

# Beitrag zur geochemischen Charakterisierung österreichischer Kohlen

Contribution to the Geochemical Characterization  
of Coal from Austria)

K. AUGUSTIN-GYURITS & E. SCHROLL

mit 4 Abbildungen und 8 Tabellen

Schlüsselwörter:

*Kohle*  
*Österreich*  
*Geochemie*  
*Spurenelemente*  
*Analytik*  
*Durchschnittswerte*  
*Multivariate Analyse*

Keywords:

*coal*  
*Austria*  
*geochemistry*  
*trace elements*  
*analytical methods*  
*average values*  
*multivariate analysis*

Adresse der Autoren:

Address of the authors:

Dr. Katalin Augustin-Gyurits  
Univ.-Prof. Dr. E. Schroll  
Geotechnisches Institut  
d. BVFA Arsenal  
Faradaygasse 3, Postfach 8  
A-1031 Wien

## Inhalt

	Seite
Vorwort .....	197
Zusammenfassung, Abstract .....	197
1. Die Kohle als „geochemischer Akkumulator“ .....	198
2. Datenmaterial über die Geochemie heimischer Kohlengesteine .....	199
3. Geologie der beprobten heimischen Kohlenvorkommen .....	199
3.1. Kohlenvorkommen der GKB .....	199
3.2. Kohle des SAKOG-Reviers .....	202
3.3. Kohle des WTK-Reviers .....	202
3.4. Kohle anderer Vorkommen .....	202
4. Methodik .....	202
4.1. Probennahme .....	202
4.2. Probenvorbereitung .....	203
4.3. Analysenstrategie .....	203
5. Analytik .....	205
5.1. Kalibrierung .....	205
5.2. Vergleich und Bewertung der Analysemethoden .....	205
6. Geochemische Charakterisierung .....	205
7. Literatur .....	210

## Contents

Zusammenfassung, Abstract .....	197
1. Coal as geochemical concentrator .....	197
2. Geochemical data of domestic coal .....	198
3. Geology of the investigated domestic coal occurrences .....	199
3.1. Coal occurrences of GKB .....	199
3.2. Coal of SAKOG district .....	199
3.3. Coal of WTK district .....	202
3.4. Coal from other occurrences .....	202
4. Methodics .....	202
4.1. Sampling .....	202
4.2. Preparation of samples .....	203
4.3. Strategy of chemical analysis .....	203
5. Chemical analysis .....	205
5.1. Calibration .....	205
5.2. Comparison and evaluation of analytical methods .....	205
6. Geochemical characterization .....	205
7. References .....	210

Anmerkung: Verwendete Abkürzungen der Bergbaugesellschaften  
 (used abbreviations of mining companies):  
 GKB Graz-Köflacher Eisenbahn- und Bergbaugesellschaft  
 SAKOG Salzach-Kohlen-Bergbaugesellschaft Ges.m.b.H.  
 WTK Wolfsegg-Traunthaler Kohlenwerks- und Eisenbahngesellschaft.

## Vorwort

Die vorliegende Studie ist Teil eines umfangreicheren Forschungsberichtes (Projekt Nr. ÜLG 14/86: Geochemische Charakterisierung von heimischen und importierten Kohlen und ihrer Verbrennungsprodukte), das über Anregung der Obersten Bergbehörde im Bundesministeriums für wirtschaftliche Angelegenheiten und Auftrag durch die Geologische Bundesanstalt (Wien) durchgeführt worden ist. Die Arbeiten wurden am Geotechnischen Institut der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal (Wien) unter Mitarbeit weiterer Forschungseinrichtungen ausgeführt.

Probennahmen und kohlenpetrographische Studien wurden von Mag. Dr. M. VINZENZ (Joanneum Leoben) und Prof. Dr. O. SCHULZ (Univ. Innsbruck) durchgeführt. Für die Probenbearbeitung, Vorbereitung und Erstellung von Standards war Dr. Katalin AUGUSTIN-GYURITS (BVFA Arsenal) verantwortlich. Die chemische Analytik wurde an der BVFA Arsenal von Dipl. Ing. N. MÜLLER (WD-RFA), Dr. D. PHOLIADIS (ED-RFA), Dr. P. DOLEZEL (ICP-AES), Dr. Ingeborg JANDA (AES), Dr. M. SAGER (AAS) durchgeführt. Radionuklide wurden gammaspktrometrisch von Dipl.-Ing. F. J. MARINGER (BVFA Arsenal).

Die Ergebnisse der Analytik wurden mittels NAA extern durch das Atominstitut der Universität Wien (Prof. Dr. K. BUCHTELA, Dr. F. GRASS; Dr. E. HEDRICH und Dr. S. ROTH) ergänzt. Überdies sind Kontrollanalysen an ausgewählten Proben an ein kanadisches Routinelabor vergeben worden.

Das Datenmaterial der chemischen Analytik, das wegen Kombination einer größeren Zahl instrumenteller Methoden relativ umfangreich geworden war, wurde von Dr. P. REHOROVSKY statistisch aufbereitet. Mit der weiteren statistischen Bearbeitung war Mag. R. HOLNSTEINER befaßt.

Die Kohle ist sowohl als Energierohstoff als auch als ein potentieller Rohstoffträger zu betrachten. In der Kohle und damit auch in ihren Verbrennungsprodukten kann eine größere Zahl seltener Elemente, teilweise auch erheblich über den geochemischen Durchschnittswerten der Gesteine, der Erdkruste angereichert werden.

So stellt die Kohle für das in der Hochtechnologie interessante Element Germanium, das zur Zeit ausschließlich als Beiprodukt sulfidischer Zinkerze gewonnen wird, eine bedeutende Rohstoffreserve dar, deren Nutzung erst technologisch erschlossen werden müßte.

Heute sind jedoch Gehalte an Problem- und Schadelementen von zusätzlichem Interesse, vor allem auch in bezug auf Deponierung oder Nutzung der Flugaschen.

Nicht zuletzt liefert die Verteilung von Spurenele-

menten in den Kohlegesteinen Informationen und Indikationen für das geochemische Milieu, in dem Sedimentation des biogenen Ausgangsmaterials und Inkohlungsprozeß stattgefunden haben.

## Zusammenfassung

76 Proben österreichischer Braun- und Glanzbraunkohlen wurden gezogen.

Die Kohlen stammen aus den Bergbauen der WTK (Schmitzberg, Hinterschlagen), und SAKOG (Trimmelkam) in Oberösterreich, GKB (Voitsberg: Barbara, Bärnbach, Schiller) in der Steiermark, sowie aus den tiroler Kohlevorkommen von Häring und Brandenburg.

Die Proben wurden mit verschiedenen Analysemethoden, den Multielementmethoden der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA), Optischer Spektrometrie mit Plasmaanregung (ICP-AES), und Kohlenbogenanregung (AES) Neutronenaktivierungsanalyse (NAA), Gammaspktrometrie als radiometrische Methode (RAD) und den Einzelementmethoden der Atomabsorptionsspektalanalyse (AAS) untersucht. Insgesamt wurden 54 Elemente erfaßt, davon 36 mit Doppel- und Mehrfachanalyse: Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Br, Ca, Cd, Ce, Cl, Co, Cr, Cs, Dy, Eu, Fe, Ga, Ge, Hf, J, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Ra, Rb, S, Sb, Sc, Se, Si, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Ti, Tl, U, V, Y, Yb, Zn und Zr.

Die Auswertung der Probandaten zeigt, daß die Elementverteilung in den untersuchten Proben weitgehend den bisher bekannten Durchschnittswerten bei Kohlen entspricht. Es wurden keine Konzentrationen von Elementen gefunden, die für die technische Gewinnung von Interesse sein könnten. Nur in SAKOG-Proben wurden erhöhte Gehalte an Germanium nachgewiesen.

Die Bindung der Elemente an die organischen und mineralischen Komponenten wird mittels Faktorenanalyse untersucht.

## Abstract

76 samples of Austrian lignite and bituminous coal have been taken from the coal mines of WTK (Schmitzberg, Hinterschlagen) and SAKOG (Trimmelkam) in Upper Austria, GKB (Voitsberg: Barbara, Bärnbach, Schiller) in Styria and from coal occurrences of Häring and Brandenburg in Tyrol.

The samples have been investigated using different analytical methods, especially multielement methods, like X-ray fluorescence analysis (XRF), atomic emission spectroscopy combined with plasma excitation (ICP-AES) and carbon arc excitation AES), neutron activation analysis (NAA), gamma spectrometry as a radiometric method (GS), further single element methods of atomic absorption spectrometry

(AAS). 54 elements have been registered, of that 35 elements received by double and multiple analysis.

The evaluation of the analytical data shows that the element distribution corresponds mainly to the known global average values of coals. Concentrations of Elements have not been detected, being of interest for economic exploitation. Only samples of the SAKOG-mine contain higher contents of germanium.

The localization of the elements in relation to organic and mineral components of the coal are investigated statistically with the aid of factor analysis.

### 1. Kohle als „geochemischer Akkumulator“

Die Anreicherung von Spurenelementen vollzieht sich über die Fähigkeit von Organismen, vor allem Pflanzen, Bio- oder Ballastelemente aufzunehmen. Im Fall der Kohle kommt noch in erheblich verstärkendem Ausmaß die Eigenschaft mancher Elemente hinzu, mit Humaten Chelate zu bilden, ferner die Fähigkeit durch Sorption Tiefenwässern Stoffe zu entziehen, die selbst in geringen Konzentrationen gelöst sind, sowie die Abscheidung von Schwermetallsulfiden im reduzierenden Milieu der Inkohlung.

Ia																	VIIIb
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa	IB	IIb	Al	Si	P	S	Cl	Ar		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Ho	106	107											
Lanthaniden		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
Actiniden		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	E	Fm	Mv	No	Lr		

Abb. 1: Charakteristische Spurenelemente in Kohlensteinen. Markiert (·) sind nur seltene Elemente, die in der Asche der Kohle, bezogen auf den Maximalgehalt im Vergleich zum Durchschnittsgehalt der Erdkruste, wenigstens um das Zehnfache angereichert werden können. Elemente mit hundertfacher Anreicherung sind hervorgehoben (●).

Fi. 1: The characteristic trace elements of coal. Rare elements showing tenfold maximum enrichment at least in relation to the Clarke values of the Earth crust are marked by (·), elements with hundredfold enrichment (●).

Der geochemische Gehalt der Kohle an seltenen Elementen spiegelt in der Regel den Gehalt jener Landoberfläche wider, die zur Zeit der Bildung der kohleführenden geologischen Formation der Erosion anheim gefallen ist.

Über die Geochemie der Spurenelemente in der Kohle existiert bereits eine umfangreiche Literatur. Als jüngste zusammenfassende Arbeiten mit einschlägiger Bibliographie sind u. a. die von VALKOVIČ (1983), von KREJCI-GRAF (1983) und LAZNICKA (1985) zu nennen.

Kohlen reichern fast alle seltenen Elemente an. Die geochemische Konzentration wird vor allem durch die Anreicherung in der Kohlenasche deutlich. Die extrem in Kohlen angereicherten Elemente sind im Periodischen System in Abb. 1 dargestellt.

Auf der Negativliste der Konzentration stehen vorwiegend oxiphile und wenig wasserlösliche Spurenelemente, wie Ta, Ha, aber auch Rb. Auch für Tellur ist das vorhandene Datenmaterial unzureichend.

Folgende wichtige Spurenelemente haben eine hohe Affinität zur organischen Substanz der Kohle: Be, Ge, Ga, B, V und U.

Vorwiegend anorganische Bindung in der Kohle wird für folgende Elemente angegeben:

Zn, Cd, Mn, Pb, Hg, As, Mo und Fe.

HEINRICHS et al. (1984) teilen die chemischen Elemente bezüglich ihrer Bindung in Kohlen in drei Gruppen ein:

- Detritische Elemente (mehr als 70 % in Aluminosilikaten): Al, Fe, K, Mg, Na, Si, Ti; Ce, Cr, F, La, Nb, Rb und Sc.
- Intermediäre Elemente: Ca, Ba, Be, Co, Cu, Ni, Sn, Sr, Th, U, V und Zn.
- Akzessorisch/organisch gebundene Elemente: S, Ag, As, Bi, Br, Cl, Cd, Hg, J, Pb, Sb, Sc und Tl.

Der Konzentrationsprozeß in der Kohle kann erfolgen:

- Durch Konzentration in der pflanzlichen Ausgangssubstanz
- Im Stadium der Torfbildung
- Während des Inkohlungsprozesses
- Durch epigenetische hydrothermale Prozesse
- Kontaktmetamorphose und -metasomatose

Elemente, die eine hohe Anreicherungsfähigkeit in der Kohle besitzen, werden erst mit abnehmendem Aschengehalt angereichert.

Die Kohlenpetrographie ist für alle jene Elemente von Interesse, die an die organische Substanz gebunden sind. Aschen von Vitrit und Clarit erweisen sich reicher an diesen Elementen als Durit.

Wesentlich für die Probenahme ist die Tatsache, daß die Spurenelemente in der Kohle heterogen verteilt sind. Hangend- und Liegendflöze zeigen oft die höchsten Gehalte. Dies trifft auch für geringmächtige Kohleneinlagerungen und -schmitzen zu.

## 2. Datenmaterial über die Geochemie heimischer Kohlengesteine

Es liegt schon fast dreißig Jahre zurück, daß einer der Verfasser auf Anregung von Prof. Dr. W. E. PETRASCHECK erste Untersuchungen an österreichischen Kohlen durchgeführt hat. Es wurden 116 Proben von Torf, Lignit, Braunkohlen, Glanzbraunkohlen, Steinkohlen, Anthrazit und auch einige Ölschiefer von über 50 Vorkommen spektralanalytisch auf 21 Elemente (Ag, As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Ge, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, Tl, V und Zn) untersucht (BRANDENSTEIN et al. 1960). Eine Analyse auf das Element Bor war vorausgegangen (JANDA/SCHROLL 1959). Die geochemische Auswertung erfolgte nur in Form eines Kurzberichtes (SCHROLL, 1961), in dem die Zeitabhängigkeit der Spurenelementverteilung aufgezeigt worden ist.

Bezüglich des Vorkommens von Germanium ist auf eine weitere Arbeit zu verweisen (SCHROLL, 1959). Unter den Ergebnissen sind die Weichbraunkohle von Trimmelkam mit maximal 150 ppm Ge und die Mattbraunkohle von Statzendorf mit 160 ppm Ga hervorzuheben. Besonders zu vermerken sind die hohen Arsenwerte der Lignite und Braunkohlen des Tertiärs.

Über Gehalte an Uran und Thorium liegen Veröffentlichungen von PETRASCHECK et al. 1953, BRODA et al. 1956, HECHT/TOMIC 1957, KÜPPER/LECHNER 1956 und KÜPPER 1958, 1959, 1960 vor.

In die Literatur ist als Maximalwert für Uran in Asche eine Konzentration von 0,5% eingegangen, die in der Trimmelkammer Kohle gemessen worden ist. HECHT berichtet brieflich sogar von einem Wert von 5,2% ! (KREJCI-GRAF, 1983).

## 3. Geologie der beprobten heimischen Kohlenvorkommen

Die im folgenden beschriebene Geologie der beprobten heimischen Kohlenvorkommen basiert auf den umfangreichen Arbeiten von WEBER und WEISS (1983) über die Bergbaugeschichte und Geologie der österreichischen Braunkohlenvorkommen. Die geologische Beschreibung wurde nur auszugsweise übernommen.

### 3.1. Kohlenvorkommen der GKB

Das Köflach-Voitsberger Braunkohlenrevier befindet sich am Nordwestrand des weststeirischen Tertiärbeckens. Die tertiären Sedimente der Köflach-Voitsberger Teilmulden liegen transgressiv über kristallinen Serien des Kainacher Gosau und an Abfolgen des Grazer Paläozoikums. Dieses Tertiärbecken wird in mehrere, zwischen 100 und 300 m tiefe Gebirgswannen und Schwellen unterteilt. Trotz natürlicher Trennung der einzelnen Mulden ist die geologische Entwicklung gleichartig. Innerhalb des Köflach-Voitsberger Tertiärbeckens wird zwischen einem Unter-, Mittel- und Oberflöz sowie einem Zangtaler Oberflöz unterschieden. Die Parallelisierung der einzelnen Flöze in den jeweiligen Mulden wurde durch pollenanalytische Methoden ermöglicht, welche das Liegende der Kohle einschließlich des prätertiären Grundgebirges, die gesamte Kohlenfolge sowie deren Hangendes umfaßte. Dieser Sedimentzyklus ist im Karpatien entstanden.

Das Unterflöz wird mehrfach als typische randnahe Kohlenbildung bezeichnet, mit etwa 20 m Mächtigkeit, die gegen das Beckeninnere zunimmt, allerdings nur als „Flözmächtigkeit“, die etwa 70 m erreicht. Die Kohleführung nimmt hier allerdings bis fast zum völligen Verschwinden ab.

Zwischen dem Unterflöz und dem Mittelflöz liegt ein stellenweise über 100 m mächtiges Zwischenmittel, das aus feingeschichteten sandigen Tonen, massigen glimmerreichen Feinsanden und vereinzelt Grobsanden bis Kieslagen zusammengesetzt ist. Das Mittelflöz zeigt im Vergleich zum Unterflöz eine geringere Ausdehnung. Mit zunehmender Füllung der Teilbecken tritt eine Verkleinerung der Moorflächen ein und es ist fast überall eine flachere Lagerung festzustellen. Im gesamten Revier ist das Mittelflöz eher reich an Taubeinschaltungen und führt im Mittelrevier aschenreichere Kohle.

Zwischen Mittel- und Oberflöz sind feinklastische Sedimente, welche vereinzelt Kohlenspuren führen, ausgebildet. Das Oberflöz rückt mit seiner Ausdehnung und Ausbißlinie weiter zum Beckeninneren hin, wodurch seine Verbreitung geringer wird. Die Lagerung des Flözes ist allgemein sehr flach.

Unter Einbeziehung der nur selten bauwürdigen Liegend- und Hangendbegleiter wird das Oberflöz bis zu 50 m mächtig, wovon allerdings mehr als die Hälfte als taub zu bezeichnen sind. Im Zangtal wird das Oberflöz, das von einer Sand-Ton-Schotterfolge, in die örtlichen Süßwasserkalke und Mergel eingeschaltet ist, überlagert. Über dieser Sedimentfolge liegt das Zangtaler Oberflöz, das altersmäßig an die Obergrenze des Karpatiens gestellt wird.

Tabelle 1: Probenliste — Table 1: List of samples

Lfd. Nr.	Proben Nr.	Art d. Probe	Herkunft	Proben- menge in kg
1	4	Braunkohle	SAKOG, Unterflözschlitz, Untertagebau U 366/Streckenende, Grenzstück A46 aU	2,7
2	5	Braunkohle	SAKOG, Unterflözschlitz, Untertagebau U 368/Vortrieb 160 m vom Streckenbeginn	2,2
3	6	Braunkohle	SAKOG, Unterflözschlitz, Untertagebau U 364/Abbau 45 U, 110 m von der Strecke 460 U	2,3
4	100	Braunkohle	SAKOG-Bohrung, Weilhart 11; 2,35m	12,6
5	101	Braunkohle	SAKOG-Bohrung, Weilhart 12; 1,84 m	7,7
6	102	Braunkohle	SAKOG-Bohrung, Wollfing 8; 3,30 m	16,2
7	103	Braunkohle	SAKOG-Bohrung, Ernsting 11; 3,40 m	18,0
8	104	Braunkohle	SAKOG-Bohrung, Ernsting 12; 3 m	13,1
9	142	Braunkohle	SAKOG, II 300, Pkt. 6432	1,8
10	143	Braunkohle	SAKOG, II 300, Pkt. 6432/CPS	1,1
11	144	Braunkohle	SAKOG, II 300, Pkt. 6432/60CPS	2,4
12	145	Braunkohle	SAKOG, II 300, Pkt. 6432/70CPS	0,7
13	146	Braunkohle	SAKOG, II 300, Pkt. 6432/16	0,9
14	28	Braunkohle	<b>Salzburg, SAKOG</b>	7,7
15	11	Braunkohle	<b>Riedersbach, SAKOG</b>	7,6
16	2	Kohlenstaub	<b>Riedersbach 100 % SAKOG</b> Sichtermühle 4	17,2
17	109	Braunkohle	GKB, Voitsberg, Schiller,	1,7
18	110	Braunkohle	GKB, Schiller,	1,4
19	111	Braunkohle	GKB, Schiller,	1,6
20	112	Braunkohle	GKB, Schiller,	2,4
21	113	Braunkohle	GKB, Schiller,	2,2
22	114	Braunkohle	GKB, Schiller,	2,5
23	115	Braunkohle	GKB, Schiller,	3,2
24	116	Braunkohle	GKB, Voitsberg, Barbara	1,5
25	117	Braunkohle	GKB, Barbara	1,5
26	118	Braunkohle	GKB, Barbara	2,5
27	119	Braunkohle	GKB, Barbara	2,1
28	120	Braunkohle	GKB, Barbara	2,0
29	121	Braunkohle	GKB, Barbara	4,4
30	122	Braunkohle	GKB, Barbara	3,3
31	123	Braunkohle	GKB, Barbara	3,7
32	124	Braunkohle	GKB, Barbara	5,3
33	125	Braunkohle	GKB, Barbara	5,1
34	126	Braunkohle	GKB, Barbara	3,4
35	127	Braunkohle	GKB, Voitsberg, Bärnbach	7,8
36	128	Braunkohle	GKB, Bärnbach	8,0
37	129	Braunkohle	GKB, Bärnbach	4,6
38	130	Braunkohle	GKB, Bärnbach	9,5
39	131	Braunkohle	GKB, Bärnbach	3,5
40	132	Braunkohle	GKB, Bärnbach	2,3
41	133	Braunkohle	GKB, Bärnbach	1,6
42	134	Braunkohle	GKB, Bärnbach	6,7
43	135	Braunkohle	GKB, Bärnbach	7,7

Fortsetzung Tabelle 1: Probenliste — Table 1 (cont.): List of samples

Lfd. Nr.	Proben Nr.	Art d. Probe	Herkunft	Proben- menge in kg
44	136	Braunkohle	GKB, Bärnbach	4,2
45	137	Braunkohle	GKB, Bärnbach	3,4
46	138	Braunkohle	GKB, Bärnbach	6,6
47	139	Braunkohle	GKB, Bärnbach	4,5
48	140	Braunkohle	GKB, Bärnbach	2,6
49	141	Braunkohle	GKB, Bärnbach	3,3
50	52	Braunkohle	<b>Graz</b> , GKB	10,9
51	56	Kohlenstaub	<b>Graz</b> , ident mit Pr. Nr. 52	8,6
52	29	Braunkohle	<b>Voitsberg</b> , GKB (gemahlen)	13,4
53	25	Braunkohle	<b>Voitsverg</b> , GKB	11,1
54	27	Braunkohle	<b>Bruck/Mur</b> , GKB	7,8
55	37	Braunkohle	<b>Voitsberg</b> , GKB (gemahlen)	13,4
56	72	Braunkohle	WTK, Hinterschlagen 1	0,75
57	73	Braunkohle	WTK, Hinterschlagen 2	2,4
58	74	Braunkohle	WTK, Hinterschlagen 3	2,7
59	33	Braunkohle	WTK, Schmitzberg, Unterflözschlitz Weststrecke, Wetterbohrloch	2,0
60	34	Braunkohle	WTK, Mittelflözschlitz, Vortrieb Göbelberg, 3. Pfeiler (Probe 2) 90–110 cm	10,2
61	31	Braunkohle	WTK, Mittelflözschlitz Vortrieb Göbelberg, 3. Pfeiler (Probe 1) 158–228 cm	2,4
62	22	Braunkohle	WTK, Mittelflözschlitz, Südfeld, 4. Pfeiler	3,2
63	23	Braunkohle	<b>Salzburg</b> , WTK	6,7
64	3	Braunkohle	<b>Riedersbach</b> , WTK	9,9
65	15	Braunkohle	<b>Timelkam</b> , WTK	10,4
66	45	Braunkohle	<b>St. Andrä</b> , Lavanttaler Kohle	8,9
67	91	Glanzbraunkohle	Häring	3,6
68	92	Glanzbraunkohle	Häring	3,5
69	93	Glanzbraunkohle	Häring	3,0
70	94	Glanzbraunkohle	Häring	2,2
71	95	Glanzbraunkohle	Häring	4,2
72	96	Glanzbraunkohle	Häring	1,0
73	97	Glanzbraunkohle	Häring	3,6
74	98	Glanzbraunkohle	Häring	3,3
75	99	Glanzbraunkohle	Häring	3,2
76	106	Glanzbraunkohle	Brandenberg (Obernberg)	4,5

Anmerkung: Die Proben mit Lfd.Nr. 14–16, 50–55 und 63–66 sind Sammelproben aus Kraft- und Heizwerken.

Note: Samples with the numerical continuation 50–55 and 63–66 were collected from power and heating plants.

### 3.2. Kohle des SAKOG-Reviere:

Die Kohlenflöze des Trimmelkam-Salzach-Kohlenreviers sind an eine stratigraphische Abfolge gebunden, die als „Kohlenführende Süßwasserschichten“ bezeichnet werden. Auf das durch die Erosion geformte Oberflächenrelief transgredierte die kohlenführenden Süßwasserschichten, die sich von W nach E verjüngen (Karpalien-Untersarmatien bis zum Unterpannonien). Sie liegen diskordant auf der marin-brackischen Sedimentfolge der Molasse. Die Liegendgrenze der kohlenführenden Schichten verläuft sehr flach. Im Trimmelkamer Kohlenrevier werden mehrere Schichtglieder unterschieden:

- a) Eine Basisserie 10–15 m mächtiger fein- bis mittelkörniger Sande und Tone.
- b) Eine graue Serie mit der Trimmelkamer Flözgruppe, die in eine Unter-, Mittel-, und Hangendflöz unterteilt wird. Die verschiedenen Kohlehorizonte der Flöze sind durch taube Zwischenlagen voneinander getrennt. Im Bereich der Muldenmitte wiesen die Flöze die größte Mächtigkeit auf, wobei gegen den Muldenrand eine Ausdünnung erkennbar ist. Charakteristisch für die Trimmelkamer Flözgruppe ist der hohe Montmorillonitgehalt der Hangend- und Zwischenmitteltone. Im allgemeinen ist die Mächtigkeit dieser Serie durch das Relief des Untergrundes bedingt und großen Schwankungen unterworfen.
- c) Eine grüne Serie besteht hauptsächlich aus graugrünen, sandigen Tonen und Tonmergeln. Im Hangenden Teil der grünen Serie befindet sich das im Durchschnitt 0,3 m bis maximal 1,4 m mächtige Radegunder Kohleflöz. Der Kohlehorizont wird mit den s. g. Quarzkristallinschotterlagen der grünen Serie abgedeckt. Die Mächtigkeit dieser Schichtfolge ist im Durchschnitt etwa 35–40 m.

### 3.3. Kohlen des WTK-Reviere

Das Wolfsegg-Trauntaler Revier umfaßt die im Hausruckgebiet (Oberösterreich) bekannten Kohlenvorkommen. Es ist ein unregelmäßig zerlappter Bereich, der in ein West- und ein Ostrevier geteilt wird.

Die kohleführende Serie des Hausrucks liegt diskordant über dem Erosionsrelief des Untergrundes aus „Helvetischen“ Schlier und Oncophorasanden.

Es wird unterschieden zwischen Unter-, Mittel- und Oberflöz, die jeweils durch zum Teil sandiges, sandig-toniges oder toniges Zwischenmittel voneinander getrennt sind, und von Hangendtonen abgedeckt werden.

Das Unterflöz gelangte nur in tieferen Muldenbereichen zur Ablagerung, ist ca. 30–40 m mächtig und

wird durch geringmächtiges, toniges Zwischenmittel in eine Liegend- und Hangendbank geteilt.

Das Mittelflöz wird vom Unterflöz durch fossilfreie quarz- und glimmerhältige Tone getrennt. Es erreicht eine größere Ausdehnung als das Unterflöz. Die durchschnittliche Mächtigkeit beträgt 2–3 m.

Das Oberflöz ist durch eine bis 20 m mächtige, sandige Tonabfolge vom Mittelflöz getrennt, die in Beckenbereichen von gelben Feinsanden durchzogen wird. Die Mächtigkeit des Oberflözes beträgt maximal 4 m. In Talbereichen ist das Flöz gut ausgebildet, wird jedoch durch Zwischenmittel, Einlagerungen von Brandschiefer und kohleführenden Tonen gespalten und weist meist schlechte Qualität auf. Die Kohle des Oberflözes wird durch fossilere Hangendtone abgedeckt, die maximal 10 m Mächtigkeit erreichen.

Diese Kohle-Tonserie wird von den bunten fluviatilen Ablagerungen des Hausruckschotter überlagert.

Das Bildungsalter der Kohle-Tonserie wird in das Obere Miozän gestellt. Der Hausruck-Deckschotter wird aufgrund einer umfangreicheren Säugetierfauna ins (Ober?) Pannon eingestuft.

### 3.4. Kohle anderer Vorkommen

Das Glanzbraunkohlenvorkommen von Häring in Tirol, SW der Stadt Kufstein befindet sich in der Tertiärmulde von Kirchberg-Häring. Die Kohleführung ist an die 120–220 m mächtigen „Häringer Schichten“ gebunden, die in die obereozäne Basisserie, 20 m-mächtige kohleführende Schichten und Zementmergelschichten gegliedert werden.

Im besonderen wird auf die Arbeit von SCHULZ und FUCHS (1991) verwiesen, in deren Rahmen Probenahmen für dieses Projekt erfolgt sind.

## 4. Methodik

### 4.1. Probennahme

Die repräsentative Probennahme wurde an den verschiedenen Braunkohlenrevieren Österreichs mittels Schlitz-, Pickproben (ober- und untertags), Bohrkernen, sowie an Sammelproben aus den verarbeitenden Betrieben durchgeführt.

So erfolgte die Beprobung der Mattbraunkohle des SAKOG-Reviere aus dem Unter- und Mittelflöz. Die Probenmenge und Herkunft ist aus Tabelle 1 (Probenliste) zu ersehen.

Die Kohlen des WTK-Reviere entstammen ebenfalls dem Unter- und Mittelflöz.

Die Kohlen des GKB aus dem Köflach-Voitsberger Revier wurden gleichfalls wie anfangs beschrieben beprobt, jedoch hier stand für die Untersuchungen umfangreiches Bohrkernmaterial aus einer Erkundungsbohrserie zur Verfügung. Die Lage und Menge



des gezogenen und untersuchten Probenmaterials ist aus Tabelle 1 ersichtlich.

**4.2. Probenvorbereitung**

Die Ausgangsprobe wurde in offenen Kunststoffbehältern bei Raumtemperatur 7 Tage getrocknet. Die Teilung der Probe wurde mittels eines Riffelteilers vorgenommen und eine Teilprobe in verschlossenen Kunststoffflaschen aufbewahrt. Für die chemische Analytik wurde das Material in einer Scheibenschwingmühle mit Sinterkorundeinsätzen analysenfein, d. h. 90% der Kornklassen unter 50 µm, aufgemahlen.

Die pulverförmigen Kohleproben wurden in Porzellantiegeln im Kammerofen stufenweise verascht, wobei halbstündig eine Temperaturerhöhung um 50°C bis zur Endtemperatur von 555°C erreicht worden ist. Die Endglühung dauerte 2 Stunden. Der Glühverlust (GV) wurde durch Wägung ermittelt.

Für die emissionsspektrographische Analyse mit Kohlebogenanregung wurde die maximale Kammer-temperatur auf 450°C vermindert.

**4.3. Analysenstrategie**

Im Falle der Aufgabenstellung der Kohle als Analysenmaterial bietet sich sowohl die direkte Analyse der Kohle, als auch der Analyse der Kohlenasche an.

Daraus ergibt sich die Möglichkeit der Doppelanalytik von zwei verschiedenen Ausgangsmaterialien (Kohle und Asche), so daß bereits bei der Anwendung eines ausgewählten Analysenverfahrens die Kontrolle der Analysendaten möglich wird, dies umsomehr, als der Vorteil des Anreicherungsprozesses bei der Kohlenveraschung genutzt werden kann. Eine Einschränkung ist nur bei jenen Elementen zu machen, die beim Veraschungsprozeß flüchtig werden können. Es ist daher notwendig die Veraschungstemperatur möglichst niedrig zu halten, um die Zahl der flüchtigen Elemente zu begrenzen.

Bei Druckaufschluß der Kohlenproben in der Bombe entfällt zwar dieser Nachteil, jedoch wird die Nachweisbarkeit der seltenen Elemente herabgesetzt und es werden damit ungünstigere Bestimmungsgrenzen erhalten. Als weitere Variante besteht die Option der Direktanalyse von Feststoffproben und von Lösungen. Das Konzept der Analysenstrategie stützt sich auf die Anwendung von Multielementmethoden, die es gestatten, möglichst viele Elemente zu erfassen und gleichzeitig mittels Doppel- und Mehrfachanalytik eine interne Kontrolle zu erhalten. Diese Vorgangsweise ermöglicht es, die verwendeten Analysemethoden besser beurteilen zu können.

Es wurden folgende Analysenmethoden (s. Tab. 2) eingesetzt:

Ia																	VIIIb						
H	IIa												IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	He					
Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa				IB	IIb	Al	Si	P	S	Cl	Ar					
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	J	Xe						
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
Fr	Ra	Ac	Rf	Ha	106	107																	
Lanthaniden		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu								
Actiniden		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	E	Fm	Mv	No	Lr								

Abb. 2: Übersicht über die Analyselemente und ihre Stellung im Periodischen System.

Fig. 2: View of the analyzed elements and their position in the Periodic System.

- 0 Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) der Kohle
- 1 Atomemissionsspektrographie (AAS) der Asche
- 2 Atomemissionsspektrometrie (AES) der Asche
- 3 Wellenlängendispersive Röntgenfluorezensanalyse (WD-RFA) der Kohle
- 4 Atomemissionsspektrometrie mittels ICP-Anregung (ICP) der Asche
- 5 Energiedisperive Röntgenfluoreszenzanalyse (ED-RFA) der Kohle
- 6 Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (WD-RFA) der Asche
- 7 Neutronenaktivierungsanalyse (NAA) der Kohle
- 8 Radiometrie mittels Gammaskpektrometrie (RAD) der Kohle

Die Tabelle 2 zeigt die für jedes Element eingesetzten Analysemethoden.

Insgesamt wurden 55 Analyseelemente bestimmt, davon 36 mit Doppel- oder Mehrfachanalytik. Die zur Verfügung stehenden instrumentellen Multielementensysteme gestatteten es, mit RFA 26, mit ICP 26 und NAA 27 Analyseelemente zu messen.

Tabelle 2: Übersicht über die verwendeten Analysenmethoden.  
 Table 2: Overview of employed analytical methods

Lfd.Nr.	Element	AAS 0	AAS 1	AES 2	WD-RFA 3	ICP 4	ED-RAF 5	WD-RAF 6	NAA 7	RAD8
1	Ag			x						
2	Al				x	x	x	x		
3	As	x	x						x	
4	Ba				x	x		x	x	
5	Be					x				
6	Bi			x						
7	Br								x	
8	Ca				x	x	x	x		
9	Cd	x	x							
10	Ce					x			x	
11	Cl								x	
12	Co				x	x		x	x	
13	Cr				x	x		x	x	
14	Cs								x	
15	Cu				x	x		x		
16	Dy								x	
17	Eu								x	
18	Fe				x	x	x	x	x	
19	Ga			x		x				
20	Ge			x						
21	Hf								x	
22	J								x	
23	K				x	x		x	x	x
24	La						x		x	
25	Li		x			x			x	
26	Mg				x	x	x	x		
27	Mn				x	x		x	x	
28	Mo			x						
29	Na				x	x			x	
30	Nb				x	x				
31	Nd								x	
32	Ni				x	x		x		
33	P				x			x		
34	Pb			x	x			x		
35	Ra									x
36	Rb				x			x	x	
37	S				x		x	x		
38	Sb	x	x						x	
39	Sc					x			x	
40	Se								x	
41	Si				x		x	x		
42	Sn			x						
43	Sr				x	x		x	x	
44	Ta							x		
45	Tb							x		
46	Th				x		x	x		x
47	Ti				x	x		x		
48	Tl	x				x				
49	U				x			x	x	x
50	V				x	x		x	x	
51	Y				x	x		x		
52	Yb							x	x	
53	Zn	x	x		x	x		x	x	
54	Zr				x			x		

## 5. Analytik

### 5.1. Kalibrierung

Für die Kalibrierung wurden internationale Standards (SRM) verwendet. Für Kohlen wurden die SRM's Mintec (Rep. Südafrika): SARM 18, 19 und 20, sowie von NBS (USA): NBS 1632 a + b, 1635 2682 2685 benützt.

Für die Kalibrierung von Kohlenasche wurden internationale Gesteinsreferenzproben entsprechender Matrix und auch folgende Kohlenaschestandards eingesetzt: ZGI (DDR): BE-1 und BS-1 sowie von NBS (USA): NBS-1633, 1633a, 2689 und 2691, sowie auch die Aschen der SRM's SARM 18–20.

### 5.2. Vergleich und Bewertung der angewandten Analysenmethoden

Die Doppelanalytik von Kohle und Asche mittels RFA ergab bei den meisten Elementen eine gute Übereinstimmung, wobei bis zur Bestimmungsgrenze von 10 ppm. Es sind dies die Elemente: As, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Nb, Ni, P, Rb, Si, Sr, Th, Ti, Tl, V, Y, Zr und Zn. Die Übereinstimmung der Schwefelwerte hängt von der Flüchtigkeit dieses Elementes bei der Aschenbildung ab. Bei den meisten anderen Elementen sind die Analysenwerte der Aschen wegen besserer Nachweisgrenzen vorzuziehen.

Die Berücksichtigung der Matrixunterschiede erfolgte mit Hilfe der sogenannten Compton-Korrektur. Die Matrixunterschiede werden ausgeglichen, wenn die Intensität der gemessenen Röntgenfluoreszenz durch die Intensität des Anregungsrohrenspektrums dividiert wird.

Die Analysenwerte der ICP-Spektrometrie zeigen mit den RFA-Werten bei folgenden Elementen Übereinstimmung: Al, Ba, Ca, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Ni und P. Die ICP-Werte für Na, Nb und Y mußten ausgeschieden werden. Die NAA-Methode gute Übereinstimmung für As, Ba, Ce, Cr, La, Mn, Rb, Sn und U.

Die radiometrische Analyse vom Kalium erweist sich als nicht so präzise. Übereinstimmung ist jedoch bei den mittels NAA-Methode erhaltenen Werten von Uran zu vermerken.

Für folgende Elemente konnte nur eine Analysenmethode in Anwendung gebracht werden: Ag, Be, Bi, Br, Cd, Cl, Cs, Dy, Eu, Ga, Gd, Ge, Hf, J, Li, Lu, Se, Sm, Sn und Ta. Für diese Elemente kann, abgesehen von externer Kontrollanalytik, die Methode der geochemischen Plausibilität zur Kontrolle in Anwendung gebracht werden, etwa die Vergleichbarkeit mit gut gesicherten Daten oder die Überprüfung der Elementverhältnisse kohärenter Elementpaare, wie K/Rb, Al/Ga, Nb/Ta, u.a.

Bei einer Mehrfachanalytik (ab 3 Werten) wurde der Ausreißertest angewandt und bei den verbliebenen Werten der Mittelwert genommen. Im Falle der Doppelanalytik wurde der Wert der verlässlicheren Methode unter Berücksichtigung der Bestimmungsgrenze angegeben.

## 6. Geochemische Charakterisierung

Die chemischen Daten der österreichischen Braunkohlen, in Form von Mittelwerte, sind in Tab. 3, nach ihrem Vorkommen geordnet zusammengefaßt, und in der Folge in Tab. 4 eine Zusammenfassung des gesamten Datenmaterials. Tab. 5 bringt den Vergleich mit dem Weltdurchschnitt für Kohlen sowie mit den Clarkewerten für Erdkruste und Tonschiefer.

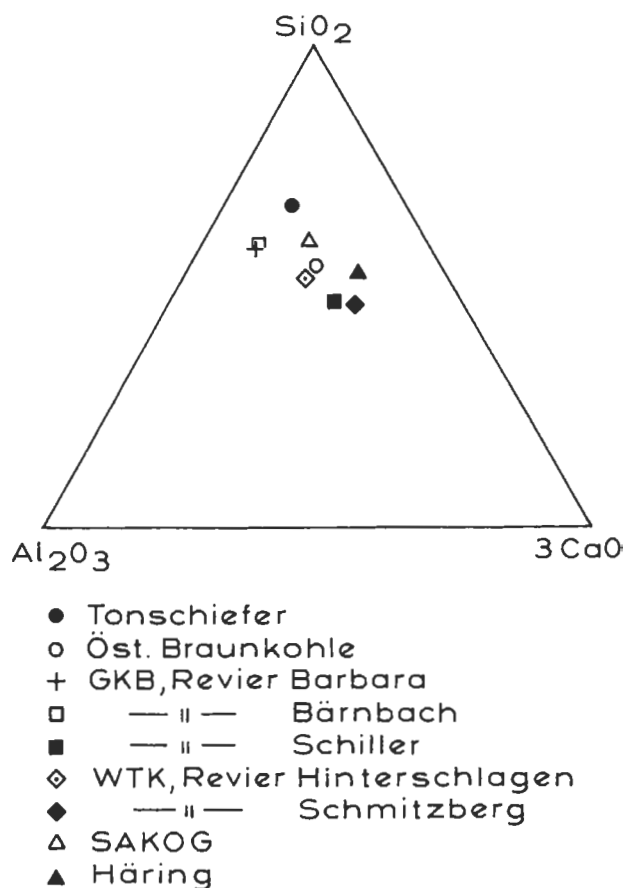


Abb. 3: SiO<sub>2</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 3 CaO-Diagramm der Kohlenaschen.

Fig. 3: SiO<sub>2</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 3 CaO-diagram of coal ashes.

Tabelle 3: Mittelwerte österreichischer Braunkohlenlagerstätten.  
Table 3: Mean values of Austrian lignite deposits.

	Barbara (N = 11)	Bärnbach (n = 15)	Schiller (N = 7)	Hinter- schlagen (N = 3)	WTK (N = 4)	SAKOG (N = 12)	Häring (N = 9)
<b>Oxide in%</b>							
SiO <sub>2</sub>	12,87	16,13	8,22	14,87	9,83	17,12	23,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,04	8,29	4,01	7,23	4,20	5,84	6,81
FeO	2,00	2,47	2,81	0,98	0,88	1,50	2,22
MnO	0,53	0,74	0,51	0,57	0,53	0,66	0,86
CaO	0,79	0,97	1,75	2,16	2,44	1,82	4,64
Na <sub>2</sub> O	0,11	0,14	0,05	0,13	0,12	0,22	0,09
K <sub>2</sub> O	1,02	1,20	0,65	1,03	1,03	0,95	2,04
TiO <sub>2</sub>	0,25	0,33	0,10	0,25	0,16	0,28	0,23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15	0,11	0,07	0,05	0,04	0,06	0,11
MnO	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00
SiO <sub>2</sub>	1,02	1,40	4,10	0,71	0,96	1,95	4,97
GV <sub>200</sub>	75,00	68,86	79,03	72,47	79,93	70,73	56,31
<b>Elemente in ppm</b>							
Ag	0,05	0,05	< 0,05	0,04	0,07	0,08	0,03
As	10,2	12,0	23,5	17,8	38,5	69,0	6,3
Ba	251,0	276,0	118,0	181,0	150,0	203,0	180,0
Be	2,2	2,1	1,0	(1)	1,1	5,2	(1)
Bi	0,4	0,3	0,8	0,2	0,3	0,4	0,4
Br	0,4	(0,1)	0,6	4,5	4,5	(0,8)	< 0,5
Cd	0,3	0,3	0,2	< 0,2	0,2	0,3	0,5
Ce	38,0	35,0	17,7	18,4	11,1	29,4	25,3
Cl	60,0	50,0	48,2	68,5	93,8	42,0	(38),0
Co	13,5	10,3	6,6	3,9	3,9	5,7	6,1
Cr	53,0	61,6	23,0	34,9	129	34,6	
Cs	3,3	3,8	2,4	3,1	3,4	3,4	5,3
Cu	27,9	32,3	15,6	13,9	13,2	20,6	13,6
Dy	3,7	3,5	0,6	0,7	1,0	(1,5)	1,3
Eu	0,9	0,8	0,3	0,3	0,2	0,4	0,4
Ga	8,5	8,4	4,9	9,5	5,0	11,2	8,7
Ge	1,5	1,1	0,9	1,2	0,4	14,8	0,9
Hf	0,9	1,5	0,4	1,8	1,7	1,7	2,1
I	< 0,01	< 0,1	0,3	1,4	1,0	< 0,1	(< 0,3)
La	2,7	19,2	10,3	5,0	(3),0	19,1	(5),0
Li	14,3	20,7	13,1	6,0	23,6	18,7	32,0
Mo	1,8	1,7	3,2	1,2	1,6	7,2	5,3
Nb	4,4	6,1	3,4	6,5	3,3	7,5	7,8
Nd	10	8,5	-	-	(9)	(12)	-
Ni	29,8	31,7	18,0	11,7	9,3	17,3	17,0
Pb	10,9	11,2	5,2	16,9	8,6	11,2	17,4
Rb	36,5	48,2	35,0	31,2	23,8	30	55,8
Sb	0,7	1,0	0,9	0,7	1,2	3,5	0,6
Sc	8,2	8,4	4,	5,7	4,4	4,8	6,5
Se	-	-	-	7,3	1,5	(< 1)	2,9
Sn	0,9	0,9	0,6	1,0	1,0	1,3	0,8
Sr	60,1	71,7	130	70	94,7	167	172
Ta	0,1	0,2	-	0,3	0,5	0,6	0,4
Tb	0,3	0,25	0,1	0,4	0,4	(1,2)	0,6
Th	8,1	8,5	4,3	6,1	4,2	6,4	7,7
Tl	0,36	< 0,1	< 0,05	-	0,15	(0,1)	-
U	1,9	2,3	4,3	2,5	1,3	81,9	4,5
V	73,6	80,9	38,0	46,2	42,9	443	49,1
Yb	1,9	1,7	0,6	-	0,7	1,4	(< 0,2)
Y	9,6	7,6	4,7	9,8	6,8	11,0	13,
Zn	47,8	57,2	31,6	17,9	32,0	30,2	61,5
Zr	28,6	51,6	19,6	(18,0)	23,4	61,8	54,8

Die österreichischen Braunkohlen stammen durchwegs aus limnischen oder höchstens schwach brackischer Fazies. Dies zeigen vor allem die niedrigen Halogenidgehalte und es stimmt auch mit den Analysen der Borgehalte überein, sowie sie von JANDA et al. (1959) ermittelt worden sind. In der Kohle von Ampfelwang 1,8 p m B, in der Rosentaler Mulde 22,3–46,8 ppm und in Häring 290 ppm B.

Über die chemische Zusammensetzung des anorganischen Anteils in den Braunkohlen gibt ein SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO-Diagramm, modifiziert SiO<sub>2</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 3 CaO in Abb. 3 Auskunft. Die SAKOG-Kohlen weisen den höchsten SiO<sub>2</sub>-Gehalt auf und kommen dem Tonschieferstandard am nächsten. Die Köflacher Kohle ist am kieselsäureärmsten und deutet auf vorzugsweisen Gehalt an Tonsilikat, erhöhte CaO-Werte (WTK, Häring) auf Karbonatanteil.

Die Braunkohlen aus den Revieren von Köflach unterscheiden sich in der Spurenelementverteilung nur unbedeutend. Die Arsengehalte sind vergleichsweise niedrig, Selen ist nicht nachweisbar. Gering ist der Unterschied zu den Kohlen der WTK, in denen jedoch Selengehalte nachzuweisen sind. Dagegen sind die Braunkohlen der SAKOG relativ reich an Spurenelementen, wie As, Sb, Se, Cr, Ge, V und U. Sie zeigen damit eine Ähnlichkeit mit den Kohlen von Wackersdorf, die in Sedimenten des Pannonien vorkommen und die Gesteine der Böhmisches Masser überlagern. Die erhöhten Ge- und U-Gehalte korrespondieren mit kieselsäurereichen, anorganischen Komponenten. Als spurenarm sind die Braunkohlen von Häring zu bezeichnen, wobei die detritischen Mineralphasen durch Spurenelemente gekennzeichnet sind, die eine Herkunft aus basischen Gesteinen erkennen lassen.

Die Hauptkomponentenanalyse vermag über die Bindung der Elemente Auskunft zu geben. Neunzehn Elemente, die sich überwiegend durch signifikante binäre Korrelationen (mindestens 0,5) auszeichnen, wurden hierfür einschließlich der Daten des Glühverlustes (GV) ausgewählt. Das Ergebnis eines unrotierten Faktormatrix wird tabellarisch (Tab. 5a und b) und graphisch (Abb. 4) präsentiert.

Es läßt sich eine Gliederung in drei Elementgruppen erkennen:

- vornehmlich an die Tonsubstanz gebundenen Elemente: Si, Al, Fe, Ni, Ba, Pb, Zn, Cu und Th
  - stärker an die organische Substanz gebundene Elemente: As, Ge, Mo, V und U. Das Element Ca mit seiner karbonatischen Bindung versteht sich als der Antagonist zu den Hauptelementen der Tonsubstanz
  - intermediäre Elemente: Be, und Cr
- Zu vermerken ist, daß die Elemente Cl und S keine signifikante Beziehungen aufweisen.

Tabelle 4: Statistische Grunddaten aller untersuchten österreichischen Braunkohlen.

Table 4: Basic statistical data of all analyzed Austrian lignites.

	Max	Min	Spannweite	Mittelwert
<b>Oxide in %</b>				
SiO <sub>2</sub>	56,49	1,57	54,92	15,41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,01	0,68	16,33	6,61
FeO	6,11	0,40	5,71	1,99
MgO	1,74	0,27	1,47	0,70
CaO	16,88	0,55	16,34	2,03
Na <sub>2</sub> O	0,59	0,00	0,59	0,14
K <sub>2</sub> O	3,84	0,07	3,76	1,19
TiO <sub>2</sub>	0,86	0,02	0,84	0,25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,55	0,04	0,51	0,09
MnO	0,04	0,00	0,04	0,01
SiO <sub>2</sub>	7,39	0,13	7,27	2,07
GV	92,22	17,07	75,15	70,17
<b>Elemente in ppm:</b>				
Ag	0,24	0,02	0,22	0,05
As	192,20	1,19	191,01	28,2
Ba	438,99	22,91	416,08	216,
Be	27,73	0,17	27,56	2,0
Bi	1,50	0,10	1,40	0,3
Br	13,16	1,59	11,57	< 3,0
Cd	0,90	0,02	0,88	0,3
Ce	65,33	3,94	61,39	29,7
Cl	156,69	28,63	128,06	56,0
Co	28,78	1,00	27,78	8,1
Cr	753,20	2,76	750,44	64,4
Cs	11,29	0,92	10,36	4,0
Cu	83,80	3,34	80,46	21,8
Dy	9,38	0,45	8,93	2,8
Eu	1,48	0,12	1,36	0,6
Ga	30,00	0,66	29,34	8,4
Ge	106,00	0,36	105,64	3,4
Hf	6,59	0,50	6,09	1,1
I	2,21	0,45	1,75	0,3
La	40,77	2,05	38,72	15,0
Li	73,27	0,69	72,58	21,0
Mo	17,00	0,38	16,62	3,4
Nb	17,05	1,49	15,56	6,0
Nd	73,23	11,49	61,73	7,0
Ni	121,10	2,06	119,04	23,8
Pb	62,45	1,00	61,45	12,1
Rb	144,25	2,00	142,25	41,0
Sb	19,16	0,15	19,01	1,3
Sc	13,59	0,29	13,30	6,6
Se	19,39	0,80	18,60	1,4
Sn	3,90	0,30	3,60	1,0
Sr	332,75	25,36	307,40	115,0
Ta	1,72	0,15	1,56	0,3
Tb	1,12	0,27	0,85	0,35
Th	17,99	0,88	17,12	7,2
Tl	0,49	0,07	0,42	0,1
U	374,50	0,90	373,60	15,9
V	2875,00	6,82	2868,18	125,0
Yb	3,87	0,38	3,49	1,1
Y	46,90	2,38	44,52	10,4
Zn	112,37	2,72	109,65	45,5
Zr	248,00	5,00	343,00	43,8

Element	Weltdurchschnitt (korrigiert)	Österr. Braunkohlen	Krusten- mittel	Ton- schiefer
<b>in %</b>				
Si	2,6	6,9	27,7	23,0
Al	1,4	3,3	8,1	8,0
Ca	0,54	1,5	3,6	2,2
Mg	0,12	0,41	2,1	1,5
Na	0,06	0,06	2,8	1,0
K	0,18	0,62	2,6	2,6
Fe	1,6	1,54	5,0	4,2
Mn	0,01	0,01	0,095	0,085
Ti	0,08	0,14	0,44	0,46
P	-	0,02	0,105	0,07
S	2,0	1,0	0,026	0,24
<b>in ppm</b>				
Ag	0,2	0,05	0,07	0,07
As	15,0	28,3	1,8	13,0
Ba	150,0	216,0	425,0	580,0
Be	2,2	2,2	2,8	3,0
Bi	0,7	0,3	0,2	0,4
Br	2,6	< 3,0	2,5	4,0
Cd	1,3	0,3	0,2	0,3
Ce	7,7	29,7	60,0	59,0
Cl	207,0(1000)*	56,0	130,0	180,0
Co	7,0	8,1	25,0	19,0
Cr	15,0	64,4	100,0	90,0
Cs	0,4**)	4,0	3,0	5,0
Cu	19,0	21,8	55,0	45,0
Eu	0,45	0,6	1,2	1,0
Ga	7,0	8,4	15,0	19,0
Ge	0,7	3,7***	1,5	1,6
Hf	0,11**	1,1	3,0	2,8
Hg	0,18	-	0,08	0,4
I	1,1	0,3	0,5	2,2
La	6,1	15,0	30,0	92,0
Li	20,0	21,0	20,0	66,0
Mo	3,0	3,4	1,5	2,6
Nb	4,5	6,0	20,0	(11),0
Ni	15,0	23,8	75,0	68,0
Pb	16,0	12,1	13,0	20,0
Rb	7,0	41,0	90,0	140,0
Sb	1,1	1,3	0,2	1,5
Sc	3,0	6,6	22,0	(13),0
Se	4,1	1,4	0,05	0,6
Sn	1,6	1,0	2,0	6,0
Sr	100,0	115,0	375,0	300,0
Ta	-	0,3	2,0	(0,8)
Tl	0,1	0,1	0,5	1,0
Th	1,9	7,2	7,2	12,0
U	1,6	15,9****)	1,8	3,7
V	20,0	125,0****)	135,0	130,0
Y	10,0	10,4	33,0	26,0
Yb	1,0	1,1	3,4	2,6
Zn	39,0	45,5	70,0	95,0
Zr	30,0	43,8	165,0	160,0

Tabelle 5: Vergleich der Durchschnittswerte von Kohlen (Weltdurchschnitt sind österr. Braunkohlen) mit den Krusten- und Tonschiefermitteln (TAYLOR 1964; TUREKIAN und WEDEPOHL 1961). Der Weltdurchschnitt für Kohlen ist nach den US-Werten adaptiert. \*) VALKOVIČ; \*\*) vermutlich zu korrigieren; \*\*\*) überhöht durch gezielte Probenahme bei SAKOG.

Table 5: Comparison of average coal values (Austrian lignites are world average) with crust and ... (TAYLOR 1964; TUREKIAN and WEDEPOHL 1961). The world average for coal was adapted from the US values. \*) VALKOVIČ; \*\*) should to be corrected; \*\*\*) too high due to specific sampling at SAKOG.

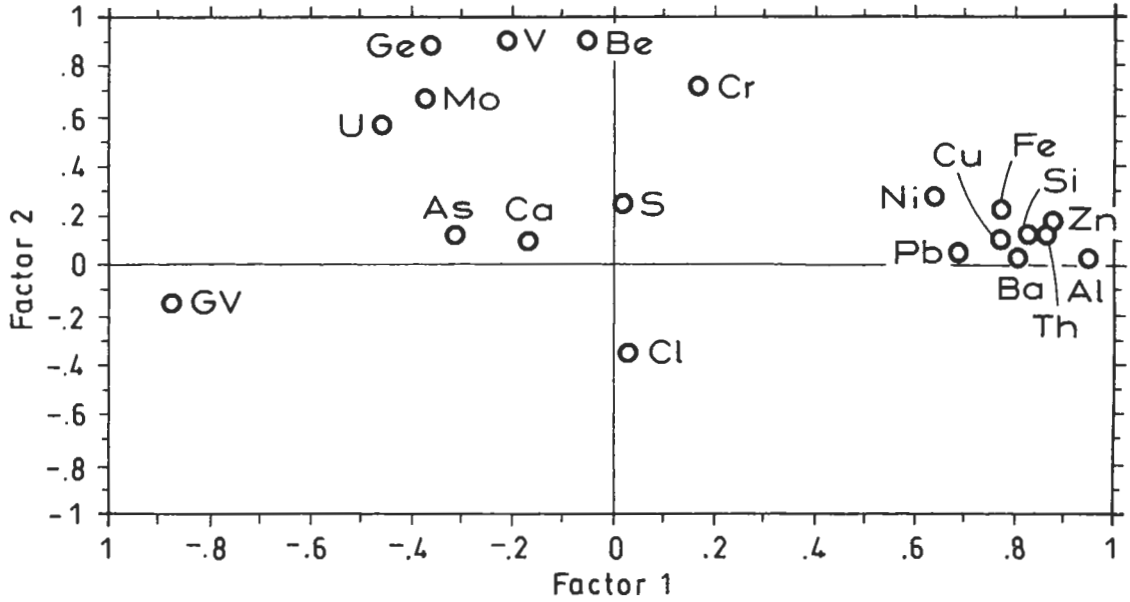
Tabelle 6: Eigenwerte

Eigenwert 1	7.253
Eigenwert 2	4.076
Eigenwert 3	2.420
Eigenwert 4	1.361

Tabelle 7: Eigenvektoren

Element	Vektor 1	Vektor 2	Vektor 3
Si%	0,307	-0,064	-0,218
Al%	0,351	-0,011	0,053
Fe%	0,286	-0,109	0,102
Ca%	-0,062	-0,050	-0,522
S %	0,006	-0,120	-0,522
GV	0,324	0,074	0,240
As%	-0,117	-0,063	-0,182
Ba%	0,299	-0,013	0,172
Be%	-0,021	-0,444	0,208
Cr%	0,063	-0,355	0,029
Cu%	0,288	-0,052	0,292
Ge%	-0,135	-0,436	0,115
Mo%	-0,139	-0,325	-0,252
Ni%	0,237	-0,133	-0,036
Th%	-0,17	-0,278	-0,017
V%	-0,209	0,897	-0,240
Zn%	0,873	0,180	0,129
Cl%	0,028	-0,357	-0,006
Pb%	0,686	0,052	0,239

Factor 1 vs. Factor 2



Factor 1 vs. Factor 3

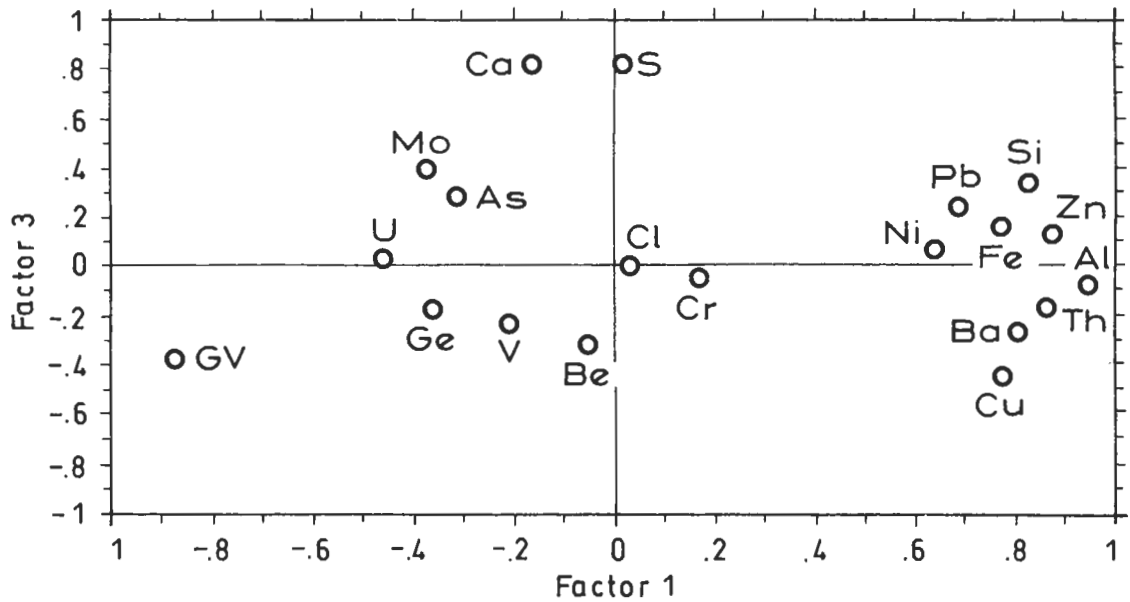


Abb. 4: Unrotierte orthogonale Diagramme von Faktor 1 vc Faktor 2 und Faktor 1 vc Faktor 3 (GV ... Glühverlust).

Fig. 4: Unrotated orthogonal plots showing factor 1 vc factor 2 and factor 1 vc factor 3.

Tabelle 8: Mittelwertvergleiche von Spurengehalten in österreichischen Braunkohlen.

Table 8: Austrian lignites: mean value comparison of trace-elements.

Werte	As	Be	Bi	Ga	Ge	Mo	Sb	Tl
Alte (n=57)	66,02,8	0,3	3,3	2,0	1,0	0,8	0,5	
Neue (n=75)	28,32,4	0,37	8,4	3,6	3,4	1,3	0,2	

Abschließend ist zu vermerken, daß das Datenmaterial von BRANDENSTEIN et al. (1960) in bezug auf Durchschnittswerte relativ gute Übereinstimmung mit den Daten dieser Arbeit erkennen läßt. Die spektrochemische Analyse im Kohlenbogen war vor 30 Jahren noch nicht so entwickelt und die einzige zur Verfügung stehende Methode. Die Daten werden in der nachstehenden Tabelle miteinander verglichen. Von den früheren Daten wurden nur Proben aus den hier untersuchten Kohlenvorkommen oder geologisch ähnlich situierten ausgewählt.

Kohlenproben aus dem Erosionsgebiet der Böhmisches Masse wurden ausgegliedert, da diese durch höhere Gehalte an seltenen Elementen, vor allem auch Germanium, gekennzeichnet sind (s. Tab. 8).

### Danksagung

Für die Ermöglichung, diesen Beitrag im Rahmen eines Auftragsforschungsprojektes (Nr. ÜLG 14/86) zu erstellen, danken wir der Obersten Bergbehörde im Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten und der Geologischen Bundesanstalt in Wien. Gedankt sei ferner der Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal in Wien, vor allem den Mitarbeitern im Geotechnischen Institut und den externen Mitarbeitern des damaligen Institutes der Forschungsgemeinschaft Joanneum in Leoben und des Atomintitutes der Universität Wien, die in beispielhafter Zusammenarbeit zum Gelingen beigetragen haben.

### 7. Literatur

- BRANDENSTEIN, M., JANDA, I. & SCHROLL, E. (1960): Seltene Elemente in österreichischen Kohlen- und Bitumengesteinen. — *Tschermaks miner. petrogr. Mitt.*, **7/3**, 260–285, 3.Tab., Wien (Springer).
- BRODA, E., NOWOTNY, K., SCHÖNFELD, T. & SUSCHNY, O. (1952): Urangelhalte österreichischer Braunkohlenaschen. — *Berg- u. hüttenm. Mh.*, **101/6**, 121–124, Wien (Springer).

- HECHT, F. (1963): Uran- und Thoriumbestimmungen in österreichischen Gewässern und Gesteinen. — *Geol. Rheinld. Westf.*, **10**, 193–200, Krefeld.
- HECHT, F. & TOMIC, E. (1957): Uranforschung in Österreich. — *Österr. Chem. Ztg.*, **58**, 221–217, Wien.
- HEINRICHSEN, H., BRUMSACK, H. J. & LANGE, H. (1984): Emissionen von Stein- und Braunkohlenkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland. — *Fortschr. Miner.* **62**, 79–105, Stuttgart (Schweizerbart).
- JANDA, I. & SCHROLL, E. (1959): Über Borgehalte in einigen ostalpinen Kohlen und anderen Biolithen. — *Tschermaks miner. petrogr. Mitt.*, **7/1–2**, 118–129, 4 Abb., 4 Tab., Wien (Springer).
- KREJCI-GRAF, K. (1984): Über Elemente in Kohlen. *Erdöl & Kohle-Erdgas Petrochemie, vereinigt mit Brennstoffchemie.* – Industrieverlag von Herrnhäusen KG, **37**, 451–457 (Lernfelden - Echterdingen).
- KÜPPER, H. & LECHNER, K. (1956): Zur Frage der Prospektion nach Rohstoffen für Kernspaltungszwecke. — *Verh. Geol. B.-A.*, **1956**, 125–133, Wien 1956.
- KÜPPER, H. (1958): Bericht über Kernspaltungsrohstoffe. — *Verh. Geol. B.-A.*, **1958**, 286–289, Wien.
- KÜPPER, H. (1959): Kernspaltungsrohstoffe. — *Verh. Geol. B.-A.*, **1959**, 115–116, Wien.
- KÜPPER, H. (1960): Zusammenfassender Bericht über die Uranprospektion in Österreich 1957–1959 (radiometrische Geländearbeit und Analysenresultate von Gesteinen). — *Verh. Geol. B.-A.*, **1960**, A103–107, Wien.
- LAZNICKA, P. (1985): The geological association of coal and metallic ores – A review. [In]: WOLF, K. W. (ed): *Handbook of Strata-Bound and Stratiform Ore Deposits*, **13**, 1–72, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo (Elsevier).
- PETRASCHECK, W. E., SCHUBERT, H. & VOHRZYKA, K. (1959): Über uranhaltige Kohlen und Kohlschiefer in Österreich. — *Berg- und hüttenm. Mh.*, **104/1**, Wien (Springer).
- SCHROLL, E. (1959): Germanium in mineralischen Rohstoffen Österreichs (Forschungsbericht I: Das Vorkommen Seltener Grundstoffe in Österreich). — *Montan-Rundschau*, **1959/2**, 23–26, 3 Tab., Wien (Montan).



- SCHROLL, E. (1961): Seltene Elemente in biogenen Sedimenten. — *Tschermaks miner. petrogr. Mitt.*, **7/4**, 488–490, 1 Tab., Wien (Springer).
- SCHULZ, O. & FUCHS, H. W. (1991): Kohlenpetrographische Untersuchungen an Lagerstätten in Tirol. — *Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A.*, **13**, 123–213, 60 Abb., 29 Tab., Wien.
- TAYLOR, S. R. (1964): Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, **8**, 1273–1285, 1 Tab., Oxford, New York (Pergamon).
- TUREKIAN, K. K. & WEDEPOHL, K. H. (1961): Distribution of the elements in some major units of the Earth's Crust. — *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **72**, 172–202, Washington.
- VALCOVIČ, V. (1983): Trace elements in coal. — Vol. I, 210 S., 29 Abb., 110 Tab. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- WEBER, L. & WEISS, A. (1983): Bergbaugeschichte und Geologie der österreichischen Braunkohlenvorkommen. — *Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A.*, **4**, 317 S., 110 Abb., 174 Tab., Wien.