^2, \quad k = 0.854 \quad (10)$$

$$\mu_k = 8.4635s + 0.0476w - 2.7307s^2 - 0.0028w^3 \quad k = 0.768 \quad (11)$$

D. Calcium fluoride

$$\mu_{st} = e^{5.4394s} + 0.1708w - 1.5208s^2, \quad k = 0.819 \quad (12)$$

$$\mu_k = e^{-6.1925s} + 0.08663w + 2.0558s^2 - 0.0299w^2, \quad k = 0.769 \quad (13)$$

Through synthesis of the results obtained from the tests on variation of friction during briquetting four selected fine-grained materials, the following conclusions were formulated:

– Nature of variation in static and kinetic external friction depends on many factors, among which properties of compacted medium are of decisive meaning.

wo:

- μ_{st} = Koeffizient der äußeren statischen Reibung
 μ_k = Koeffizient der äußeren kinetischen Reibung
 s = Verdichtungsgrad des feinkörnigen Stoffes
 k = Korrelationskoeffizient

B. Braunkohle

$$\mu_{st} = -0.5764s - 0.0148w + 0.9518 \quad k = 0.927 \quad (8)$$

$$\mu_k = -0.6535s + 0.0198w + 0.8938 \quad k = 0.953 \quad (9)$$

C. Niederschläge von eisenhaltigen Schlämmen

$$\mu_{st} = e^{45.0453s + 0.3554w - 14.0380s^2 - 0.0315w^2} \quad k = 0.854 \quad (10)$$

$$\mu_k = 8.4635s + 0.0476w - 2.7307s^2 - 0.0028w^3 \quad k = 0.768 \quad (11)$$

D. Kalziumfluorid

$$\mu_{st} = e^{5.4394s + 0.1708w - 1.5208s^2} \quad k = 0.819 \quad (12)$$

$$\mu_k = e^{-6.1925s + 0.08663w + 2.0558s^2 - 0.0299w^2} \quad k = 0.769 \quad (13)$$

Bei der Synthese der Ergebnisse von Untersuchungen über die Reibungsveränderlichkeit im Brikettierprozeß von vier gewählten feinkörnigen Stoffen wurden folgende Folgerungen formuliert:

- Der Veränderlichkeitscharakter der äußeren statischen und kinetischen Reibung hängt von mehreren Faktoren ab, von denen die Eigenschaften des zu verdichtenden Mediums von entscheidender Bedeutung sind.
- Es gibt keine allgemeinen Formen von empirischen Formeln, die eine Abhängigkeit der Koeffizienten der äußeren statischen und kinetischen Reibung von der Feuchtigkeit und dem Verdichtungsgrad des Brikettiergutes ausdrücken.
- Die Feuchtigkeit des zu verdichtenden Mediums hat keinen Einfluß auf den qualitativen Charakter der Änderungen der Koeffizienten von äußerer Reibung.
- Die Berücksichtigung der Reibungsveränderlichkeit im Modell des Brikettierprozesses nähert die Theorie der wirklichen physikalischen Situation.

2.3. Beispiele der Simulationsversuche des Verdichtungsprozesses von feinkörnigen Stoffen in Walzenpressen

Das vorgestellte mathematische Modell bildete eine Grundlage zur Erarbeitung eines Programms der Computersimulation des Verdichtungsprozesses von feinkörnigen Stoffen in einer Walzenpresse. Der Blockschatplan dieses Modells wurde in Abb. 5 veranschaulicht.

Das Programm wurde im Dialekt der Sprache Pascal - Turbo Pascal V.4.0. kodiert und auf einem Kompatibilitätsmikrocomputer von IBM PC-XT/AT unter Kontrolle eines Operationssystems MS-DOS V.3.xx betätigt. Unter Verwendung dieses Computerprogramms und besonderer Formen der unentbehrlichen empirischen Formeln wurden die Simulationsversuche des Verdichtungsprozesses von gewählten feinkörnigen Stoffen durchgeführt (18), um notwendige Informationen zu erhalten. Aufgrund dieser Informationen wurde die Verdichtbarkeit dieser lockeren Medien beurteilt, zweckentsprechende Walzenpressen

- There are no general empirical formulas describing dependence of static and kinetic external friction coefficients on moisture and compaction ratio of fine-grained material undergoing briquetting.
- Moisture of the compacted medium does not affect the qualitative character of variation in external friction coefficients.
- Theory is closer to a real physical state when variation in friction is included in the model of briquetting.

2.3. Examples of simulation experiments of compaction of fine-grained materials in roll presses

The mathematical model presented above made the basis for elaboration of computer simulation programme for compaction of fine-grained materials in a roll press. Its block scheme is shown in fig. 5.

The programme was encoded in Pascal-Turbo Pascal V.4.0. language dialect and started on

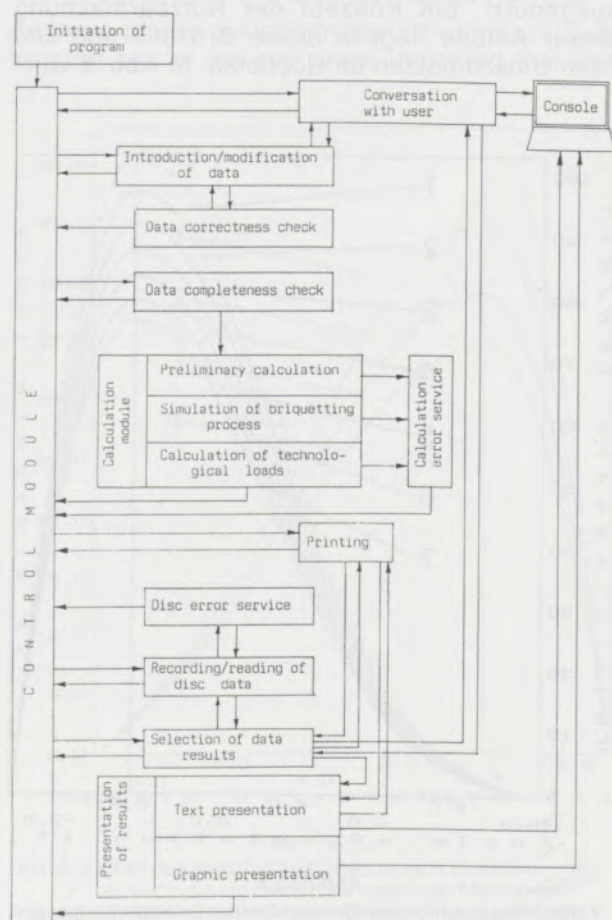


Abb./Fig. 5

Blockschatplan des Programms der Computersimulation des Verdichtungsprozesses eines feinkörnigen Stoffes in der Walzenpresse.

Block scheme of computer simulation program for the process of compaction of fine-grained material in roll press.

wurden gewählt, und dann wurde ein Konzept technologischer Richtlinien erarbeitet. Als Beispiel wurden einige Ergebnisse von gewählten Simulationsexperimenten vorgestellt.

Abb. 6 zeigt einen Verlauf des spezifischen Druckes beim Brikettiervorgang von feinkörniger Braunkohle mit verschiedener Feuchtigkeit in einer Walzenpresse. Es wurde der Walzendurchmesser $d = 1000$ mm und die Spaltweite $e = 1,5$ mm zwischen den Walzen vorausgesetzt. In Abb. 7 ist der Einfluß der Spaltweite zwischen den Walzen auf den Verlauf des spezifischen Druckes beim Brikettieren von Braunkohle mit Feuchtigkeit $w = 24\%$ veranschaulicht. In beiden Fällen wurde ein bedeutender Einfluß von gewählten Variablen auf den Maximalwert des spezifischen Druckes festgestellt. Es heißt, daß sie von wesentlicher Bedeutung für den Brikettierprozeß seien. In industriellen Bedingungen wurden sie aufgrund der Simulationsversuche gewählt. Man hat die Übereinstimmung der Theorie mit der Praxis erhalten. Die Ergebnisse der Simulationsversuche wurden auch bei der Problemlösung betreffend die Verwertung der technologischen Abfälle der Industrie für Lagerherstellung ausgenutzt. Ein Konzept der Nutzbarmachung dieser Abfälle liegt in deren Brikettierung und dann Umschmelzen im Hochofen. In Abb. 8 wur-

microcomputer compatible with IBM PC-XT/AT working under control of operational system MS-DOS v.3.xx. Having a computer program and special forms of necessary empirical formulas, simulation experiments of the process of compaction of selected fine-grained materials were carried out (18). They were aimed at getting information on which the evaluation of compactibility for these materials was made, the appropriate roll presses were chosen, and a concept for technological lines was developed. As an example several results of chosen simulation experiments are presented.

Fig. 6 presents the course of unit pressure during briquetting in a roll press of fine brown coal fraction of various moisture levels. Roll diameter $d = 1000$ mm and gap width between the rolls $e = 1.5$ mm were assumed. Fig. 7 shows the effect of gap width between the rolls on the course of unit pressure during briquetting of brown coal of moisture $w = 24$ percent. In both cases significant effect of selected variables on maximum value of unit pressure was noted. It means that they are of crucial importance for the process of briquetting. In industrial conditions these variables were chosen from simulation experiments, which confirmed that theory and practice are in consistence.

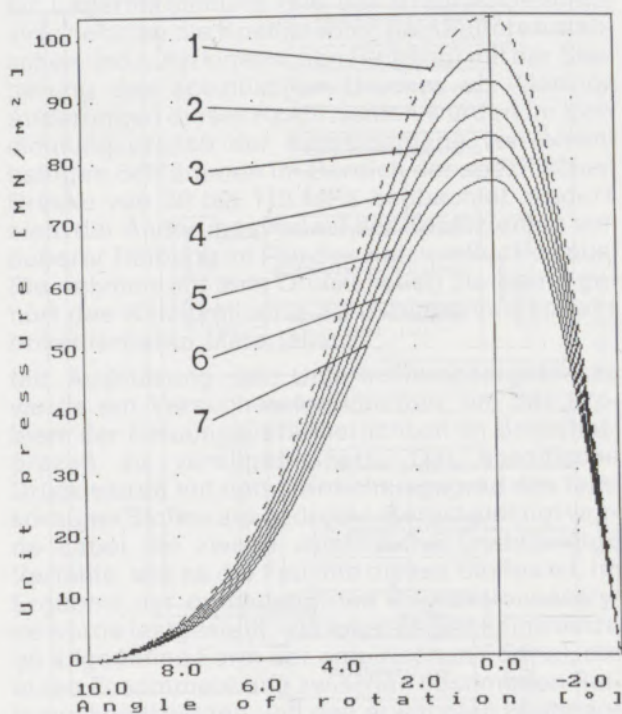


Abb./Fig. 6

Verlauf des spezifischen Druckes bei der Brikettierung in der Walzenpresse PW 1000 der Braunkohle von verschiedener Feuchtigkeit „w“.

The course of unit pressure during briquetting of brown coal of varying moisture „w“ in the roll press type PW 1000.

1 - w = 23,5 %	2 - w = 24,0 %	3 - w = 24,5 %
4 - w = 25,0 %	5 - w = 25,5 %	6 - w = 26,0 %
7 - w = 26,6 %		

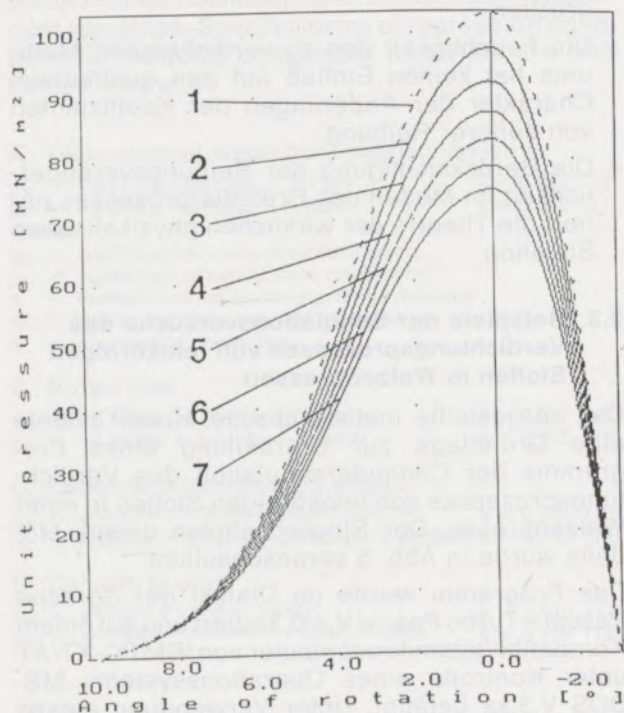


Abb./Fig. 7

Verlauf des spezifischen Druckes bei der Brikettierung in der Walzenpresse PW 1000 der Braunkohle bei verschiedenem Walzenspalt „e“.

The course of unit pressure during briquetting of brown coal in the roll press type PW 1000, with different roll gaps „e“.

1 - e = 1,0 mm	2 - e = 1,5 mm	3 - e = 2,0 mm
4 - e = 2,5 mm	5 - e = 3,0 mm	6 - e = 3,5 mm
7 - e = 4,0 mm		

den die Ergebnisse eines Simulationsversuchs veranschaulicht, aufgrund deren man das Brikkettvolumen gewählt hat. Angenommen wurden der Walzendurchmesser $d = 360$ mm und die günstigste Feuchtigkeit des Brikkettiergutes $w = 6\%$. Im Hinblick auf relativ niedrige Maximalwerte des spezifischen Druckes hat man sich für ein kleines Brikkettvolumen von 5 cm^3 entschieden. Dadurch erhält man einen Maximalwert des spezifischen Druckes in den Grenzen 38 MPa. Um den Effekt der Vergrößerung des Eingriffswinkels zu prüfen, wurde dieser um 7% vergrößert und der Versuch wiederholt. Man hat den um 18% größeren Maximalwert des spezifischen Druckes erhalten, was in Abb. 9 veranschaulicht ist.

Aktuell führt man die Arbeiten über den Aufbau einer zweckmäßigen Brikkettierpresse, die in der Zukunft die Typenreihe der in Polen hergestellten Walzenpressen erweitern wird.

3. UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE KONSTRUKTIONSENTWICKLUNG DES VERDICHTUNGSSYSTEMS VON WALZENPRESSEN

Die Analyse des Verdichtungssystems von feinkörnigen Stoffen in Formeintiefungen einer Wal-

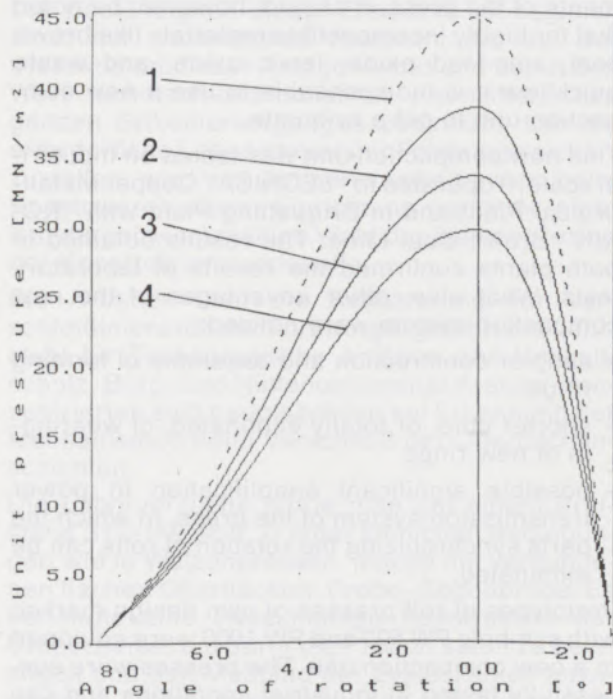


Abb./Fig. 8

Abhängigkeit des spezifischen Druckes vom Brikkettvolumen „V“ bei Verdichtung der technologischen Abfälle der Lagerindustrie in der projektierten Walzenpresse PW 360. Eingriffswinkel $8,6^\circ$.

Relationship between unit pressure and briquette volume "V" during compaction of technological waste from the rolling bearing factory in a designed roll press, type PW 360. Nip angle $8,6^\circ$.

1 - V = $4,5 \text{ cm}^3$ 2 - V = $5,0 \text{ cm}^3$ 3 - V = $5,5 \text{ cm}^3$
4 - V = $6,0 \text{ cm}^3$

The results of simulation experiments were also used to solve the problem of utilization of technological waste from a rolling bearing factory. A concept of waste management was developed, which used briquetting and smelting of waste in blast furnace. Fig. 8 shows the results of simulation experiment on the basis of which the volume of briquettes was chosen. Roll diameter $d = 360$ mm and the most advantageous moisture of material $w = 6$ percent were assumed. Due to relatively low maximum values of unit pressure it was decided to choose briquettes volume low and equal to 5 cm^3 . It resulted in a maximum unit pressure ranging 38 MPa. To check the effect of nip angle increase it was increased by 7 percent, and the experiment repeated. The value of maximum unit pressure was achieved higher by 18 percent, which is illustrated in fig. 9.

Presently the work is in progress on designing a special briquetting machine which, in future, will extend a series of roll presses produced in Poland.

3. RESEARCH ON IMPROVEMENT IN DESIGNING THE COMPACTION UNIT IN ROLL PRESSES

Analysis of fine-grained materials compaction in forming pits of the roll press indicated that two

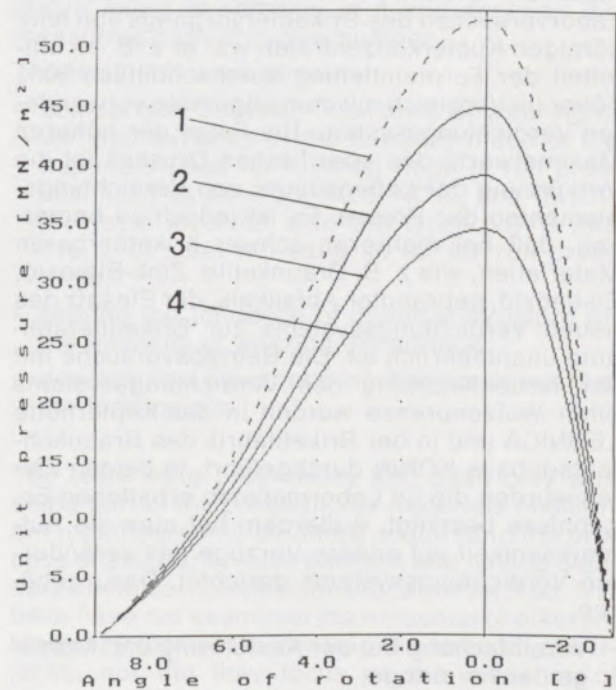


Abb./Fig. 9

Abhängigkeit des spezifischen Druckes vom Brikkettvolumen „V“ bei Verdichtung der technologischen Abfälle der Lagerindustrie in der projektierten Walzenpresse PW 360. Eingriffswinkel $9,2^\circ$.

Relationship between unit pressure and briquette volume "V" during compaction of technological waste from the rolling bearing factory in a designed roll press, type PW 360. Nip angle $9,2^\circ$.

1 - V = $4,5 \text{ cm}^3$ 2 - V = $5,0 \text{ cm}^3$ 3 - V = $5,5 \text{ cm}^3$
4 - V = $6,0 \text{ cm}^3$

zenpresse hat aufgezeigt, daß die auf gegenüberliegenden Walzenflächen gebrachten Halbformen bei nachfolgenden Brikettierphasen nicht gänzlich geschlossen sind. Diese Tatsache begünstigt die Ausströmung des Einsatzgutes in entgegengesetzter Richtung zur Walzendrehung, was die Ungleichmäßigkeit der Druckverteilung auf der Oberfläche der Formeintiefung größer macht. Deren Folge ist ungleichmäßige Brikettdichte, was eine Erniedrigung der Festigkeitsparameter der Brikette verursacht. Überdies wurde bemerkt, daß im Fall der allgemein verwendeten sog. „tropfenförmigen“ Gestalt von Briketten die Destruktionsspannungen in der Fläche dieser Brikette auftreten. Besonders hohe Werte erreichen sie bei schwer verdichtbaren Stoffen, wie z. B. Braunkohle, die sich durch bedeutende Rückexpansion nach der Brikettierung kennzeichnet (7), (13). Die dargestellten Unvollkommenheiten des bekannten Verdichtungssystems bildeten einen Grund, um eine weitere, bessere Entwicklung zu suchen. Die in dieser Richtung geführten Arbeiten haben einen Erfolg gebracht. Die neue Entwicklung des Verdichtungssystems der Walzenpresse (11) ermöglichte in Laborbedingungen, die Beeinflussung des Einsatzgutes zu beschränken und die Trennfläche der Brikette auszuschalten. Dadurch verminderte sich die Ungleichmäßigkeit der Druckverteilung, und der maximale Druckwert nahm bedeutend zu. Bei Laborversuchen des Brikettiervorgangs von feinkörnigen Kupferkonzentraten war er z. B. im Mittelteil der Formeintiefung durchschnittlich 80% höher im Vergleich mit dem allgemein verwendeten Verdichtungssystem. Die Folge der höheren Maximalwerte des spezifischen Druckes ist die Verkürzung der Lebensdauer von Verdichtungselementen der Presse. Es ist jedoch zu bemerken, daß bei mehreren schwer brikettierbaren Materialien, wie z. B. Braunkohle, Zink-Bleioxid, Eisenoxid, gebrannter Abfallkalk, der Einsatz des neuen Verdichtungssystems zur Briketherstellung unentbehrlich ist. Die Betriebsversuche mit der Neuentwicklung des Verdichtungssystems einer Walzenpresse wurden in der Kupferhütte LEGNICA und in der Brikettfabrik des Braunkohlentagebaus KONIN durchgeführt. In beiden Fällen wurden die im Labormaßstab erhaltenen Ergebnisse bestätigt. Außerdem hat man die Aufmerksamkeit auf andere Vorzüge des veränderten Verdichtungssystems gerichtet. Dazu gehören:

- Vereinfachung bei der Ausführung und Montage der Formringe;
- Verkürzung und in manchen Fällen auch Ausscheidung der Operationen beim Einlaufen neuer Ringe;
- Möglichkeit einer weitgehenden Vereinfachung des Antriebssystems der Brikettierpresse, in dem sich die Elemente zur Synchronisierung der Walzendrehungen ausscheiden lassen.

Die Prototypen eigener Konstruktionen der Walzenpressen, bezeichnet mit Symbolen PW 500

half-forms lying on opposite sides of rolls are not completely closed during briquetting stages. It causes that the material flows out in the direction opposite to rolls rotation, and in consequence the distribution of pressure on the area of a forming pit is getting non-uniform, which results in non-uniform density of briquettes and worse strength parameters. Observation was also made that in case of the so-called "drop" shape of briquettes, which is very common, destruction stress appears on the plane of briquette's division. This stress is especially high in materials hard to compact such as brown coal, which has a big (high) spring back after briquetting (7), (13).

All these shortcomings of a known model of compaction unit provided an impulse to find a better solution, which ended successfully. A new model of the compaction unit of roll press (11) made it possible to limit, in laboratory conditions, the flow-out of the material and to eliminate the division plane in briquetting, what resulted in more uniform distribution of pressure, maximum value of which has risen significantly. For instance, during laboratory tests of briquetting fine-grained copper concentrates this value in central part of a forming pit was higher by 80 percent on average in comparison with a commonly used compaction unit. An increase in maximum unit pressure gave in consequence a shorter life of compacting elements of the press. It should, however, be noted that for highly incompactible materials like brown coal, zinc-lead oxide, ferric oxide, and waste quicklime it is indispensable to use a new compaction unit to get a briquette.

This new compaction unit was tested on industrial scale; it operated in "LEGNICA" Copper Metallurgical Plant and in Briquetting Plant with "KONIN" Brown Coal Mine. The results obtained in both plants confirmed the results of laboratory tests. What else, other advantages of the new compaction system were noticed:

- simpler construction and assembly of forming rings
- shorter time, or totally eliminated, of wearing-in of new rings
- possible significant simplification in power transmission system of the press, in which the parts synchronizing the rotation of rolls can be eliminated.

Prototypes of roll presses of own design marked with symbols PW 500 and PW 1000 were equipped in a new compaction unit. The presses were successfully tested in industrial conditions and can be used to briquette materials of various levels of compactibility.

4. PROBLEM OF SELECTION OF CONSTRUCTIONAL MATERIALS FOR FORMING ELEMENTS OF ROLL PRESSES

One of the most important and responsible units in a roll press are forming rings, i. e. compacting-

und PW 1000, wurden mit neuen Konstruktionslösungen des Verdichtungssystems ausgerüstet. Sie haben sich unter industriellen Betriebsbedingungen bewährt und können zur Brikettierung der Materialien verschiedener Verdichtungsfähigkeit mit Erfolg eingesetzt werden.

4. PROBLEM ZUR WAHL DER KONSTRUKTIONSWERKSTOFFE FÜR FORMELEMENTE DER WALZENPRESSEN

Eine besonders wichtige und verantwortliche Gruppe der Walzenpressen bilden die Formringe (das Verdichtungspreßsystem). In dieser Baugruppe wird der grundlegende verfahrenstechnische Prozeß realisiert, in dessen Ergebnis ein Erzeugnis (Brikette) entsteht. Zugleich haben die Analyse der Strukturzuverlässigkeit der Walzenpressen und die Experimentalversuche ausgewiesen (1), (7), (13), daß diese Baugruppe ein „schwaches Glied“ des Systems darstellt. Die Ursache dieser Erscheinung liegt in der Anhäufung der besonders ungünstigen äußeren Beeinflussungen und von der realisierten Technologie herkommenden Einwirkungen, die einen intensiven Prozeß des Abrieb- und Ermüdungsverschleißes des Formringes zur Folge haben.

Die Beständigkeit dieser Elemente ist zugleich einer der wesentlichen Faktoren, der auf Betriebskosten dieser Anlagen wirkt und damit den Wert technisch-ökonomischer Kennziffern des ganzen Brikettiervorganges beeinflusst. Um die erforderliche Lebensdauer der Formringe sicherzustellen, wird viel Aufmerksamkeit schon beim Konstruieren dieser Einrichtung gerichtet, nämlich durch zweckmäßige Wahl der Geometrie und der Konstruktionswerkstoffe.

Die Arbeiten über die Reduzierung der Verschleißintensität der Formringe, geführt am Lehrstuhl für Technologische Anlagen und Umweltschutz, Berg- und Hüttenuniversität Krakow, konzentrierten sich hauptsächlich auf Erkennung der Mechanismen beim Verschleiß der Oberflächenschichten.

Die Laborversuche führte man auf einem Prüfstand STZ-1M (Abb. 2) unter ähnlichen Bedingungen wie in Walzenpressen, jedoch mit verbundenen flachen Oberflächen: Probe-Gegenprobe. Es verlangte eine zweckmäßige Konstruktion der Drehscheibe, um darin die Proben stabil zu befestigen und den Meßpfad der Zykluszahlen anzuwenden. Diese Untersuchungen (12) hatten zum Zweck:

- Vergleich der Verschleißintensität der Arbeitsflächen von Proben; diese Proben wurden dabei aus den für Formringe der Walzenpressen verwendeten Werkstoffe hergestellt (Stahl 35, NC6, NC10, 18HGT). Den Versuchen wurden auch die Stähle NCVB und 11G12 unterzogen, die bisher für Ringe der Walzenpressen nicht verwendet wurden;

pressing unit, in which basic technological process producing briquettes is realized. At the same time, however, reliability analysis of roll presses and experimental tests (1), (7), (13) revealed that this unit is a „weak chain“ in the system. This „weakness“ is attributed to the fact that especially unfavourable external and operational interactions accumulate there, causing an intensive abrasive wear and fatigue of forming rings. Life of these elements in one of important factors affecting the costs of operation of these machines, and thus affecting the value of technical-economic rates of the whole briquetting process. To ensure a required durability to forming rings much attention is focused on them as early as the designing process is under way, adequately choosing geometry and constructional materials for forming rings.

Research on achieving smaller intensity of wearing forming rings carried out in the Department of Technological Machines and Environmental Protection, University of Mining and Metallurgy in Cracow, Poland, was aimed mainly at knowing mechanisms of wearing surface elements.

Laboratory tests were performed on the stand STZ-1M (fig. 2) under the conditions similar to that existing in roll presses, but with association of flat surfaces sample – anti-sample. To achieve this, a specially designed rotational disk ensured stable fixing of samples in it and applying the measuring path of cycles number.

The tests (12) were aimed at:

- comparison between intensities of wearing of working surfaces of the samples made of the materials used for forming rings of roll presses, such as steel 35, NC 6, NC10, and 18HCT; the tests involved also the types NCVB and 11G12 of steel not used so far for roll press rings,
- settling the influence of material structure on the intensity of wearing the surface,
- developing a hypothetical mechanism of wearing the forming pits.

The tests were preliminary and dealt only with some part of the problem. Six materials of different metallographic structure acquired in the process of standard heat treatment and having standard chemical composition (12) were verified. The tests have not examined the influence of different kinds of treatment increasing the strength of surfaces, nor did they focus on the influence of dynamics of briquetting process on intensity of wearing working surfaces. The tests were carried out with a constant unit pressure in a contact zone of the system sample – anti-sample equal to 105 ± 10 MPa, and with relative speeds $V_1 = 0.03$ m/s and $V_2 = 0.06$ m/s. As anti-sample was chosen fine-grained copper concentrate pressed in shape of cylinder of $\varnothing = 20$ mm, with stable granular composition in the range of 0.1 to 1.6 mm and moisture from 3.9 to 5.2 percent, and with

- Festlegung der Beeinflussung der Werkstoffstruktur auf die Intensität des Oberflächenverschleißes;
- Erarbeitung eines hypothetischen Verschleißmechanismus der Formeintiefungen.

Die Untersuchungen hatten einen Charakter der Vorversuche und umfaßten einzig und allein einen Ausschnitt des betrachteten Problems. Verifiziert wurden sechs Werkstoffe von einem unterschiedlichen metallographischen Gefüge, das infolge der üblichen Wärmebehandlung und der chemischen Zusammensetzung entsteht (12).

Die Arbeit umfaßt weder Beeinflussung von verschiedenen Behandlungsverfahren zur Verfestigung der Oberflächenschichten noch die Einwirkung der Dynamik des Brikkettierprozesses auf die Verschleißintensität der Arbeitsflächen.

Die Prüfungen führte man bei Belastungen, welche den konstanten spezifischen Druck von 105 ± 10 MPa in der Berührungszone des Systems: Probe-Gegenprobe sichern und bei Relativgeschwindigkeiten $V_1 = 0.03$ m/s und $V_2 = 0.06$ m/s. Als Gegenprobe wurde das gepreßte, feinkörnige Kupferkonzentrat in Form einer Walze von 20 mm \varnothing mit einer stabilen Kornzusammensetzung im Intervall von 0.1 bis 1.6 mm und 3.9 bis 5.2% Feuchtigkeit mit einem Zusatz der Melasse (als Bindemittel) in der Menge von 5 bis 7% (gemäß den Forderungen des industriellen Brikkettierprozesses) verwendet. Die Prüfungen des Verschleißes von Oberflächenschichten der aus obengenannten Werkstoffen hergestellten und wärmebehandelten Proben (durch Härten und Anlassen) (12) wurden in zwei Serien, A und B, realisiert. Die Oberflächen aller Proben in beiden Serien wurden durch Schleifen vorbereitet. Vor der Verschleißprüfung wurden die Messungen der Probemassen auf einer Laborwaage Typ PRLTA 14 mit einer Genauigkeit von $\pm 0.1 \times 10^{-4}$ g durchgeführt. Nach 5000 Zyklen in der Serie A und nach 15.000 Zyklen in der Serie B wurden die Messungen der Probemasse ausgeführt. Gleichzeitig mit den Verschleißprüfungen führte man folgende metallographische Untersuchungen durch:

- Analyse der Ausgangsmikrostruktur von Oberflächenschichten der Proben,
- Prüfungen der Beständigkeit und der Mikrohärte von Arbeitsflächen der Proben vor und nach Beendigung der Versuche,
- Untersuchung der Morphologie der geometrischen Oberflächenstruktur.

Metallographische Strukturuntersuchungen der bei Verschleißprüfungen verwendeten Proben wurden mit Methoden der Lichtmikroskopie realisiert. Die Anschliffe wurden elektrolytisch poliert und dann mit Nital geätzt. Unter Zugrundelegung von erhaltenen Meßergebnissen hat man die Änderungsverläufe der Verschleißgrößen für untersuchte Werkstoffe ermittelt. Die Verschleißprüfungen in der Serie A führte man bis 95.000 Zy-

admixture of molasses as binder in the amount of 5.0 to 7.0 percent (according to requirements in industrial briquetting). Wearing tests for surfaces of the samples made of the materials mentioned and thermally treated by hardening and tempering were performed in two series, A and B. Surfaces of all samples in both series were prepared by grinding. Prior to the tests the samples were weighed on laboratory scales type PRLTA14 with accuracy $\pm 0.1 \times 10^{-4}$ g. Weighing was accomplished every five thousand cycles in A series and every fifteen thousand cycles in B series. Simultaneously to wearing tests were performed metallographic tests that included:

- analysis of initial microstructure of surface layer of the samples,
- durability and microhardness examination of the working surface of samples before and after the tests,
- examination of morphology of structure of geometrical surface.

Metallographic tests of structure of samples used in the wearing tests were performed with the methods of light microscopy. Microsections were polished electrolytically and etched. The measurement results obtained made the basis for the courses of variation in wearing level for materials examined. Wearing tests in A series were carried out up to ninety five thousand cycles for four materials, namely steel type 35, NC6, NC10 and NCV8. The results in percentage approach are presented in fig. 10. Wearing tests in B series were performed to 75.000 cycles for three materials, namely 11G12, 18HGT, and NCV8, the results in percentages are shown in fig. 11.

Basing on the obtained courses of variation in wearing intensity for selected materials in the assumed period, prognosis of their wearing to

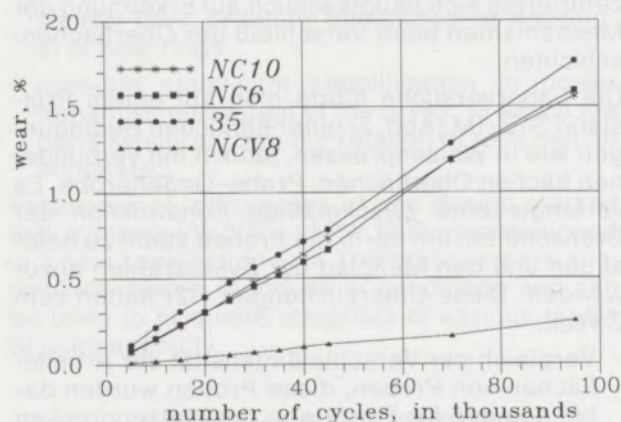


Abb./Fig. 10

Versuchsergebnisse der Verschleißintensität von Stahl 35, NC6, NC10, NCV8 bis 95.000 Zyklen ($V_1 = 0,03$ m/s).

Test results of wear intensity for steel 35, NC6, NC10 and NCV8 up to 95,000 cycles ($V_1 = 0,03$ m/s).

klen mit Verwendung von vier Werkstoffen (Stahl 35, NC6, NC10, NCVB). Die Ergebnisse dieser Prüfungen wurden prozentuell in Abb. 10 dargestellt.

Die Verschleißprüfungen in der Serie B führte man bis 75.000 Zyklen mit Verwendung von drei Werkstoffen (11G12, 18HGT, NCV8), und deren Ergebnisse wurden in Prozenten ausgedrückt und in Abb. 11 veranschaulicht.

Aufgrund der erhaltenen Änderungsverläufe der Verschleißintensität im angenommenen Zeitraum für die zu Versuchen gewählten Werkstoffe wurde auch unter Zugrundelegung von Linearregression ein voraussichtlicher Verschleiß dieser Werkstoffe bis 300.000 Zyklen statistisch bestimmt (Abb. 12).

Die Verschleißversuche von Stahl 35, NC6, NC10, 11G12, 18HGT und NCVB in Anwesenheit von Kupferkonzentrat bei spezifischem Druck von 105 ± 10 MPa im Berührungsbereich und bei Relativgeschwindigkeiten $V_1 = 0.03$ m/s und $V_2 = 0.06$ m/s haben folgendes aufgezeigt:

- der Verschleiß der Oberflächenschichten von Proben ist eine lineare Zeitfunktion im untersuchten Bereich bis 95.000 Zyklen;
- die Verschleißintensität hängt vom Zustand der Oberflächenschichten von Proben ab und ist eine lineare Zeitfunktion im untersuchten Bereich bis 95.000 Zyklen;
- die Verschleißintensität hängt vom Zustand der Oberflächenschichten ab, wobei dieser Zustand durch zweckmäßig gewählte Parameter der Wärmebehandlung gewonnen wird;
- der günstigste von untersuchten Werkstoffen hinsichtlich der Verschleißfestigkeit ist Stahl NCV8. Der Verschleiß dieses Stahls ist sechsmal niedriger als bei Stahl NC6 und NC10 und 8.6mal niedriger als bei Stahl 11G12;
- die Mechanismen, die den Verschleiß der Formringe steuern, erfordern weitere Untersuchungen; besonders handelt es sich dabei um den Einflußbereich von
 - Preßdruck
 - Relativgeschwindigkeit
 - Feuchtigkeit der Gegenprobe
 - Einwirkung genauer metallographischer Strukturen der Werkstoffe auf Verschleißintensität von Oberflächenschichten
- Die erarbeiteten Prognosen über den Verschleiß verlangen eine Bestätigung in Betriebsbedingungen der Industrie.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Trotz der Realisation eines breiten Programms der Erkenntnisuntersuchungen ist der Zustand der Theorie zur Verdichtung von feinkörnigen Stoffen in einer Walzenpresse immer noch nicht

300.000 cycles was elaborated statistically from linear regression (fig. 12).

The wearing tests for steel type 35, NC6, NC10, 11G12, 18HGT, and NCV8, with copper concentrate used at unit pressure in the contact zone 105 ± 10 MPa, and relative speeds $V_1 = 0.03$ m/s and $V_2 = 0.06$ m/s revealed that:

- Wearing of surface layers of the samples is a linear function of time in the examined range up to 95.000 cycles
- Intensity of wearing depends on the state of surface layers reached through appropriate parameters of thermal treatment
- In view of wearing-resistance the most profitable material appeared to be steel type NCV8; wearing of this steel is 6 times less than that of steel type NC6 and NC10, and 8.6 times less than steel type 11G12
- The mechanisms affecting the wearing of forming rings should be still investigated especially in view of the effect of:
 - compacting pressure
 - relative speed
 - moisture of anti-sample

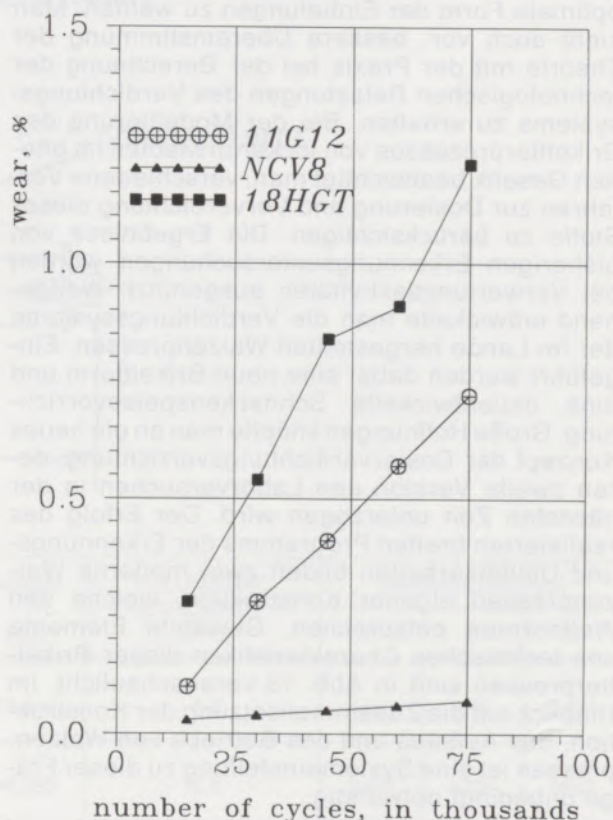


Abb./Fig. 11
Versuchsergebnisse des Verschleißes von Stahl 11G12, 18HGT, NCV8 bis 75.000 Zyklen ($V_1 = 0.03$ m/s).
Test results of steel wear, type 11G12, 18HGT, NCV8 up to 75.000 cycles ($V_1 = 0.03$ m/s).

zufriedenstellend und verlangt weitere Untersuchungen.

Vorgesehen ist in der ersten Reihenfolge die Modellierung der Strömung eines lockeren Mediums durch eine Schneckendosier- und Verdichtungsanlage sowie auch der Erscheinungen, die in der mit Seitenflächen von Ersatzarbeitswalzen begrenzten Zone stattfinden. Dadurch erhält man eine qualitative und quantitative Erfassung der Beeinflussung von geometrischen Konstruktionsmerkmalen der Schnecken sowie auch der Eigenschaften des zu verdichtenden Mediums auf den spezifischen Druckverlauf im Brikettier- oder Preßvorgang. Dies ermöglicht vor allem, die Konstruktion der Schneckenpeisevorrichtung zu entwickeln.

In der weiteren Reihenfolge ist vorgesehen, daß sich auf eine Vereinfachung verzichten läßt; es liegt nämlich darin, daß die Brikettierung von lockeren Medien durch Verdichtung dieser Medien zwischen Glattwalzen ersetzt werden kann. Es bedeutet, daß das wirkliche Verdichtungssystem bei theoretischen Erwägungen zum erstenmal berücksichtigt wird. Es soll damit ein mathematisches Modell entstehen, das den Mechanismus der Brikettbildung im offenen Gesenk beschreibt. Dieses Modell ermöglicht, die Verteilung des spezifischen Druckes auf den Formflächen von Walzen zu ermitteln, was erlaubt, eine optimale Form der Eintiefungen zu wählen. Man sieht auch vor, bessere Übereinstimmung der Theorie mit der Praxis bei der Berechnung der technologischen Belastungen des Verdichtungssystems zu erhalten. Bei der Modellierung des Brikettierprozesses von lockeren Medien im offenen Gesenk beabsichtigt man, verschiedene Verfahren zur Dosierung und Vorverdichtung dieser Stoffe zu berücksichtigen. Die Ergebnisse von bisherigen Erkennungsuntersuchungen wurden bei Verwertungsaktivitäten ausgenutzt. Weitgehend entwickelte man die Verdichtungssysteme der im Lande hergestellten Walzenpressen. Eingeführt wurden dabei eine neue Brikettform und eine neuentwickelte Schneckenpeisevorrichtung. Große Hoffnungen knüpfte man an ein neues Konzept der Dosiervorrichtung, deren zweite Version den Laborversuchen in der nächsten Zeit unterzogen wird. Der Erfolg des realisierten breiten Programms der Erkennungs- und Utilitätsarbeiten bilden zwei moderne Walzenpressen eigener Konstruktion, welche den Weltnormen entsprechen. Gewählte Elemente von technischen Charakteristiken dieser Brikettierpressen sind in Abb. 13 veranschaulicht. Im Hinblick auf die Zusammensetzung der Konstruktion, des Aufbaus und des Betriebs von Walzenpressen ist eine Systemeinstellung zu dieser Frage unbedingt notwendig.

Das sichert weitgehend die Anwendung der jetzt erarbeiteten verallgemeinerten Methode zur Wahl der Walzenpressen zum Stückigmachen von feinkörnigen Stoffen, darin auch Abfallstoffen (14). Sie erlaubt, eine günstigste Walzenpresse

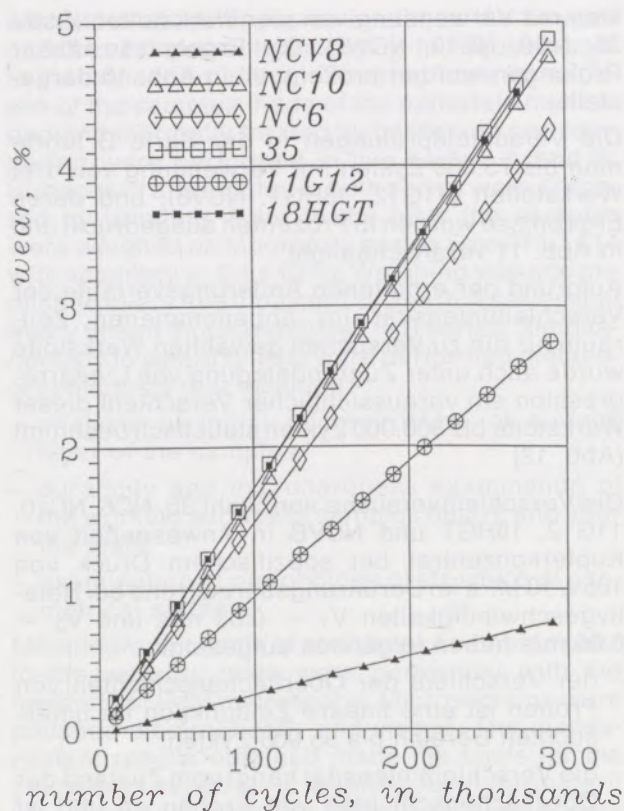


Abb./Fig. 12

Prognose des Verbrauchs von gewählten Stählen bis 300.000 Zyklen.

Wear prognosis for selected steel types up to 300,000 cycles.

- specifically defined metallographic structures of materials on intensity of wearing of surface layers
- Elaborated prognoses of wearing should be confirmed under industrial conditions.

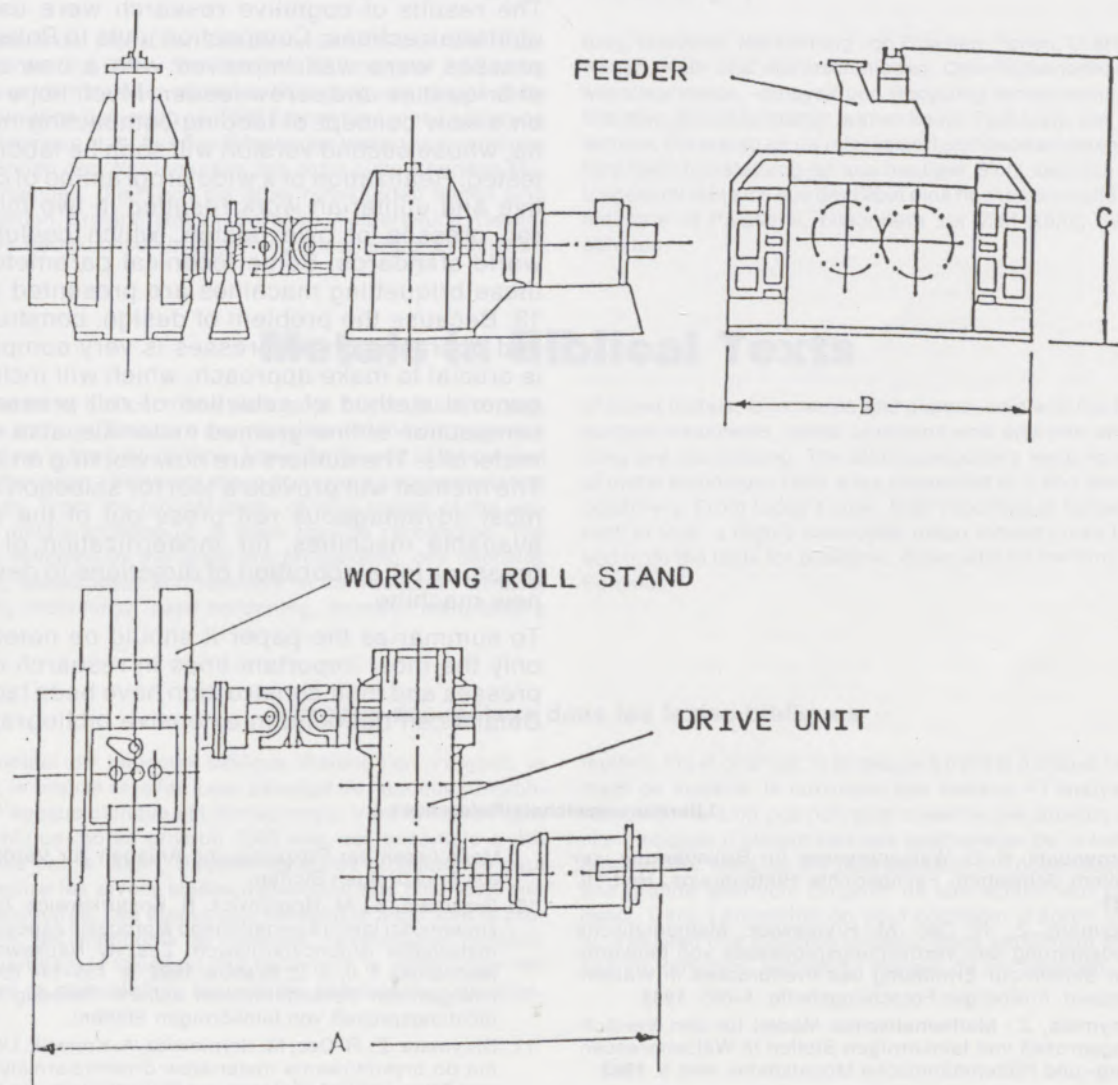
5. CONCLUSIONS

In spite of an extensive project carried out in cognitive examination, the level of theory on compaction of fine-grained materials in roll presses is still unsatisfactory, and should be improved by further examinations.

The first step would be to develop a model of the flow of bulk medium through the force screw feeder, and the model of phenomena occurring in the zone confined by side surfaces of the substitute working rolls. It will result in a qualitative and quantitative formulation of the effect of geometric features of screw feeders, and of properties of compacted material on the course of unit pressure in the process of briquetting or pressing. This formulation will facilitate, first of all, the improvement in design of screw feeder. It is expected that in further step the simplification can be abandoned, which replaced briquetting of bulk media by compaction between smooth rolls. It means

von verfügbaren Anlagen zu wählen; diese Methode gestattet auch, diese Presse zu modernisieren oder die Richtlinien für die Konstruktion einer neuen Anlage zu erstellen. Der Kürze halber wurden in dem vorliegenden Beitrag wichtigste

that for the first time in theoretical considerations a real compaction system will be taking into account, what should end up with the mathematical model describing mechanism of briquettes formation in an open die. The model will allow for deter-



ROLL PRESS	ROLL DIAMETER [mm]	DRIVE POWER [kw]	MASS [kg]	VOLUMETRIC EFFICIENCY [m³/h]	DIMENSIONS [mm]		
					A	B	C
PW 500	500	50	10,440	3,0	4450	2650	2320
PW 1000	1000	200	90,530	12,5	8400	4200	3640

Abb./Fig. 13

Gewählte Elemente von technischen Charakteristiken der Walzenpressen, aufgebaut am Lehrstuhl für Technische Anlagen und Umweltschutz, Berg- und Hüttenuniversität Krakow.

Selected elements of technical characteristics of roll presses constructed in the Department of Technological Machines and Environmental Protection, University of Mining and Metallurgy.

Untersuchungsrichtungen der Walzenbrikettierpressen und deren Herstellung vorgestellt.

Genauere Informationen über diese Problematik sind im ausführlichen bibliographischen Nachtrag enthalten.

mination of unit pressure distribution on forming sides of the rolls, which in turn will result in selection of optimal shape of cavities. It is also expected to get to higher conformity between theory and practice as far as calculations of technological loads in compaction system are concerned. In modelling of the process of briquetting bulk materials in an open die it is planned to include different ways of feeding and pre-compaction.

The results of cognitive research were used in utilitarian actions. Compaction units in Polish roll presses were well improved with a new shape of briquettes and screw feeder. Much hope is set on a new concept of feeding-compacting machine, whose second version will soon be laboratory tested. Realization of a wide programme of cognitive and utilitarian work resulted in two modern roll presses of own design, which conform to world standards. Some technical parameters of these briquetting machines are presented in fig. 13. Because the problem of design, construction and operation of roll presses is very complex, it is crucial to make approach, which will include a general method of selection of roll presses for compaction of fine-grained materials, also waste materials. The authors are now working on it (14). The method will provide a tool for selection of the most advantageous roll press out of the set of available machines, for modernization of such press, or for elaboration of directions to design a new machine.

To summarize the paper it should be noted that only the most important lines in research of roll presses and their construction have been tackled. Details can be found in extensive bibliography.

Literaturverzeichnis/References

- Bergendahl, H. G.: Walzenpressen für Brikettierung von heißem Schwamm. Fachberichte Hüttenpraxis. Heft 10, **1981**.
- Drzymała, Z., R. Dec, M. Hryniewicz: Mathematische Modellierung des Verdichtungsprozesses von feinkörnigen Stoffen zur Ermittlung des Preßdruckes in Walzenpressen. Freiburger Forschungshefte. A-665, **1982**.
- Drzymała, Z.: Mathematisches Modell für den Verdichtungsprozeß von feinkörnigen Stoffen in Walzenpressen unter pulsierender Druckkraft. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte. Heft 5, **1983**.
- Drzymała, Z.: Der Verdichtungsprozeß von feinkörnigen Stoffen in Walzenpressen unter pulsierender Druckkraft. Radex-Rundschau. Heft 1, **1984**.
- Drzymała, Z.: Untersuchungen des Verdichtungsprozesses von Stoffen in einer Einwalzenpresse unter pulsierender Druckkraft. Radex-Rundschau. Heft 3, **1985**.
- Drzymała, Z.: Untersuchungen einer Vibrations-Dosiereinrichtung zum Verdichten des Einsatzgutes in Walzenpressen. Heft 2/3, **1988**.
- Drzymała, Z.: Podstawy inżynierii procesu zageszczania i prasowania materiałów. PWN, Warszawa **1988** (Grundlagen zur Verfahrenstechnik des Verdichtungs- und Preßvorgangs von Werkstoffen).
- Drzymała, Z.: Untersuchungen des Brikettierens von feinkörnigen Kohleschiefern in Walzenpressen. Radex-Rundschau. Heft 2/3, **1990**.
- Drzymała, Z., M. Hryniewicz: Modelowanie procesów i urządzeń do zageszczania materiałów ziarnistych. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej. Warszawa **1990**.
- Modellieren der Prozesse und Anlagen zur Verdichtung von feinkörnigen Stoffen.
- Drzymała, Z., M. Hryniewicz, B. Kosturkiewicz: Badania zmienności tarcia zewnętrznego w procesie zageszczania materiałów drobnoziarnistych. Zeszyty Naukowe AGH, Mechanika t. II, z. 2, Kraków **1992**, s. 135-144 (Untersuchungen der Veränderlichkeit äußerer Reibung im Verdichtungsprozeß von feinkörnigen Stoffen).
- Drzymała, Z., R. Dec, M. Hryniewicz, A. Kmieciak: Urządzenia do brykietowania materiałów drobnoziarnistych. Patent RP nr 136 016 (Anlagen zur Brikettierung von feinkörnigen Stoffen. Patent Nr. 136 016).
- Drzymała, Z., M. Hryniewicz: Kierunki badań i wytwarzania pras walcowych. Problemy Maszyn Roboczych, z. 1. KBM-PAN, Warszawa **1993** (Untersuchungs- und Herstellungsrichtungen der Walzenpressen).
- Drzymała, Z.: Industrial Briquetting-Fundamentals and Methods. Elsevier. Amsterdam **1993**.
- Hryniewicz, M.: Koncepcja metody doboru pras walcowych do brykietowania materiałów drobnoziarnistych. Zeszyty Naukowe AGH, Mechanika t. II, z. 2, Kraków **1992**, s. 183-192 (Konzept einer Methode zur Wahl der Walzenpressen zur Brikettierung von feinkörnigen Stoffen).
- Johanson, J. R.: A Rolling Theory for Granular Solids. Journal of Applied Mechanics ASME nr 65, **1965**, s. 842-848.
- Pietsch, W.: Roll Pressing. Heyden Verlag **1976**.
- Pietsch, W.: Size Enlargement by Agglomeration. John Wiley and Sons, New York **1992**.

Über Metalle in Bibeltexten

Heinz Krapp, Friedberg*)

Die Metalle der biblischen Zeit waren Gold, Silber, Blei, Kupfer, Bronze und Eisen. Von der vorbiblischen zur biblischen Zeit liegt bei ihnen ein nahtloser Übergang vor. Gegen Ende der biblischen Zeit, nach ca. 1500 Jahren fand eine Ergänzung durch Messing statt. Aus den Bibeltexten lassen sich verschiedene Stufen des Werdeganges der darin auftauchenden Metalle erkennen. Die durch die Bibel reflektierten Stufen sind Prospektion, Erzlagerstätten, Bergbau, Aufbereitung, Gewinnung im Reduktionsofen, Legierungsmetallurgie, Einsatzhär-

tung, Gießerei, Herstellung von Blechen, Folien, Drähten und Ketten, Kalt- und Warmschmieden, Oberflächenbehandlung, Metallkorrosion, -analytik und Recycling fehlen nicht. Die biblischen Berichterstatter waren keine Fachleute der Metalltechnik. Sie waren an ihr interessiert und beobachteten scharf. Ihre Berichterstattung ist aus heutiger Sicht sachlich richtig. Insgesamt läßt sich aus der Bibel eine hochentwickelte Metallindustrie in Palästina, besonders zur Zeit König Salomos, ableiten.

Metals in Biblical Texts

The metals of biblical times were gold, silver, lead, copper, bronze and iron. There is a seamless transition from the pre-biblical time to the biblical time. Towards the end of the biblical time, after appr. 1500 years, there occurred a supplementation by brass. From the biblical texts, various stages of the way of the metals showing up in them may be recognized. The stages reflected by the Bible are prospecting, ore deposits, mining, beneficiation and recovery in the reduction furnace, alloying metallurgy, case hardening, foundry, manufacture

of sheet metals, foils, wires and chains, cold and hot forging, surface treatments, metal corrosion and analysis and recycling are not missing. The biblical reporters were no experts of metal technique. They were interested in it and were keen observers. From today's view, their reporting is factwise correct. In total, a highly developed metal industry may be derived from the bible for palestine, especially for the time of king Salomo.

A propos des métaux dans les textes bibliques

Les métaux de l'époque biblique étaient l'or, l'argent, le plomb, le bronze et le fer. Leur passage de l'époque prébiblique à l'époque biblique est ininterrompu. Vers la fin de l'époque biblique, après environ 1500 ans, cet ensemble a été complété par le laiton. D'après les textes bibliques on peut reconnaître les divers stades d'évolution des différents métaux rencontrés. Les étapes que réfléchit la bible sont la prospection, les gisements de minerais, l'exploitation minière, la préparation, la fusion au four réducteur, la métallurgie des alliages, la cémentation, la fonderie, la fabrication de tôles,

feuilles, fils et chaînes, le forgeage à froid et à chaud, le traitement de surface, la corrosion des métaux – l'analyse et le recyclage ne sont pas non plus absents. Les auteurs des récits bibliques n'étaient pas des spécialistes de la technique des métaux. Mais ils s'y intéressaient et l'observaient avec une grande attention. Du point de vue actuel, leur récit est exact. Dans l'ensemble on peut constater d'après la bible, qu'il existait une industrie métallurgique hautement développée en Palestine, surtout à l'époque du roi Salomon.

1. DER RAHMEN

Das Wesentliche, wovon die Bibel berichtet, ist nicht die Technik. Nun ist die Technik so alt wie die Menschheit selbst. Die Technik hat in der Bibel auch ihren Niederschlag gefunden, besonders die Metalle. Nur auf diese soll hier eingegangen werden. 4. Mose 31/22 (1) erwähnt Gold, Silber, Kupfer, Zinn und Blei. Zu den vorgenannten Metallen ist außer Gold bei Hesekiel (592–570) 22/20 (1) noch Eisen hinzugefügt. Die Legierung aus Kupfer und Zinn (Bronze) fehlt auch nicht (Jeremia (626–580) 6/28, Erz; 1. Könige 7/15, ehern),

1. THE OUTLINE

The essential being reported in the Bible is not the technique. However, technique is as old as mankind itself. Technique has been reflected upon in the Bible, in special the metals. Only those will be considered here. 4. Mose 31/22 (1) mentions gold, silver, copper, tin and lead. To the in the foregoing mentioned ones – with the exception of gold – iron is added in Hesekiel (592–570) 22/20 (1). The alloy out of copper and tin (bronze) is not missing either (Jeremia (626–580) 6/28, Ore; 1. Kings 7/15, brazen), also not the one out of copper and zinc (Revelation 1/15 (brass). Ore and brazen were synonymous with bronze, resp. consisting of bronze, in the old

*) Prof. Dr. rer. nat. Heinz Krapp
D-6360 Friedberg/Hessen

ebenfalls nicht (Offenbarung 1/15) die aus Kupfer und Zink (Messing). Erz und ehern waren im Altertum und Mittelalter gleichbedeutend mit Bronze bzw. aus Bronze bestehend. Der Name Bronze kam erst im 16. Jahrhundert in Italien auf. Hier muß unterschieden werden zwischen Erz (Bronze) und Lagerstättenetzen, eine Gefahr von Doppeldeutigkeit. Fortan wird deshalb „Erz“ durch Bronze ersetzt, „ehern“ durch aus Bronze. In Tabelle 1 sind die hauptsächlich physikalischen Werte der vorgenannten Metalle und Legierungen (weiterhin kurz Metalle) eingetragen.

Bei Metallen gibt es vom Ursprung bis zu den rohen Fertigprodukten folgende wesentliche Arbeitsstufen: Erzlagerstätten (Prospektion, Bergbau, Aufbereitung), Reduktionsofen (Hüttenbetrieb), Reinigung (Raffination) oder Legieren in Tiegelöfen, Gießerei, weichglühen, härten, anlassen, schmieden, treiben; Herstellung von Blechen, Folien und Drähten; löten, schweißen, nieten, Oberflächenbehandlung. Granulation, Filigran, prägen, ziselieren und gravieren finden hier keine Berücksichtigung. Jedes der biblischen Metalle hat mit dem vorstehende Schema in verschiedener Reihenfolge verschiedene Berührungspunkte. Zum Beispiel braucht Gold, auf seinen Lagerstätten gediegen auftretend, keinen Reduktionsofen; technisches Eisen des Altertums wurde keiner Raffination unterzogen. Welche Arbeitsvorgänge sind in der Bibel vertreten? Je mehr davon darin nachweisbar sind, desto mehr treten heutige Züge hervor.

Metalle unterliegen der Korrosion. Werden sie aus dem Reduktions- oder Tiegelofen abgezogen, so interessiert ihre chemische Zusammensetzung (Analyse). Beides ist in der Bibel vertreten, Rost bei Matthäus 6/19,20 und Analyse (Probierkunst) bei Sacharja 13/9. Selbst zum Recycling gibt es einen Hinweis (4. Mose 17/2-4 (1)).

Die Technikgeschichte der Metalle in der Bibel

age and in medieval times. Only in the 16th century the name bronze appeared in Italy. Here, it must be differentiated between ore (bronze) and deposit ores, a certain danger of double meanings. In the following, therefore "ore" will be replaced by bronze, "brazen" by "out of bronze". In table 1 the major physical values of the foregoing metals and alloys (in the following in short "metals") are listed.

For metals – from the origin to the crude finished products – there are the following essential processing stages: Ore deposits (prospecting, mining, beneficiation), reduction furnace (furnace operation), purification (refining) or alloying in crucible furnaces, foundry, soft annealing, hardening, annealing, forging, embossing; manufacture of sheets, foils and wires; soldering, welding, bolting, surface treatment. Granulation, filigree, minting, engraving and enchasing are not considered here. Each of the biblical metals has varying points of contact with the foregoing scheme in a different sequence. E.g. gold, appearing genuine in its deposits, does not need a reduction furnace; technical iron of the old age was not subjected to any refining process. Which processes are represented in the Bible? The more of those can be proven, the more present-day features appear.

Metals are subject to corrosion. When they are drawn off the reduction or crucible furnace, the chemical composition (analysis) is of interest. Both is present in the Bible, rust in Matthew 6/19,20 and analysis (assaying) in Sacharja 13/9. There is even a hint at recycling (4. Mose 17/2 – 4(1)).

The history of the technique of the metals in the Bible begins with 1. Mose 2/11 with gold. It appears pure at the surface as gold soaps in the deposits of rivers and in quartz veins. Because of its permanent shine it attracted the attention

Tabelle/Table 1

Physikalische Werte der Metalle und Legierungen aus Bibeltexten
Physical data of the metals from biblical texts

Element element	Symbol symbol	Ordnungszahl number of order	Atomgewicht atomic weight	Dichte bei/ density at 20°C in gcm ⁻³	Schmelzpunkt/ fusion point in °C	Siedepunkt boiling point in °C	Elektrischer Widerstand bei electric resistance at 20°C in 10 ⁻⁶ Ωcm
Eisen/iron	Fe	26	55,85	7,10	1539	2740	9,71
Kupfer/copper	Cu	29	63,54	8,96	1083	2600	1,673
Zink/zinc	Zn	30	65,38	7,136	419,46	906	5,916
Silber/silver	Ag	47	107,88	10,49	960,5	2210	1,59
Zinn/tin	Sn	50	118,70	7,298	231,9	2270	11,5
Gold/gold	Au	79	197,20	19,32	1063	2970	2,19
Blei/lead	Pb	82	207,21	11,34	327,4	1740	20,65
Bronze/bronze	8% Sn 13% Sn 25% Sn				900 835 786		
Messing/brass	28% Zn				930		

beginnt 1. Mose 2/11 mit Gold. Es kommt gediegen oberflächennah als Goldseifen in den Ablagerungen von Wasserläufen und in Quarzgängen vor. Wegen seines beständigen Glanzes zog es früh die Aufmerksamkeit auf sich. Als früheste Jahreszahl zum alten Testament wird in (2) 1350, versehen mit einem Fragezeichen, angegeben, der Auszug von Israeliten aus Ägypten. Zuletzt wird in der Bibel Messing in Offenbarung 1/15 vorgestellt. Johannes, ihr Verfasser, starb um 100 n. Chr. (2). Die Metalltechnik in der Bibel umfaßt also eine Zeitspanne von ca. 1500 Jahren. Höhepunkt war die Zeit König Salomos (972–932), ein wahrer Metallreichtum. Bei den vielen künstlerischen Produkten, z. B. 1. König 7/50 (1) „Schalen, Messer, Becken, Löffel und Pfannen von lauterem Gold“ (aus Blechen durch Treiben) und 2. Mose 25/31–39 (1) der aus Gold gefertigte siebenarmige Leuchter, kann von Metallkultur gesprochen werden. Weit häufiger als im Neuen Testament sind die Metalle im Alten Testament vertreten (Tabelle 2). Zu jenem hin werden sie immer mehr gleichnisartig.

2. VERSCHIEDENE BIBELAUFGABEN

Einblick genommen wurde in die Bibelausgaben 1956 (1) ohne Wortkonkordanz, 1981 mit 302 Seiten in ihr enthaltener Wortkonkordanz und im Text mit „erklärenden Anmerkungen“ versehen (2), der von der Ausgabe 1984 getrennten Wortkonkordanz von 842 Seiten (3) und der Vulgata 1842 (4). Erfreulicherweise sind in den Konkordanz auch die Metalle vertreten, eine willkommene Arbeitserleichterung. Es ist zu den Konkor-

early. As the earliest date for the Old Testament in (2) the year 1350, with a question mark added, is given – the exodus from Egypt by the Israelites. At last, brass is presented in Revelation 1/15. John, its author, died around 100 A.C. (2). The metal technology in the Bible therefore spans a period of about 1500 years. The peak was the time of king Salomo (972–932), a true metal treasure. With the many products of art – e.g. 1. Kings 7/50 (1) "Bowls, knives, basins, spoons and pans out of solid gold" (from sheets by embossing) and 2. Mose 25/31–39 (1), the seven-armed menorah – it may be considered metal-culture. Metals are considerably more often mentioned in the Old Testament than in the New Testament (Table 2). Compared with the Old Testament they become more and more allegorical.

2. VARIOUS EDITIONS OF THE BIBLE

Bible issues 1956 (1) without word concordance, 1981 with 302 pages of word concordance contained in it and supplemented with "explanatory notes" in the text, the word concordance separated from the issue of 1984 of 842 pages (3), and the Vulgata 1842 (4) were viewed. Fortunately, in the concordances also the metals are represented, a welcome relief for the work. With the concordances it is explicitly noted that they do not claim completeness, otherwise they would have become too voluminous. Nowadays it is possible to build a word concordance with the aid of a computer by means of full text reading, transfer into a data bank and evaluation according to search terms, such as here e.g. iron. In table 2 out of the

Tabelle/Table 2

Wortkonkordanzen zu Metallen in der Bibelausgabe 1981 (2)
Word concordances for metals in the Bible issue 1981 (2)

	insgesamt total	Altes Testament old testament	Neues Testament new testament	überwiegend metalltechnisch, weniger im Gleichnis overwhelmingly metal technical less in the parable
Gold, golden/gold Goldklumpen/gold lumps Goldschmied/goldsmith Goldwaage/gold balance	55	34	21	14
Blei/lead	2	2	0	1
Silber/silver Silberlinge/silver coins silbern/silvery	33	25	8	7
Bronze/bronze (Erz, ehern)/(ore, brazen)	11	9	2	5
Eisen/iron Eisenwerk/ironworks eisern/of iron	28	26	2	12
Summe/total	129	96	33	39

danzen ausdrücklich vermerkt, daß sie keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben, da sie sonst zu umfangreich geraten wären. Man kann heute eine Wortkonkordanz mit Computerhilfe erstellen über Textaufnahme durch Klarschriftleser, Übernahme in Datenbank und Auswertung nach Suchbegriffen, hier z. B. Eisen. In Tabelle 2 sind aus der Wortkonkordanz zu (2) die Anzahl der Bibelstellen zu den verschiedenen Metallen und gegliedert nach Altem und Neuem Testament, wohin sie abnehmen, zusammengestellt. Der Verfasser konnte noch einige Stellen außerhalb Tabelle 2 und im Text vorhanden beisteuern. Beide ergeben aber noch lange keine Vollständigkeit, auch nicht durch (3). Zu Kapitel und Vers der Bibelzitate aus (1,3) wird dies dahinter vermerkt, nicht jedoch bei denen aus (2), die hier am häufigsten benutzt werden.

In (1) ist Kupfer zahlreicher aufgezeigt als Bronze (Erz), in (2) sucht man Kupfer vergeblich, nur Bronze (ehern) ist hier vertreten (vgl. z. B. Matthäus 10/9 hier und dort). In (2) wird also das vor der Bronzezeit liegende, allgemein anerkannte Chalkolithikum ignoriert. (4) bringt auch nur Bronze, manchmal steht für Bronze Geld. In (3) erscheint dann wieder Kupfer, jedoch im Gegensatz zu (1) nur zweimal vertreten.

Die Bibelausgaben (1), (2) enthalten, sehr zu begrüßen und für dieses Thema benutzt „Einzelne Sach- und Worterklärungen, Maße und Gewichte, Geld, Zeitrechnungen, Zeittafel“.

3. FRÜHESTE METALLE

In Tabelle 3 sind nach sieben verschiedenen Quellen (5–11) die Jahreszahlen des frühesten Auftretens der Metalle außerhalb der Bibel zu-

word concordance for (2) the numbers of biblical quotations for the various metals and separated according to Old and New Testament. The author in addition was able to add a few quotations outside Table 2 and present in the text. Both together by far do not give completeness, also not by (3). For chapter and verse of the Bible quotation (3) it is noted behind, however, not for those from (2), which are most frequently used here.

In (1) copper is more frequently mentioned than bronze (ore), in (2) copper is searched for in vain, only bronze (brazed) is represented here (comp. e.g. Matthew 10/9 here and there). In (2) the generally acknowledged chalkolithicum, actually situated before the bronze age, is ignored. (4) also only quotes bronze, sometimes money stands for bronze. Again in (3) copper shows up, however, contrary to (1), represented only twice.

The Bible issues (1), (2) contain "single fact and word explanations, measures and weights, money, chronology, table of dates", which are very welcome and used for this theme.

3. EARLIEST METALS

According to 7 different sources (5–11), the dates of the earliest appearances of the metals outside the Bible are listed in table 3. Until now, no other metals than those represented in the time period of table 3 have become known. In its horizontal rows (a–g) the comparison between the sources has to be made, in the vertical ones (1–7), that of the earliest appearance. The biblical Palestine has no claim for a first appearance of a metal, the Bible does not mention anything of that kind. The oldest date (appr. 9500, column 1c, Stone Age) is

Tabelle/Table 3

Frühestes außerbiblisches Auftreten v. Chr. der Metalle nach verschiedenen Verfassern (5–11)
Earliest extra-biblical appearance of the metals B. C. according to various authors (5–11)

Metall, Legierung metal, alloy	a Donner (5)	b Hofmann (6)	c Lübbe	d Moesta (8)	e Pauly (9)	f Wolters (10)	g Wübbenhorst (11)
1 Gold, gediegen gold, massive	–	–	–	–	6000–4000	–	ca. 7000
2 Kupfer, gediegen, selten copper, massive, rare	–	–	ca. 9500 Anhänger Irak pendant, Iraque	8000–7000	–	–	ca. 7000
3 Blei, Silber, paragenetisch lead, silver, paragenetic	–	–	–	ca. 6500 Pb ca. 3600 Ag	–Pb ab 3000 AG	–	ca. 6000 Pb –Ag
4 Kupfer aus Erzen copper from ores	4000–3000	4000–3000	4000–3000	4000–3000	ca. 5000	ab 4300	ca. 5000
5 Zinn/tin	–	–	–	–	–	ab 2500	ca. 3000
6 Bronze/bronze	3000–2000	–	ca. 2000	ca. 2500	ca. 3000	–	ca. 3000
7 Eisen/iron	ca. 1200	ca. 1500	ca. 2500	3000–2700	ca. 2000	–	ca. 1500

sammengestellt. Andere als die in der Zeitspanne der Tabelle 3 vertretenen Metalle sind bisher nicht bekannt geworden. In ihren waagrechten Reihen (a–g) ist der Vergleich zwischen den Quellen vorzunehmen, in der Senkrechten (1–7) der des frühesten Auftretens. Das biblische Palästina hat keinen Anspruch auf Erstmaligkeit eines Metalls, die Bibel erwähnt davon nichts. Die älteste Jahreszahl (ca. 9500, Spalte 1c, Steinzeit) ist mit Kupfer verbunden, die jüngste mit Eisen (ca. 1200, Minimalwert der Spalte 7). Es treten in Tabelle 3 Differenzen zwischen den zu vergleichenden Jahreszahlen auf, verständlich durch die Schwierigkeiten mit der Zeitbestimmung so weit zurück. Unterschiede in der zeitlichen Größenordnung liegen nicht vor, höchstens beim Eisen.

Tabelle 3 mündet mit ihrem jüngsten Glied Eisen in die biblische Zeit (Beginn ca. 1350). Die biblischen Metalle (s. Kapitel 1) sind dieselben wie in Tabelle 3 (Spalten 1–7), nämlich Gold, Kupfer, Blei, Silber, Zinn, Bronze, Eisen. Diese sind alle ohne Bezug zur Bibel aufgestellt worden. Es besteht zwischen beiden völlige Übereinstimmung. Die Bibel hat sachlich richtig berichtet.

4. METALLE IN BIBELTEXTEN

4.1. Gemeinsame Gesichtspunkte

Die in der Bibel erkennbare Entwicklung der Metalltechnik darf nicht nur auf Palästina beschränkt betrachtet werden. Verknüpfungen über Land und See durch Handel und dabei auch Austausch metalltechnischer Kenntnisse im Nah- und Fernbereich sind nicht zu übersehen. Diese umfassen im wesentlichen und sind nachweisbar: Vorderasien, Ägypten, Cypern, Kreta (vorwiegend Handelsplatz), Griechenland, Spanien, England (Cornwall). Fernhandelsplatz an der südwestlichen Atlantikküste Spaniens war das ca. 1000 gegründete Tartessos (Tharsis der Bibel, Jona (weitgereist) 1/3). An Stelle von Tartessos liegt heute der bedeutendste spanische Erzhafen Huelva, der hauptsächlich den Minenbezirk um den Rio Tinto bedient. Von Spanien aus stießen die Phönizier, um Zinn für die Bronzeherstellung zu holen, sogar bis nach Cornwall vor. Eine negative Verknüpfung geht aus Jeremia 52/17–23 hervor. Die Streitmacht Nebukadnezars (605–562) plünderte und entführte den Metallreichtum Palästinas nach „Babel“.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die für Palästina in Frage kommenden Erzlagerstätten und Erze und kann auch im folgenden zu Rate gezogen werden. Meistens ist damals der Hüttenbetrieb bei der Erzlagerstätte zu suchen. In der Bibel finden sich Mitteilungen, daß Palästina auch über eigene Erzlagerstätten, eine bodenständige Hüttenindustrie und Metalle weiterverarbeitende Werkstätten verfügte. Hierzu lassen sich zitieren: 5. Mose 8/9 „ein Land des Steine Eisen(erb) sind“, Hesekiel 22/20 „zerschmelzen, Ofen“, Daniel 5/2 „goldene und silberne Gefäße“ aus dem Tempel.

connected with copper, the youngest one, with iron (appr. 1200, minimum value of column 7). There appear differences in table 3 between the dates to be compared, understandable because of the difficulties of determining dates so far back. There are no differences in the order of magnitude of the time, at the most for iron.

With its youngest member iron, table 3 leads into the biblical time (Beginning appr. 1350). The biblical metals (ref. chapter 1) are the same ones as in table 3 (columns 1–7), that is, gold, copper, lead, silver, tin, bronze, iron. Those all have been listed without reference to the Bible. Full accordance exists between both of them. The Bible has reported correct facts.

4. METALS IN BIBLICAL TEXTS

4.1. Common points of view

The development of the metallurgy that can be noticed in the Bible must not be seen restricted to Palestine alone. Connections over land and sea by trade and with that an exchange of metallurgical knowledge in the proximity and in the distance must not be overlooked. Those basically contain and may be proven: The Near East, Cyprus, Crete (mainly a trade place), Greece, Spain, England (Cornwall). A long-distance trade place at the south-western Atlantic coast of Spain was Tartessos (Tharsis of the Bible), founded in 1000 (Jona (a travelled man) 1/3). In place of Tartessos, today there is the most important Spanish ore-port Huelva, mainly serving the mining district around the Rio Tinto. Starting from Spain, the Phoenicians came as far as Cornwall to get tin. A negative connexion comes from Jeremia 52/17–23. The forces of Nebukadnezar (605–562) sacked and abducted the metal riches of Palestine to "Babel".

Table 4 shows a survey of the possible ore deposits and ores of Palestine and may be consulted in the following. In those times, the furnace operations were to be found near the ore deposits. In the Bible, also informations can be found that Palestine had own ore deposits and a local metallurgical industry and metal processing shops. Here may be cited: 5. Mose 8/9 "a land the rocks of which are iron(ore)", Hesekiel 22/20 "melt, furnace", Daniel 5/2 "golden and silver vessels" from the Temple.

Ores in chemical compounds (metal oxides, -sulfides etc., table 4) have to be reduced to metals in furnaces. The sulfidic ores must be converted into oxides by a reduction process with charcoal by roasting (on an open hearth with the access of air, $MeS + O_2 = Me + SO_2$). Reducing effect combines the charcoal only with the oxidic ores ($MeO + C = Me + CO$). Fig. 1 shows a primitive furnace (with loam lining), open at the top for obtaining iron (bloomery furnace), with an opening at the side for the access of air and for withdrawal of the spongy, slag-rich iron lumps. With

Die Erze in chemischer Verbindung (Metalloxide, -sulfide usw., Tabelle 4) müssen in Öfen zu Metallen reduziert werden. Die sulfidischen Erze müssen in einem der Reduktion mit Holzkohle vorgeschalteten Verfahren in Oxide durch Rösten umgewandelt werden (auf offenem Herd bei Luftzutritt, $\text{MeS} + \text{O}_2 = \text{Me} + \text{SO}_2$). Reduzierende Wirkung verbindet die Holzkohle nur mit den oxidischen Erzen ($\text{MeO} + \text{C} = \text{Me} + \text{CO}$). Einen primitiven, oben offenen Ofen (Lehmfutter) zur Gewinnung von Eisen (Rennofen) mit seitlicher Öffnung für Luftzufuhr und Entnahme der schwammigen, schlackenreichen Eisenklumpen (Luppen), zeigt Abb. 1. Man wäre im Hinblick auf ein bescheiden günstiges Eisenausbringen gut beraten gewesen, wenn man den Ofen mit abwechselnden Lagen von Holzkohle und Eisenerz beschickt hätte. Jesaja 40/16 weist auf den Waldreichtum des Libanon hin, eine Quelle für Holzkohle. Derselbe (60/17) schiebt zwischen die Aufzählung verschiedener Metalle „Holz“ ein. Im Verbund mit Metallen genannt könnte er Holz für die Umwandlung im Meiler zu Holzkohle gemeint haben. Ofenführung mit Blasebalg ist effektiver als ohne. Jeremia 6/29 nennt ihn.

Metalle brauchen Fachleute. Die Bibel nimmt sich ihrer an. 1. Mose 4/22 (1): Kains Nachfolger waren die Bronze- und Eisenschmiede. Apostelgeschichte 19/24: „Demetrius machte silberne Tempel der Diana“. Sogar heidnisches findet Beachtung. In der Zwischenzeit sind in Palästina zu nennen in 2. Chronik 24/12 „Meister in Eisen und

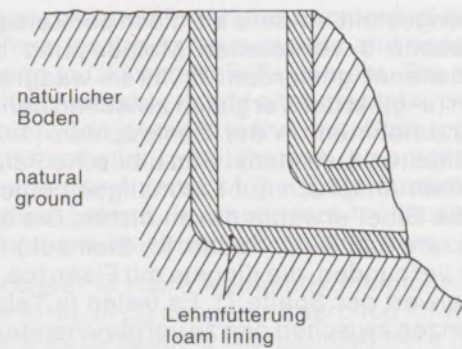


Abb./Fig. 1

Rennofen zur Herstellung von Eisen (18), (19)
Bloomery furnace for the iron manufacture (18), (19)

respect to a modestly favorable iron recovery one would have been well advised, if the furnace had been charged with intermitting layers of char coal and iron ore. Jesaja 40/16 points out the rich forests of the Libanon mountains, a source for charcoal. The same (60/17) also lists "wood" among the listing of the various metals. Mentioned in context with metals, he could have meant wood for the conversion to charcoal in the pile. Furnace operation with billows is more effective than without same. Jeremia 6/29 is mentioning that.

Metals require experts. The Bible is concerned with them. In Mose 4/22 (1): The successors of Cain were the bronze- and black-smiths. Acts of the Apostles 19/24: "Demetrius made silver tem-

Tabelle/Table 4

Für die Metallwirtschaft Palästinas zur biblischen Zeit interessante Erzlagerstätten
Ore deposits of importance for the metalindustry in Palestine in biblical times

Metall/metal	hauptsächliche Erzlagerstätten major deposits of ores	Mineralnamen der wichtigsten Erze, wahllos zu den Lagerstätten mineral names of the main ores at random to the deposits	chemische Formel chem. formula
Gold/gold	Kusch (Sudan), Ophir (Arabien?), Patoklos (SW-Türkei), Punt (Somalia), Saba (Reichsarabien), Spanien (Guadalquivier, Tajo)	Gold/gold	Au
Blei, Silber/lead, silver	Armenien, Kilikien, Laurion bei Athen, Spanien (Rio Tinto)	Bleiglanz/lead sulfide (0,1–1% Ag) Cerussit/cerussite	PbS PbCO ₃
Kupfer/copper	Cypern, England (Cornwall), Kaukasus, Sinai (Timna), Spanien (Rio Tinto), Syrien (Byblos)	Azurit/azurite Kupferfahlerze/copperarsenite Kupferglanz/coppersulfide Kupferkies/chalcopryrite Malachit/malachite Rotkupfererz/copper oxide	2CuCO ₃ ·Cu(OH) Cu ₃ AsS ₄ z. B. Cu ₂ S CuFeS ₂ CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂ Cu ₂ O
Zinn/tin	England (Cornwall), nördliches Persien, Spanien (Galizien), Syrien (Byblos)	Zinnstein = Cassiterit/ cassiterite	SnO ₂
Eisen/iron	Ägypten (Memphis), Armenien (Hethiter), Palästina	Eisenglanz/ironoxide Eisenspat/ironcarbonate Pyrit/pyrite Brauneisen/limonite Ortstein/swamp ore Raseneisenstein/moorstone	Fe ₂ O ₃ FeCO ₃ FeS ₂ inkonstant inkonstant inkonstant

Erz", dort in (1) „Werkmeister in Eisen und Kupfer“ und in 1. Könige 7/14 Hiram (nicht zu verwechseln mit König Hiram von Tyrus, Phönizier bzw. Kanaaniter, 1. Könige 5/15–25 und 9, 26–28) mit Hinweis auf seine Abstammung. „Meister in Erz“, dort in (1) „Kupferschmied“. Liest man 1. Könige 7/14 weiter bis Vers 46, so entsteht der Eindruck, daß Hiram fast Ingenieurniveau hauptsächlich in Gießereitechnik, noch dazu bei künstlerischer Begabung erreicht hatte. Das Wort „Gießerei“ steht in (1) in 1. Könige 7/46. 2. Chronik 24/12 und Hiram sind wiederum (s.w.o.) Hinweise auf eine bodenständige Metallindustrie in Palästina. Wenn durch biblische, der Metalltechnik fernstehende Verfasser, hierzu Fachleute genannt werden, müssen sie in hohem Ansehen gestanden haben.

4.2. Gold

Gold (gediegenes) auf der Lagerstätte tritt primär gebildet (magmatischer Bildungsbereich) als Berggold in Gold-Quarzgängen (abbauwürdig ab 100 g Gold pro t faules Gestein) oder als Seifengold (seipha (adh.) = Bach) sekundär gebildet (sedimentärer Bildungsbereich) in den Ablagerungen von Fluß- und Bachläufen auf. Berggold abzubauen erfordert Tiefbaubetrieb (Schächte, Stollen), Seifengold meistens Tagebau. Nach dem Ausklauben von Hand der stückigen Ablagerungen kommt das Seifengold, die Mischung von feinkörnigem Gold und Sand in einen wassergefüllten und anschließend kreisend bewegten flachen Trog; der leichte Sand fließt über den Trogrand ab, das schwerere Gold bleibt auf dem Boden. Ausklauben und Goldwaschen (mehrmals zu wiederholen) sind Aufbereitungsverfahren (Maleachi 3/2: „Seife der Wäscher“ (im Sinne der Trennung des Goldes vom Sand, kein Waschen von Textilien). Nuggets (z. B. Carl May) sind wahrscheinlich durch tektonischen Druck entstandene Goldklumpen, dieses Wort bei Hiob 31/24. Ein Goldland der Bibel ist Ophir (1. Könige 9/28) und nach den Sach- und Wortklärungen in (1), wahrscheinlich Südarabien. „Sie holten dort 420 Zentner Gold...“. Ein anderes in der Bibel genanntes Goldland ist Kusch (Mohrenland, Psalm 68/32), ungefähr der heutige Sudan mit Seifengold im Flußbereich des oberen Nils, für das nördlich angrenzende Ägypten der Pharaonen die Hauptquelle für Gold. 2. Chronik 9/1 (1) nennt im Zusammenhang mit dem Besuch der Königin von Saba bei König Salomo Gold, (2) hat an Stelle Saba Reicharabien gesetzt. Gold aus Punt (Somalia) könnte auch nach Palästina geliefert worden sein.

In 2. Mose 3/21,22 treffen Gold, Ägypten und die dort Frondienst leistenden Israeliten zusammen. Diese Bibelstelle gibt an, daß die Israeliten vor ihrem Auszug von den Ägyptern „Beute“ an Gold und Silber gewonnen hatten (s. auch 2. Mose 12/35, 105. Psalm 37). Bestand zum Zeitpunkt des Auszuges (ca. 1350) eine politische Schwäche in Ägypten? Vielleicht sollten das die 10 Plagen, die

ples of Diana“. Even heathen mythology is noted. In the interim time there have to be mentioned in Palestine in 2. Chronicle 24/12 “masters in iron and ore”, there in (1) „foremen in iron and copper“ and in 1. Kings 7/14 Hiram (not to be mistaken for the king Hiram from Tyrus, Phoenician, resp. Canaanitian, 1. Kings 5/15–25 and 9, 26–28) with an indication regarding his descent, “master of ore”, there in (1) “coppersmith”. Reading 1. Kings furtheron in 7/14 to verse 46, there results the impression that Hiram had almost reached the level of an engineer, mainly of foundry technique, in addition with a gift of art. The word “foundry” is found in 1. Kings 7/46. 2. Chronicle 24/12 and Hiram again (see above) are indications for a local metalindustry in Palestine. When biblical authors being far from metallurgy list experts for same, they must have had a high reputation.

4.2. Gold

Gold (pure) in a deposit appears primarily formed (magmatic formation zone) as mine gold in gold-quartz veins (workable from 100 g gold per ton of bad rock) or as alluvial gold (in German soapy gold, derived from “seipha” in Old High German, meaning “brook”) as a secondary formation (sedimentary formation zone) in depositions of rivers and brooks. Mine gold requires underground mining (shafts, tunnels), alluvial gold mostly open pit mining. After hand-picking of lumps of the depositions the alluvial gold – the mixture of fine grained gold and sand comes into a waterfilled, flat trough, which is then circularly moved; the lighter sand flows over the brim of the trough, the heavier gold remains on the bottom. Hand-picking and gold washing (repeated for several times) are beneficiation methods (Maleachi 3/2: “Soap of the washers” (in the sense of separating the gold from the sand, no washing of textiles)). Nuggets (e.g. Karl May) probably have been formed by tectonic pressure and are gold lumps, that word in Hiob 31/24. A gold-land of the Bible is Ophir (1. Kings 9/28) and, according to the Fact- and Word-Explanations in (1) probably South Arabia. “There they fetched 420 hundredweights of gold...”. Another gold-land mentioned in the Bible is Kusch (Land of moors, Psalm 68/32), approximately today's Sudan with alluvial gold in the area of the upper Nile, for the adjoining Egypt of the Pharaohs the main source of gold. 2. Chronicle 9/1 (1) mentions in this connection with the visit of the Queen of Saba with King Salomo gold. (2) has placed arabic country instead of Saba. Gold from Punt (Somalia) also could have been shipped to Palestine.

In 2. Mose 3/21, 22, gold, Egypt and the Israelites serving statute labor there are meeting. This biblical passage indicates that the Israelites have won “loot” as gold and silver from the Egyptians prior to their exodus (see also 2. Mose 12/35, 105 Psalm 37). Was there a political weakness in Egypt at the time of exodus (appr. 1350)? Maybe, the 10 pla-

über den sich gegen den Auszug sträubenden Pharao und sein Volk hereinbrachen, untermalen.

2. Mose 32/4: „Und er (Aaron) nahm sie (die goldenen Ohrringe der Weiber, Söhne, Töchter), entwarf's mit einem Griffel (Konstrukteur) und machte ein gegossenes Kalb.“ Für einen Vollguß wird das Gold der Ohrringe nicht gelangt haben. Für ein künstlerisches Gußstück wie das Kalb eignet sich nur das Wachsausschmelzverfahren (Hohlguß in verlorener Form, nur einmaliger Gebrauch der Form möglich, dünnwandiger Guß). 1. Könige 12/28. Jerobeam ließ gleich zwei goldene Kälber (Bilderdienst) gießen.

Eine Eigenschaft des Goldes ist seine Dehnbarkeit. Es läßt sich zu Blechen und Blattgold (bis 1 µm) kalt aushämmern. 2. Mose 25/11: „Du sollst sie (die Lade aus Akazienholz) mit feinem Gold überziehen . . .“. Noch mehr goldener Zierat wurde angebracht (2. Mose 25/12,13); bemerkenswert: 4 goldene Ringe zum Tragen der Lade wurden gegossen. Der mit Goldfolie zu belegende Gegenstand wird durch Auftragen einer dünnen Wachs-, Gips- oder Tonschicht für die Folie noch unter Verwendung von Leinen, Seife oder Eiklar klebend gemacht. 2. Mose 39/3: „Und sie schlugen das Gold und schnitten's zu Fäden (dünne Drähte).“ Mit goldenen Fäden wurden Gewänder geschmückt (2. Mose 39/2,3). Drahtherstellung war also bekannt. Oddy (12) hat sich eingehend damit befaßt. Aus Goldblechen wurden Streifen mit quadratischem Querschnitt geschnitten, verdrillt und rund gehämmert.

Maleachi 3/2,3: „. . . er ist wie das Feuer eines Goldschmieds“; schmelzen, reinigen und läutern von Gold (und Silber) ist hier noch eingeflochten. 1. Petrus 1/7: „Gold, das durch Feuer bewährt wird . . .“ Was ist mit Feuer gemeint? Im Ofen hergestellt wird Gold nicht, warm geschmiedet auch nicht, „bewährt“ ist nicht gegossen. Mit „Feuer“ in beiden Fällen kann nur in einem offenen Tiegelofen (Luftzutritt) im Holzkohlenfeuer geschmolzenes Rohgold gemeint sein. Rohgold von der Lagerstätte enthält immer neben Silber unedle Metalle (Cu, Fe, Sn und/oder Pb). Die unedlen Metalle in der Schmelze unterliegen der Oxidation, die leichten Oxide steigen darin empor und bilden auf der Oberfläche eine dunkel gefärbte Schlacke, die abgezogen wird. Gold wurde so einem Reinigungsprozeß unterzogen, die gereinigte Schmelze in Barren oder andere Formen gegossen. Um Silber aus dem Gold zu entfernen, benutzte man in der Antike seine Kupellation durch Schmelzen mit der mehrfachen Menge Blei. Es trennt sich von Gold eine Blei-Silber-Legierung.

Sacharja 13/9: „. . . ich will euch prüfen, wie man das Gold prüft.“ Einfachste Prüfmethode auf Reinheit des Goldes (und auch des Silbers, Psalm 66/10) ist die vor der biblischen Zeit bereits entdeckte Strichprobe auf einer Schieferplatte. Das analytische Ergebnis ist an der Farbe des Striches abschätzbar (Probierkunst).

gues that came over the Pharaoh and his people who were opposing the exodus should underline this.

2. Mose 32/4: “And he (Aaron) took them (the golden ear-rings of the women, sons, daughters), designed it with a slate pencil (designer) and made a cast calf”. The gold of the ear-rings certainly was not enough for a solid casting. For an artistical casting, such as the calf, only the wax-melting process is apt (hollow casting in a lost mould, only single use of the mould is possible; thin-walled casting). 1. Kings 12/28: Jerobeam right away had two golden calves cast (image worshipping).

Ductility is one of the properties of gold. It can be hammered to sheets and leaf gold (to 1 µm) in cold state. 2. Mose 25/11 “Thou shalt cover it (arc of the covenant out of acacia wood) with fine gold . . .”. Even more golden decorations were applied (2. Mose 25/12,13); remarkable: 4 golden rings for carrying the ark were cast. The object to be covered with gold foil is made sticky by applying a thin layer of wax or tone by using linen, soap or white of eggs. 2. Mose 39/3: “And they beat the gold and cut it into threads (thin wires).” Garments were decorated with golden threads (2. Mose 39/2,3). The manufacture of wires thus was known. Oddy (12) has been intensively concerned with this. Out of gold sheets strips with square cross section were cut, twisted and hammered round.

Maleachi 3/2,3: “. . . he is like the fire of the goldsmith”; melting, purifying and refining of gold (and silver) is here also included. 1. Petrus 1/7: “Gold that is proven by fire . . .” What is meant with fire? Gold is not produced in the furnace, it is also not hot forged, “proven” is not cast. With “fire” in both cases only crude gold. Molten in an open crucible furnace (access of air) in a charcoal fire can be meant. Crude gold from the deposit always contains base metals beside silver (Cu, Fe, Sn and/or Pb). The base metals in the melt are subject to oxidation, the light oxides float up forming a dark-colored slag at the surface, that can be drawn off. Such gold was subjected a purification process, the purified melt was cast into ingots or other moulds. In order to remove the silver from the gold, in the old age its cupellation with several times its quantity of lead was used. A lead-silver alloy separates from the gold.

Sacharja 13/9: “. . . I shall assay you, just as gold is assayed.” The simplest testing method for the purity of gold (also of that of silver, psalm 66/10) is the stroke-test on a slate-plate, already discovered in pre-biblical times. The analytical result may be assayed from the color of the stroke (art of assaying).

It is remarkable that golden nails were made (2. Mose 36/35 (1), 2. Chronicle 3/8,9 (1)). The latter (or the translator) define 600 hundredweight (20.5 mt) of gold for lining the walls and ceiling of the sanctuary in the Temple. With gold foil, a minute

Auffällig ist, daß goldene Nägel hergestellt wurden (2. Mose 36/35 (1), 2. Chronik 3/8,9 (1)). Letztere (oder der Übersetzer) legt sich fest auf 600 Zentner (20,5 t) Gold zum Belegen der Wände und Decke des Allerheiligsten im Tempel. Mit Goldfolie wäre man mit einem winzigen Bruchteil ausgekommen. Es muß sich, da jedenfalls eine große Menge Gold herausgestellt wird, um Goldbleche gehandelt haben. Diese können nicht wie Folien aufgeklebt werden. Die weichen Goldnägel werden sich beim Einschlagen verbogen haben, was zu verhindern war, schlug man vorher Öffnungen für sie mit einem Eisennagel in die dünnen und nicht zu großen Bleche. Hätte man Eisennägel zur endgültigen Befestigung benutzt, so würde sich das Eisen in absehbarer Zeit aufgelöst haben. Es genügt, daß beide Metalle (Gold edel (+ 1,42 V), Eisen unedel (- 0,04 V)) mit der überall vorhandenen Luftfeuchtigkeit, diese ein schwacher Elektrolyt, in Kontakt kommen (elektrochemische Korrosion). In der biblischen Zeit besaß man hierzu schon einen Erfahrungsschatz.

4. Mose 7/14 gibt u. a. an 10 Lot (117 g) Gold. Die erforderliche Waage findet Erwähnung bei Sirach 21/27: „Die Weisen wägen ihre Worte mit der Goldwaage.“ Ein Instrument unterbaut deutlich ein Gleichnis.

4.3. Kupfer, Zinn, Bronze

In Tabelle 3 ist bei Kupfer eine Gliederung vorgenommen worden (Spalten 2,4). In Spalte 2 befindet sich das ältere Kupfer, gediegenes Kupfer aus der Zementationszone an der Oberfläche des Grundwassers von zu Tage austreichenden Erzgängen, einer Fazies aus Eisen- und Kupfererzen. Dieses natürlich entstandene Kupfer ist selten. Nur wenige kleine von Menschenhand daraus gebildete Gegenstände sind gefunden worden. Spalte 4 repräsentiert Kupfergewinnung aus reichlich vorhandenen Kupfererzen.

Hier war Palästina in einer glücklichen Lage, und zwar durch die Kupfererzlagerstätten bei Timna in der Nähe des Golfs von Akabah im Herrschaftsbereich König Salomos. Jedoch fehlt jeder Hinweis zu Timna in den zwei Büchern der Könige und den zwei Büchern der Chronik, die sich sonst der Metalle reichlich annehmen. Zu 1. Könige 9/26,27 wird Werftbetrieb in Ezeon-Geber bei Eloth (heute Eilath, Akabah) hervorgehoben, kein Wort von Kupfer. Weiter hilft 5. Mose 8/9 (1,3): „... ein Land (Palästina), in dessen Steinen Eisen ist, wo du Kupfererz aus Bergen haust.“ Mose war also Kunde von Prospektoren zugekommen. Betrachtet man die Karte „Die Kupfervorkommen in der Antike“ bei Riederer (13), so ist festzustellen, daß Timna, wie Ezeon-Geber auch am Golf von Akabah, die bedeutendste Kupfererzlagerstätte Palästinas war. In 5. Mose 8/9 kann nur Timna gemeint sein, und das reichste Kupfervorkommen seines Reiches wird Salomo nicht ungenutzt gelassen haben. Möglich, daß es geheim bleiben sollte, wenn es im Zusammenhang mit

fraction would have done. Since a large quantity is presented, it must have been gold sheets. Those cannot be glued like foils. When hammering them, the gold nails will have bent, which had to be avoided by making small holes into the thin and not too large sheets by means of an iron nail. Had they used iron nails, the iron would have been dissolved in not too long a time. It is sufficient that both metals (gold noble (+ 1.42 V), iron base (-0.04 V) get into contact with the ubiquitous moisture of the air – that being a weak electrolyte (electrochemical corrosion). In biblical times one had the needed experience.

4. Mose 7/14 mentions among other 10 Lot (117 g) gold. The necessary balance is mentioned in Sirach 21/27: “The wise men weigh their words with the gold-balance”. An instrument underlines a parable.

4.3. Copper, tin, bronze

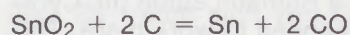
In table 3, an arrangement has been made with copper (columns 2,4). In Column 2 there is the older copper, pure copper from the cementation zone at the surface of the underground water of ore veins reaching the surface, a facies of iron and copper ores. This copper of natural origin is very rare. Only few small man-made objects have been found that have been made from that. Column 4 represents the winning of copper from abundant copper ores.

Here, Palestine was in a lucky position, that is, by the copper ore deposits at Timna near the Gulf of Akabah in the regency of King Salomo. However, any indication for Timna is missing in the two books of the Kings and the two books of the Chronicle, that otherwise are considerably concerned about the metals.. In 1. Kings 9/26, 27 the operation of a shipyard at Ezeon-Geber near Eloth (today Eilath, Akabah) is stressed, no word about copper. More helpful is 5. Mose 8/9 (1,3): “... a land in whose rocks is iron, where thou can beat copper ore from the mountains”. Mose actually had obtained information from prospectors. When looking at the map “The copper deposits in the old age” in Riederer (13), it can be stated that Timna, like Ezeon-Geber also at the Gulf of Akabah, has been the most prominent copper ore deposit of Palestine. In 5. Mose 8/9 only Timna can be meant, and Salomo certainly will not have left unused the richest copper deposit of his land. Quite possible that it should have been kept secret, if it is not mentioned in connection with him. In Timna, the Egyptians operated before the Israelites, after those, a Roman Legion (III, Cyrenaica) had been commanded to work there. The basically easy to process main ores from Timna were malachite and azurite (table 4). Archeologically proven were mining and smelting operations and workshops (a survey on the “biblical” copper industry see Rotherberg (14)). The same lists excavated reduction furnaces with capacities of 70–100 lit. 20–60 kg should have been the daily production.

ihm nicht erwähnt wird. In Timna wirkten vor den Israeliten die Ägypter, nach jenen war eine römische Legion (III, Cyrenaica) zum Arbeitseinsatz kommandiert. Die, als im Prinzip leicht auf Kupfer zu verhüttenden Haupterze von Timna waren Malachit und Azurit (Tabelle 4). Archäologisch nachgewiesen wurden Bergbau-, Hüttenbetriebe und Werkstätten (Überblick der „biblischen“ Kupferindustrie bei Rothenberg (14)). Derselbe gibt ausgegrabene Reduktionsöfen mit einem Fassungsvermögen von 70 bis 100 l an, 20 bis 60 kg Kupfer soll die Tagesproduktion eines solchen Ofens betragen haben.

„Blinkendes Kupfer“ bei Hesekiel 8/2 (1) ist so auszulegen, daß die gute Polierbarkeit von Kupfer bekannt war. 4. Mose 17/1–4 (1): Es werden „kupferne Pfannen“ erwähnt, die verbrannt waren; „man schlug sie (danach) zu breiten Blechen, daß man den Altar damit überziehe (nach vorheriger mechanischer Reinigung der Oberfläche)“. Dieselbe Stelle bei (2) gibt verbrannte Pfannen aus Bronze an. Ein Pfannenrand wird aufgebogen, dazu ist Kupfer besser geeignet als Bronze. Verbrannte Pfannen waren über dem Feuer. Hier ist Kupfer wieder gegenüber Bronze im Vorteil. Kupfer ist hitzebeständiger als Bronze (Tabelle 1). In der Bibel sind also Kupfer und Bronze zu unterscheiden. Die Umwandlung zu Blechen ist ein Fall von Wiederverwertung (Recycling). Kupfer läßt sich kalt schmieden, verunreinigende Schlacken werden dabei zum großen Teil entfernt, seine Härte nimmt deutlich zu. Es läßt sich schlechter gießen als Bronze.

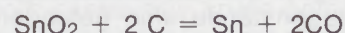
Mit Bronze, der Legierung aus Kupfer und Zinn, begann der Einstieg in die Legierungstechnik. Durch Zusatz von Zinn wird der Schmelzpunkt des Kupfers (1083°C) erniedrigt (Tabelle 1). Bronzen um 10% Sn waren im Altertum weit verbreitet. Es gab auch bleihaltige Bronzen, also das Hinzutreten einer dritten Legierungskomponente. Daß legiert wurde, hatte Hesekiel (22/20 (1)) wahrgenommen: „Wie man Silber, Kupfer, Eisen, Blei und Zinn im Ofen zusammenbringt, daß man ein Feuer darunter entfacht und es zerschmelzen läßt . . .“. „Feuer darunter“ bedeutet einen Tiegelofen, keinen Reduktionsofen mit „Feuer darin“. Der Tiegelofen konnte mit Kupfer und Zinn gefüllt werden, die Mischung wurde im Holzkohlenfeuer geschmolzen und über eine Gießschnauze (?) entleert. Töpfer (Jeremia 18/2) verstanden sich sicherlich auf die Herstellung solcher Tiegel aus Tonware. Aus dem unverwitterbaren Zinnstein der Seifen läßt sich Zinn mit Holzkohle bei 1000°C herstellen:



Es war auch eine einfachere Methode zur Bronzeherstellung in Betracht zu ziehen. Treten Kupfer- und Zinnerze auf der Lagerstätte vergesellschaftet auf (Kupferkies – Zinnstein – Formation von Cornwall), so kann der Reduktionsofen neben Holzkohle mit dem natürlichen Mischerz beschickt werden und nach Ablauf der metallurgischen Reaktionen wird Bronze abgestochen.

„Sparkling copper“ with Hesekiel 8/2 (1) may be interpreted in such way, that the good polishability of copper was known. 4. Mose 17/1–4 (1): „Copper pans“ are mentioned, that had been burnt; „(afterwards) they were beaten to wide sheets, in order to plate the altar with them (after previous mechanical cleaning of the surface)“. The same quotation at (2) mentions burnt pans out of bronze. The brim of a pan is turned upwards, for this, copper is better than bronze. Burnt pans had been above the fire. Here, copper is more advantageous than bronze. Copper can resist more heat than bronze (table 1). In the Bible it has to be distinguished between copper and bronze. The conversion into sheets is a case of recycling. Copper may be cold forged, impurifying slags thus are removed to a large extent, its hardness clearly increases. It is more difficult to cast than bronze.

With bronze, the alloy of copper and tin the introduction into the alloying technique began. By adding tin, the melting point of copper (1083°C) is reduced (table 1). Bronzes around 10% Sn were widespread in the old age. There have also been lead-containing bronzes, that is, the addition of a third alloying component. Hesekiel (22/20(1)) has noted that alloying took place: „How silver, copper, iron, lead and tin are joined in a furnace, that a fire is made underneath and let it melt . . .“. „fire underneath“ means a crucible furnace, not a reduction furnace with „fire therein“. The crucible furnace could be filled with copper and tin, the mixture was molten in the charcoal fire and emptied through a casting spout (?). Potters (Jeremia 18/2) certainly understood the manufacture of such crucibles out of earthenware. Out of the non-weathering tinstone of the soaps, tin can be made with charcoal at 1000°C:



Also, an easier method for the manufacture of bronze had to be considered. If copper and tin ores appear associated in a deposit (chalcopyrite – kassiterite – formation of Cornwall), it is possible to charge the reduction furnace aside from charcoal with the natural mixed ore, and after the metallurgical reactions bronze is tapped. Mixed ore, e.g. of Timna-copper ore and Cornwall – soapy tin (without copper sulfide), that is, from separate deposits, might also have been charged. Palestine was unable to satisfy its own need of tin for bronze from own deposits. Well running sources for tin were Galicia in Spain and Cornwall (table 4).

Bronze is apt for the manufacture of high-quality castings, permits good casting properties. The wax-melting process was known to the Israelites already at an early time (see Chapter 4.2, the Golden Calf). It can be excellently performed with bronze, however, the mould can be used for only one casting. A mould with longer life became necessary. Inevitable for the mass production at the time of Salomo, the hollow casting mould was

Mischerz, z. B. aus Timna-Kupfererz und Cornwall – Seifenzinn (ohne Kupferkies), also aus getrennten Lagerstätten kann auch eingesetzt worden sein. Palästina konnte seinen Eigenbedarf an Zinn für Bronze aus eigenen Lagerstätten nicht decken. Munter sprudelnde Quellen für Zinn waren Galizien in Spanien und Cornwall (Tabelle 4).

Bronze eignet sich zur Herstellung hochwertiger Gußstücke, läßt sich also gut vergießen. Das Wachsausschmelzverfahren war den Israeliten schon früh bekannt (s. Kapitel 4.2., das goldene Kalb). Es läßt sich auch mit Bronze vorzüglich durchführen, die Form hält jedoch nur einem Guß stand. Eine Form mit höherer Standzeit wurde erforderlich. Es entwickelte sich, unerläßlich für die Massenproduktion zur Zeit Salomons, die Hohlgußform. Den Hohlraum im fertigen Guß hatte ein Kern aus festem Sand zu erbringen. Gibt es hierfür neben den außerbiblischen Zeugnissen auch biblische? 1. Könige 7/46: „In der Gegend am Jordan (bei Sukkoth) ließ sie (Säulen, Gestühle, Kessel, Töpfe, Becken usw.) der König (Salomo) gießen (durch Hiram) in dicker Erde.“ Jeremia 52/21 gibt die Maße von zwei ehernen Säulen an: 8,8 m lang; Radius 0,99 m; Wanddicke 8 cm. Daß er die Wanddicke angibt, kennzeichnet die Säulen als hohl, also mit Kern gegossen. Dicke Erde ist feste Erde (Lehm, Ton, tonhaltiger Sand), und geeignet zur Herstellung der Formen. „Dicke Erde“ und „gießen“ passen technisch zusammen, unwahrscheinlich, daß sie etwas mit einer Furt zu tun haben, worauf die „erklärenden Anmerkungen“ (2) zu diesem Vers hinweisen.

Es wimmelt in 1. Könige 7/15–47 von hochwertigen „ehernen“ Gußprodukten. 1. Könige 7/33: Auch „Räder wie Wagenräder“ mit „Achsen, Naben, Speichen und Felgen“ wurden alle „gegossen (Vollguß)“. Für hochwertigen Guß ist Bronze (Erz der Bibel) besser geeignet als Kupfer. Vom Erz der Bibel sind abgeleitet Erzengel, Erzhirte, Erzkämmerer, Erzschenk, Erzväter, Erzherzog (die Höchsten).

Ein Spitzenprodukt war das „eherne“ und gegossene „Meer“ (1. Könige 7/23–26, Jeremia 52/17), seine Aufstellung im Tempel ist aus (1) indirekt zu erschließen. Seine Abmessungen betragen: 10 Ellen (5,2 m) Durchmesser, 5 Ellen (2,6 m) hoch, Umfang 30 Ellen (16,3 m). Die Umrechnung in das metrische System wurde mit dem Mittelwert zwischen kleiner und großer Elle (52 cm) vorgenommen. Die Wanddicke war eine „Hand breit“ (8 cm). Der Inhalt des Meeres berechnet sich zu 55,1 m³. Über seinen Verwendungszweck fehlen Angaben. Bei 8 cm Wanddicke berechnet sich das Volumen an vergossener Bronze zu 5,1 m³. Eine gängige antike Bronze mit 10% Sn hat eine Dichte von 8,8 t/m³.

$$5,1 \text{ m}^3 \cdot 8,8 \text{ t/m}^3 = 45 \text{ t}$$

45 t Bronze hätten also für das Meer vergossen werden müssen. Bei der Tagesleistung eines Ofens von durchschnittlich 40 kg (Rothenberg

developed. The hollow space in the final casting had to be effected by a core of solid sand. Are there any proofs for that in the Bible, other than the nonbiblical ones? 1. Kings 7/46: “In the region at the river Jordan (near Sukkoth) King Salomo had them (columns, seats, kettles, pots, basins, etc.) cast (by Hiram) in thick soil”. Jeremia 52/21 gives the measures of two brazen columns: 8.8 m long; radius 0.99 m; thickness of the walls: 8 cm. Since he gives the dimension of the walls, characterizes the columns as hollow, that is, cast with a core. Thick soil is solid soil (loam, clay, clay-containing sand), and suitable for the making of the moulds. “Thick soil” and “casting” technically fit together; it is improbable that they can have anything to do with a ford, to which the “explanatory remarks” (2) refer to this verse.

In 1. Kings 7/15–47 it is teeming with high-quality “brazen” casting products. 1. Kings 7/33: “Wheels like chariot wheels” with “axles, hubs, spokes and rims” all have been “cast” (allcast). For high quality castings bronze (brazen of the Bible) is better suitable than copper. In German, from brazen (Erz-) are derived several conceptions, such as Erzengel (archangel), Erzhirte (archshepherd), Erzkämmerer (arch-chamberlain), Erzschenk (arch-cupbearer), Erzväter (archfathers), Erzherzog (archduke) (the highest ones).

A top-product has been the “brazen” and cast “sea” (1. Kings 7/23–26, Jeremia 52/17), its erection in the Temple can be indirectly derived from (1). Its dimensions were: 10 ells (5.2 m) diameter, 5 ells (2.6 m) high, circumference 30 ells (16.3 m). The transformation into the metric system was done with a mean value for the small ell and the big ell (52 cm). The thickness of the wall was a “hand wide” (8 cm). The contents of the sea is calculated with 55.1 m³. There is no report on its specific use. With a thickness of the wall of 8 cm, the volume of the cast bronze is calculated with 5.1 m³. A usual antique bronze with 10% Sn has a density of 8.8 t/m³.

$$5.1 \text{ m}^3 \cdot 8.8 \text{ t/m}^3 = 45 \text{ t}$$

To cast the sea, it would have taken 45 t of bronze. With a daily output of a furnace of 40 kg (Rothenberg (14)), 1125 daily outputs of one furnace, or 1125 furnaces for one day would have been needed. These numbers and also their intermediate values could not be realized. On account of its size of a non-transportable mould it would have to be cast in situ in the Temple, which is hard to imagine.

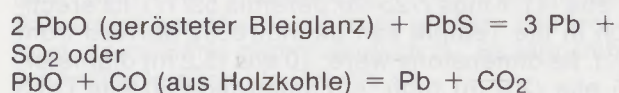
Another technical way for the manufacture of the sea could have been the following – which has not been proven archeologically, but then actually technically possible: Copper was cold forged into sheets, the strength increased. The sheets were brought to a certain size and bent into a cylindrical shape with respect to shape of the sea. The sheets certainly did not need to be 8 cm (see above) thick. They had to be joined watertight, which could have been accomplished by solde-

(14) wären also 1125 Tagesleistungen eines Ofens oder 1125 Öfen für einen Tag erforderlich gewesen. Diese Zahlen und auch ihre Zwischenwerte waren nicht zu verwirklichen. Es hätte auch wegen der Größe der nicht transportablen Form an Ort und Stelle im Tempel gegossen werden müssen, was schwer vorstellbar ist.

Ein anderer technischer Weg zur Herstellung des Meeres konnte folgender sein, archäologisch nicht belegt, aber damals technisch immerhin möglich: Kupfer wurde zu Blechen kalt geschmiedet und die Härte nahm zu. Die Bleche wurden auf eine bestimmte Größe gebracht und im Hinblick auf die zylindrische Form des Meeres gekrümmt. 8 cm dick (s. o.) brauchten die Bleche keineswegs zu sein. Sei waren wasserdicht zu verbinden, was durch Lötten (Wolters (10)) oder Überfanggießen (Drescher (15)) hätte ausgeführt werden können. Durch das vorgenommene Kaltschmieden mit Zunahme der Härte hätte ein kupfernes Meer die nötige Formstetigkeit erhalten. Jeremia 52/17 (1) schreibt „das kupferne Meer“.

4.4. Blei, Silber

Das hauptsächliche Bleierz ist Bleiglanz oder Galenit (PbS, Schmelzpunkt 727°C). Es gibt zwei Methoden, um Blei herzustellen:



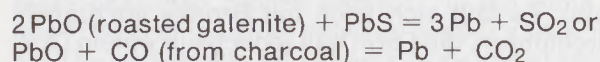
Bleiglanz kommt meistens auf Gängen, paragenetisch mit Silberglanz (Ag₂S) isomorph im Kristallgitter des Bleiglanzes vorhanden oder in Form silbertragender Erze (Fahlerz, Rotgültig usw.), mikroskopisch als Einschlüsse auftretend, vor. Eine Trennung des Silbers aus dem Bleiglanz von Hand ist unmöglich. Die Silbergehalte des Bleiglanzes schwanken je nach Lagerstätte zwischen 0,1% und 1%. In Zementationszonen von Erzgängen ist gediegenes Silber noch seltener als gediegenes Kupfer. Lagerstätten mit hauptsächlich Silbererzen gab es nicht in Palästina und seinem beschriebenen Umfeld. Silber existierte aber in namhafter Menge, z. B. 1. Mose 23/15, 16 werden 400 Lot (4,7 kg) Silber in Privatbesitz für einen Grundstückskauf (Abraham) genannt. Das Silberreservoir steckte im Bleiglanz. Das metallurgische Problem war also die Isolierung des Silbers vom Blei.

Von Tartessos (Tharsis in Spanien; Jesaja 66/19) konnte Silber kommen, auch aus dem Laurion-Bezirk (östlich Athen). Der durchschnittliche Silbergehalt des dortigen Bleiglanzes beträgt nach Genter et al. (16) 0,5%, ein silberreicher Bleiglanz. Ein umfangreicher Bergbaubetrieb (Tiefbau mit Schächten und Stollen) wurde in Laurion nachgewiesen. Hierauf basierte der Silberreichtum Athens. Nach Gale (17) begann der Bergbau in Laurion „mindestens ab 2900 v. Chr.“ Moesta (8) teilt mit, daß Silber aus Laurion im prädynasti-

ring (Wolters (10)) or flashed casting (Drescher (15)). By the cold forging performed with the increase in hardness, a copper sea would have obtained the necessary stiffness. Jeremia 52/17 (1) writes "the copper sea".

4.4. Lead, silver

The major lead ore is lead sulfide or galenite (PbS, melting point 727°C). There are two methods to produce lead.



Lead sulfide appears mostly in veins, paragenetically with silver sulfide (Ag₂S), isomorphous in the crystal lattice of the lead sulfide, or in silver containing ores (fahl-ore, ruby, etc.), in microscopical inclusions. Hand-separation of the silver from the lead sulfide is impossible. The silver contents of the lead sulfide vary according to the deposit from 0.1% to 1%. In cementation zones of ore veins pure silver is rarer than pure copper. In Palestine there were no deposits with mainly silver ores, and also not in the areas around that were described. Silver existed however in considerable quantities, e.g. 1. Mose 23/15,16, where 400 Lot (4.7 kg) of silver in private possession are mentioned for the purchase of a plot of land (Abraham). The silver resources were contained in lead sulfide. The metallurgical problem therefore was the separation of the silver from lead.

From Tartessos (Tharsis in Spain; Jesaja 66/19) there could come silver, also, from the district of Laurion (east of Athens). The average of the lead sulfide from there was 0.5% according to Genter et al. (16), that is a lead sulfide rich in silver. An extensive mining operation (underground mining with shafts and tunnels) has been proven at Laurion. The richness in silver of Athens was based on that. According to Gale (17), the mining at Laurion started "at least from 2900 B.C.". Moesta (8) writes that silver from Laurion already was in use in pre-dynastic Egypt, that becomes apparent because of the coincidence of the composition of the lead isotopes Pb 204, 206, 207, 208 of the residual lead in the silver here and there. Lauric silver thus first came into contact with the Israelites there (105. Psalm 37).

Jeremia 6/29,30 (1): "The billows snorted, the lead became liquid by the fire; however, the melting was in vain, because the bad ones were not separated. Therefore they are called outcast silver". The prophet described a defective batch of a lead-silver separation. As seen today: From a reduction furnace a lead-silver alloy (Fig. 2) is tapped, then lead as the less noble metal is exothermally oxidized to reddish lead oxide (PbO, melting point 886°C) on an open hearth (cupellation furnace) with access of air, better with blowing air with the "billows", silver, being more noble, is not oxidized.

schen Ägypten schon in Gebrauch war, und zwar auf Grund der Übereinstimmung in der Zusammensetzung der Bleiisotope Pb 204, 206, 207, 208, der Bleireste im Silber, hier und dort. Laurisches Silber in Ägypten kam so zum erstenmal mit den Israeliten dort in Berührung (105. Psalm 37).

Jeremia 6/29, 30(1): „Der Blasebalg schnaubte, das Blei wurde flüssig vom Feuer; aber das Schmelzen war umsonst, denn die Bösen sind nicht ausgeschieden. Darum heißen sie verworfenes Silber.“ Der Prophet schildert eine Fehlcharge bei der Blei-Silber-Trennung. In heutiger Sicht: Aus dem Reduktionsofen wird eine Blei-Silber-Legierung (Abb. 2) abgestochen, dann wird auf offenem Herd (Treibofen) unter Luftzutritt, besser noch unter Aufblasen von Luft mit dem „Blasebalg“ Blei als das unedlere Metall exotherm zu rötlicher Bleiglätte (PbO, Schmelzpunkt 886° C) oxidiert, Silber als das edlere nicht. Die Bleiglätte läßt man z. T. abfließen oder z. T. vom Herdfutter aufsaugen. Knochenasche in diesem ist wirkungsvoll. Am Ende der Treibarbeit (Kupellation) erscheint auf der Herdsohle der Silber-Regulus (der Silberblick). Die Bleiglätte reinigt das Silber zum großen Teil von seinen Begleitelementen. Mit ca. 1% Restblei, willkommen für Isotopenanalyse, muß aber gerechnet werden. Man konnte dieses Silber noch weiter reinigen, es mit dem Mehrfachen an Blei versetzen, die Mischung zum Schmelzen bringen und den Treibprozeß wiederholen. Vielleicht hätte so die Fehlcharge des Jeremia noch gerettet werden können.

Schlechtes Silber, „Silber ist Schaum geworden“, stellt auch Jesaja (1/22) fest. Silberhaltiger Bleiglanz tritt auf hydrothermalen Gängen (Erzgänge Hiob 28/1), entfernt vom magmatischen Ursprung (Pluton) auf. Je näher bei diesem die Bildung des Bleiglanzes erfolgte, desto mehr erscheint er in Formation mit Zinkblende (ZnS), mit der Entfernung nimmt der Gehalt an Zinkblende ab. Im Reduktionsofen entsteht im ersten Fall neben der Blei-Silber-Legierung (Abb. 2) auch eine aus Silber-Zink. Letztere bildet schaumige Mischkristalle (Vogel (18)) auf der Schmelze, die Jesaja als metallurgische Wahrheit beobachtete.

Auf reines Silber legte man Wert: Psalm 66/10, Psalm 12/7 („durchläutert Silber im irdenen Tiegel“), Sprüche 17/3, Maleachi 3/3. Mit Silber wurden „vier silberne Füße“ gegossen (2. Mose 36/36 (1)). „... des Bildes Brust und seine Arme waren von Silber“ (Daniel 2/32); silberne Becher, Gefäße, Schalen, Bilder (s. Wortkonkordanz „silbern“ in (2)); „silberne Tempel der Diana“ (Apostelgeschichte 19/24), „silberne Ketten“ bei Jesaja 40/19 usw.

Die vom Silber abgetriebene Bleiglätte brauchte nicht restlos auf Halde gebracht zu werden. Sie konnte, wenigstens teilweise, mit Holzkohle leicht zu Blei umgewandelt werden. 2. Mose 15/10: „... sie sanken unter wie Blei“. Hiob 19/24: „... mit eisernem Griffel auf Blei“ (geschrieben).

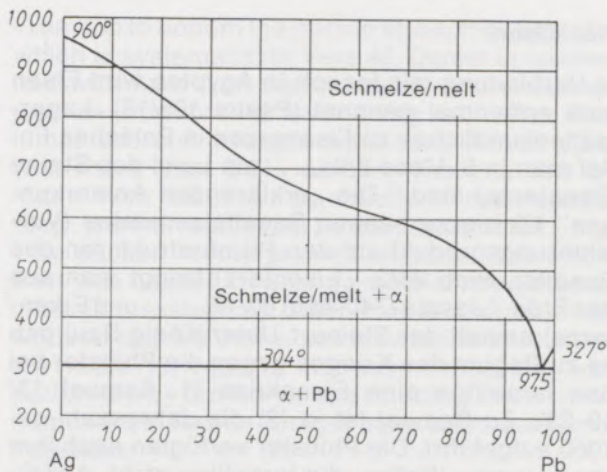


Abb./Fig. 2

Blei-Silber-Diagramm (18). Blei-Silber-Legierungen mit weniger als 2,5% Ag schmelzen zwischen 304° C (Eutektikum) und 327° C (Schmelzintervall)

Lead-silver-diagram (18). lead-silver-alloys with less than 2.5% Ag fuse between 304° C (eutectic point) and 327° C (melting interval)

Litharge may partially flow off, or is partially absorbed by the hearth lining. Bone-ash contained in same is effective. At the end of the cupellation, the silver regulus (the silver gleam) appears at the bottom of the hearth. Litharge purifies the silver to a large extent from the accessory elements. With some 1% of residual lead – welcome for the isotope analysis – has to be calculated however. It was also possible to still further refine that silver by mixing it with a morefold quantity of lead, melting the mixture again and repeating the cupellation process again. Possibly, the defective melt of Jeremia could have been saved in that way.

Bad silver, "silver has become foam", sates Jesaja (1/22). Silver containing lead sulfide appears in hydrothermal veins (ore veins, Hiob 28/1), in a distance from the magmatic origin (Pluton). The closer to this the formation of the lead sulfide took place, the more it appears in formation with zinc sulfide (ZnS), with the distance, the content of zinc sulfide decreases. In the reduction furnace in the first case next to the lead-silver-alloy, also such out of silver-zinc originates. The latter forms frothy mixed crystals (Vogel (18)) on the melt, which was observed by Jesaja as metallurgical truth.

Pure silver was esteemed: Psalm 66/10, Psalm 12/7 ("fully refined silver in the earthen crucible"), Proverbs 17/3, Maleachi 3/3. With silver "four silver legs" were cast (2. Mose 36/36(1)). "... the chest and the arms of the image were out of silver" (Daniel 2/32); silver goblets, vessels, cups, images (see word concordance "silvery" in (2); "silvery temple of Diana" (Acts of the Apostles 19/24), "silver chains" in Jesaja 40/19, etc.

The lead oxide separated not necessarily had to be rejected. At least partially, it could be converted into lead by means of charcoal. 2. Mose 15/10: "... they sank just like lead". Hiob 19/24: "with iron stylus on lead" (written).

4.5. Eisen

In Verbindung mit Joseph in Ägypten wird Eisen zum erstenmal genannt (Psalm 105/18). Lagerstättenkundliches zu Eisenerzen in Palästina findet man in 5. Mose 8/9: „... ein Land des Steine Eisen(erze) sind.“ Die „erklärenden Anmerkungen“ (2) hierzu nennen Basalteisensteine (Verwitterungsprodukt auf den Primärstrukturen des Basalts). Hiob 28/2: „Eisen(erb) bringt man aus der Erde.“ Jesaja (740–690) 60/17: „... und Eisen(erze) anstatt der Steine.“ Unter König Saul gab es zu Beginn des Krieges gegen die Philister bei den Israeliten eine Eisenkrise (1. Samuel 13/19–23). Zu Samuel ist in (2) die Jahreszahl ca. 1050 aufgeführt. Die Philister verfügten nach ihm über eiserne Waffen, die Israeliten nicht. Außerdem zählt er eiserne Geräte für den zivilen Bedarf (Pflugschar, Haue, Beil, Sense) auf, die die Israeliten gegen Bezahlung in Silber (1) bei den Philistern schleifen ließen, in Kriegszeiten nicht einmal dieses. Zwar wird Eisen bei Samuel mit keinem Wort erwähnt, aber archäologisch ist jedoch erwiesen, daß die Philister das Eisen kannten (Lübbe (7)). Sie gehörten zu den Seevölkern, die in das Hethiterreich (ca. 1700–1200) im heutigen Anatolien eindringen und dort eine hochentwickelte Eisenindustrie vorfanden. Mit eisernen Waffen gerüstet waren die Philister den Israeliten gegenüber im Vorteil.

Die Herstellung von Eisen wurde nachgeholt. Allmählich wurden dadurch die Israeliten den Philistern gleichgestellt. Über eiserne, in Palästina hergestellte Werkzeuge (Hammer, Beil, Sägen, Hacken, Äxte, Winkeleisen) berichten 1. Könige 6/7 (1), 1. Chronik 20/3 (1), 1. Könige 7/11 (1). Hesekiel 4/3 (1) erwähnt eine „eiserne Platte“, Jeremia 1/18 eine „eiserne Säule“, Psalm 107/10, 16 (1) bringt Eisen und „eiserne Riegel“. Eisen wird im Rennofen (19) gewonnen (Abb. 1), und zwar als im Mittel faustgroße, stark mit Schlacke durchsetzte Eisenklumpen (Luppen). Durch Kaltschmieden werden sie möglichst von Schlacken befreit, durch Warmschmieden vereinigt und man formt sie dann zu den gewünschten Gegenständen. Eine eiserne Platte ist wesentlich leichter so anzufertigen als eine eiserne Säule. Wenn diese von Jeremia für ein Gleichnis benutzt wurde, wird er eine bemerkt haben. Oder konnte man eiserne Säulen bereits exakt gießen anstatt unexakt zu schmieden? Krapp (20) hat versucht, für Eisenguß zur römischen Kaiserzeit durch höher entwickelte Rennöfen den Nachweis zu erbringen. Im Neuen Testament findet man Eisen unter Offenbarung 12/5 und 18/12. Rost (Korrosion) ist angegeben bei Matthäus 6/19, 20.

Daniel (2/31–35) beschreibt die Einzelheiten des Traumes Nebukadnezars von einem „großen, hohen und hellglänzenden Bild“. Von Kopf bis Fuß werden aufgezählt Gold, Silber, Kupfer bei (1), Bronze bei (2), die Füße aus Eisen und Ton. Eisen und Ton geben ein Rätsel auf. Die Zugfestigkeiten sind:

4.5. Iron

In connection with Joseph in Egypt iron is mentioned for the first time (Psalm 105/18). Information on ore deposits in Palestine may be found in 5. Mose 8/9: „... a land, whose rocks are iron (ores)“. The “Explanatory Notes” (2) name hereto basalt-iron-rocks (weathering products on the primary structures of basalt). Hiob 28/2: “Iron (ore) is brought out of the earth.” Jesaja (740–690) 60/17: “... and iron (ores) instead of rocks”. At the beginning of the war against the Philistines under King Saul there occurred an iron crisis with the Israelites (1. Samuel 13/19–23). For Samuel, the date of appr. 1050 is mentioned. According to him, the Philistines had avail of iron weapons, not so the Israelites. He also lists iron products for civilian needs (plough blades, hoe, ax, scythe), which the Israelites had sharpened by the Philistines against payment in silver (1), however, in times of war not even that. In Samuel, however, iron is not mentioned with a single word, but it is proven archeologically that the Philistines knew iron (Lübbe (7)). They belonged to the seafaring peoples that invaded the Land of the Hittites (appr. 1700–1200) in today’s Anatolia finding a highly developed iron industry there. Armed with iron weapons, the Philistines held an advantage over the Israelites.

The manufacture of iron was caught up with. Eventually, the Israelites caught even with the Philistines. Iron tools, made in Palestine (hammer, ax, sawshoes, hatchets, angle bars) are reported in 1. Kings 6/7 (1), 1. Chronicle (20/3 (1), 1. Kings 7/11 (1). Hesekiel 4/3 (1) mentions “iron slab”, Jeremia 1/18 an “iron column”, Psalm 107/10, 16 (1) brings iron and “iron bolts”. Iron is made in the bloomery furnace (19) (fig. 1), being fist-size lumps (puddled iron) in average, strongly mixed with slag. By cold forging they are freed from slag as much as possible, by hot forging they are joined to the wanted objects. An iron plate is considerably lighter to make than an iron column. When Jeremia used this for a parable, he will have observed one. Or was it already possible to exactly cast iron columns instead of inexactly forging them? Krapp (20) has tried to find proof for iron casting by higher developed bloomery furnaces at the time of Roman emperors. In the New Testament iron is found in Revelation 12/5 and 18/12. Rust (corrosion) is mentioned at Matthew 6/19, 20.

Daniel (2/31–35) describes the details of the dream of Nebucadnezar of a “large, high and brightly sparkling image”. From head to toe there are listed gold, silver, copper at (1), at (2) bronze, the feet out of iron and clay. Iron and clay are puzzling. The ductile strengths are:

Gold	13	kp/mm ²
Silver	14	kp/mm ²
Copper	20–24	kp/mm ²
Bronze	28	kp/mm ²
Steel with 0,17%C	34–42	kp/mm ²

Gold	13	kp/mm ²
Silber	14	kp/mm ²
Kupfer	20–24	kp/mm ²
Bronze	28	kp/mm ²
Stahl mit 0,17% C	34–42	kp/mm ²

Von oben nach unten nimmt die Zugfestigkeit zu, also eine Systematik. In Vers 40 geht Daniel auf hartes Eisen ein, das „alles zermalmt und zerschlägt, ja wie Eisen alles zerbricht . . .“. Die Eisenluppen sind weiches Schmiedeeisen, hartes Eisen ist Stahl mit über 0,3% Kohlenstoff. Dieser kann aus jenem durch Einsatzhärtung hergestellt werden. Z. B. konnte der zu härtende eiserne Gegenstand in feinkörnige Holzkohle gepackt werden, das Ganze wurde dann in einem bedeckten Tiegel (Luftabschluß) lange Zeit erhitzt. Danach ist der Kohlenstoff in das Eisen diffundiert und dieses ist zu Stahl aufgekohlt. Hofmann (6) teilt mit, daß von den Römern Einsatzhärtung durchgeführt wurde, nach der Mitteilung von Daniel in Palästina früher.

4.6. Messing

Zuletzt taucht in der Bibel Messing (Legierung aus Kupfer und Zink) auf (Offenbarung 1/15, Tod des Johannes ca. 100 n. Chr.). Zur römischen Zeit berichten über Messing Cicero, Horaz, Plautus, Plinius, Strabo und Vergilius. Kaiser Nero (54–68) ließ Münzen aus Messing prägen. Es sieht aus wie Gold. Sein frühestes Auftreten ist unbekannt und deswegen in Tabelle 3 nicht anzugeben. Es wird aber eine Spätentwicklung, und zwar aus metallurgischen Gründen gewesen sein. Aus den Zinkerzen Zinkblende (ZnS) oder Galmei (ZnCO₃) Zinkmetall zu gewinnen, um es danach mit Kupfer zu legieren, gelang erst in der Neuzeit (Ruberg-Verfahren). Zink siedet bei 908°C und seine Erze erforderten eine Reduktionstemperatur darüber. Zink verflüchtigte sich damals unvermeidlich. Einen Ausweg ohne die Möglichkeit des Ruberg-Verfahrens bot die Natur durch das Vorhandensein von Aurichalcit (Messingblüte), einer Mischung von basischem Kupferkarbonat (Malachit) und Galmei nebeneinander auf der Lagerstätte. Beschickte man einen antiken Reduktionsofen mit dieser natürlichen Mischung, so legierten darin Kupfer und Zink. Die Zinkverluste durch Verdampfen hielten sich in Grenzen. Das Ergebnis war Messing mit schwankenden Zinkgehalten. Man konnte auch Kupfer- und Zinkerze von auseinanderliegenden Lagerstätten (z. B. Kupfererz von Cypern und Galmei des Umlandes von Aachen (römischer Bergbau hier nachgewiesen)) getrennt zur Hütte bringen, mischen und Messing herstellen.

Zusammenfassung

Die Metalle der biblischen Zeit waren Gold, Silber, Blei, Kupfer, Bronze und Eisen. Von der vorbiblischen Zeit liegt bei ihnen ein nahtloser Übergang vor. Gegen Ende der biblischen Zeit, nach

From top to bottom the ductile strengths increase, which is systematic. In Vers 40, Daniel is concerned with hard iron that "crushes and smashes, just as iron breaks everything . . .". The iron lumps are soft wrought iron, hard iron is steel with more than 0.3% carbon. The one can be made from the other by means of case hardening. The iron subject to be hardened could – e.g. – be packed in fine-grained charcoal, the whole then was heated for a long time in a covered crucible (air exclusion). After that the carbon has diffused into the iron which is carburized to steel. Hofmann (6) reports that case hardening was performed by the Romans, according to the information from Daniel it must have been earlier in Palestine.

4.6. Brass

At last, brass appears in the Bible (alloy of copper and zinc) (Revelation 1/15, death of John appr. 100 A.C.). In Roman times brass is reported by Cicero, Horaz, Plautus, Plinius, Strabo and Vergilius. Emperor Nero (54–68) had coins minted out of brass. It looks like gold. Its earliest appearance is unknown and therefore not listed in Table 3. It must have been a late development, because of the following reasons of metallurgy. Only in modern times it became possible to make zinc metal out of the zinc ores zinc sulfide (ZnS) and galmey (ZnCO₃) (Ruberg-process) in order to afterwards alloy it with copper. Zinc boils at 908°C and its ores require a reduction temperature higher than that. In the old days, it was inevitable that zinc evaporated. A way out without the possibility of the Ruberg-process was offered by nature by the presence of aurichalcite, a mixture of basic copper carbonate (malachite) and galmey together in one deposit. If an antique reduction furnace was charged with this natural mixture, copper and zinc formed an alloy therein. The zinc losses by evaporation were limited. The result was brass with varying contents of zinc. It was also possible to separately bring copper and zinc ores from distant deposits (e.g. copper ore from Cyprus and galmey of the surroundings of Aachen (Roman mining here proven)) to the smelting works, mix them and produce brass.

etwa 1500 Jahren, fand eine Ergänzung durch Messing statt. Aus den Bibeltexten lassen sich verschiedene Stufen des Werdeganges der darin auftauchenden Metalle erkennen. Die durch die Bibel reflektierten Stufen sind Prospektion, Erzlagerstätten, Bergbau, Aufbereitung, Gewinnung im Reduktionsofen, Legierungsmetallurgie, Einsatzhärtung, Gießerei, Herstellung von Blechen, Folien, Drähten und Ketten, Kalt- und Warm Schmieden, Oberflächenbehandlung, Metallkorrosion, Analytik und Recycling fehlen nicht. Die biblischen Berichtersteller waren keine Fachleute der Metalltechnik. Sie waren an ihr interessiert und beobachteten scharf. Ihre Berichterstattung ist aus heutiger Sicht sachlich richtig. Insgesamt läßt sich aus der Bibel eine hochentwickelte Metallindustrie in Palästina, besonders zur Zeit König Salomos, ableiten. Auf einen Problemfall, das „Meer“ (1. Könige 7/23–26), wurde hingewiesen. Im alten Testament werden die Metalle zahlreicher und unmittelbarer behandelt als im Neuen Testament. In diesem sind sie zur Selbstverständlichkeit geworden, in jenem sind sie noch in der Entwicklung und Ausbreitung begriffen.

Der Übersetzer Martin Luther schreibt (21): „... darauf ist mein Vater gegen Mansfeld gezogen und ein Berghauer geworden...“. Hernach war der Vater im Besitz zweier Schmelzöfen im Kupferschiefer-Revier von Mansfeld (21). Bei der Übersetzung der Bibelstellen zu Erzen und Metallen wird der Sohn auch aufgemerkt haben. Der Vater wird mit ihm von seinem Beruf gesprochen haben, der Sohn hörte zu und nahm auf.

Literaturverzeichnis/References

1. Die Bibel oder die ganze Heilige Schrift des Alten und Neuen Testaments. Nach der deutschen Übersetzung Martin Luthers. Württembergische Bibelanstalt, Stuttgart (1965).
2. Wie vorher. Mit erklärenden Anmerkungen und Wortkonkordanz. Deutsche Bibelgesellschaft, Jubiläumsbibel Stuttgart (1981).
3. Bibel von A–Z. Wortkonkordanz zur Lutherbibel nach der revidierten Fassung von 1984. Deutsche Bibelgesellschaft, Stuttgart (1986).
4. Die Heilige Schrift des Alten und Neuen Testaments. Aus der Vulgata von Dr. Joseph Franz Allioli. Mit Approbation des apostolischen Stuhles. V. Vogel'sche Verlagsbuchhandlung, 5. Auflage, Landshut (1842).
5. Donner, H.: Einführung in die biblische Landes- und Altertumskunde, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt (1976), s. bes. S. 48.
6. Hofmann, K. A., U. R. Hofmann: Anorganische Chemie, Vieweg, Braunschweig (1948), s. bes. S. 520, 597.
7. Lübbes Encyklopädie der Archäologie, Herausgeber Glyn Daniel, Joachim Rehork, Gustav Lübbe Verlag, Bergisch Gladbach (1980), s. bes. S. 142, 381.
8. Moesta, H.: Erze und Metalle – ihre Kulturgeschichte im Experiment, Springer, Berlin–Heidelberg–New York (1983), s. bes. S. 9, 17, 41, 76, 150, 93.
9. Der kleine Pauly, Lexikon der Antike, Deutscher Taschenbuch Verlag, München (1979), s. unter Gold, Silber, Kupfer, Bronze, Eisen.
10. Wolters, J.: Zur Geschichte der Löttechnik, Firmenschrift Degussa, Frankfurt/M. (1976), s. bes. S. 16.
11. Wübbenhorst, H.: 5000 Jahre Gießen von Metallen, Gießerei-Verlag, Düsseldorf (1984), s. bes. S. 5.
12. Oddy, A.: The Production of Gold Wire in Antiquity, Gold Bulletin 10, Nr. 3 (1977), S. 79–87.
13. Riederer, J.: Archäologie und Chemie, Staatliche Museen Preußischer Kulturbesitz, Rathgen-Forschungslabor, Berlin (1987), s. bes. S. 101.
14. Rothenberg, B.: Timna, das Tal der biblischen Kupferminen, Gustav Lübbe Verlag, Bergisch Gladbach (1973).
15. Drescher, H.: Der Überfangguß, Römisch-Germanisches Zentralmuseum, Mainz (1958).
16. Gentner, W., O. Müller, G. A. Wagner: Silver Sources of Archaic Greek Coinage, Die Naturwissenschaften 65 (1978), S. 273–284, s. bes. S. 281.
17. Gale, N. H., Stos-Gale: Lead and Silver in the Ancient Aegean, Scientific American 6 (1981), S. 142–152.
18. Vogel, R.: Einführung in die Metallurgie, Musterschmidt-Verlag, Göttingen (1955), s. bes. S. 100, Abb. 58.
19. Rennofen wird häufig mit „rinnen“ erklärt, trotzdem das Eisen nicht flüssig war. Kl. Kief gibt zu erwägen, daß die Silbe „Renn“ von Höhe abzuleiten wäre. Er verweist deshalb auf den Rennsteig, den Höhenweg über den Kamm des Thüringer Waldes. Die Abb. 1 in dieser Arbeit ist ein Ofen auf der Höhe.
20. Krapp, H.: Metallurgisches zu zwei Eisenblöcken römischen Ursprungs, Radex-Rundschau, Heft 1 (1987), S. 315–330.
21. Preuschen, E.: Kirchengeschichte, Enßlin & Lailins, Reutlingen (ohne Jahresangabe), s. bes. S. 502, 503.

Refractory Fibres Roof for Iron ore Agglomeration Furnaces

Călin I. Tatian*)

This paper presents the working conditions of hanging roofs from the structure of iron oxide ore agglomeration furnace and the current execution technology of their coatings from refractory concrete.

At the same time the execution technology of the coatings of

hanging roofs in the case of this sintering furnace, using refractory fibre modules is described.

In addition the technical and economical advantages of this new technology, as compared to the classic version, using refractory concrete, are also discussed.

Couvercles en fibres réfractaires pour les fours d'agglomération

Après quelques brèves considérations concernant la conjoncture économique de l'apparition et confirmation de l'application des fibres céramiques réfractaires, les auteurs présentent brièvement les types principaux de fibres céramiques réfractaires produites en Roumanie.

Ensuite, ils relèvent les avantages techniques et économiques

de l'utilisation de ces matériaux réfractaires ainsi que le façon de réaliser une application en ce sens, à savoir revêtir les couvercles des fours à agglomérer avec des panneaux en fibres céramiques réfractaires, en soulignant en même temps les conditions de leur exploitation et les avantages économiques concrets dans ce cas particulier.

Deckel für Eisenerzsinteröfen aus Feuerfestfasern

Dieser Beitrag beinhaltet die Einsatzbedingungen von Hängedecken für Eisenerzsinteröfen und ihre Beschichtung mit Feuerfestmassen. Gleichzeitig wird die Ausführungstechnologie der Beschichtung der hängenden Decken, in diesem Fall für einen Sinterofen, mittels Feuerfestfaserplatten beschrieben.

Zusätzlich werden die technischen und ökonomischen Vorteile dieser neuen Technologie, der klassischen Methode der Verwendung von Feuerfestmassen, gegenübergestellt.

A) GENERAL

Although the refractory fibres were already discovered in 1938 by "BABCOCK & WILCOX" (U.S.A.), their offer in the world market was realised only in 1960, and their using at industrial proportions had began only after the years 1973-1974, period of beginning of the world energy crisis. This crisis imposed in all endoenergetical industries a new economical strategy for surviving and surpassing this period without serious repercussions over their basic structures (6).

The industries oriented on the research and discovering of top techniques specialising in the realisation of productions, efficient and profitable assemblies, succeeded in finding the true ways

A) GÉNÉRALITÉS

Bien que les fibres réfractaires aient déjà été découvertes dès 1938 par la firme «BABCOCK and WILCOX» (USA), leur lancement sur le marché a eu lieu seulement en 1960, et leur utilisation à l'échelle industrielle n'a commencé qu'après les années 1973-1974, période du déclenchement de la crise énergétique mondiale. Cette crise a imposé à toutes les industries endoergiques une nouvelle stratégie économique pour survivre et dépasser cette période sans des repercussions graves sur leurs structures de base (6).

Les industries orientées vers la recherche et la découverte des techniques de pointe en vue de réaliser des productions et des agrégats efficaces et rentables, ont réussi à trouver les voies pour sortir de l'impasse de cette crise. Dans ce contexte, la fabrication et l'utilisation des fibres réfractaires peuvent être considérées comme des tech-

*) Dipl.-Ing. Călin I. Tatian
Centrale Industrielle Siderurgique Resita
Compartment Technique
1700 Resita - Romania

to surpass the deadlock of this crisis. In this context the production and use of refractory ceramic fibres can be appreciated like summit technologies who, in the real sense of the word had radically transformed the technique of furnace construction.

The launching of refractory fibres has satisfied, to the greatest measure, some expectation of the industrial branches, especially for the greater consumers of refractory materials (metallurgy, ceramics, cement, energy, airspatial industry, etc.).

The refractory fibres are included in the group of inorganic natural and synthetic traditional fibres, having a basis of refractory materials (aluminium oxides and silicates). They are produced by fusion and bubbling or centrifugal methods, or more recently, by the chemical precipitation method (6).

The physical, chemical and technological properties of the principal types of ceramical refractory fibres, with alumina amount, are synthetically exposed in table 1.

nologies de pointe qui, à vrai-dire, ont transformé radicalement la technique de la construction des fours et des agrégats thermiques industriels.

L'apparition des fibres réfractaires a satisfait dans la plus grand mesure quelques exigences des branches industrielles, grandes consommatrices de matériaux réfractaires (métallurgie, céramique, ciment, verre, d'énergie, aérospatiale, etc.).

Les fibres réfractaires font partie du groupe des fibres anorganiques naturelles et artificielles traditionnelles, ayant à la base des matières réfractaires (oxydes et silicates d'aluminium). On les fabrique par fusion et soufflage ou par centrifugation ou, plus récemment, par des procédés chimiques de précipitation (6).

Les caractéristiques physico-chimiques et technologiques des types principaux de fibres céramiques et réfractaires contenant de l' Al_2O_3 sont présentées synthétiquement dans le tableau 1.

Table/Tableau 1

The main types of alumina based refractory fibres
Refractory ceramic fibres
(I. C. P. M. C. Bucarest)
Types principaux des fibres réfractaires alumineuses
Fibres ceramiques réfractaires
(I. C. P. M. C. Bucarest)

Characteristics/Caracteristiques	Fibres	
	I 33A-1000	I 45-1250
Al_2O_3 , %min.	33,0	45,0
SiO_2 , %max.	65,0	52,0
Fe_2O_3 , %max.	3,0	0,5
$Na_2O + K_2O$, %max.	3,0	1,0
$CaO + MgO$, %max.	8,0	1,0
H_2O , max. %	1	
Diameter/diamètre, μm	min. 70% fibres with min. diameter min. 70% fibres avec le diamètre inferieur à	
	8,0	3,0
Average length/longeur moyenne, mm	135	150
Bulk density (under the pressure of 1000 N/m ²) max, kg/m ³	200	200
Densité apparente (sous la pression de 1000 N/m ²) max. kg/m ³	plates/plaques	plates/plaques
Deformation temperature, min. ° C	160	160
Temperature de déformation, min. ° C	matress/matelas	matress/matelas
Thermal conductivity (at 20° C)	0,034	
Coefficient de conductivité thermique (à 20° C)	-	
Drops amount with; kcal/hours grd. $\varnothing < 0,2$ mm	-	
Contenu en gouttes avec: $\varnothing < 0,2$ mm	-	
0,2 mm $< \varnothing < 0,5$ mm, max.	20	20
Linear contraction, after 24 h, %	2 ... 3,7	
Contraction linéaire, après 24 h, %	2 ... 3,7	

B) TECHNICAL AND ECONOMICAL ADVANTAGES

The presented data suggest, like issue of practical using of refractory fibres, their following summary advantages, on the basis of their properties:

- very good thermic isolation, due to their very low thermal conductivity;
- very low weights of realised covers;
- excellent thermal shock resistance;
- very good vibration resistance;
- high stability against chemical corrosion;
- highly reduced thermal accumulation capacity;
- increased thermal resistance with reduced temperature gradient up to high temperatures;
- highly increased specific electric resistance.

More precise the refractory fibres usage is unlimited. The fibres can completely replace the refractory bricks and in some cases the spraying or ramming mixes. By tapestry hanging, the fibres fill in the prescribed shape, the classical brickworks, removing their eventual deficiencies, improving their thermal performances and increasing their working life. Their application technology consists of a simple, quick and operative tapestry hanging or filling technique, eliminating the casings, the auxiliary special devices or the high-qualified manpower (6).

The drying and the heating regime of refractory fibres covers can be quickly executed as soon as possible, without any special measures. By using refractory fibres elements it is possible to achieve:

- energy saving, between 15% and 40%;
- increasing of thermic units productivity, with min. 30%;
- thermal distribution attenuation and good uniformity of heat in all thermic assembly inner;
- the increasing of thermal units working campaign with more than 100%;
- extremely short investments liquidation.

C) HANGING COVERS FOR AGGLOMERATION FURNACES

A spectacular application of ceramic refractory fibres consists of the hang tapestry execution of agglomeration furnaces roofs, using shaped panels.

In several steel plants, the iron or sintering furnaces roofs are frequently made by casting and vibrating technique from refractory concrete ($\approx 80\% \text{Al}_2\text{O}_3$) shaped, or by bricklaying with refractory hanging bricks ($\approx 50\% \text{Al}_2\text{O}_3$). The sizing, shapes and the functional characteristics of these covers are presented in the fig. 1 and the table 2 (4).

B) AVANTAGES TECHNIQUES ÉCONOMIQUES

Des données présentées il en ressort les avantages techniques exception suivante suite à l'utilisation de fibres réfractaires, en vertu de leur propriétés:

- un très bon isolement thermique, grâce à une faible conductivité thermique;
- poids très réduits des revêtements;
- résistances exceptionnelles aux chocs thermiques;
- très bonne résistance aux vibrations;
- une bonne stabilité à la corrosion chimique;
- capacité thermique très réduite;
- résistance thermique élevée et constante à haute température;
- résistance électrique spécifique très élevée.

Plus précisément, l'utilisation des fibres réfractaires est illimitée. Celles-ci peuvent remplacer intégralement les briques et les produits monolithiques. Par tapissage, elles complètent les revêtements traditionnels, en améliorant leur performances thermiques, en éliminant des défauts éventuels et en augmentant leur vie. Leur mise en œuvre est simple, rapide, opérationnelle, n'ayant pas besoin de coffrages, d'installations auxiliaires spéciales ou de main d'œuvre hautement qualifiée (6).

Le séchage et le chauffage des revêtements en fibres réfractaires peuvent être autant que rapides possible, sans mesures spéciales. Par l'utilisation des revêtements en fibres réfractaires on réalise:

- une économie d'énergie de 15% à 40%;
- l'accroissement de la productivité des installations thermiques au moins de 30%;
- atténuation de la distribution et de l'uniformisation de la chaleur dans les fours;
- l'augmentation de la durée de vie des installations thermotechnologiques à plus de 100%;
- amortissements extrêmement courts des investissements.

C) COUVERCLES POUR LES FOURS D'AGGLOMÉRATION

Une application spectaculaire de ces produits est le parquetage des couvercles des fours d'agglomération avec des fibres céramiques réfractaires sous la forme de panneaux.

Dans plusieurs usines métallurgiques, les couvercles des fours à sinteriser les minerais de fer, sont exécutés par coulage et vibration en béton réfractaire super-alumineux BR80 (B-FA71, STAS 11209-79), ou par briquetage avec des réfractaires D79 (50A) suspendus. Les caractéristiques dimensionnelles et fonctionnelles de tels couvercles sont présentées dans la fig. 1 et la table 2 (4).

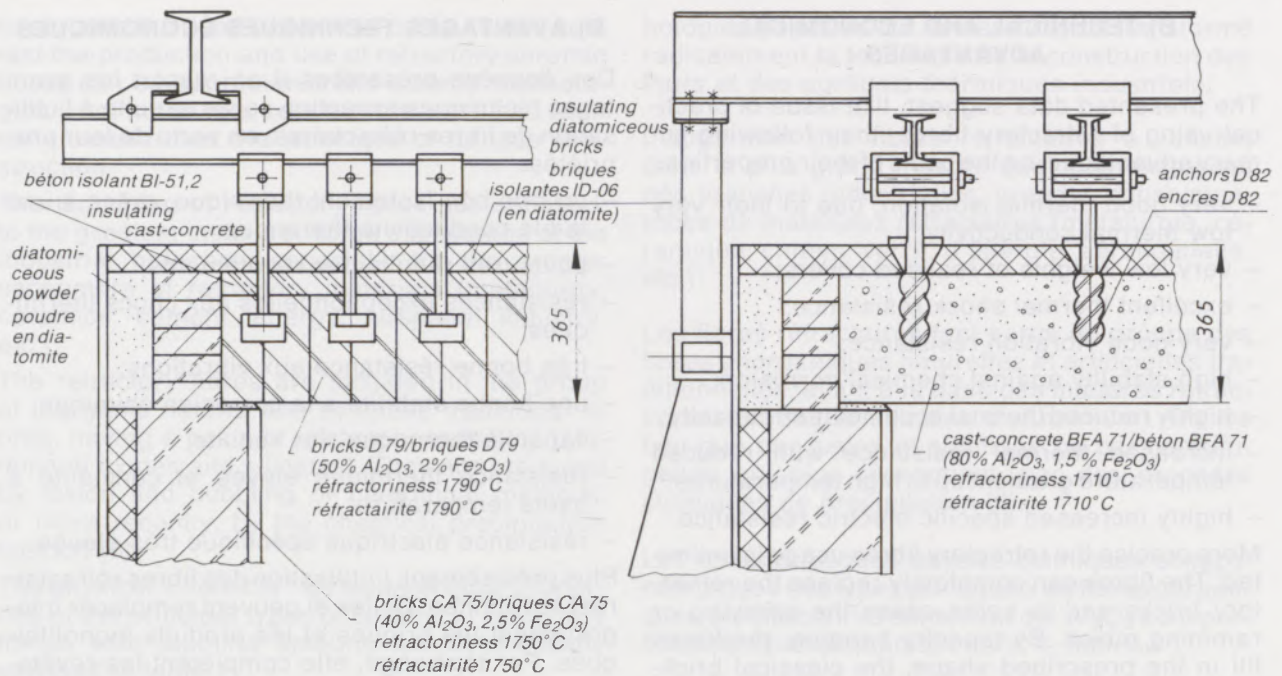


Fig. 1

Refractory concrete hanging roofs

Couvercles en béton réfractaire et en briques suspendues

Table 2

The sizing and functional characteristics of refractory concrete hanging roofs

Characteristics	with cast-concrete	with bricks
Dimensions of refractory cover	6100 × 3400 × 365	6100 × 3400 × 365
Weight of refractory cover, kg	16.800	14.500
Quality	BFA 71 (80 A) STAS 11209-79 with 80% Al ₂ O ₃	D 79 (50 A) STAS 2744-81 50% Al ₂ O ₃
Anchorage	300 ceramic refractory anchors, D 82 (60 A)	—
Relining time (hours)	200.0	130.0
Heating agent flowing rate m/s	< 10	< 10
Temperature, max °C	1250	1250
Atmosphere	reducing	reducing
Pressure regim, mm H ₂ O	-5.0... + 5.0	-5.0... + 5.0
Thermal conductivity at 1000 °C, kcal/hour °C	1.30	1.25
External face temperature, °C	~ 165	~ 155

Tableau 2

Caractéristiques dimensionnelles et fonctionnelles des couvercles en béton réfractaire et en briques

Caractéristiques	en béton	en briques
Dimensions du tronçon	6100 × 3400 × 365	6100 × 3400 × 365
Le poids du tronçon réfractaire, kg	16800	14500
Qualité	BFA 71 (80 A) STAS 11209-79 avec 80% Al ₂ O ₃	D 79 (50 A) STAS 2744-81 50% Al ₂ O ₃
L'encrage	300 encres céramiques réfractaires, D 82 (60 A)	—
Durée d'exécution (de mise en fonction), h	200,0	130,0
Vitesse d'agent thermique, m/s	< 10	< 10
Température, max. °C	1250	1250
L'atmosphère	réductrice	réductrice
Régime de pression, mm H ₂ O	-5,0... + 5,0	-5,0... + 5,0
Conductivité thermique à 1000 °C, kcal/h °C	1,30	1,25
Température à la face extérieure, °C	~ 165	~ 155

The significant nominal weight of the refractory concrete element from the structure of the roof (~ 16800 kg), the great amount of manpower in the execution of roof, must be examined carefully.

The refractory cast concrete layer is inserted, with the help of ~ 200 ceramic refractory anchors, quality 60A ($\sim 60\%$ Al_2O_3) into the metallic structure of furnace roof.

The refractory anchors are hung on the ribs of cover with the help of round steel flanges and are fixed into the flange devices with the help of resinous wood stocks.

The nominal thickness of refractory cast concrete layer from the structure of the cover is approx. ~ 365 mm. The preparation of cast concrete is practically realised step by step in usual portions of 500 kg. Each prepared portion must be used in max. 30 minutes. The dosage of constituents in the preparation of cast concrete is based on the following recipe (3):

- 80% weight-parts refractory aggregates;
- 20% weight-parts high-alumina cement ALICEM M₂ ($\sim 70\%$ Al_2O_3).

The refractory cast concrete block of roof is vibrated by immersing vibrating devices and, after that, rest for 48 hours without movement, bearing the drying and the strengthening period, into the high moisture conditions. After that, it is practically a 24 hours air drying programme and a 238 hour tempering period, up to 1300°C (3) (fig. 2).

Such a cover has the following working conditions:

- light reducing atmosphere, to neutral regime;

Le poids nominal considérable du tronçon en béton afférant au couvercle (16.800 kg), le volume important de main d'œuvre du revêtement attire particulièrement l'attention. Le tronçon en béton réfractaire est inséré à l'aide d'environ 200 ancrages céramiques réfractaires qualité D82 (60A), STAS 2744-78.

Les réfractaires sont accrochés aux nervures du couvercle à l'aide de brides en fer rond et sont fixées dans les brides à l'aide de cales en bois résineux.

Le béton est coulé monolithiquement avec une épaisseur minimum de 365 mm. La préparation du béton est réalisée usuellement par charges de 500 kg. Chaque charge doit être mise en œuvre pendant 30 minutes max. Le dosage pour la préparation du béton est le suivant (3):

- 80% poids-fractions agrégat;
- 20% poids-fractions ciment ALICEM M₂(70A), (STAS 11085-84).

Le tronçon en béton réfractaire est vibré à l'aide de pervibrateurs à immersion, après quoi il est laissé sans le remuer, pendant 48 heures, pour la prise et l'endurcissement, dans des conditions d'humidité élevée. Puis, on passe à un séchage préalable dans l'air, au moins 24 heures, après quoi on exécute le tempérage de la maçonnerie du couvercle pendant 238 heures jusqu'à 1300°C (3) (fig. 2).

Les conditions du travail d'un tel couvercle sont les suivantes:

- atmosphère légèrement réductrice, vers neutre;

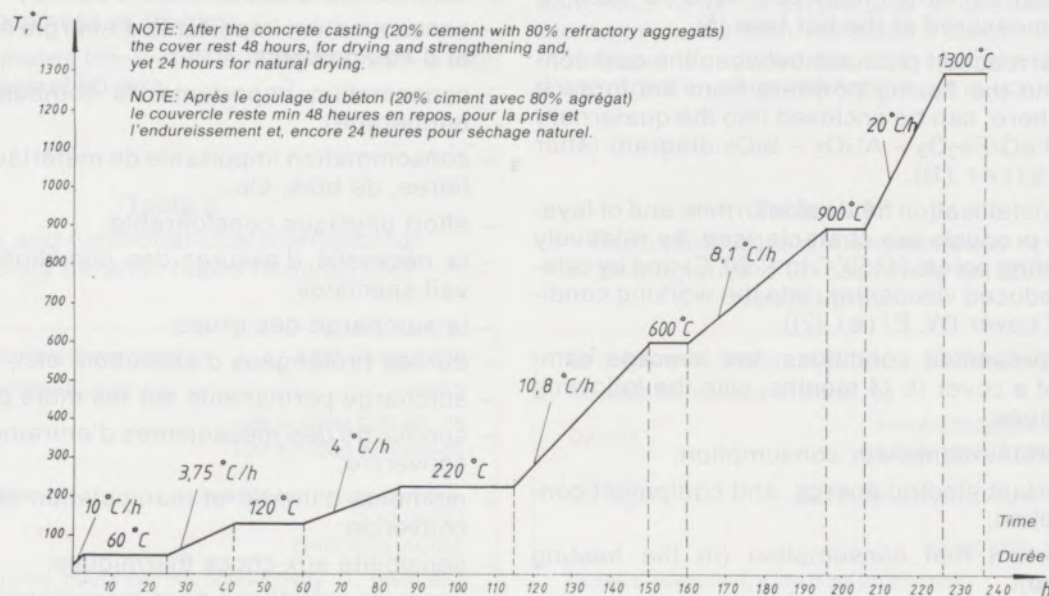
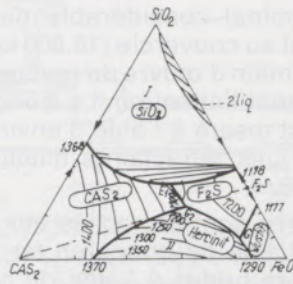


Fig. 2

The thermic operating regime of the cast refractory concrete cover
Régime thermique de tempérage d'un couvercle en béton réfractaire



Phase-diagramm anorthite - FeO-SiO₂
Le système anortite - FeO-SiO₂

Fig. 3

Phase-equilibrium partial showing
the stability of nepheline.

Système quaternaire
CaO - Al₂O₃ - Fe₂O₃ - SiO₂

- depression regime ($\Delta p = -5.5$ mm water column), during the sintering process;
- the flame generated by the combustion of natural gas has a horizontal line, perpendicular oriented with reference to the agglomeration conveyor, with displacement rates of max. 10 m/s; the combustion front side is a stationary wave, at a small angle, between kindling point and the final process point.

This flame washes and strikes the cover entailing, in the same time, the powders with high amount of CaO, C, alkali, etc. into the conditions of kindling regime, and the particles of iron oxide (4).

The working temperature of the bricklaying cover is a variable parameter, depending on the thermal treatment regime of the steel quality, loaded in the furnace.

Roughly speaking, the bricklaying cover working temperatures varies between 1200 to 1250°C, values measured at the hot face (5).

The interreaction products between the cast concrete and the fluxing powders from the furnace atmosphere, can be enclosed into the quaternary CaO - FeO/Fe₂O₃ - Al₂O₃ - SiO₂ diagram (after R. Schairer (1)).

In the crystallisation fields of anorthite and of fayalite, the products are characterised, by relatively low melting points (1150°C to 1260°C) and by relatively reduced viscosities, into the working conditions of cover (W. Eitel (2)).

In the presented conditions, the average campaign of a cover is 14 months, with the following advantages:

- important manpower consumption;
- important electric energy, and equipment consumption;
- important fuel consumption (in the heating period);
- important consumption of refractories, of wood, etc.;
- considerable physical effort;

- régime dépressionnaire ($\Delta p = -5,5$ mm H₂O) pendant le process de sinterisation;
- la flamme résultant de la combustion du méthane a un trajet horizontal et perpendiculaire en rapport avec le train d'agglomération, à des vitesses d'ordre de maximum 10 m/s; le front de combustion est une onde stationnaire, à petit angle, qui s'étend entre le point d'allumage et le point final du process.

Cette flamme lave et frappe le couvercle en entraînant en même temps les poussières riches en CaO, C, alkali, etc., soumises au process d'allumage, ainsi que des particules très fines d'oxydes de fer (4).

La température de travail de la maçonnerie du couvercle est variable dans le temps, en conformité avec la composition afférente à la qualité du mélange soumis au process d'allumage.

En general, on peut préciser que les températures de travail de la maçonnerie du couvercle varient entre les valeurs 1200-1250°C, mesurées à la face intérieure (5).

Les produits d'interaction entre le béton réfractaire et les poussières fondantes de l'atmosphère du four, sont inclus dans le système quaternaire CaO - FeO/Fe₂O₃ - Al₂O₃ - SiO₂ (d'après R. Schairer (1)).

Dans les champs de cristallisation de l'anorthite et de la fayalite, des produits sont caractérisés par des points de ramollissement relativement baissés (1150-1260°C) et par des viscosités relativement réduites dans les conditions d'exploitation du couvercle (W. Eitel (2)).

Dans les conditions présentées, la campagne moyenne d'un couvercle est de 14 mois, avec les désavantages suivants:

- volume important de main-d'œuvre;
- consommation importante d'énergie électrique et d'équipements;
- consommation importante du combustible (au tempéage);
- consommation importante de matériaux réfractaires, de bois, etc.;
- effort physique considérable;
- la nécessité d'assurer des conditions de travail spéciales;
- la surcharge des grues;
- durées prolongées d'exécution, etc.;
- surcharge permanente sur les murs porteurs;
- surcharge des mécanismes d'entraînement du couvercle;
- moments d'inertie et manipulation difficile du couvercle;
- sensibilité aux chocs thermiques;
- ossature métallique surdimensionnée.

A partir des conditions du travail et des désavantages mentionnés, ei-dessus, on peut exécuter les

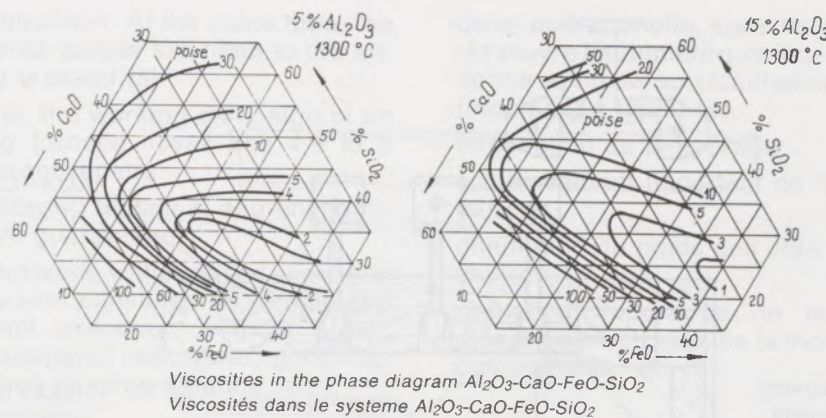


Fig. 4

The rheological characteristics of the slagging products of the refractory concrete cover

Les caractéristiques rhéologiques des produits de dégradation du béton réfractaire de la structure du couvercle

- necessity to ensure special working conditions;
- cranes overloading;
- prolonged execution times;
- permanent overloading of carrying walls;
- overloading of cover acting mechanism;
- great inertia, and kinetics cover moments;
- increased thermal shock sensibility;
- overdimensioned metal framework.

Consequently, considering these working conditions and of these disadvantages, it is possible to realise the covers from ceramic refractory fibres. In this case the refractory block, beginning from the hot face to the cold face, has the following structure:

- fibres matress I40-A-1250s, 3 layers, with a total thickness of 90 mm;
- fibres plates I45-A-1350s, 2 layers, with a total thickness of 60 mm.

couvercles en fibres céramiques réfractaires. Le tronçon réfractaire de la face chaude à la face froide, présente la structure suivante:

- matelas en fibre I40-A-1250s, 3 couches, d'épaisseur totale de 90 mm;
- plaques en fibre I45-A-1250s, 2 couches, d'épaisseur totale de 60 mm.

Le tableau 3 présente les caractéristiques dimensionnelles et technologiques du couvercle. L'épaisseur du tronçon réfractaire, dans ce cas, est de 150 mm et le poids total du paquet de fibres céramiques réfractaires est de 550 kg; donc le poids du tronçon réfractaire a été réduit de 25-30 fois en rapport avec les variantes d'utilisation du béton ou des briques réfractaires (6).

Les fibres destinées à l'exécution du couvercle sont sous la forme de plaques et de matelas. Le montage du tronçon réfractaire dans l'ossature métallique du couvercle est réalisée à l'aide d'anerages en acier réfractaire, et la continuité et

Table 3

Sizing and functional characteristics of refractory ceramic fibres hanging roof

Dimensions of fibres cover	6100 × 3400 × 150
Weight of fibres cover, kg	550.0
Quality	I.45 A-1250s STR 987-88 I.33 A-1250p STR 986-88
Anchorage	ceramic refractory anchors, D 82 (60 A) (with 60% Al ₂ O ₃)
Relining time, hours thermal conductivity	max. 10.0
Thermal conductivity at 1000° C, kcal/hours. grd	0.215
Temperature: at the inner face °C	~ 1250
at the external face, °C	~ 120

Tableau 3

Caractéristiques dimensionnelles et technologiques d'un couvercle en fibres réfractaires

Dimensions du tronçon en fibres	6100 × 3400 × 150
Le poids du tronçon en fibres, kg	550,0
Qualité	I.45 A-1250s STR 987-88 I.33 A-1250p STR 986-88
Encrage	encres céramiques réfractaires, D 82 (60 A) (avec 60% Al ₂ O ₃)
Durée d'exécution, h (de mise en fonction)	max. 10,0
Conductivité thermique à 1000° C, kcal/h grd	0,215
Temperature: à la face chaude, °C	~ 1250
à la face extérieure, °C	~ 120

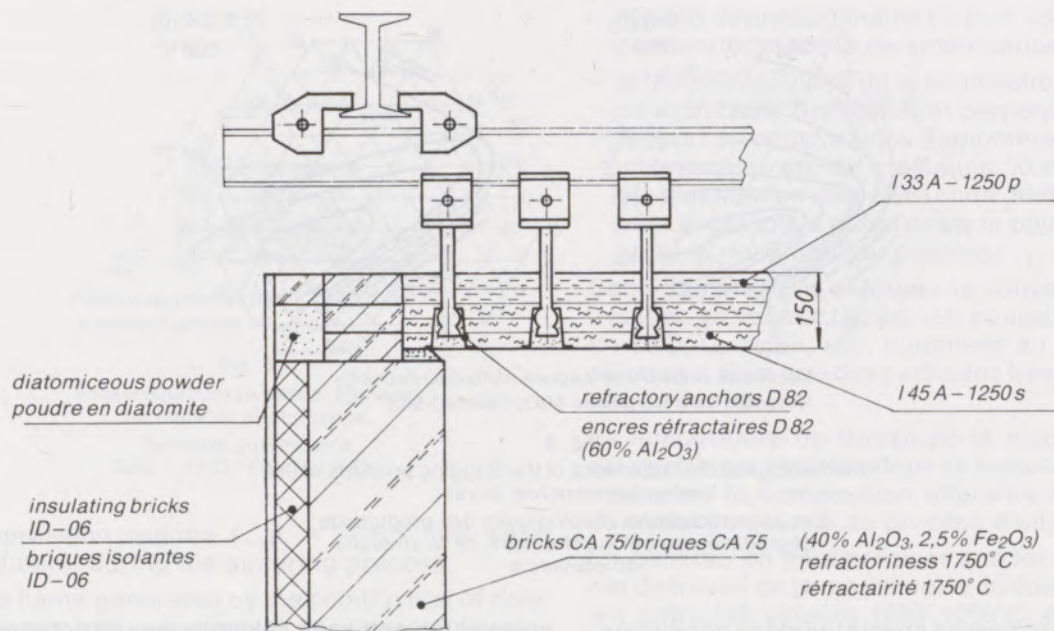


Fig. 5

Refractory ceramic fibres roof for iron oxide sintering furnace
Couvercle exécuté en fibres ceramiques réfractaires

There are presented, in table 3 the sizing and technological characteristics of cover. The refractory block thickness, in this case has 150 mm and total fibres block weight is 550 kg; consequently the weight of the refractory block was 25 to 30 times reduced compared with the variety of cast concrete or refractory bricks (6).

The fibres destined for cover lining are presented like plates and mattresses. The fitting of refractory block into the metal framework of the roof is done with the help of refractory steel anchors and the continuity and the flatness of the block are achieved by pasting together the fibres mattress and plates.

The physical, chemical and technological characteristics of such a glue are the following (6):

- working temperature	max. 1450°C
- refractoriness	1550°C
- Al ₂ O ₃	55,0%
- SiO ₂	21,0%
- alkali	5,0%
- fire losses	13,0%
- bulk density	
(after firing at 1200°C)	1,7 g/cm ³

Consequently, the fibres plates are pasted together with water glass and the fibres layers are pasted on the mattress with a glue, prepared by mixing a fine fire-clay mortar MC 71 (~ 30% Al₂O₃, STAS 184-76) with aprox. 20% high-alumina cement ALICEM-I (~ 60% Al₂O₃, STAS 11085-84).

To diminish the subsequent contraction, the panels are only lightly pressed together, between the anchors, with small joints; during the working time. These joints are filled, little by little, like the

planéité du tronçon sont réalisées par collage avec des coulis.

Les caractéristiques physiques - chimiques et technologiques d'un tel coulis agglutinant sont (6):

- température max. d'utilisation	1450°C
- réfractarité	1550°C
- Al ₂ O ₃	55,0%
- SiO ₂	21,0%
- alcali	5,0%
- P.C.	13,0%
- densité apparente (masse volumique apparente après combustion à 1200°C)	1,7 g/cm ³

Par conséquent les plaques sont cimentées entre elles avec du silicate de sodium, et les couches en fibres sont exécutées par le collage des matelas avec coulis MC71 (30A, STAS 184-76), à grain fin parsemé consistant par addition d'environ 20% de ciment alumineux ALICEM - 1 (STAS 11085-84).

Pour diminuer la contraction, les panneaux ne sont pas trop serrés entre les tyges, en laissant un certain jeu qui, petit à petit, est palmé pendant l'exploitation, à la suite de la contraction de la fibre. Également, les écrous des rondelles sur les tiges soutenant les panneaux en fibres, ne sont pas serrés avec force, mais légèrement à la main (5).

Dans ces conditions, la campagne d'un couvercle s'élève de 4,5 à 5 années, sans réparations intermédiaires. Outre cela il en résulte les avantages techniques économiques suivante:

- construction facile avec des frais réduits de main - d'œuvre, mise en œuvre simple, rapi-

issue of fibres contraction. At the same time, the screws, by the fibres panels are fixed to the anchors, also lightly pressed (5).

In these conditions, the working campaign of an iron ore sintering furnace cover has 4,5 to 5 years, without current repairs.

Therefore, the following technical and economical advantages are guaranteed:

- easy construction work, with reduced expenses and small manpower consumption, simple and rapid operational execution, without highly qualified and expensive manpower, good cutting aptitude, good shaping aptitude, etc.;
- first firing elimination;
- important productivity increasing;
- decrease of cover weight ~ 25 times;
- important reduction of electric energy consumption, of equipment, of manpowers.

de et opérationnelle, sans nécessiter une main-d'œuvre hautement qualifiée et onéreuse, une bonne aptitude au cisaillement, au façonnage (moulage) à l'outil etc.

- élimination du tempéragé;
- accroissement important de la productivité du four;
- diminution du poids des couvercles de 25 fois environ;
- réduction importante de la consommation d'énergie électrique, de la main-d'œuvre, des équipements, etc.

Literaturverzeichnis/References

1. Schlackenatlas; Verlag Stahleisen m.b.H., Düsseldorf, 1981.
2. Solacolu, S.: Chimia fizică a silicatilor tehnici; Editura tehnică, București, 1987.
3. Refractarele și utilizarea lor Traducere din limba rusă; CP MIM București, 1987.
4. Chesters, J. H.: Refractories for iron and steelmaking Londra; The Metals Soc. 1974.
5. Konopicky, K.: Les materiaux de construction refractaires; Paris, Star, 1961.
6. Deica, N.: Fibre ceramice refractare; Editura tehnică, București, 1985.

Erfahrungen mit Magnesium-Aluminium-Spinellsteinen in einem 3000-t/d-Drehofen

H. K. Fleck, Harburg

Die Schwierigkeiten bei der Entsorgung von Chrommagnetsteinen sowie der Schutz des Personals machten es notwendig, sich mit anderen Steinsorten zu befassen. Magnesium-Aluminium-Spinellsteine sind eine mögliche Alternative. Über

die Erfahrungen, die mit diesen Steinen über mehrere Jahre in einem 3000-t/d-Drehofen bei Märker Zement gemacht wurden, wird in diesem Beitrag berichtet.

Experience with Magnesium-Aluminium-Spinel Bricks in a 3000 t/d Rotary Kiln

The difficulties of disposing of chrome-magnetite bricks and of protecting the workforce made it necessary to turn to other bricks. Magnesium-aluminium-spinel bricks are one possible

alternative. This article gives a report of the development of these bricks of the experience when using them for several years in a 3000 t/d rotary kiln.

Expérience avec des briques magnésie-alumine-spinelle dans un four rotatif de 3000 t/j*

Les difficultés de l'élimination des briques magnésie-chrome, ainsi que la protection du personnel, ont rendu nécessaire d'envisager des types de briques différents. Les briques magnésie-alumine-spinelle sont une alternative possible. L'arti-

cle relate le développement de ces briques et l'expérience acquise dans leur emploi, sur plusieurs années, dans un four rotatif de 3000 t/j.

1. EINLEITUNG

Problemzonen im Zementdrehofen sind der Einlauf- und Auslaufbereich der Sinterzone sowie die Sinterzone selbst, wobei die eigentliche Sinterzone nach Bildung einer Ansatzschicht weitgehend geschützt ist. Bei einem ansatzfreundigen Material, d. h. bei schnellem Aufbau eines stabilen Ansatzes in der Sinterzone, sind die Zeit des Aufheizens nach einem Stillstand und die ersten Stunden nach der Mehlzugabe besonders kritisch.

In der Einlaufzone finden sowohl thermische Schocks als auch chemische Angriffe statt. Der chemische Angriff erfolgt durch Alkali-, Alkalisulfatreaktionen und Infiltrationen und/oder Brennstoffasche in der Ofenatmosphäre bei 800–1000°C. Kritisch in diesem Bereich ist außerdem der wechselnde Ansatz, der zu thermischen Schocks führt.

In der Sinterzone kommt es zu einem extremen Verschleiß durch Erweichungs-, Schmelz- und chemische Prozesse, falls kein stabiler Ansatz zu erreichen ist. Der chemische Angriff entsteht durch Reaktionen zwischen der Ausmauerung und der Klinkerschmelze bei 1400–1500°C sowie durch Alkalisulfate aus der Ofenatmosphäre, die im Stein kondensieren.

* Erstveröffentlichung im **Zement-Kalk-Gips International** Heft 2 und 4/1992

1. INTRODUCTION

The problem zones in rotary cement kilns are the inlet and outlet areas of the sintering zone and the sintering zone itself, although to a great extent the actual sintering zone is protected after a layer of coating has formed. With material which coats readily i.e. where a stable coating forms quickly in the sintering zone, the period of heating up after a stoppage and the first few hours after meal feed has started are particularly critical.

The inlet zone is subject to both thermal shock and chemical attack. The chemical attack is caused by alkali and alkali-sulphate reactions, and infiltration and/or fuel ash in the kiln atmosphere at 800–1000°C. Intermittent coating, which leads to thermal shock, is also critical in this region.

If no stable coating can be achieved in the sintering zone there is extreme wear caused by softening, fusion, and chemical processes. The chemical attack occurs through reactions between the brickwork and the clinker melt at 1400–1500°C and through alkali sulphates from the kiln atmosphere which condense in the brick.

In the outlet zone most of the wear is caused by mechanical abrasion. The temperature gradients are higher than in the inlet zone, so the brick must be capable of taking higher thermal and mechanical stresses.

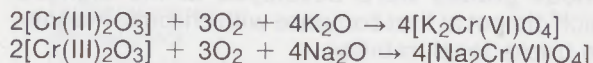
In der Auslaufzone wird der Verschleiß hauptsächlich durch mechanischen Abrieb hervorgerufen. Die Temperaturgradienten sind höher als in der Einlaufzone, daher muß der Stein höhere thermische und mechanische Beanspruchung aufnehmen können.

Zusammenfassend kann man sagen, daß der Verschleiß der feuerfesten Ausmauerung eines Zementofens in erster Linie hervorgerufen wird durch erhöhte chemische Aktivität, Temperaturschocks, Überhitzung, mechanischen Verschleiß in Form von Druckspannungen und Scherkräften infolge der Ofenbewegungen und durch den Klinkerabrieb.

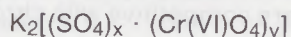
Bewährt haben sich in den drei Zonen Dolomit und Chrommagnetit. In verstärktem Maße werden auch Magnesit-spinellsteine verwendet. Für Öfen, die eine Saison betrieben werden, d. h. mit Laufzeiten von 250 Tagen und mehr im Jahr ohne längeren marktbedingten Stillstand, ist Dolomit weiterhin eine wirtschaftliche Lösung. Kurze Stillstände können durch dichtes Verschließen des Ofens und/oder Einbringen von Branntkalk zum Schutz der Dolomitsteine überbrückt werden. Ansonsten werden überwiegend Chrommagnetitsteine eingesetzt.

2. PROBLEMATIK DER CHROMMAGNESIT-STEINE UND ENTWICKLUNG VON MAGNESIUM-ALUMINIUM-SPINELLSTEINEN (MA-STEINE)

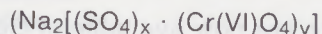
Chromerz wird Magnesiamaassen in erster Linie zur Erzielung einer hohen Temperaturwechselbeständigkeit zugefügt. Chrom liegt in dreiwertiger Form gebunden im Chromit-spinell vor und ist deshalb weder toxisch noch karzinogen. Während der Ofenreise in oxidierender Ofenatmosphäre und durch Alkaliinfiltration kann jedoch das Chrom zur sechswertigen Form oxidiert werden. Die Umwandlungsreaktionen von Chromverbindungen durch Alkaliangriff verlaufen nach folgenden Beziehungen:



Der Sulfatangriff ergibt Verbindungen nach der folgenden chemischen Formel:



oder



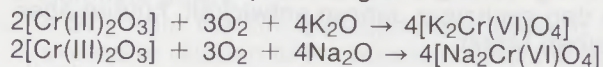
Die Alkalichromatkonzentration von Ausbruchsteinen kann bis zu 0,5 Gew.-% ansteigen. Es ist aus diesem Grund dafür zu sorgen, daß Ofenausbruch, der diese Verbindungen enthält, entweder zur Herstellung neuer Steine wiederverwendet oder als Sonderabfall nach dem Abfallgesetz entsorgt wird. Bei Ausbruch, Transport und Zwischenlagerung dieses Materials sind die einschlägigen Arbeitsschutzvorschriften, TRK-Werte und Richtlinien zum Schutz von Trinkwasser zu beachten. Ziel dieser Regelungen ist es, die Qualität des Trinkwassers zu sichern, die durch toxische Konzentrationen bestimmter Verbindungen

Taking all the factors together, it can be said that the wear to the refractory lining of a cement kiln is caused primarily by increased chemical activity, thermal shocks, overheating, mechanical wear in the form of compression stresses and shear forces caused by kiln movements, and by clinker abrasion.

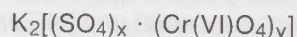
Dolomite and chrome-magnesite have proved successful in the three zones. Magnesite-spinel bricks are also being used to an increased extent. Dolomite continues to be a cost-effective solution for kilns which are operated for a season, i.e. with running times of 250 days or more in the year without any fairly long shut-downs caused by market conditions. Short stoppages can be bridged by closing up the kiln tightly and/or introducing quick lime to protect the dolomite bricks. Otherwise the majority of bricks used are chrome-magnesite.

2. PROBLEMS WITH CHROME-MAGNESITE BRICKS, AND THE DEVELOPMENT OF MAGNESIUM-ALUMINIUM-SPINEL BRICKS (MA BRICKS)

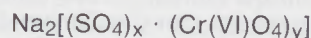
Chrome ore is added to magnesia masses primarily to achieve a high resistance to thermal shock. Chromium is combined in the chromite-spinel in trivalent form, and is therefore neither toxic nor carcinogenic. However, during the kiln campaign the chromium can become oxidized to the hexavalent form in oxidizing kiln atmospheres and as a result of alkali infiltration. The conversion reactions of chromium compounds as a result of alkali attack follow the equations given below:



The sulphate attack produces compounds with the following chemical formulae:



or



The alkali-chromate concentrations in used bricks removed from the kiln can be as high as 0.5 wt.-%. Care must therefore be taken that the broken bricks which contain these compounds are either re-used for producing new bricks or are disposed of as special waste under the law covering waste materials. The relevant worker's protection rules, the recommended industrial concentration values and the guidelines for the protection of drinking water must be observed while this material is being broken out, and during its transport and intermediate storage. The purpose of these regulations is to protect the quality of the drinking water which could be impaired by toxic concentrations of certain compounds. The regulations also guard against allergic skin diseases which are recognized as industrial diseases and for which

beeinträchtigt wird. Außerdem soll mit den Vorschriften allergischen Hauterkrankungen vorgebeugt werden, die als Berufskrankheit anerkannt und entschädigungspflichtig sind. Seit einiger Zeit hat die Feuerfestindustrie ihre Aufmerksamkeit darauf gerichtet, chromfreie Ersatzstoffe zu entwickeln. Ein effektiver Ersatzstoff ist Magnesium-Aluminium-Spinell.

Spinell ist der Sammelbegriff für Verbindungen der Form AB_2O_4 . A steht für verschiedene zweiwertige und B für dreiwertige Elemente. Spinell kann natürlich vorkommen oder durch Synthese erzeugt werden. Magnesium-Aluminium-Spinell $MgAl_2O_4$ ergibt für $MgO:Al_2O_3$ ein Molverhältnis von 1:1 und ein Masseverhältnis von 28,2:71,8. Jedoch schwankt das Masseverhältnis sowohl beim natürlichen als auch beim synthetischen Spinell beträchtlich. $MgAl$ -Spinell ist chemisch resistent gegen kalte Säuren, Alkalien und Alkalicarbonate, extrem hart und in seiner reinen Form ein durchsichtiger, rosafarbener oktaederförmiger Kristall. Bei hohem CaO -Anteil kann es zu Reaktionen zwischen dem CaO und dem Al -Anteil des Spinells kommen. Es bilden sich bei ca. $1200^\circ C$ Calciumaluminat, die nach dem Erstarren das Gefüge verspröden, was zu Brüchen im Stein und damit zur Zerstörung der Ausmauerung führen kann. Daher sollte der CaO -Gehalt im MA -Spinellstein so niedrig wie möglich sein.

Spinell kann auf zwei Arten hergestellt werden, und zwar durch

- Fusion von magnesium- und aluminiumreichen Rohmaterialien in einem Elektroofen,
- Brennen von $MgO + Al_2O_3$ in einem Dreh- oder Schachtofen mit Temperaturen über $1800^\circ C$.

Auf $Mg-Al$ aufgebaute Qualitäten wurden bereits in den sechziger Jahren entwickelt, fanden aber keinen Markt.

In den siebziger Jahren wurden in Japan spinellhaltige Steine entwickelt, um die auftretenden Chromprobleme zu lösen. Dabei wurde Sinterspinell zu Magnesit zugesetzt und im Tunnelofen bei sehr hohen Temperaturen $> 1900^\circ$ ein Magnesia-Spinell-Stein erzeugt, der die Chrom- bzw. Eisenoxide ersetzte, wobei bei dieser 1. Generation der Anteil von Al_2O_3 bei 3–8% lag.

In den achtziger Jahren wurden verschiedene Qualitäten entwickelt, die anfänglich in der Haltbarkeit mit den Chrommagnesitsteinen nicht vergleichbar waren. Nach Klärung der Schadensbilder wurden die Qualitäten soweit verbessert, daß sie mit dem Chrommagnesit konkurrieren können.

Angeboten werden in Deutschland derzeit:

- Didier Rexal S und Rubinal MZ,
- Magnesital VST 190,
- Magnesita Magkor A,
- Radex AR und AS 90 S,
- Refra Magpure 90, Almag 85,
- Veitscher R 17, R 19, R 67 und R 69.

compensation must be paid. Some time ago the refractories industry turned its attention to developing chromium-free substitutes. One effective replacement material is magnesium-aluminium-spinel.

Spinel is the collective term for compounds of the form AB_2O_4 . A stands for various divalent and B for trivalent elements. Spinel can occur naturally or be produced by synthesis. Magnesium-aluminium-spinel, $MgAl_2O_4$, has an $MgO:Al_2O_3$ molar ratio of 1:1 and mass ratio of 28.2:71.8. However, there are considerable fluctuations in the mass ratio both with natural and synthetic spinel. $MgAl$ -spinel is chemically resistant to cold acids, alkalis and alkali carbonates, is extremely hard and in its pure form is a translucent, rose-coloured, octahedral crystal. Where there is a high percentage of CaO , reactions can occur between the CaO and the Al part of the spinel. Calcium aluminates are formed at about $1200^\circ C$; when they solidify they make the structure brittle, which can lead to fractures in the bricks and destruction of the lining. The CaO level in MA -spinel bricks should therefore be as low as possible.

Spinel can be manufactured in two ways. These are

- fusion of raw materials which are rich in magnesium and aluminium in an electric furnace,
- burning $MgO + Al_2O_3$ in a rotary or shaft kiln at temperatures above $1800^\circ C$.

Brick grades based on $Mg-Al$ were developed as early as the sixties, but found no market.

Bricks containing spinel were developed in Japan in the 70s in order to solve the chromium problems which were emerging. In this case sinter spinel was added to magnesite and a magnesia-spinel brick was produced in a tunnel kiln at very high temperatures $> 1900^\circ C$; this replaced the chromium or iron oxide, the percentage of Al_2O_3 in this first generation being 3–8%.

Various grades were developed in the eighties which did not at first compare with chrome-magnesite bricks for durability.

When the reasons for the damage were understood the grades were improved to such an extent that they are competitive with chrome magnesite.

The following are now available in Germany:

- Didier Rexal S and Rubinal MZ,
- Magnesital VST 190,
- Magnesita Magkor A,
- Radex AR and AS 90 S,
- Refra Magpure 90, Almag 85,
- Veitscher R 17, R 19, R 67 and R 69.

A glance at the properties of the MA -spinel bricks when compared with chrome-magnesite bricks shows the following picture:

- Thermal conductivity
The thermal conductivity is higher, so the kiln shell temperature rises by up to $50^\circ C$, which

Ein Blick auf die Eigenschaften der MA-Spinellsteine im Vergleich zu Chrommagnetsteinen zeigt folgendes Bild:

- Wärmeleitfähigkeit
Die Wärmeleitfähigkeit ist höher, damit steigt die Ofenmanteltemperatur um bis zu 50°C, was zu Problemen, insbesondere im Laufringbereich, führen kann.
- Ansatzneigung
Die Ansatzneigung der Chrommagnetsteine nimmt von 1300°C mit steigender Temperatur ab, bei Spinellsteinen verbessert sich die Ansatzneigung, wobei nach Bildung von Primäransatz ohne chemische Bindung höhere Temperaturen nicht mehr erreicht werden.
- Verformung
Spinellsteine zeigen weniger Verformungen beim Ofendrehen als MgCr-Steine, und bei sehr hohen Beanspruchungen brechen sie nicht,

can lead to problems, especially in the tyre area.

- Tendency to form coating
The tendency of chrome-magnesite bricks to form coating decreases with increasing temperature above 1300°C; with spinel bricks the tendency improves, and higher temperatures are no longer reached after a primary coating has formed without chemical bonding.
- Deformation
Spinel bricks exhibit less deformation than Mg-Cr bricks as the kiln turns; they do not break at very high stresses, but plastic deformation occurs instead. This means that for the same kiln ovality the spinel bricks can be expected to give better service lives.
- Overheating
By using highly-pure sea-water magnesite fewer mixed phases are able to form during overheating. This must improve the service life, although the Al₂O₃ content of the brick plays a part.

Tabelle/Table 1

Vergleich der Eigenschaften von
Magnesia-Chrom-Steinen und
Magnesia-Aluminium-Spinellsteinen

Comparison of the properties of
magnesia-chrome bricks and
magnesia-aluminium-spinel bricks

Anforderungen Requirements	Chrom- magnetit-M Cr-Mg-Steine Chrom- magnetit-M Cr-Mg bricks	Mg-Al- Spinell- Steine Mg-Al- spinel bricks
Widerstandsfähigkeit gegen resistance to		
- Ovalität/ovality		+
- Abrieb/abrasion		+
- Temperaturdruck thermal shock		+
- Überhitzung/overheating		+
- Alkaliangriff/alkali attack		+
- Sulfatangriff sulphate attack	+	+
- Redox-Reaktionen redox reactions		+
- Klinkerinfiltration clinker infiltration	+	+
- Verschleiß/wear		+
Ansatzfreudigkeit ease of coating	+	
Temperaturschock- widerstand thermal shock resistance		+
Temperaturleitfähigkeit thermal conductivity	+	
Einkaufspreis purchase price	+	
Entsorgung/disposal		+

- Alkali attack
The spinel brick is mainly at risk from alkali infiltration in the rear part of the transition zone. Alkali chlorides and sulphates penetrate into the brick and condense as soon as the temperature is low enough. The resulting crystals destroy the brick and regular crystalline horizons are formed. The bricks spall in layers as soon as the kiln is stopped. The reason for this is the higher density of this zone which therefore has a different cooling behaviour. The same phenomenon is repeated during the next kiln campaign.

- Sulphate attack
If SO₂ from the kiln atmosphere is present in excess in relation to the alkalis it reacts in the presence of oxygen with the calcium silicates in the bricks to form CaSO₄ and produce local increases in volume. The Ca silicates act as a bonding phase between the MgO crystals so the brick structure is weakened by sulphate attack. The lower the level of Ca-silicates in the brick the higher is the resistance to sulphate attack. These reactions occur in both types of brick.

- Redox reactions
These reactions can occur at the outlet to the sintering zone, and the Fe₂O₃ is converted to FeO with a reduction in volume. The faults lead to destruction of the brick. Spinel bricks are less sensitive to redox reactions because of their lower levels of Fe₂O₃.

A study of the comparison in table 1, in which better properties are marked with a +, shows clearly that it should be easy to carry out the conversion, and without any disadvantages. However, practice frequently proves to be somewhat different from theory.

sondern es kommt zu plastischen Verformungen. Das bedeutet, daß bei gleicher Ofenovalität der Spinellstein bessere Standzeiten erwarten läßt.

- Überhitzung
Durch die Verwendung des hochreinen Seewassermagnesits können sich bei Überhitzungen weniger Mischphasen bilden. Damit muß sich die Standzeit verbessern, wobei allerdings der Al₂O₃-Gehalt des Steines eine Rolle spielt.
- Alkali-Angriff
Hauptsächlich in der hinteren Übergangszone ist der Spinell-Stein durch Alkaliinfiltrationen gefährdet. Alkalichloride und Sulfate dringen in den Stein ein und kondensieren, sobald die Temperatur tief genug ist. Die entstehenden Kristalle zerstören den Stein, und es ergeben sich regelrechte Kristallhorizonte. Die Steine platzen schalenförmig ab, sobald der Ofen abgestellt wird. Die Ursache dafür ist die höhere Dichte dieser Zone, die dadurch ein anderes Abkühlverhalten hat. Dasselbe Phänomen wiederholt sich bei der folgenden Ofenreise.
- Sulfatangriffe
In Gegenwart von Sauerstoff reagiert SO₂ aus der Ofenatmosphäre, wenn es im Überschuß

3. EXPERIENCE WITH MA-SPINEL BRICKS IN A 3000 t/d ROTARY KILN

The 5.6 m diameter × 89 m rotary kiln with planetary coolers has a nominal throughput of 3000 t/d. The inlet zone starts at 56 m, and the sintering zone at 32–34 m. The outlet zone lies at 14–18 m and extends to 12 m. The number of rings installed and the installation dates are shown in fig. 1.

MA-spinel bricks have been tested at Harburg since the 1986/87 winter repair. In February 1987 two rings were installed first as a test in the outlet zone at 15.8 m, i.e. at a position where the coating is stable.

After 1.5 years the brick, an R 17 manufactured by Veitscher magnesit, with a residual thickness of 140 mm was replaced and a chrome-magnesite brick was installed again at this position. The section from 10.8 to 15.4 m was lined with R 17 set in mortar. However, this lining only achieved a service life of 88 days up to the 1988/89 winter repair. In spite of this very unsatisfactory result MA-spinel bricks from various manufacturers were ordered for a full-scale trial in the entire burning zone.

The R 67 bricks in the 40–42 m section directly

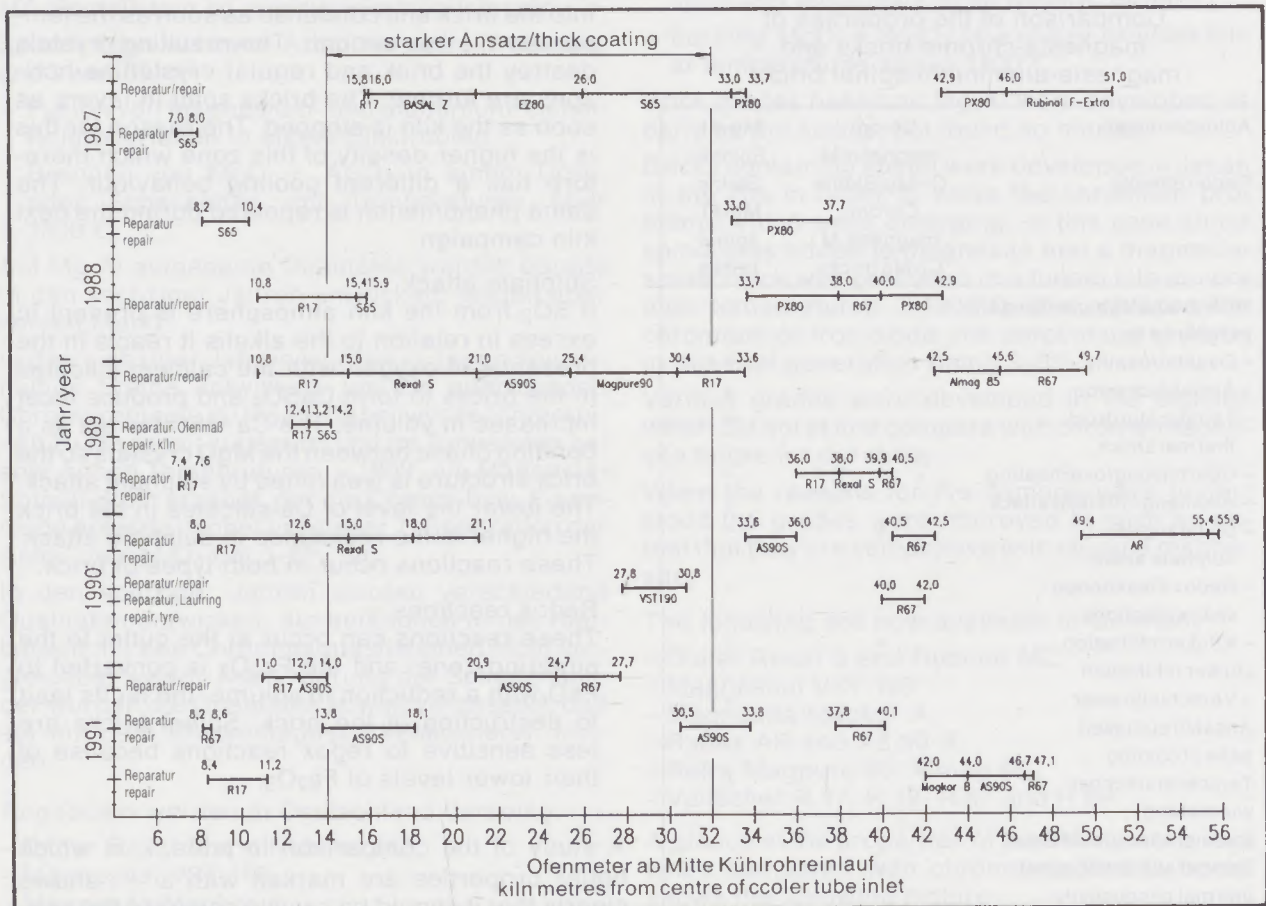


Abb./Fig. 1

Ausmauerungsprotokoll für die Sinterzone sowie die Ein- und Auslaufzone für die Jahre 1987–1991
Bricking diagram for the sintering zone and the inlet and outlet zones for the years 1987–1991

zu den Alkalien vorliegt, mit den steineigenen Calciumsilicaten zu CaSO_4 und bewirkt örtlich eine Volumenvergrößerung. Da die Ca-Silicate als Bindephase zwischen den MgO-Kristallen wirken, wird durch Sulfatangriff das Steingefüge geschwächt. Je geringer die Menge der Ca-Silicate im Stein ist, desto höher ist die Resistenz gegen Sulfatangriff. Diese Reaktionen treten bei beiden Steintypen auf.

– Redox-Reaktionen

Diese Reaktionen können in der Sinterauslaufzone auftreten, wobei Fe_2O_3 zu FeO umgewandelt wird und eine Volumenverringerng eintritt. Die Fehlstellen führen zur Zerstörung des Steins. Spinellsteine sind aufgrund ihres geringen Fe_2O_3 -Gehaltes weniger empfindlich gegenüber Redox-Reaktionen.

Betrachtet man die Gegenüberstellung in Tabelle 1, in der bessere Eigenschaften mit einem + dargestellt sind, ist das Ergebnis klar, und die Umstellung wäre problemlos ohne Nachteile durchführbar. Doch die Praxis beweist häufig etwas anderes als die Theorie.

3. ERFAHRUNG MIT MA-SPINELLSTEINEN BEI EINEM 3000-t/d-DREHOFEN

Der Drehofen mit den Abmessungen $\varnothing 5,6 \times 89$ m und Satellitenkühler hat einen nominellen Durchsatz von 3000 t/d. Ein Einlaufzone beginnt bei 56 m, die Sinterzone bei 32–34 m. Die Auslaufzone liegt bei 14–18 m und reicht bis 12 m. Die Zahl der eingebauten Ringe und das Einbaudatum sind in Abb. 1 dargestellt.

Seit der Winterreparatur 1986/87 werden in Harburg MA-Spinellsteine getestet. Im Februar 1987 wurden erstmals zwei Ringe bei 15,8 m in der Auslaufzone zur Probe eingebaut, an einer Stelle also, an der der Ansatz stabil ist.

Der Stein, ein R 17 der Firma Veitscher Magnesit, wurde nach eineinhalb Jahren mit einer Reststärke von 140 mm wieder ausgetauscht, und an dieser Stelle wurde wiederum ein Chrommagnetstein eingebaut. Von 10,8 bis 15,4 m wurde mit R 17 gemörtelt zugestellt. Diese Ausmauerung erreichte allerdings nur eine Standzeit von 88 Tagen bis zur Winterreparatur 1988/89. Obwohl dieses Ergebnis sehr unbefriedigend war, wurden trotzdem für einen Großversuch in der gesamten Sinterzone MA-Spinellsteine verschiedener Hersteller bestellt.

Die gleichzeitig mit dem R 17 gemörtelt eingebauten R-67-Steine im Bereich 40–42 m, direkt unter dem Laufring, zeigten mit 210 mm noch fast die Ausgangsstärke von 220 mm. Für den Einbau wurde dabei erstmalig das Ausmauerungsgerät DAT der Firma Didier eingesetzt. Auch die MA-Spinellsteine von 10,8–33,6 m und von 42,5–49,7 m wurden damit eingebracht. Von jeder Qualität wurden, wie Abb. 1 zu entnehmen ist, zwischen 4 und 6 m eingebaut. Jeweils mehrere Ringe

unter the tyre, which were installed with a mortar bedding at the same time as the R 17, had a thickness of 210 mm which is almost the original thickness of 220 mm. The DAT mechanized bricking rig supplied by Didier was used for the first time for the installation. It was also used to install the MA-spinel bricks from 10.8 to 33.6 m and from 42.5 to 49.7 m. Between 4 and 6 m of each grade were installed, as can be seen from fig. 1. In each case several rings were laid dry and the rest were set in mortar.

Because of a kiln crack at the end of June 1989 at 13 m it was necessary to replace 1.8 m of intact lining from 12.4 to 14.2 m. As with the remaining sections from 8.0 to 21.1 m this repair only held until the winter repair, that is for 5 months.

Infiltrations were the cause of the lining wear under the coating. It was expected that impregna-

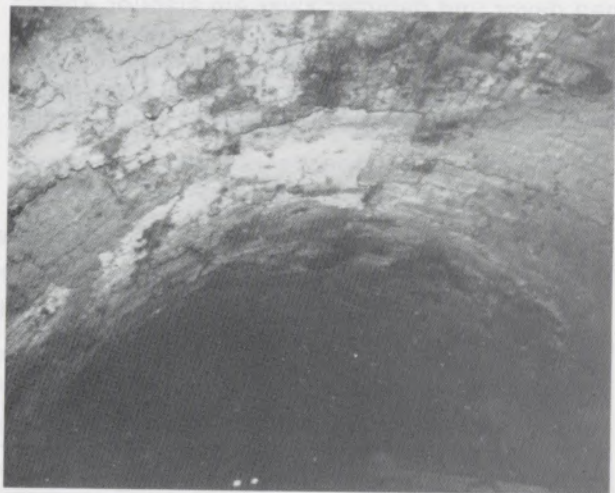


Abb./Fig. 2

Blick in die Sinterzone nach Ausbruch des Ansatzes
View of the sintering zone after breaking away the coating

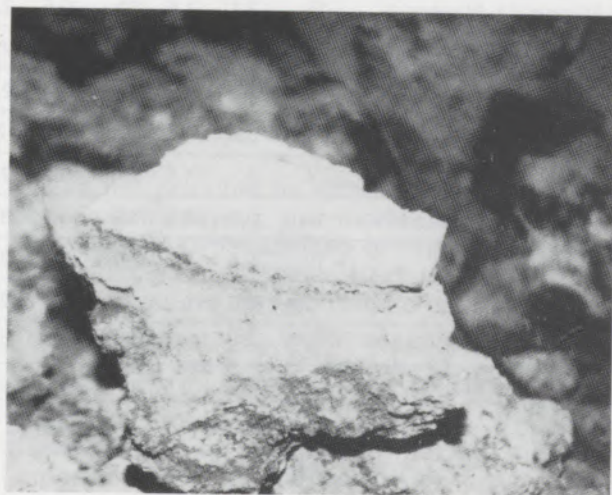


Abb./Fig. 3

Ansatzbrocken mit Steinstück
Lump of coating with piece of brick attached

wurden dabei trocken verlegt, der Rest wurde vermörtelt.

Wegen eines Ofenrisses Ende Juni 1989 bei 13 m mußten 1,8 m intaktes Mauerwerk von 12,4–14,2 m ausgetauscht werden. Diese Reparatur hielt wie die übrige Strecke von 8,0–21,1 m nur bis zur Winterreparatur, also nur fünf Monate.

Ursache für den unter dem Ansatz liegenden Futterschleiß waren Infiltrationen. Abhilfe wurde davon erwartet, daß der gleiche Stein vor dem Einbau mit Phosphat getränkt wurde, um die Poren zu schließen, obwohl ein Blick in die Tabelle 2 zeigt, daß im Vergleich zu anderen Fabrikaten kein Unterschied insbesondere bei der Porosität bestehen dürfte. Etwas besser verhielt sich die Zone von 28–31 m. Vergleichbare Ergebnisse, d. h. Standzeiten von zwei Jahren, wurden in der Zone von 21–28 m erreicht. Vermutlich ist das die Zone, in welcher der Ansatz sich sehr schnell bildet und auch stabil bleibt, während in den Zonen davor und dahinter zwar ein stabiler Ansatz beim Abstellen festzustellen war, der sich aber langsamer bildete. Es zeigte sich jedoch, daß der Ansatz nur wenig Haftung mit dem Stein hatte, wie das auch aus Abb. 2 hervorgeht. Nur an weni-

tion of the same brick with phosphate before installation in order to close the pores would remedy the situation, although a glance at table 2 shows that there should be no differences when compared with other manufacturers, especially in porosity. The zone from 28 to 31 m showed somewhat better behaviour. Comparable results, i.e. service lives of 2 years, were achieved in the zone from 21 to 28 m. Presumably this is the zone where the coating forms very rapidly and also remains stable; stable coatings were also found in the zones above and below at the kiln stop, but they had formed more slowly. However, it was apparent that the coating showed only slight adhesion to the brick, as can be seen from fig. 2. Only at a few points was the adhesion so strong that about 30 mm of brick remained stuck to the coating when it broke away; fig. 3 shows an example of this.

It can be seen from a glance at the period from 1987 to 1989 (table 3) that because of the action of the clinker phases the chrome-magnesite brick was able to reach service lives of 2 years through rapid formation of coating, even in those zones which are critical for the spinel brick. Spinel bricks

Tabelle/Table 2

Chemische und physikalische Eigenschaften der eingesetzten MA-Spinellsteine
Chemical and physical properties of the MA-spinel bricks used

Hersteller Manufacturer	Typ Type	Chem. Zusammensetzung Chemical composition								Physikalische Werte Physical values					
		Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO	Dichte	Por.	SK ¹⁾	KDF ²⁾	WLF ³⁾	TWB ⁴⁾	WD ⁵⁾	DFB ⁶⁾	
		%	%	%	%	%	g/cm ³	V%	N/mm ²	W/mK	in Luft	%	Δ _a °C	Δ _e °C	
Didier	Rexal S	9,5	0,5	0,5	87,5	2	2,85	18	35	45	2,9	> 120	1,2	1740	
Didier	Rexal Sg	9,5	0,5	0,5	87,5	2	2,85	18	35	45	2,9	> 120	1,2	1740	
Didier	Rubinal MZ	4,5	1	1,8	91,5	1,2	2,85	18,5		50	2,8	> 100	1,2	1700	
Magnesita	Magkor A	15	2,1	1,5	81	0,5	2,89	19		40		> 50	1,4	1720	
Magnesita	VST 190	11	0,2	0,2	88	0,8	2,95	15		40	2,7	> 100	1,75		
Radex	AS 90 S	7	0,5	0,2	91	0,7	2,87	18		40	2,4	> 150	1,3	1700	
Radex	AR	3,3	3,3	1	90	2,3	2,9	19		40	2,5	> 100	1,3	1700 1700	
Refra	Magpure 90	4	3	1,5	91,5	0,9	2,75	23		45	2,6		1,25		
Refra	Almag 85	14	0,5	0,5	86	1	3	17		40	2,8		1,1	1700 1700	
Veitscher	R 17	12	0,5	0,2	86,5	0,7	2,92	16		40	3		1,18	1700 1750	
Veitscher	R 19	5	0,2	0,2	94	0,9	2,95	16	42	40	3	> 100	1,21	1700 1750	
Veitscher	R 67	9,5	5,5	0,4	83	1,6	2,9	20		35	3,1		1,3	1650 1700	
Veitscher	R 69	5,5	5,3	0,5	87	1,8	2,96	18	42	40	3,1	> 100	1,21	1650 1700	

¹⁾ Seger cone test

²⁾ cold crushing strength

³⁾ thermal conductivity

⁴⁾ thermal shock resistance

⁵⁾ thermal expansion

⁶⁾ refractoriness under load

Tabelle/Table 3

Futtermverbrauch in den Jahren 1987–1991
Lining consumption for the years 1987–1991

Jahr Year	Ofenlaufzeit Kiln running time		Eingebaute Ausmauerung in m Lining installed in m				FF-Verbrauch Refractory consumption	
	Tage days	Stunden hours	Einlaufseite inlet side	Sinterzone sintering zone	Auslaufseite outlet side	Summe total	g/t Kli g/t clinker	kg/h kg/h
1987	187	4488	8,80	17,20	1,00	27,00	570,58	60,16
1988	194	4656	13,90	1,90	5,40	21,20	433,01	45,53
1989	234	5616	13,30	18,00	3,40	34,70	568,35	61,79
1990	218	5232	10,90	10,10	4,00	25,00	449,88	47,78
1991	242	5808	9,20	11,80	6,40	27,40	424,81	47,18
Mittelwert average	215	5160	11,22	11,80	4,04	27,06	489,33	52,44

gen Stellen war die Haftung so stark, daß ca. 30 mm vom Stein beim Ausbruch des Ansatzes an diesem hängen blieben: ein Beispiel dafür zeigt Abb. 3.

Ein Blick auf die Zeit von 1987–1989 (Tabelle 3) läßt erkennen, daß der Chrommagnesitstein durch die Einwirkung der Klinkerphasen auch in diesen für den Spinellstein kritischen Zonen durch schnelle Ansatzbildung Standzeiten von zwei Jahren zugelassen hat. Spinellsteine wurden im Bereich 49–56 m erstmals in der Winterreparatur 1989/90 eingebaut. Im Oktober 1991 wurden hier noch Reststärken von 190–215 mm, also ein vernachlässigbarer Verschleiß, festgestellt.

In der Einlaufzone im Bereich 42–50 m hat der Spinellstein seine Bewährungsprobe bestanden. Hier wurden Standzeiten von drei Jahren im Gegensatz zu zwei Jahren bei Chrommagnesitsteinen erreicht. Allerdings trat kurze Zeit nach dem Wiederaufahren im Juli 1991 eine heiße Stelle bei 42,5 m auf.

Bis Anfang Oktober konnte der Ofen noch weiterbetrieben werden. Nach dem Abstellen stellte sich heraus, daß an der heißen Stelle nur noch eine Reststärke von 20 mm vorhanden war. Beim Ausbrechen zeigte sich bei sämtlichen 25 Ringen, daß sich etwa 100 mm unter der Oberfläche eine Infiltrationszone aus Alkalisulfat gebildet hatte. Diese Zone war ca. 3 mm stark. Da beim Wiederaufahren mit einem kompletten Abplatzen gerechnet werden mußte, wurde die gesamte Strecke neu zugestellt. Unter dem Lauring bei 40–42 m hat der Spinellstein ebenso gute Ergebnisse wie der Chrommagnesitstein erreicht. Die Reparatur an dieser Stelle wurde notwendig, weil die Lauringsschuhe neu befestigt werden mußten. Die ausgebauten Steine hatten noch die volle Stärke. Auch in der Zone 32–40 m ist der Spinellstein gleichwertig oder sogar besser als der Chrommagnesitstein.

Ein Unterschied zwischen Trockenverlegung und

were installed in the 49–56 m region for the first time during the 1989/90 winter repair. Residual thicknesses of 190–215 mm, i.e. negligible wear, were measured here in October 1991.

The spinel brick has passed the acid test in the inlet zone in the 42–50 m region. Service lives of 3 years were achieved here in comparison to 2 years for chrome-magnesite bricks. However, a hot spot appeared at 42.5 m shortly after re-starting in July 1991.

It was possible to continue to operate the kiln until the beginning of October. After shutting down it was found that there was only a residual thickness of 20 mm at the hot spot. As the bricks were removed it was found that an infiltration zone of alkali sulphate had formed about 100 mm below the surface in all 25 rings. It could be expected that complete spalling would occur on re-starting so the entire section was re-lined. Under the tyre at 40–42 m the spinel brick achieved equally good results to the chrome-magnesite bricks. The repair at this point became necessary because the tyre chairs had to be re-attached. The bricks which were removed still had their full thickness. In the 32–40 m zone the spinel brick was also equal to or even better than the chrome-magnesite brick.

It was not possible to establish any difference between dry laying and mortar bedding when using the DAT mechanized bricking rig, so only dry laying was used after 1990. Only in the tyre regions was any mortar used.

In every case it was worth assembling the DAT rig for repair sections of more than 3 m. Installation of the bricks took just under half the time of the glued method and fewer people were needed. However, as with the glueing method, the most important part of each bricking session was closing the arch. It is necessary to proceed with great care so that the required keying is achieved with as few metal plates as possible.

Mörtelverlegung konnte bei Einsatz des DAT-Ausmauerungsgerätes nicht festgestellt werden. Daher wurde ab 1990 nur noch trocken verlegt. Nur im Bereich der Laufringe wird gemörtelt.

Bei Reparaturstrecken von mehr als 3 m lohnt sich der Aufbau des DAT-Gerätes in jedem Fall. Für den Steineinbau benötigt man nur knapp die halbe Zeit der Klebetechnik. Außerdem sind die Anforderungen an das Personal nicht so groß. Größte Bedeutung hat bei jeder Verlegung, ebenso wie bei Anwendung der Klebetechnik, der Gewölbeschluß. Dabei muß mit größter Sorgfalt vorgegangen werden, um mit möglichst wenig Blech das erforderliche Verkeilen zu erreichen.

Die Hersteller sollten für das Schließen eines Steinringes noch einige Steine in Zwischengrößen mitliefern, damit auf den Einsatz von Blechen ganz verzichtet werden kann.

4. SCHLUSSBETRACHTUNG

Aus den bisherigen Ergebnissen kann der Schluß gezogen werden, daß die Umstellung von Magnesiachromit auf MA-Spinellsteine – von kleineren Problemen abgesehen – erfolgreich durchgeführt werden kann. Die erreichten Ergebnisse können jedoch nicht verallgemeinert werden, da unterschiedliche Ofenabmessungen die Rohmehlzusammensetzung, Brennstoffart und Verteilung der Ergebnisse beeinflussen können.

Der Ofeningenieur muß bestrebt sein, die Standzeit und damit die Wirtschaftlichkeit des Feuerfesteinsatzes weiter zu verbessern. Daher erwartet die Zementindustrie weitere Entwicklungen von den Feuerfest-Herstellern. Für den Bereich der Sinterzone werden Feuerfestqualitäten benötigt, die noch besser den Anforderungen nach Temperaturwechselbeständigkeit, Widerstand gegen Alkalien, Ansatzverhalten und mechanische Festigkeit entsprechen.

Außerdem sollten zusätzliche Formate für den Ringschluß zur Verfügung gestellt, wie auch die Wärmeleitfähigkeit der Steine auf den Wert von Chrommagnetsteinen abgesenkt werden.

The manufacturer should supply a few additional bricks in intermediate sizes for closing the brick rings so that the use of metal plates can be completely eliminated.

4. FINAL COMMENTS

From the results achieved so far it is possible to conclude that, apart from minor problems, the changeover from magnesia-chromite to MA-spinel bricks can be carried out successfully. However, the results achieved cannot be generalized as they can be influenced by different kiln dimensions by the raw meal composition, and by the type and distribution of the fuel.

The kiln engineer must try to improve the service life, and hence the cost-effectiveness, of the refractory installation still further. The cement industry is therefore awaiting further developments from the refractory manufacturers. The sintering zone needs refractory grades which have even better properties with respect to resistance to thermal shock, resistance to alkalis, coating behaviour and mechanical strength.

Additional brick formats should be made available for closing the brick rings, and the thermal conductivity of the bricks should also be lowered to the values of the chrome-magnesite bricks.

Literaturverzeichnis/References

- Weibel, G.: Chromerzfreie Feuerfestausmauerungen für die Übergangs- und Sinterzonen von Zementdrehöfen. Zement-Kalk-Gips (1990) Nr. 9, S. 436–439.

Bildnachweis

Märker Zement GmbH, W-8856 Harburg

MILESTONE Schadstofffreie MgO-C-Steine für die Stahlgießpfannen

F. Reiterer, K. Dösinger, Leoben*)

Magnesiakohlenstoffsteine verursachen beim Aufheizen von neu zugestellten Aggregaten der Stahlerzeugung eine Rauch- und Geruchsbelästigung. Im verstärkten Maß trifft diese Aussage für das Aufheizen von Stahlgieß- und Behandlungspfannen zu, da die Pfannenfeuer in den meisten Fällen ohne Absaugung ausgestattet sind.

Um das Rauch- und Geruchsproblem beim Aufheizen von Pfannen zu lösen, wurden schadstofffreie Magnesiakohlen-

stoffsteine entwickelt. Diese neuen Steine, genannt MILESTONE für Major Improvement in Ladle Emission, sind sowohl bei der Herstellung als auch in ihrer Handhabung schadstofffrei. Dieser Entwicklungsschritt ist unter Beibehaltung der ausgezeichneten Verschleißigenschaften von pech- und kunstharzgebundenen Magnesiakohlenstoffsteinen gelungen. Das Prinzip einer ökologischen Produktentwicklung wurde somit zur Gänze erfüllt.

MILESTONE Nontoxic Magnesia Carbon Bricks for Steel Casting Ladles

Magnesia Carbon Bricks are widely used for the refractory linings of steelmaking aggregates. Up to now these bricks are pitch or resinbonded. During the heating process, however, these products generate toxic fumes. Due to the growing focus on environmental aspects, harmful emissions have to be reduced significantly, especially as far as ladle-linings are concerned because the ladle fires mostly have no exhaust systems.

For providing refractory linings without toxic emission a new

carbon-binding concept for Magnesia Carbon Bricks was developed. The relevant technological properties and performance of the newly developed bricks – called MILESTONE for Major Improvement in Ladle Emission – are comparable to products bonded with coal tar pitch and better than phenolic resin bonded ones.

Thus the principle of an ecological product development was realized.

MILESTONE

Réfractaires de MgO-C exempts de substances nuisibles pour poches de coulée de l'acier

Au cours du réchauffage d'appareils de production de l'acier ayant un revêtement neuf, les réfractaires de magnésie-carbone émettent des fumées et des odeurs gênantes. Cette constatation se rapporte dans une plus grande mesure lors du réchauffage de poches de coulée et de traitement de l'acier, car les foyers de chauffage des poches ne sont généralement pas équipés de systèmes d'aspiration des fumées.

Pour résoudre le problème des fumées et des odeurs lors du réchauffage des poches, on a mis au point des réfractaires de magnésie-carbone ne contenant pas de substances nocives.

Ces nouveaux réfractaires, appelés MILESTONE ce qui veut dire Major Improvement in Ladle Emission, ne contiennent pas de substances nocives aussi bien au cours de leur fabrication que de leur manipulation. On a pu effectuer ce pas vers le développement en conservant aux réfractaires de magnésie-carbone à liant de goudron et de résine synthétique d'excellentes propriétés de résistance à la corrosion.

La principe de la mise au point de produits écologiques a été ainsi réalisé dans sa totalité.

1. EINLEITUNG

Magnesiakohlenstoffsteine haben sich als Feuerfestauskleidung in Aggregaten der Stahlerzeugung seit langer Zeit bewährt. Diese Steine bestehen hauptsächlich aus Magnesia und Kohlen-

*) Dr. Franz Reiterer
DI. Klaus Dösinger
Veitsch-Radex
Aktiengesellschaft für
feuerfeste Erzeugnisse
Forschungsinstitut Leoben
Austria

1. INTRODUCTION

For a long time magnesia carbon bricks have proved to be successful as refractory linings in vessels for steel production. These bricks mainly consist of magnesia and carbon. They are used in an unburnt state at service temperatures up to 1800°C.

Compared to the traditional burnt products these bricks have a better resistance against aggressive slags, an excellent thermal shock resistance and a very good heat conductivity. These pro-

stoff. Sie werden ungebrannt bei Anwendungstemperaturen bis 1800°C eingesetzt.

Im Vergleich zu den klassischen gebrannten Erzeugnissen besitzen diese Produkte sehr gute Eigenschaften gegenüber aggressiven Schlacken, ein ausgezeichnetes Temperaturwechselverhalten und ein hervorragendes Wärmeleitvermögen. Diese Eigenschaften werden dadurch erreicht, daß je nach Anforderung an die Erzeugnisse der gewünschte Kohlenstoffgehalt im Stein eingestellt werden kann. Weiters ist eine offene Porosität im Betriebszustand von nur etwa 10% gegenüber bis zu 18% bei gebrannten Magnesiaprodukten gegeben. Das dafür notwendige kompakte Gefüge aus Magnesit und Kohlenstoff wird nicht zuletzt durch Bindemittel geschaffen.

2. BINDEMittel

2.1. Bisher verwendete Bindemittel

Bisher werden zur Bindung der Magnesiakohlenstoffsteine Steinkohlenteerpech oder Phenolharze verwendet. Diese Bindemittel haben ein gutes Benetzungsvermögen gegenüber Magnesit und den festen Kohlenstoffträgern, und erzielen somit eine optimale Verbindung zwischen den Komponenten.

Steinkohlenteerpech und Phenolharze weisen vor allem eine hohe Koksausbeute auf. Sie liefern somit neben den als Kohlenstoffträgern eingesetzten, hochreinen Naturgraphiten und Ruß, einen Beitrag zum Gesamtkohlenstoffgehalt. Der Verkokungsrückstand ist maßgeblich für die Steineigenschaften im Einsatz verantwortlich. Daraus resultiert die Bindung des Steines („Bindkoksmatrix“) und der Infiltration von Stahl und Schlacke wird zusätzlich entgegengewirkt.

Die Verwendung verkokbarer Bindemittel ist jedoch in letzter Zeit in Diskussion geraten, da sie Schadstoffe enthalten (5). Außerdem werden beim Aufheizen, das heißt bei der Umwandlung des Bindemittels in das Koksgerüst, gesundheitsschädigende Substanzen freigesetzt (6).

Das Aufheizen von Aggregaten, die mit pech- oder kunstharzgebundenen Magnesiakohlenstoffsteinen zugestellt wurden, führt zu einer Rauch- und Geruchsentwicklung. Besonders bei Stahlgießpfannen, die im Gegensatz zu Konverter und E-Ofen mit keiner Umhausung und Absaugung ausgestattet sind, wird dadurch eine Rauch- und Geruchsbelästigung am Arbeitsplatz in der Stahlwerkshalle verursacht.

2.2. Bindemittelalternativen

In der Vergangenheit sind von der Feuerfestindustrie und von Bindemittelherstellern Lösungsvorschläge zur Schadstoffminimierung in den Steinen und den Pyrolyseabgasen erarbeitet worden. Mit den Bindemittelalternativen (Bitumen, Polymerisationsharze u. a.) konnte eine gewisse Ver-

parties are reached by adjusting the carbon content of the bricks according to the requirements. Furthermore the apparent porosity during operation is only approx. 10% compared to nearly 18% of burnt magnesia products. The essential strong bond of magnesia and carbon is first of all due to the binding system used.

2. BINDERS

2.1. Binders used up to now

Up to now coal tar pitch or phenolic resins have been used for binding magnesia carbon bricks. These binders have good wetting properties for magnesia and the solid carbon components and therefore lead to an optimum bond (9).

Coal tar pitch and phenolic resin above all yield a high coking residue. Therefore they contribute, together with the high purity natural graphites and carbon black used as carbon sources, to the total carbon content. The coking residue is highly responsible for the bond of the brick ("binding coke matrix") and the infiltration with steel and slag is inhibited (1), (2).

The use of cokable binders has recently been disputed, as they contain toxic substances (5). In addition harmful exhaust fumes are emitted (6) during the heating process, i.e. when transforming the binder into the coke structure.

The heating of aggregates lined with pitch or synthetic resin bonded magnesia carbon bricks leads to the emission of fume and smell. Particularly in the case of steel casting ladles, which, contrary to converters and electric arc furnaces, have no casings and exhaust systems, the workers in the steelshops are exposed to fume and smell.

2.2. Alternative binders

During the last years the refractory industry and the manufacturers of binders have worked out solutions for minimising contaminants in bricks and pyrolysis gases. By alternative binders (bitumen, polymerisation resins and the like) a certain reduction of toxic substances in the bricks was reached.

All these binders, however, were not able to solve the problem of fume and smell when heating up. For this reason no binder alternative has been able to succeed in the market up to now.

2.3. Coking mechanism of carbon bonding

Up to now a coking residue was considered necessary for binders of magnesia carbon bricks to maintain a certain strength at application temperatures.

The quantity of the formed coking residue de-

Tabelle 1/Table 1
 Verkokungsrückstände organischer Verbindungen
 Coking residues of organic compounds

Harztypen/resin types	Restkohlenstoffausbringen (ca. %) / residual carbon (approx. %)
Steinkohlenpech/coal tar pitch	45–55
Phenolharze/phenolic resins	30–60
Furfurylalkoholharze/furfuryl alcoholic resins	45–50
Ligninsulfonat-Lösung (50%)/lignine sulfonate solution (50%)	10
Melamin-Harz/melamine resin	10
Epoxyharz/epoxide resin	10
Harnstoff-Harz/urea resin	10
Cumaron-Inden-Harze/cumaron inden resins	10–30
Bitumen/bitumen	15–50
Polystyrol/polystyrene	3

ringerung der Schadstoffe im Stein erzielt werden.

Sämtliche Bindemittelalternativen lösen jedoch das Problem der Rauch- und Geruchsbelästigung beim Aufheizen nicht. Aus diesem Grund hat sich bislang keine Bindemittelalternative auf dem Markt durchgesetzt.

2.3. Verkokungsmechanismus der Kohlenstoffbindung

Bisher wurde es als notwendig angesehen, daß Bindemittel für Magnesiakohlenstoffsteine einen Verkokungsrückstand aufweisen, um den Steinen auch bei Einsatztemperaturen Festigkeit zu verleihen.

Die Menge des gebildeten Verkokungsrückstandes richtet sich nach der Struktur der als Bindemittel eingesetzten Verbindung. Er ist umso höher, je mehr aromatische Gruppen in einer Verbindung enthalten sind. Räumliche Vernetzungen und zyklische (auch nichtaromatische) Strukturen erhöhen ebenfalls das „Koksausbringen“.

Die Zersetzung organischer Polymerverbindungen unter reduzierenden Bedingungen geschieht dadurch, daß vor allem Bruchstücke der Polymerverbindungen abgespalten werden (3), (4). Sind diese Bruchstücke klein, können sie verdampfen und bei Zutritt von Sauerstoff verbrennen. Hochmolekulare Spaltprodukte sind jedoch schwer entflammbar und verursachen eine Rauch- und Geruchsentwicklung. Bindemittel mit hohem Verkokungsrückstand, wie Pech oder Phenolharze, spalten bevorzugt hochmolekulare Crackprodukte ab, Bindemittel mit einem geringen Verkokungsrückstand weisen niedrigmolekulare Zersetzungsprodukte auf.

Damit kann das Geruchs- und Rauchproblem durch Bindemittel mit hohem Verkokungsrückstand nicht gelöst werden.

penden on the structure of the binder (1), (2). The more aromatic groups the binder contains the higher is the yield of residual carbon. Cyclic (also non-aromatic) and threedimensional crosslinked structures also increase the "coke yield".

By disintegration under reducing conditions mainly fragments of the polymere compounds are separated. If these fragments are small, they can vaporise and when exposed to oxygen burn easily. The incomplete oxidation of pyrolysis products with high molecular weight causes fume and bad smell. In the case of binders with a high coking residue like coal tar pitch or phenolic resins, the formation of high molecular structures is favoured. Binders with a low coking residue tend to small fragments (3), (4).

Therefore the problem of smell and fumes cannot be solved by using binders with a considerable coking residue.

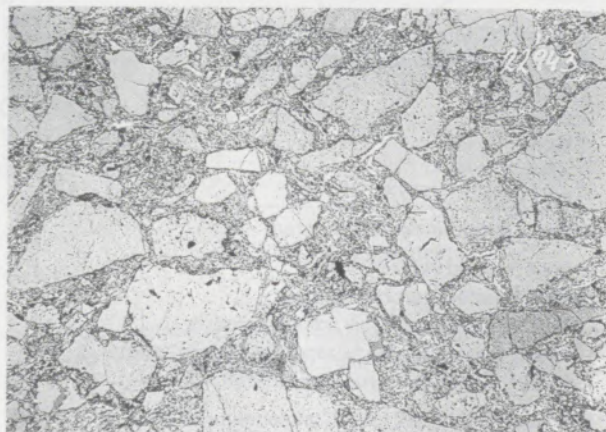


Abb./Fig. 1
 Milestone-Gefüge
 Milestone texture

3. MILESTONE-BINDUNGSPRINZIP

Die gänzlich geruchs- und rauchfreie Pfanne kann nur durch ein völlig neues Bindekonzept für Magnesiakarbonsteine erreicht werden:

Die neuen Magnesiakohlenstoffsteine, genannt Milestone, für Major Improvement in Ladle Emission, erhalten ihre Grundfestigkeit nicht durch ein Koksgerüst, sondern durch eine Kohlenstoff-Kohlenstoffbindung. Diese Grundfestigkeit wird durch Metallpulverzusatz verstärkt. Aus den Metallpulvern bilden sich bei Einsatztemperaturen nach bekannten Reaktionsmechanismen Carbide (7), (8), die gefügeverstärkend wirken.

In Abb. 1 wird das Gefüge eines Milestones in einer mikroskopischen Aufnahme gezeigt.

Der hohe Gefügefüllgrad mit festen Kohlenstoffträgern (1 – Ruß, 2 – Graphit) ist gleich wie bei pech- oder phenolharzgebundenen Steinen.

Wie im folgenden zu zeigen ist, weisen die Milestones das gleiche Eigenschafts- und Leistungsprofil wie pech- oder kunstharzgebundene Magnesiakohlenstoffsteine auf.

Sowohl die Herstellung als auch die Handhabung der Milestones ist problemfrei. Es werden bei der Herstellung keine toxischen Substanzen verwendet. Dadurch sind Milestones schadstofffreie Magnesiakohlenstoffsteine. Das Prinzip einer ökologischen Produktentwicklung wurde somit zur Gänze erfüllt.

3. MILESTONE BINDING PRINCIPLE

The ladle totally free from smell and fumes can only be realized by a totally new binding conception for magnesia carbon bricks:

The new magnesia carbon bricks, called Milestone, Major Improvement in Ladle Emission, have their initial strength not due to a coking structure, but to a carbon-carbon bond. This strength is increased by the addition of metallic powder. At application temperatures the metallic powders form carbides (7), (8) according to well known reaction mechanisms, which have a reinforcing effect on the texture.

Fig. 1 shows the texture of a Milestone under the microscope:

The dense texture of solid carbon sources (1 – carbon black, 2 – graphite) is the same as in pitch or phenolic resin bonded bricks.

As shown below Milestones have the same property and performance profile as pitch or synthetic resin bonded magnesia carbon bricks.

There is no harm in producing and handling Milestones. No toxic substances are used in production. Therefore Milestones are magnesia carbon bricks without contaminants. Thus the principle of an ecological product development has been fulfilled.

Tabelle 2/Table 2

Vergleich physikalischer Prüfwerte
Properties of magnesia carbon bricks

Produkt/product	A	B	C	D
Steincharakteristik/brick characteristic				
Bindung/bonding	Milestone Milestone	Milestone Milestone	Pech pitch	Phenolharz synthetic resin
Analyse der MgO-Sinterbasis (Gew.-%) analysis of MgO sinter basis (% by wt.)				
MgO	98	98	98	98
CaO	1,3	1,3	1,3	1,3
SiO ₂	0,3	0,3	0,3	0,3
Al ₂ O ₃	0,1	0,1	0,1	0,1
Fe ₂ O ₃	0,2	0,2	0,2	0,2
Kohlenstoffgehalt/carbon content	10	6	10	10
Prüfwerte/Test values				
Nach Auslieferung/original state				
Rohdichte (g/cm ³)/bulk density (g/cm ³)	2,94	3,03	2,96	3
offene Porosität (Vol-%)/apparent porosity (vol-%)	6,8	7	3,1	3,3
KDF (N/mm ²)/cold crushing strength (N/mm ²)	40	45	54	69
Nach Verkokung bei 1500° C/after coking at 1500° C				
Rohdichte (g/cm ³)/bulk density (g/cm ³)	2,91	3,00	2,91	2,90
offene Porosität (Vol-%)/apparent porosity (vol-%)	10,8	11,0	10,5	11,3
KDF (N/mm ²)/cold crushing strength (N/mm ²)	21	28	24	20

4. PRÜFWERTE

Die physikalischen Prüfwerte der Milestones sind mit den Werten für pech- und kunstharzgebundene MgO-C-Steine vergleichbar. In Tabelle 2 sind die physikalischen Prüfwerte der drei Magnesia-kohlenstoff-Steintypen – Milestone (A, B), pechgebundener Stein (C) und phenolharzgebundener Steine (D) – gegenübergestellt.

Abweichungen treten in zwei Punkten auf:

Milestones weisen eine höhere offene Porosität nach Herstellung auf als vergleichbare Standardprodukte. Dieser Unterschied ist für das Praxisentsprechen des Steines nicht von Bedeutung, wichtig ist die Porosität nach Verkokung. Bei Betriebstemperaturen sind die Porositäten der Milestones und der pech- und kunstharzgebundenen Steine auf gleichem Niveau.

Die Verkokung führt bei den herkömmlichen („verkokbaren“) Bindemitteln zu einem Gewichtsverlust. Dadurch wird die Porosität erhöht. Im Falle der Milestones ist durch die neue Bindung dieser Gewichtsverlust nicht gegeben. Aus diesem Grund ist beim Aufheizen von Milestones ein wesentlich geringerer Porositätsanstieg als bei pech- und kunstharzgebundenen Steinen zu verzeichnen.

Die Festigkeit im Einsatz wird beim Milestone durch den Metallpulverzusatz verstärkt. Die carbidbildende Reaktion findet ab 1100°C statt. Dadurch weisen Steine mit Milestone-Bindung im Temperaturbereich von 800–1000°C ein Festigkeitsminimum auf. Dieses Minimum durchläuft der Stein jedoch nur einmal beim Aufheizen. Vergleicht man die Festigkeiten der Steine mit Standardbindung mit denen der Milestones nach Verkokung bei 1500°C, so ergeben sich auch ähnliche Werte.

Abb. 2 enthält den Festigkeitsverlauf von zwei Milestoneprodukten mit einem Restkohlenstoffgehalt von 10% (Stein A) beziehungsweise 6% (Stein B), über die Temperatur beim erstmaligen Aufheizen.

5. SCHADSTOFFMESSUNGEN

Zur Überprüfung der beim Aufheizen freiwerdenden Abgase wurden im Labor Emissionsmessungen von Milestones im Vergleich zu kunstharzgebundenen Steinen unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt. Bei diesen Messungen wurden die Steine in einem Laborofen in sechs Stunden auf 900°C aufgeheizt und der Ofen mit einem Trägergas gespült. Mit dem Trägergas wurde die Ofenatmosphäre eingestellt. Die Messungen wurden mit 10 Vol-% O₂ („teiloxidierend“) und mit 0 Vol-% O₂ („reduzierend“) durchgeführt.

Das austretende Trägergas wurde mit herkömmlichen gasanalytischen Methoden analysiert. Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle 3 zusammengefaßt.

4. TEST VALUES

The physical properties of Milestones are comparable to those of pitch and synthetic resin bonded MgO-C bricks. Table 2 compares measured values of the three magnesia carbon brick types – Milestone (A, B), pitch bonded bricks (C), and phenolic resin bonded bricks (D).

There are deviations in two items:

Milestones have a higher apparent porosity as delivered than comparable standard products. This difference is not important for the practical application of the brick, the porosity after coking is important. At operation temperatures the porosities of Milestones and of pitch and synthetic resin bonded bricks are at the same level.

With traditional (“cokable”) binders coking leads to a loss in weight. Thus porosity is increased. The new binding system of Milestones, however, leads to a significant lower loss in weight. For that reason the increase in porosity of Milestones is considerably lower than of pitch and synthetic resin bonded bricks.

At relevant application temperatures the strength of Milestones is increased by the metallic powder added. Carbide forming reactions start at temperatures above 1100°C. Therefore bricks with Milestone bond have their minimum strength at a temperature range between 800–1000°C. The brick, however, passes that minimum only once during the initial heating. The cold crushing strength after coking at 1500°C as the more important criteria is similar for bricks with standard bond and Milestones.

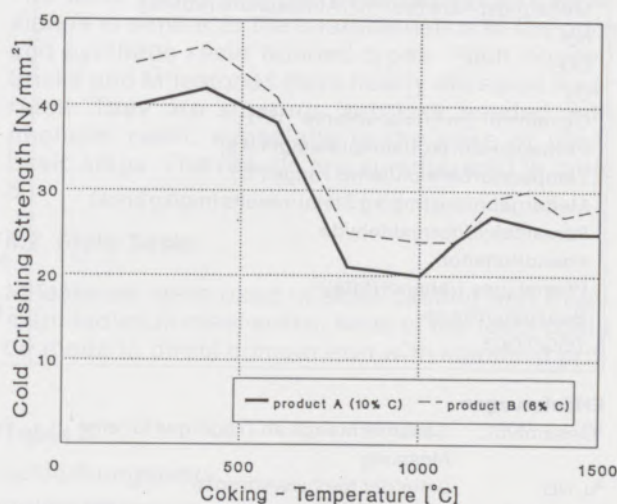


Abb./Fig. 2
Festigkeitsverlauf nach reduzierter Glühung
Cold crushing strength vs. coking temperature

Fig. 2 shows the cold crushing strength versus coking temperature of two Milestone products with a residual carbon content of 10% (product A) and 6% (product B), respectively.

Die Emissionen von Kohlenwasserstoffen (TOC-Wert) konnten im Abgas von Milestones im Vergleich zu kunstharzgebundenen Steinen drastisch um den Faktor 35 von 3949 mg/kg Stein (9986 mg/kg bei reduzierenden Verhältnissen) auf 112 mg/kg Stein (454 mg/kg) verringert werden. Formaldehyd und phenolähnliche Verbindungen (Kresole) werden von Milestones nur in verschwindend kleinen Mengen, Phenol überhaupt nicht emittiert. Die Emission von phenolähnlichen Verbindungen wurde um den Faktor 350 von 1826 mg/kg auf 5,3 mg/kg reduziert.

6. ERPROBUNG DER MILESTONES

6.1. Verschlackungstests

Die neuen Produkte wurden mit Induktionsofen- und Drehrohrofen-Verschlackungsversuchen im Technikum getestet. Bei den Versuchen wurden die Milestones pech- und kunstharzgebundenen Magnesiakohlenstoffsteinen gegenübergestellt. Die Versuchsbedingungen sind in

5. MEASUREMENT OF CONTAMINANTS IN PYROLYSIS GASES

For monitoring the exhaust gases during heating of Milestones measurements under different conditions were carried out in the laboratory and compared to those of synthetic resin bonded bricks. The bricks were heated in a laboratory furnace to 900°C within 6 hours while purging the furnace with carrier gas. The furnace atmosphere was adjusted by means of this carrier gas. One series was done under "partly oxidising" conditions (10 vol-% O₂) the second under reducing conditions with 0 vol-% O₂.

The emitted carrier gas was analysed according to traditional gas analytical methods. The results of the measurements are summarized in table 3.

Compared to synthetic resin bonded bricks the emission of hydrocarbons (TOC values) in the exhaust gases of Milestones could be drastically reduced by the factor 35 from 3949 mg/kg brick (9986 mg/kg at reducing conditions) to 112 mg/kg brick (454 mg/kg). Formaldehyde and compounds

Tabelle 3/Table 3

Schadstoffmessungen in einem Laborofen
Measurements of contaminants in a laboratory furnace

Probe/sample	Milestone		Kunstharzgebundener Stein phenolic resin bonded brick	
	teiloxidierend partly ox.	reduzierend reducing	teiloxidierend partly ox.	reduzierend reducing
Meßbedingungen/test parameters				
Meßcharakteristik/characteristic				
Meßatmosphäre (Vol-%)/Atmosphäre (Vol-%)				
N ₂	81	81	79,6	81,7
CO ₂	9,6	19	10,4	18,3
O ₂	9,4		10	
Gesamtvol. (m ³)/total volume ¹ (m ³)	4,8	6,8	4,5	5
Probegewicht (kg)/sample weight (kg)	4,566	9,145	2,72	3,966
Temperaturbereich/temp. range (°C)	20-900			
Meßergebnisse (mg/kg Stein)/results (mg/kg brick)				
Formaldehyd/formaldehyde	4,7	0,4	38,3	1,4
Phenol/phenol	u. NG/b.d.l. ²	u. NG/b.d.l.	1108	614
Phenol (ges.)/phenol (total) ³	0,08	5,3	1826	1193
Benzol/benzene	u. NG/b.d.l.	u. NG/b.d.l.	u. NG/b.d.l.	u. NG/b.d.l.
TOC/TOC ⁴	112	454	3949	9986

Erläuterungen

- ¹Gesamtvol.: Gesamte Menge an Trägergas für eine Messung
²u. NG: unter der Nachweisgrenze
³Phenol ges.: Damit werden alle Phenolderivate (Kresole) angezeigt
⁴TOC: Total Organic Carbon = Verbrennbarer Gesamtkohlenstoff

Nachweisgrenzen:

- Phenol: 40 µg/m³
 Phenol ges.: 10 µg/m³
 Formaldehyd: 10 µg/m³
 Benzol: 40 µg/m³

Explanation:

- ¹Total volume: total quantity of carrier gas for one measurement below detectable limit
²b.d.l.: below detectable limit
³phenol total: all phenol derivatives (cresylic acid) are indicated
⁴TOC: total organic carbon

Detectable limits:

- phenol: 40 µg/m³
 total phenol: 10 µg/m³
 formaldehyde: 10 µg/m³
 benzene: 40 µg/m³

Tabelle 4/Table 4
Versuchsbedingungen
Test conditions

Varianten/types	I	II	III
Ofen/furnace	Induktionstiegelofen induction crucible furnace		Drehrohrföfen rotary kiln
Temperatur/temperature	1750-1770		1700
Behandlungszeit/treatment time (°C)	8 Stunden/8 hours		12 Stunden/12 hours
Schlackenanalyse (Gew.-%)/slag analyses (% by wt.)			
SiO ₂	13,9	9,2	9,2
Al ₂ O ₃	1,1	18,2	18,2
Fe ₂ O ₃	27,0	12,1	12,1
CaO	42,4	48,1	48,1
MgO	13,7	8,6	8,6

Tabelle 4 zusammengefaßt. Bei der Auswahl der Parameter wurden gezielt die Verhältnisse in Stahlgießpfannen simuliert.

Die Versuche zeigten, daß die Verschleißeigenschaften der Milestones sehr ähnlich den Eigenschaften der pech- und kunstharzgebundenen Vergleichsprodukten sind. Pechgebundene Steine und Milestones weisen nahezu gleiche Verschleißraten auf. Kunstharzgebundene Steine sind den beiden anderen Bindungstypen unterlegen. Diese Aussage gilt im verstärkten Ausmaß, wenn kunstharzgebundene Steine mit Antioxidantien stark basischen Schlacken ausgesetzt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 gegenübergestellt.

6.2. Praxiserprobungen

Die Milestones wurden in Stahlgieß- und Behandlungspfannen in Stahlwerken eingesetzt. Der Großteil der Versuche konnte im direkten Vergleich von Versuchs- und Standardprodukten durchgeführt werden: Je eine Hälfte des Pfannenumfangs wurde mit Milestones, die andere Hälfte mit pechgebundenen Magnesiakohlenstoffsteinen mit gleicher Grundmaterialbasis (Magnesiaqualität und Kohlenstoffgehalt) zugestellt. Aufgrund der negativen Ergebnisse der Technikumsversuche für die phenolharzgebundenen Steine wurden die direkten Vergleiche nur mit pechgebundenen Steinen durchgeführt.

similar to phenol (cresylic acids) were emitted by Milestones only in negligible quantities, phenol was not emitted at all. The emission of compounds similar to phenol was reduced by the factor 350 from 1826 mg/kg to 5,3 mg/kg under reducing conditions.

6. TESTING OF MILESTONE

6.1. Slagging Tests

The new products were tested by slagging tests in an induction furnace and a rotary kiln. In these tests Milestones were compared to pitch and synthetic resin bonded magnesia carbon bricks. When choosing parameters the conditions in steel casting ladles were simulated.

The tests shows that the wear behavior of Milestones is similar to the characteristics of the pitch and synthetic resin bonded types. Pitch bonded bricks and Milestones have nearly the same wear rates. They are superior to bricks bonded with phenolic resin, especially in the case of ultra-basic slags. The results are summarised in table 5.

6.2. Field Tests

Milestones were used in steel casting and treatment ladles in steelworks. Most of the tests could be made in direct comparison with standard pro-

Tabelle 5/Table 5
Ergebnisse der Verschlackungstests
Results of slagging tests

Bindungstyp/type of bond	Pech pitch	Milestone Milestone	Phenolharz phen. resin	Milestone Milestone	Pech pitch	Phenolharz phen. resin	Milestone Milestone
MgO-Gehalt (%)/MgO content (%)	98	98	98	98	98	98	98
C-Gehalt (%)/C-content (%)	5	5	10	10	10	10	10
Antioxidantien/antioxidants	nein/no	ja/yes	ja/yes	ja/yes	nein/no	ja/yes	ja/yes
Versuchsbedingungen/test conditions	I	I	II	II	III	III	III
relative Verschleißrate/relative wear rate	1	0,8	1	0,7	1	1,25	1,05

Tabelle/Table 6
Praxisversuche
Result of field tests in ladles

Versuch/test conditions	1		2		3		4	
Versuchsbedingungen test conditions								
Pfanne (to)/ladle capacity (to)	35		50		65		150	
durchschnittliche Behandlungszeit average treatment time								
Pfannenofen/ladle furnace (min)	60		120-300		60		60	
Entgasung/degassing facility	VAD		VAD		RH		RH	
Chargenanzahl/number of heats	21		27		37		70	
Versuchssteine/test bricks								
Bindung/bond	Milestone Milestone	Pech pitch	Milestone Milestone	Pech pitch	Milestone Milestone	Pech pitch	Milestone Milestone	Pech pitch
C-Gehalt (%)/C-content (%)	10	10	10	10	7	7	10	10
MgO-Gehalt (%)/MgO-content (%)	98	98	98	98	96	96	94	94
Verschleißrate (mm/Charge) wear rate (mm/heat)	3,2	3,5	2,5	2,3	2,4	2,3	1,7	1,8

Die Ergebnisse der Praxisversuche sind in Tabelle 6 angeführt. Es wurden die Laborergebnisse bestätigt. Die Verschleißgeschwindigkeit der Milestones lag in der gleichen Größenordnung wie die der Produkte mit herkömmlicher Bindung. Es konnte jedoch gezeigt werden, daß Milestones eine wesentlich geringere Entkohlungsneigung aufweisen als pech- oder phenolharzgebundene Magnesiakohlenstoffsteine.

7. SCHLUSSFOLGERUNG

Um das Problem der Rauch- und Geruchsentwicklung beim Aufheizen von Stahlgieß- und Behandlungspfannen, die mit Magnesiakohlenstoffsteinen zugestellt sind, zu lösen, wurde eine neue Generation von kohlenstoffgebundenen MgO-C-Steinen im Labor entwickelt und erfolgreich in der Praxis getestet.

Mit Milestone wurde ein in Herstellung und Anwendung schadstofffreies Bindesystem realisiert. Milestones sind unbedenklich in der Handhabung. Ein rauch- und geruchsfreies Aufheizen der mit Milestones zugestellten Pfannen ist gegeben.

Diese Vorteile des neuen Steines wurden unter Beibehaltung der guten Verschleißigenschaften der herkömmlichen Magnesiakohlenstoffsteine erzielt.

Das Prinzip einer ökologischen Produktentwicklung wurde somit zur Gänze erfüllt.

ducts: one half of the ladle circumference was lined with Milestones, the other half with pitch bonded magnesia carbon bricks based on the same raw materials (magnesia type and carbon content). Only pitch bonded bricks were compared to Milestones. Resin bonded bricks were not included in the field test series, because of the poor results obtained in the slagging tests.

The results of the field tests are listed in table 6. The laboratory results were confirmed. Similar wear rates were obtained with Milestones and products with traditional binding, respectively. It could, however, be proved that Milestones have a considerably lower rate of decarburization than pitch bonded magnesia carbon bricks.

7. CONCLUSION

A new generation of carbon bonded magnesia bricks was developed and tested successfully in practical application:

With Milestones – for Major Improvement in Ladle Emission – a binding system free from toxic substances in production and application was realized. Milestones can be handled without harms. The ladles lined with Milestones provide heating without fume and smell.

That means a fully ecological product was developed.

These advantages of the new bricks were reached without any loss in the excellent wear properties of magnesia carbon bricks.

Literaturverzeichnis / References

1. Rand, B., B. McNameey: Br. Ceram. Trans. J., 84, 57-165 (1985), 5.
2. Rand, B., B. McNameey: Br. Ceram. Trans. J., 84, 193-198 (1985), 6.
3. Troitzbach, J.: Brandverhalten von Kunststoffen, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1988.
4. Thermal Stability of Polymers, Marcel Decker, Inc. N. Y. 1970.
5. Dr. Schmittner: Vortrag, 2. Int. Bakelite Symposium, 3. Dezember 1992.
6. Kühn-Birett: Merkblätter für gefährliche Arbeitsstoffe, 58. Erg. Lfg. 3/92.
7. Dissertation Buchebner: Montanuniversität Leoben, Austria, 1983.
8. Yamaguchi: Vortrag, 2. Int. Bakelite FF-Symposium, 3. Dezember 1992.
9. Alpeter-Lechner, S.: Nach. DKG, in press.