

Friedrich Ludwig Wilke

## Kohlevorkommen – heutige und zukünftige Nutzungsverfahren

### Abstract

Coal is literally consumed by any type of its utilisation, as there is no possibility of recycling the solid carbon except for natural photosynthesis. Hence, one should expect a very careful and considerate exploitation of the resources, which are principally limited and not renewable. In reality, however, in many countries especially in (Central) Europe coal mines both underground and open pit are closed before complete exhaustion of the deposits, whereas in some other countries new mining operations are attacking new deposits. The reason for this somewhat contradictory situation lies in the economic and ecological situation: As a fungible commodity in the world market, the coal from any given deposit competes with any other coal and any other energy supply, and – given the ample availability (not to say: abundance) of energy, which is very likely to last – the proceeds are low and cannot be influenced by a single producer or a group of producers. Furthermore, the most recent developments in many countries, including the former socialist ones, demonstrate that even comparatively strong national economies cannot shoulder the financial burden of artificially interfering in the free market, e.g. by subsidising domestic production. As a consequence, there is strong pressure to minimise the costs of production. This is even augmented by the need to meet increasing environmental requirements, the justifications given for some of which, however, are at least doubtful. This pressure of costs resulted in the need for methods of utilising the coal deposits which are as cheap and effective as possible. To achieve this goal, the “economy of scale” was aimed at by increasing the capacity for both the mines as a whole and the single mining units and machinery, and all operations were mechanised and automated to the utmost extent possible. In addition, production was and is still concentrated on the “best” part of the deposits by abandoning those parts with unfavourable (e.g. geological) conditions. Also, especially good deposit conditions are necessary to ensure economical use of those high-capacity and largely mechanised/automated systems.

There have been many remarkable attempts to replace conventional mining methods with new and alternative ones, all of which, however, do again only

partially utilise the deposit; such as coal-bed methane mining, in situ-gasification of coal, hydraulic coal getting, and fully automated mechanical moles. However, though many of these methods have proven their technical applicability on an industrial scale under certain conditions, none of them resulted in a real (economic) success and is likely to become generally applicable. Hence, the future trends in utilising the coal deposits are most likely to be an evolutionary further development of the conventional mining methods rather than a revolutionary breakthrough of new ones. Especially, automation of machines and systems with new developments in remote sensing and controlling, including satellite GPS, seems promising in offering chances to increase effectiveness.

In any case, however, the utilisation of the coal deposits will be only partial in future as well, and will concentrate on the best deposits or best parts of deposits – which means that the closing down of mines especially in Europe will continue. Yet this is on no account an unacceptable plundering of the natural resources, nor does it deteriorate, let alone destroy, the material basis for future generations. The technically and economically mineable coal reserves known at present will last for over 230 years, and despite their current exploitation, they are still increasing due to ongoing exploration. One can be confident that alternative sources of energy such as nuclear fusion or photo voltaic will be available long before coal resources are exhausted, and uneconomic and forced complete extraction of these coal resources would not contribute to, but counteract sustainable development, as it would consume other resources such as manpower, money, machinery, and of course raw materials, which therefore could not be used for other necessary objectives. With regard to the future supply of coal, it is not a possible shortage of usable resources that poses a problem, but man-made obstacles to their exploitation due to misunderstanding of the situation and of the goal of sustainability.

## Einleitung

Im Gegensatz zu nahezu allen anderen mineralischen Rohstoffen werden die fossilen Energierohstoffe und damit auch die Kohlen bei ihrer Nutzung – von ganz wenigen und mengenmäßig unbedeutenden Ausnahmen abgesehen – im wörtlichen Sinne verbraucht. Sowohl die in metallurgischen Prozessen eingesetzten Kohlen als auch die zur Stromerzeugung in Kraftwerken benutzten werden letztendlich in Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) umgewandelt, das in die Atmosphäre abgegeben wird; auch für die Kohlen, die in Syntheseverfahren zur Erzeugung von flüssigen oder gasförmigen Kohlenwasserstoffen verwendet werden, trifft dies nach den verschiedenen Transformations- und Verbrauchsstufen schließlich zu. Über brauchbare Rückgewinnungsverfahren für den Kohlenstoff verfügen wir Menschen (noch) nicht; die pflanzliche Recyclierung von Kohlenstoff im Wege der Photosynthese ist kapazitiv limitiert und ganz erheblich geringer als der aktuelle Gesamtverbrauch.

Angesichts der prinzipiellen Begrenztheit der natürlichen Kohlevorkommen müßte also eigentlich ein besonders verantwortungsvoller Umgang mit den Res-

sources dieses nicht erneuerbaren und nicht recycelbaren Rohstoffes erfolgen in dem Sinne, daß die in Abbau genommenen Lagerstätten möglichst vollständig genutzt werden und daß keine Lagerstättensubstanz aufgegeben wird. Ganz offensichtlich zeigt sich derzeit jedoch ein eher gegenläufiger Trend, jedenfalls in allen europäischen Ländern, aber auch darüber hinaus: Steinkohlenbergwerke, ja ganze Steinkohlenbergbau-Revier werden geschlossen und die hier noch vorhandenen Vorräte aufgegeben, wobei teilweise auch die Zugänglichkeit zu den Lagerstätten verloren geht; Braunkohlen-Tagebaue werden unter Verlust von Lagerstättensubstanz stillgelegt oder in der Fördermenge zurückgenommen, der Aufschluß neuer Tagebaue wird zunehmend schwieriger und längst nicht mehr in erster Linie durch das Ziel einer maximalen Ressourcennutzung determiniert. Im Gegensatz dazu steigen die Fördermengen in anderen Teilen der Welt, insbesondere in manchen Entwicklungsländern, stark an, entsprechend dem weltweiten stetigen Verbrauchszuwachs. Für diese Entwicklung sind wirtschaftliche Zwänge und daneben in der letzten Zeit zunehmend ökologische Forderungen ursächlich; sie wirken sich zugleich sowohl auf die heutigen wie auch die zukünftigen Nutzungsverfahren der Kohlevorkommen aus und sollen daher zunächst kurz behandelt werden.

### **Wirtschaftliche Bedingungen und ökologische Anforderungen als Determinanten für die Nutzung der Kohlevorkommen**

Auch für Kohlevorkommen gilt, daß ihre Nutzung wirtschaftlich sinnvoll nur erfolgen kann, wenn die Lagerstätte bauwürdig ist, d. h. wenn der aus dem marktfähigen Produkt erzielbare Nutzen höher, zumindest aber ebenso hoch wie der Aufwand zur Darbietung dieses Produktes ist. Vereinfacht ausgedrückt: Der je Tonne Kohle aus einer bestimmten Lagerstätte erzielbare Erlös, d. h. der Preis, den der Verbraucher dafür zu zahlen bereit ist, entscheidet im Vergleich mit den für die Produktion aufzuwendenden Kosten über die Bauwürdigkeit dieser Lagerstätte. Von diesen beiden Einflußfaktoren, Preis und Kosten, sei zunächst der Preis etwas näher betrachtet.

In einem idealen Markt bildet sich der Preis im freien Spiel der Kräfte nach Angebot und Nachfrage. Trotz aller, teils recht massiven Eingriffe in diesen Marktmechanismus, die sich jedoch gerade in der jüngsten Zeit als auf Dauer auch von potenten Volkswirtschaften nicht durchhaltbar erweisen, ist hier als erstes festzuhalten, daß für die Kohlen wie für alle übrigen Energierohstoffe als fungible Güter ein Weltmarkt besteht, der jedenfalls bei langfristiger Betrachtungsweise als weitgehend ideal funktionierend angesehen werden kann. Alle Energierohstoffe, gleich welcher Art und gleich welcher Herkunft, stehen also miteinander in Konkurrenz in den Verwendungssektoren, wo sie sich (langfristig) weitgehend gegenseitig substituieren können.

Der für die Kohle erzielbare Preis ist also nicht in irgendeiner Form von einem einzelnen oder von einer Gruppe von Produzenten unabhängig zu bestimmen oder festzusetzen, sondern wird limitiert durch die Preise der Kohlen ande-

rer Provenienzen und der konkurrierenden Energieträger. Insbesondere in einer Phase des Energieüberangebotes, wie sie trotz zahlreicher gegenläufiger Prognosen bereits seit längerer Zeit besteht und augenscheinlich auch noch für nicht absehbare Zeit bestehen bleiben dürfte, ist angesichts dieser Situation von stabil niedrigen Preisen auszugehen.

Bei der Preisgestaltung für die Kohle selbst ist als zweites anzumerken, daß der Verbraucher nicht schlechthin für die Kohle einen Preis zu zahlen bereit ist, sondern allein für den darin für ihn enthaltenen Wert, der, bedingt durch den ganz überwiegenden Verbrauchssektor, üblicherweise als der Energieinhalt oder Heizwert in tSKE<sup>1</sup> angegeben wird. Je geringer der Energieinhalt, desto geringer ist also auch der Wert je Tonne Kohle, und folglich auch der hierfür erzielbare Preis. Je nach Inkohlungsgrad, i.w. als Folge des geologischen Alters der Kohle, und Reinheit der Kohle ist dieser Energieinhalt recht unterschiedlich, er reicht von 1,2 tSKE je Tonne hochwertigster Steinkohle bis zu 0,3 tSKE Tonne Braunkohle bzw. Lignit.

Schließlich ist entscheidend, daß der Verbraucher mit seinem Preis lediglich für den für ihn allein entscheidenden (Heiz-) Wert der Kohle *am Ort des Verbrauches* zu zahlen bereit ist – in welcher Höhe von dem so erzielbaren Erlös neben den Gewinnungskosten auch noch Transportkosten abgedeckt werden müssen, ist für den Käufer uninteressant. Je geringer der (Heiz-) Wert einer Tonne Kohle ist, desto stärker fallen dabei die (volumen- bzw. gewichtsabhängigen) Transportkosten ins Gewicht: Die Transportkosten-Empfindlichkeit der Kohlen steigt mit sinkendem Heizwert. Dies drückt sich z. B. darin aus, daß Braunkohle und Lignit ganz überwiegend in unmittelbarer Nähe ihrer Gewinnung verstromt werden, und kommt auch in den internationalen Handelsvolumina zum Ausdruck: Weniger als 1 % der Braunkohlenfördermenge wird weltweit grenzüberschreitend gehandelt gegenüber etwa 12 % der Steinkohle, die damit jedoch auch selbst noch als relativ transportkostenempfindlich anzusprechen ist. (Die entsprechenden grenzüberschreitenden Handelsmengen betragen bei Erdgas rund 18 % und bei Erdöl etwa 56 %).

Die Tatsache, daß die Braunkohle fast vollständig und die Steinkohle in großem Umfang in einer relativ engen Nachbarschaft zur Gewinnung „verbraucht“ wird, und zwar weitgehend zur Stromerzeugung, bedeutet natürlich nicht, daß damit wegen der insoweit entfallenden Transportkosten keine Wettbewerbssituation mehr gegeben sei. Nur gegenüber einer gleichwertigen und zu gleichen Kosten an anderer Stelle geförderten Kohle ist in der Tat ein nicht aufzuholender Vorteil für die Kohle gegeben, deren Verwendung unmittelbar am Ort der Förderung erfolgen kann. Kohle von einem anderen Förderstandort ist jedoch in dem Maße eine verdrängende Konkurrenz, wie entweder die vom Heizwert abhängigen Erlöse höher oder die Gewinnungskosten niedriger sind als die entstehenden Transportkosten. Für die übrigen konkurrierenden Energieträger gilt langfristig die gleiche Überlegung.

---

<sup>1</sup> 1 tSKE (TonnenSteinkohlenEinheiten) entspricht 0,7 t Öläquivalent bzw. 29,3 GJ bzw. 7 Gcal, üblich ist auch die Heizwertangabe in kJ/kg.

Es bleibt also festzuhalten, daß der für eine bestimmte Kohle an einem definierten Verbrauchsort erzielbare Preis bestimmt wird durch den Preis konkurrierender Kohlen oder/und anderer Energieträger am gleichen Verbrauchsort und somit nicht vom Produzenten beeinflusst werden kann. Nach Abzug der evtl. zu tragenden Transportkosten definiert dieser Preis zugleich diejenige Kostenhöhe, die beim Abbau einer Kohlelagerstätte maximal getragen werden kann; eine Lagerstätte, deren Abbaukosten höher liegen, ist langfristig als wirtschaftlich nicht gewinnbar einzustufen.

Die Höhe der Kosten beim Abbau einer jeden Lagerstätte, also auch einer Kohlelagerstätte, hängt zunächst ab von zahlreichen und unterschiedlichen natürlichen Gegebenheiten der Lagerstätte selbst, beispielsweise Teufe und Mächtigkeit der Flöze, Qualität und Reinheit der Kohlen, Art des Nebengesteins, Häufigkeit und Ausmaß von geologischen Störungen usw., die nach Fettweis (1990) als die Bonität der Lagerstätte zusammengefaßt werden können. Sie sind vom Betreiber des Bergwerks nicht zu beeinflussen, wirken sich jedoch durchaus auf die anwendbare Gewinnungstechnik limitierend aus, so daß auch hier keine unbegrenzten Einflußmöglichkeiten des Bergbautreibenden gegeben sind.

In immer mehr zunehmendem Maße ferner wird die Nutzung auch und gerade von Kohlelagerstätten durch ökologisch motivierte Widerstände behindert. Diese führen, wie bei den Lagerstätten anderer mineralischer Rohstoffe auch, zum einen dazu, daß im Interesse des Umwelt- und Landschaftsschutzes die Abbautätigkeit durch Einschränkungen des Abbaufeldes (im Tagebau) oder Beschränkung der Zahl der insgesamt abzubauenen Flöze (im Tiefbau) begrenzt, durch vielfältige zusätzliche Auflagen und Maßnahmen erschwert und u.U. auch ganz unterbunden wird, zum anderen werden im Interesse des Klimaschutzes ganz generell gegen die Verwendung von Kohle im Hinblick auf die Menge der dabei entstehenden, als „Treibhausgas“ angesehenen CO<sub>2</sub>-Emissionen, Einwände vorgetragen.

Was den Umwelt- und Landschaftsschutz angeht, so wird dabei allerdings übersehen, daß die durch Gewinnung der Kohle verursachten Eingriffe in die (im übrigen, zumindest in West- und Mitteleuropa, längst nicht mehr „natürliche“, sondern seit langem vom Menschen geprägte) Umwelt und Landschaft nur temporärer Natur sind, d. h. daß es sich bei Landschaft und Umwelt insofern um erneuerbare Ressourcen handelt. Demgegenüber bedeutet die durch Abbaubegrenzung oder -verzicht verursachte, häufig endgültige Aufgabe von Lagerstättensubstanz den Verlust von Teilen einer prinzipiell nicht erneuerbaren natürlichen Ressource und widerspricht damit eigentlich dem Grundsatz eines „sustainable development“. Nicht alle ökologisch motivierten Auflagen sind also sinnvoll; manche erweisen sich bei objektiver Betrachtungsweise sogar als kontraproduktiv.

In jedem Fall führen Abbaueinschränkungen gegenüber dem wirtschaftlich optimalen Umfang wegen der im Bergbau sehr ausgeprägten Fixkosten-Remanenz besonders aus den hohen Aufschluß- und Abschlußaufwendungen zu einer merklichen Erhöhung der spezifischen Kosten, die schließlich auch die Wettbewerbsfähigkeit der geförderten Kohlen in Frage stellen kann. Dies gilt

im weiteren Sinne auch für umweltschützerisch motivierte Auflagen bei der Verwendung der Kohlen, beispielsweise in thermischen Kraftwerken. Soweit die im Interesse des Umweltschutzes berechtigterweise erforderlichen Rauchgasreinigungsanlagen bei kohlegefeuerten Kraftwerken einen höheren Aufwand verursachen als bei den konkurrierenden Energieträgern, wird insofern deren Wettbewerbsposition verbessert; soweit sich die Maßnahmen zu einer umweltverträglichen Verbrennung etwa im Hinblick auf die Führung der Verbrennungstemperatur in zusätzlichen oder engeren Qualitätsanforderungen an die Einsatzkohle niederschlagen, kann auch dies über Erschwerungen bei der Abbauplanung und -steuerung zu erhöhten Kosten führen.

Vor dem skizzierten wirtschaftlichen und ökologischen Hintergrund wird die eingangs erwähnte unterschiedliche Entwicklung in der Nutzung von Kohlelagerstätten in den verschiedenen Regionen der Erde leicht verständlich: Einer Produktionsausweitung in Ländern, wo Lagerstätten mit einer hohen Bonität vorhanden sind und wo das allgemeine Kostenniveau sowie möglicherweise auch die umweltbedingten Restriktionen und Anforderungen relativ niedrig sind, steht eine Produktionsrücknahme dort gegenüber, wo aus einer Lagerstätte mit geringer oder schlechter Bonität bei gleichzeitig besonders hohen Umwelanforderungen produziert werden muß und außerdem auch noch z. B. die Lohn- und Lohnnebenkosten auf einem besonders hohen Niveau liegen.

Gemeinsam führen diese Faktoren – Bonität der Lagerstätte, allgemeines lokales Kostenniveau, Umwelanforderungen – zu ganz erheblichen Unterschieden in den Gesamtkosten der Produktion. Beispielsweise differieren die spezifischen Gesamtkosten für die Gewinnung einer Tonne SKE aus einem deutschen Steinkohlentiefbau gegenüber denen aus einer australischen Tiefbaugrube um mehr als eine Größenordnung, gegenüber Steinkohlentagebauen etwa in Südamerika sind die Unterschiede nochmals größer. Verschärft wird die Konkurrenzsituation noch durch den eingetretenen starken Rückgang der Transportkosten, insbesondere der Seefrachten, der sicherlich wenigstens insoweit irreversibel bleiben wird, als er auf technische Fortschritte zurückzuführen ist wie auf die Kapazitätssteigerungen bei den Be- und Entladeeinrichtungen oder den Zuwachs der Tragfähigkeit der Massengutfrachter. Dies alles führt dazu, daß heute beispielsweise einem Grenzübergangspreis von Import-Kesselkohle auf dem Rhein von etwa 80,- DM/tSKE ein durchschnittlicher Kostenbetrag von etwa 280,- DM/tSKE für deutsche Steinkohle frei Zeche gegenübersteht.

Eine solche Situation hat ganz zwangsläufig Auswirkungen auf die gegenwärtigen und zukünftigen Nutzungsverfahren für die jeweiligen Kohlevorkommen.

### **Tendenzen bei den heutigen Nutzungsverfahren**

Sowohl die Steinkohle- als auch die Braunkohlevorkommen werden weltweit im Tagebau und im Tiefbau hereingewonnen (Wirtschaftsvereinigung Bergbau, 1994). Während sich im Tiefbau neben dem vor allem in den USA, in Süd-

afrika und Australien ebenfalls häufig angewendeten Örterbau der Langfrontbau in Form des Strebbaus als Gewinnungsverfahren sowohl für die Braunkohle als auch für die Steinkohle allgemein durchgesetzt hat, finden im Tagebau je nach der Beschaffenheit der Lagerstätte und des Nebengesteins kontinuierliche Gewinnungsverfahren mit Schaufelrad- oder Eimerkettenbagger in Verbindung mit Bandanlagen (meist in der Braunkohle) oder diskontinuierliche Verfahren mit Bohren, Sprengen, Löffel- bzw. Schleppschaufelbaggern oder Radladern und SLKW als Transportmittel Anwendung (meist in der Steinkohle in Form von strip-mining).

Die weltweit vorhandenen Kohlevorkommen werden heute auf etwa  $785 \cdot 10^9$  tSKE bei einem derzeitigen Weltverbrauch von etwa  $3,4 \cdot 10^9$  tSKE geschätzt. Damit beträgt die statische Reichweite dieser Ressourcen etwa 230 Jahre (Statistik der Kohlewirtschaft, 1980–1996). In Wirklichkeit dürften allerdings die Vorräte noch für einen weitaus längeren Zeitraum reichen, da sicherlich noch mit der Entdeckung zusätzlicher Vorkommen ebenso zu rechnen ist wie mit der Erhöhung der Vorratsangaben bekannter Lagerstätten im Zuge fortgeführter Untersuchungsmaßnahmen. So haben sich beispielsweise die als derzeit technisch und wirtschaftlich gewinnbar ausgewiesenen Vorräte in den letzten 10 Jahren von 782 auf  $785 \cdot 10^9$  tSKE erhöht, obwohl in der gleichen Zeit rund  $32 \cdot 10^9$  tSKE abgebaut wurden.

Selbst wenn man also einmal die Konkurrenz durch die übrigen Energieträger außer acht läßt, ist davon auszugehen, daß eine nachhaltige und spürbare Verknappung der Kohlen auf absehbare Zeit nicht eintreten wird. Die regionale Verteilung der Lagerstätten auf alle Erdteile und auf eine große Vielzahl von Ländern bietet dabei zugleich auch einen gewissen Schutz gegenüber einer temporären Engpaßsituation aufgrund von politischen Instabilitäten oder (hoffentlich nicht eintretenden) kriegerischen Auseinandersetzungen.

Es besteht also tendenziell und auf absehbare Zeit im Bereich der Kohle im Weltmaßstab eher ein Käufermarkt in dem Sinne, daß aufgrund des längerfristig mindestens ausreichenden Angebotes erhebliche Preissteigerungen nicht zu erwarten sind, die im übrigen auch aufgrund der fast auf allen Anwendungsgebieten prinzipiell gegebenen Substitutionsmöglichkeit durch andere Energieträger eher auszuschließen sind. Die entgegen manchen anderslautenden Prognosen in den letzten Jahrzehnten tatsächlich eingetretene Entwicklung kann sicherlich als eine Bestätigung für diese Auffassung angesehen werden.

Für die Nutzung der Kohlevorkommen ergibt sich hieraus die Notwendigkeit, Verfahren einzusetzen, die die Kosten dieser Nutzung minimieren. Nur so läßt sich überhaupt eine wirtschaftliche Nutzung auf längere Sicht erreichen, da nach dem Gesagten spürbare Preiserhöhungen für die absehbare Zeit eher auszuschließen sind und sich alle wie auch immer motivierten künstlichen Eingriffe in das Marktgeschehen, z. B. durch Subventionierungen unwirtschaftlicher Produktionen, als langfristig nicht in ausreichendem Maße durchhaltbar erweisen.

Diese Forderung nach dem Einsatz kostenminimaler Nutzungsverfahren ist umso dringender und unabweisbarer, je geringer die Bonität einer bestimmten Lagerstätte ist, je höher das allgemeine Kostenniveau in der betreffenden

Region liegt und je stringenter schließlich die Umweltschutzanforderungen formuliert und angewendet werden. Dies trifft ganz offensichtlich vor allem auf die hochentwickelten und dicht bevölkerten Industrieländer, zum Beispiel Mitteleuropas, zu. Insbesondere hier, aber angesichts der dargestellten Situation auch ganz allgemein, ist dabei das Ziel einer *kostenminimalen* Nutzung der Vorkommen prioritär gegenüber einer möglichst *vollständigen* Nutzung mit der Zielsetzung der Ressourcenschonung. Dies gilt sowohl für die Vorkommen, die im Tagebau gewonnen werden können, als auch für den Bereich des Tiefbaus, und auch die sich daraus ergebenden Tendenzen für die (technische) Ausgestaltung der Nutzungsverfahren und ihre Realisierung ebenso wie die hieraus resultierenden Konsequenzen gehen in die gleiche Richtung. Am deutlichsten wird dies bei der Betrachtung von Lagerstätten geringer Bonität, beispielsweise der deutschen Steinkohle- und Braunkohlevorkommen.

Sowohl für den Steinkohlentiefbau als auch für den Braunkohlentagebau ist ganz eindeutig die Tendenz erkennbar, dem steigenden Kostendruck und dabei insbesondere der hohen Fixkostenbelastung durch die „economy of scale“ zu begegnen, also dadurch, daß sowohl die Produktion der einzelnen Bergwerke als Ganzes als auch die Produktion des einzelnen Gewinnungsbetriebes bzw. -systems maximiert wurde. Durch eine solche Förderkonzentration ergibt sich natürlich zugleich eine deutliche Verringerung der Anzahl sowohl der Bergwerke als auch der Abbaubetriebspunkte.

Beispielsweise sank – bei etwa gleichbleibender Gesamtförderung von rund  $100 \cdot 10^6$  t/Jahr – im rheinischen Braunkohlenrevier die Anzahl der betriebenen Tagebaue seit 1960 von 17 auf 4, gleichzeitig stieg die (Nenn-) Kapazität der neu eingesetzten Großgeräte von  $100.000$  t bzw.  $\text{m}^3/\text{d}^2$  auf  $240.000$  t bzw.  $\text{m}^3/\text{d}$  an (Henning, 1995). Noch deutlicher lassen sich diese Tendenzen aus den entsprechenden Zahlen für den deutschen Steinkohlenbergbau erkennen (Statistik der Kohlewirtschaft 1980–1996; Gesamtverband, 1980–1996). Bei einer allerdings von  $150 \cdot 10^6$   $\text{t}_{\text{vF}}/\text{Jahr}^3$  auf  $53 \cdot 10^6$   $\text{t}_{\text{vF}}/\text{Jahr}$  abnehmenden Gesamtförderung seit 1957 sank die Zahl der fördernden Schachtanlagen von 153 auf 19, gleichzeitig stieg die durchschnittliche Förderung je Schachanlage von 3300 auf 11.200  $\text{t}_{\text{vF}}/\text{d}$ . Nochmals stärker wird diese Entwicklung verdeutlicht durch den Rückgang der Anzahl der Abbaubetriebe im gleichen Zeitraum von 2265 auf 86 bei gleichzeitiger Erhöhung der Förderung je Abbaubetriebspunkt von 212  $\text{t}_{\text{vF}}/\text{d}$  auf 2336  $\text{t}_{\text{vF}}/\text{d}$ .

Parallel zu dieser Größenprogression und teilweise auch als Voraussetzung dafür wurden die Mechanisierung und Automatisierung aller Betriebsvorgänge vorangetrieben. Hierbei ging (und geht) es nicht nur darum, die menschliche Ar-

---

<sup>2</sup> Die Nennkapazität der Bagger wird üblicherweise angegeben in der Dimension t Braunkohle je Tag oder  $\text{m}^3$  Abraum je Tag.

<sup>3</sup> Die Kapazitätsbezugsgröße ist die Tonne verwertbare Förderung, d. h. die tatsächlich geförderte Rohproduktion abzüglich der darin enthaltenen nicht verwertbaren und in der Aufbereitung abzutrennenden Bestandteile (z. B. taubes Gesteinsmaterial), die bis 50 % der Rohförderung ausmachen können.



beit durch den Einsatz von weiterentwickelten Maschinen zu ersetzen (Beispiel: Übergang von manuell umzusetzenden Einzelstempel-Ausbau im Strebbetrieb des Steinkohlentiefbaus auf selbstschreitenden (Rahmen- oder Schild-) Ausbau), sondern auch um das Bemühen, den Betriebsablauf durch das selbsttätige Zusammenwirken mehrerer Teilvorgänge wenigstens teilweise zu automatisieren (Beispiel: „Automatisches“ Vorrücken von Ausbau und Förderer nach Durchgang der Gewinnungsmaschine im Strebbau) (Rauhut, 1988). Die noch verbleibenden und vom Menschen wahrzunehmenden Steuer- und Koordinationsaufgaben wurden durch den Einsatz der Fernwirktechnik aus dem unmittelbaren Betriebsbereich herausgenommen und in zentralen Leitwarten bzw. Betriebsüberwachungsstellen zusammengefaßt (Beispiel: Strebsteuerstände in übertägigen Betriebswarten). Hierdurch ergab sich zugleich die Möglichkeit zu einer integrierten, aktuellen Datenerfassung und -auswertung für alle Teilvorgänge in dem komplexen Gesamtsystem Bergwerk, wodurch jederzeit eine aussagekräftige Information über das Geschehen vorhanden ist, und somit eine fast verzögerungsfreie Steuerung und Führung des ganzen Bergwerks in Reaktion auf die aktuelle Situation möglich wird. Zugleich bieten die gesammelten Daten nach entsprechender Auswertung wertvolle und verlässliche Informationen für die Planung des Betriebes sowohl in seiner Gesamtheit als auch im Hinblick auf ganz spezielle Teilaufgaben wie etwa die zustandsabhängige, vorbeugende Wartung und Instandhaltung der individuellen Maschinen und ggf. ihrer Komponenten.

In Verbindung mit den Auswirkungen der Betriebsgrößenprogression konnten durch diese Konzentrations- und Rationalisierungsmaßnahmen, die zugleich mit einem erheblichen Produktivitätszuwachs (im deutschen Steinkohlenbergbau von 1,6 t/MS<sup>4</sup> auf 5,6 t/MS) verbunden waren, die spezifischen Kosten der Produktion in den letzten Jahren in Deutschland nominal annähernd konstant gehalten bzw. sogar (je nachdem, welches Bezugsjahr gewählt wird) geringfügig gesenkt werden, real bedeutet dies bei dem allgemeinen Anstieg des Kostenindex sogar eine deutliche Kostensenkung.

Ganz ohne Zweifel sind also im deutschen Kohlenbergbau – und ähnliches gilt uneingeschränkt auch für die Braun- und Steinkohlenbergbaubetriebe der anderen europäischen Länder und speziell auch in Österreich – unter dem Druck der ökonomischen Gegebenheiten ganz erhebliche Anstrengungen unternommen und Leistungen erbracht worden, die auch zu spürbaren Erfolgen geführt haben und die hohe Anerkennung verdienen. Sie sind zugleich ein Beweis dafür, daß entgegen einer in der Öffentlichkeit weit verbreiteten irrigen Auffassung der Kohlenbergbau keineswegs eine veraltete und technisch rückständige Industriebranche darstellt, sondern im Gegenteil in vielfacher Hinsicht mit in vorderster Front steht bei der Entwicklung und Einführung innovativer, zukunftsweisender Techniken. Um nur ein Beispiel von sehr vielen aus dem österreichischen Kohlenbergbau zu nennen, sei an die seinerzeitig erstmalige groß-

---

<sup>4</sup> Üblicherweise wird die Arbeitsproduktivität als Kenngröße verwendet, angegeben z. B. in der Dimension Produktionsmenge je Mann und Schicht.

technische Anwendung der Magnet-Motor-Technik mit elektronischer Steuerung bei der Salzach-Kohlenbergbau-Gesellschaft mbH (SAKOG) erinnert.

Allerdings mußte dieser Kohlenbergbau inzwischen ebenso wie zahlreiche andere aus wirtschaftlichen Gründen eingestellt werden; ein durchschlagender wirtschaftlicher Erfolg konnte also durch diese technische Innovation nicht erreicht werden. Dies gilt auch ganz allgemein für ganz Europa und überhaupt in vielen Ländern mit traditionellem Kohlenbergbau. Der Grund hierfür liegt auf der Hand: Die gleichen Maßnahmen, die in diesen Gebieten mit einem Kohlenbergbau auf Lagerstätten geringer Bonität zu einer wenigstens relativen Kostensenkung geführt haben, bewirken bei ihrer Anwendung auf Lagerstätten einer besseren Bonität zumindest den gleichen, meist sogar noch einen stärkeren Kostensenkungseffekt. Dies gilt sowohl hinsichtlich des Einsatzes leistungsfähigster Großgeräte („economy of scale“) als auch bezüglich der Möglichkeiten einer weitestgehenden Mechanisierung und Automatisierung aller Betriebsabläufe. Trotz aller Erfolge bei den Bemühungen um eine Kostenbegrenzung in den „traditionellen“ Kohlenbergbau-Revieren hat sich also die (wirtschaftliche) Wettbewerbssituation gegenüber den „neuen“ Produzenten in Übersee nicht verbessert, sondern im Gegenteil eher noch verschlechtert.

Die beiden Hauptrichtungen bei der Entwicklung der Gewinnungstechnik im Kohlenbergbau, nämlich Größenprogression bei den Gewinnungsmaschinen ebenso wie bei den Gewinnungsbetrieben und Bergwerken einerseits und weitgehende Mechanisierung und Automatisierung aller Betriebsvorgänge und -abläufe in Verbindung mit der Fernwirktechnik andererseits, haben sehr einschneidende Auswirkungen auf die Nutzung der vorhandenen Vorkommen. Derartige moderne Hochleistungssysteme erfordern nämlich neben dem hohen Investitionsaufwand für die Beschaffung der Ausrüstung ebenso einen besonders hohen Aufwand für die Einrichtung der Betriebe und nach Beendigung des jeweiligen Einsatzes nochmals für die Demontage der Geräte und ihren Transport zum nächsten Abbaufeld. Die hierdurch verursachten hohen Fixkosten für jeden Einsatzfall verlangen kategorisch danach, daß die jeweils zu gewinnende Kohlenmenge als Kostenträger möglichst groß ist, um das angestrebte Ziel einer Minimierung der spezifischen Gesamtkosten auch wirklich zu erreichen.

Voraussetzung für einen sinnvollen, d. h. wirtschaftlich konkurrenzfähigen Einsatz der modernen Hochleistungs-Gewinnungssysteme ist also das Vorhandensein von Lagerstätten oder Lagerstättenteilen, in denen sich ihre Leistungsfähigkeit und ihre niedrigen variablen Kosten längerfristig nutzen lassen, mit anderen Worten: Ihr Einsatz ist nur in Lagerstättenbereichen mit großem Kohlenvorrat und ohne abbaubegrenzende geologische Störungen gerechtfertigt. Nimmt man die mit zunehmender Gerätegröße sinkenden Selektivität der Gewinnungseinrichtungen hinzu, so bedeutet dies für die Nutzung der Kohlevorkommen, daß nur ein Teil überhaupt für den Abbau in dieser Form in Frage kommt, nämlich nur Flöze einer ausreichenden Mindestmächtigkeit und einer hinreichend großen, möglichst geologisch ungestörten räumlichen Erstreckung. Alle Kohlenflöze, die diesen Anforderungen nicht genügen, sind insofern nicht als nutzbarer Teil des Vorkommens anzusprechen.

Dieser Verzicht auf Flöze mit zu geringer Mächtigkeit bzw. auf Feldesteile mit zu großer Störungshäufigkeit ist keineswegs als Raubbau an der Lagerstätte zu bezeichnen, auch der häufiger und in abwertendem Sinne gebrauchte Ausdruck einer „negativen Rationalisierung“ erscheint als unangemessen. Dies gilt jedenfalls dann, wenn die aufgegebenen Teile der geologisch vorhandenen Substanz weder durch die skizzierten, modernen Hochleistungs-Gewinnungssysteme, noch mit den relativ dazu weniger effektiven Gewinnungstechniken der Vergangenheit wirtschaftlich abgebaut werden können. In diesem Falle besteht ja die Alternative zur Gewinnung wenigstens eines Teiles des Vorkommens mittels der modernen Hochleistungs-Technik in der Aufgabe des Gesamtvorrates aus wirtschaftlichen Gründen.

Dieser allgemeine und weltweit zu beobachtende Trend einer Konzentration der Nutzung von Kohlevorkommen auf die jeweils bestgeeigneten Vorratssteile ist natürlich je nach den örtlichen Gegebenheiten unterschiedlich stark ausgeprägt, je nachdem, wie wirksam die natürlichen oder künstlichen Barrieren sind, die eine bestimmte Lagerstätte gegen die allgemeine Entwicklung abschirmen.

Eine solche „natürliche“ Abschirmung kann in der räumlichen Lage eines Kohlevorkommens dann gegeben sein, wenn dessen unmittelbare Nachbarschaft zu einem Bedarfsschwerpunkt mit hohen Transportaufwendungen für konkurrierende Kohlen oder alternative Energieträger zu diesem Verbraucher zusammentrifft. Allerdings verliert dieser Standortvorteil, von dem in der Vergangenheit beispielsweise auch der österreichische, der slowakische und der slowenische Braunkohlentiefbau profitiert haben, parallel zur Verbesserung in der Transportinfrastruktur für Energieträger, beispielsweise durch den Bau von Gas- und Ölpipelinesystemen, an Bedeutung.

Das gleiche gilt für die künstliche Abschirmung von ganzen Ländern und damit natürlich auch von ihren Kohlevorkommen gegenüber dem allgemeinen Trend mittels politisch motivierter (z. B. Autarkie-) Bestrebungen, beispielsweise in den ehemals sozialistischen Ländern (wobei sich natürlich derartige politisch motivierte Abschirmungen mit standortspezifischen Vorteilen durchaus überlagern können). Auch hier zeigt sich im Zuge der Globalisierung aller Beziehungen und des immer stärker werdenden Zwanges zur marktwirtschaftlichen Öffnung dieser ehemals planwirtschaftlich orientierten Volkswirtschaften, daß sich eine nur auf die eigenen Ressourcen ausgerichtete Nutzung von Kohlevorkommen „ohne Rücksicht auf die Kosten“ nicht durchhalten läßt, sondern daß eine Vorratsselektion mit einer nur teilweisen Nutzung der Vorkommen, nämlich der für die Anwendung der leistungsfähigen hochtechnisierten Verfahren geeigneten Teile, zu erfolgen hat.

Ganz eindeutig zeigt sich z. B. in der Kohlenindustrie der ehemaligen Sowjetunion diese Konzentration der Nutzung auf die längerfristig wirtschaftlich gewinnbaren Vorkommen bei Aufgabe der nicht diesen Kriterien geeigneten Vorratssteile (SEMRAU, 1996). Aber auch in der VR China, wo der Kohlenbergbau aufgrund des hohen Energiebedarfes der noch weitgehend vom freien Weltmarkt abgeschlossenen Binnenwirtschaft noch stark expandiert, wird den Fra-

gen einer wirtschaftlichen Bewertung der Vorkommen in zunehmendem Maße Aufmerksamkeit zugewendet (ZHANG, 1996). Auch hier beginnen die inzwischen ergebnisverantwortlichen Bergwerkskombinate bzw. -betriebe damit, eine Lagerstättenauswahl zu treffen, und diese Tendenz zur Konzentration auf die Vorratsteile mit für die modernen Gewinnungsverfahren günstigen Gegebenheiten bei gleichzeitiger Aufgabe der ungünstigeren Vorkommen wird sich sicherlich in dem Maße verstärken, wie z. B.: die Lohnkosten steigen und die strenger werdenden Umwelanforderungen zu höheren Aufwendungen führen.

Ganz allgemein läßt sich also feststellen: Die wirtschaftlichen Zwänge, die sich aus der marktwirtschaftlichen Konkurrenzsituation der Kohle ergeben und die durch die Globalisierung aller Beziehungen nochmals verstärkt werden, haben offenbar zur Entwicklung und zum Einsatz von Hochleistungs-Gewinnungsverfahren geführt, die durch Größenprogression, Mechanisierung und weitgehende Automatisierung gekennzeichnet sind. Ihre sinnvolle Anwendung ist an bestimmte Bedingungen der Lagerstättenausgestaltung geknüpft, nämlich insbesondere hinreichende Flözmächtigkeit und weitgehend ungestörte Ablagerung. Lagerstätten oder Lagerstättenteile, die diese Voraussetzungen nicht oder nicht in hinreichendem Ausmaße bieten, sind demzufolge je länger desto weniger als nutzbare Vorkommen anzusehen, so daß die derzeitigen Nutzungsverfahren jedenfalls tendenziell auf eine Verringerung des nach heutigem Stand nutzbaren Teiles der Gesamtvorkommen hinwirken.

Konkret bedeutet dies auch für die Zukunft eine weitere Reduzierung der Kohlegewinnung in den „traditionellen“ Förderländern z. B. Europas bis hin zur völligen Einstellung (wie z. B. in den Niederlanden, Belgien und Frankreich) mit einer wohl endgültigen Aufgabe dieser Teile der weltweit vorhandenen Kohlenvorräte, es sei denn, daß neue alternative Techniken eine wirtschaftliche Nutzung ermöglichen.

### **Tendenzen und Aussichten zukünftiger Nutzungsverfahren**

In der Vergangenheit und bis heute hat es nicht an Bemühungen gefehlt, alternativ zu der Anwendung der herkömmlichen Abbauverfahren andersartige Nutzungen für die vorhandenen Kohlevorkommen zu entwickeln. Dabei richtete sich das Interesse gerade in der jüngsten Vergangenheit verstärkt auch auf solche Vorkommen, die mit den konventionellen Verfahren nicht wirtschaftlich genutzt werden können.

Natürlich gelten auch für diese alternativen Verfahren die gleichen wirtschaftlichen Gegebenheiten wie einleitend skizziert: Der Wert ihrer Produktion bemißt sich nach deren Nutzen für den potentiellen Abnehmer, in aller Regel also nach dem jeweiligen Energieinhalt bzw. Heizwert. Hierdurch wird in der Konkurrenzsituation mit allen übrigen Energieträgern einschließlich der Kohlen aus anderen Lagerstätten und unter Berücksichtigung der Darbietungskosten am Ort des Verbrauches der maximal erzielbare Erlös definiert, der zugleich die Obergrenze für die langfristig tolerierbaren Kosten darstellt: Nur

wenn eines dieser alternativen Verfahren zu geringeren Kosten zu produzieren in der Lage ist, bietet es langfristig eine Möglichkeit zur Nutzung der jeweiligen Kohlelagerstätte, wobei es sich auch hier durchaus um eine aus wirtschaftlichen Gründen nur teilweise Nutzung des Vorkommens handeln kann.

Dies trifft beispielsweise auf diejenigen Verfahren zu, die das beim Entstehen der Lagerstätte im Inkohlungsprozeß gebildete und in dem Kohlevorkommen noch vorhandene Methan gewinnen und nutzbar machen wollen (Flözgasgewinnung/Coal bed methane-Gewinnung) (PREUSSE, 1995). Im Prinzip wird dabei die Kohlelagerstätte nicht als solche, sondern lediglich als Speichermedium für das Methan angesehen und ausgebeutet wie ansonsten auch das Wirtsgestein einer Erdgaslagerstätte; d. h. es werden von der Tagesoberfläche aus Bohrlöcher bis in die Flöze gestoßen, aus denen das Methan abgefördert werden kann.

Unterschiede gegenüber der Ausbeutung eines normalen Erdgasvorkommens mit seinem im Porenraum des Wirtsgesteines prinzipiell frei beweglichen Gasinhalt ergeben sich jedoch dadurch, daß das Flözgas durch Adsorption an die Kohle gebunden ist, die zudem im Ursprungszustand nur eine geringe Permeabilität für das Gas aufweist. Vor Aufnahme der Förderung sind also Maßnahmen zur Vorbehandlung der Flöze erforderlich: Durch das künstliche Erzeugen von Spalten und Rissen im Flöz, z. B. durch Einpressen von Wasser unter hohem Druck, sind Fließwege für das Gas zu schaffen, anschließend muß die Lagerstätte entwässert und durch Druckabsenkung die Gas-Desorption eingeleitet werden.

Alle diese Maßnahmen sind mit zusätzlichen Aufwendungen verbunden, die die Wirtschaftlichkeit dieses Nutzungsverfahrens bei dem gegenwärtigen Preisniveau als zumindest zweifelhaft erscheinen lassen. Dies gilt auch für die USA, wo die Entwicklung und Anwendung dieser Technik im Interesse einer Verringerung der Import-Abhängigkeit in der Vergangenheit durch finanzielle Anreize (tax credits) staatlicherseits sehr gefördert wurde, und die Produktion bis zu  $22 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup>/a ausmachte, was etwa 4 % des gesamten Erdgasverbrauches entsprach. Nach Auslaufen dieser Unterstützung werden die Zukunftsaussichten eher skeptisch beurteilt.

Erste Feldversuche zur Flözgasgewinnung in der Bundesrepublik Deutschland bestätigten zwar die technische Realisierbarkeit des Verfahrens, ergaben jedoch eine bisher deutlich geringere Ausbeute als in den USA, bedingt durch die andersartige Flözausbildung mit einer stärkeren Adsorptionsbindung des Gases. Auch hier werden die wirtschaftlichen Aussichten inzwischen zurückhaltend beurteilt.

Es ist daher wohl davon auszugehen, daß die Flözgasgewinnung sich nicht zu einem universell anwendbaren Nutzungsverfahren für Kohlevorkommen entwickeln wird. Außerdem kann hierdurch nur ein sehr geringer Anteil des Vorkommens genutzt werden, nämlich lediglich der desorbierbare Gasinhalt, während der größere Teil des Vorkommens, speziell der in fester Form vorliegende Kohlenstoff, in der Lagerstätte verbleibt.

Eine möglichst weitgehende Nutzung auch des in fester Form vorliegenden Kohlenstoffes streben die Verfahren zur in-situ-Umwandlung der Kohle durch

Überführung in flüssige oder gasförmige Energieträger an. Zur Untersuchung und Entwicklung derartiger Möglichkeiten wurde in der Bundesrepublik Deutschland 1983 die „Studiengesellschaft Kohlegewinnung der 2. Generation“ (K2G) gegründet, die diese Aktivitäten in einer Forschungsgesellschaft zusammenfaßte und aktiv vorantrieb. Ähnliche Projekte bis hin zur Einrichtung von (teils großtechnischen) Pilot-Anlagen wurden auch in anderen europäischen Ländern, vor allem aber in der (ehem.) Sowjetunion in Mittelasien sowie in den USA verfolgt. Als am ehesten realisierbar und im Großmaßstab anwendbar erwies sich dabei die in-situ-Vergasung der Kohle, also die Erzeugung von (überwiegend aus CO bestehendem Schwach-)Gas durch Verschmelzung (HEWING, 1984).

Für diesen Prozeß werden mindestens je ein Bohrloch für die Zufuhr des Vergasungsmediums (Luft) und für die Absaugung des Produktgases benötigt, die durch den untertägigen Vergasungsraum miteinander verbunden sein müssen, der sich – entsprechend dem Fortschritt des (Umwandlungs-Schmel-)Prozesses – kontinuierlich im Flöz bewegt. Sowohl die Verbindung der beiden Bohrlöcher und die Initiierung des Vergasungsvorganges als auch die sichere Beherrschung und Führung der Vergasungsfront im Flöz bereiten, obwohl prinzipiell realisierbar, nach wie vor Schwierigkeiten. Für das Verbinden der Bohrlöcher erscheint nach den Problemen beim Elektro-Linking und beim Burn-Back-Verfahren inzwischen die konventionelle Richtbohrtechnik als am ehesten erfolgversprechend, eine gezielte Beeinflussung der eigentlichen Reaktionszone ist noch immer nicht absolut sicher möglich.

Bei Verwendung von Luft als Vergasungsmedium hat das gewonnene Gas aufgrund des hohen Stickstoffgehaltes nur einen sehr geringen Heizwert, die Steigerung des Heizwertes durch Verwendung von (zusätzlichem) Sauerstoff führt zu steigenden Kosten und erhöhtem technischen Aufwand. Ein besonders gravierendes Problem stellt schließlich die Umweltbelastung durch unkontrolliert in die Umgebung entweichende Reaktionsprodukte teils toxischer Beschaffenheit dar. Aus allen diesen Gründen hat die Intensität der Bemühungen zur (Weiter-)Entwicklung von Verfahren zur in-situ-Umwandlung von Kohlen in gasförmige oder flüssige Energieträger in den letzten Jahren deutlich nachgelassen, auch die erwähnte Studiengesellschaft K2G hat aufgehört zu existieren.

Auch für die Zukunft muß die Wirtschaftlichkeit einer in-situ-Vergasung bzw. -Verflüssigung als äußerst zweifelhaft angesehen werden, da die Umwandlung von konventionell gewonnener Kohle in ortsfesten Anlagen unter kontrollierten Bedingungen besser beherrschbar und mit höherem Wirkungsgrad durchzuführen ist. Trotz des geringen Einstandspreises der konventionell abgebauten Kohle aufgrund der erwähnten Fortschritte in den Gewinnungstechniken und der Beschränkung auf die Lagerstätten(-teile) hoher Bonität sind im übrigen auch diese übertägigen ortsfesten Kohle-Umwandlungsanlagen gegenüber natürlichem Erdgas oder Erdöl nur in Ausnahmefällen wirtschaftlich konkurrenzfähig, beispielsweise bei Vorhandensein besonders günstiger Kohlevorkommen, die zu extrem niedrigen Kosten abgebaut werden können und/oder bei politisch motivierter regionaler Abschirmung eines Gebietes gegen den Welt-Erdöl-/Erdgas-Markt.

Im Gegensatz zur in-situ-Umwandlung der Kohlen in einen flüssigen oder gasförmigen Energieträger stellt das Verfahren der hydraulischen Kohlegewinnung mittels Hochdruck-Wasserwerfern wie die konventionellen Abbauverfahren auf eine Hereingewinnung der ursprünglichen Lagerstättensubstanz ab. Gegenüber zu den aus der ehemaligen Sowjetunion berichteten positiven Ergebnissen (NUSDICHIN und DOKUNIN, 1984) stellte sich ein Großversuch in der Bundesrepublik Deutschland auf der Hydrogrube Hansa letztlich als ein Fehlschlag heraus. Durch die bei Wasseraufnahme quellenden tonigen Bestandteile des Nebengesteines kam es zu nur schwer beherrschbaren Gebirgsdruckauswirkungen auf das Grubengebäude, die bei der Herstellung mit Wasserwerfern nicht durchgängig zu bewetternden Abbauhohlräume erwiesen sich bei ausgasender Kohle als ein hohes sicherheitliches Risiko im Hinblick auf eine Grubengasexplosion, und eine Wirtschaftlichkeit des Betriebes im Vergleich zu einer konventionellen Gewinnung konnte letztlich nicht erreicht werden (SIEBERT, 1980). Nach diesen Erfahrungen ist anzunehmen, daß die hydraulische Gewinnung von Kohle trotz der offenbaren Vorteile, die ein anschließend sich anbietender hydraulischer Transport erwarten läßt, auf Sonderfälle bei Vorliegen besonders geeigneter Lagerstättegegebenheiten beschränkt bleiben dürfte (SIEBERT, 1984). Eine generelle Konkurrenzfähigkeit oder gar Überlegenheit gegenüber den konventionellen Verfahren ist wohl kaum anzunehmen.

Während die bisher erwähnten alternativen Verfahren zur Nutzung von Kohlelagerstätten immerhin das Stadium von teils großtechnischen Betriebsversuchen erreichen konnten, sind bislang alle Bemühungen, zu einem völlig mannlosen Abbau von Kohlelagerstätten mittels Robotern zu gelangen, nicht über Systemskizzen hinausgelangt, so wie sie beispielsweise in den siebziger Jahren beim International Institut for Applied Systems Analysis (IIASA) in Laxenburg entwickelt wurden. Auch für die Zukunft ist ein Erfolg wohl eher von einer schrittweisen Ausweitung der Teilautomatisierung aller Betriebsvorgänge zu erwarten als von einem entscheidenden Durchbruch zur Vollautomatisierung.

Der Vollständigkeit halber sei schließlich bei diesen alternativen Nutzungsverfahren die Nachnutzung der durch den Abbau der Kohle entstehenden Hohlräume für die Unterbringung von Abfällen erwähnt (WILKE, 1991). Wenn bestimmte Gegebenheiten in der Lagerstätte vorliegen, ist es möglich, ohne die Gefahr einer abträglichen Beeinflussung der Biosphäre auch kritische Stoffe, z. B. Rückstände aus Sondermüll-Verbrennungsanlagen, unter vollständigem Einschluß als hydraulischen Nachversatz in den Bruchhohlraum eines konventionellen Strebbetriebes einzubringen. Es ist dies zwar sicherlich keine eigentliche Nutzung des Kohlevorkommens selbst, jedoch kann u.U. auf diese Weise ein Beitrag zur Wirtschaftlichkeit der konventionellen Nutzung geleistet und diese damit in ihrer Konkurrenzfähigkeit gestärkt werden.

Durch alle vorstehend skizzierten alternativen Verfahren wird die Substanz der Kohlevorkommen unvollständig, teils nur zu einem Bruchteil genutzt. Zudem ist es nach dem derzeitigen Erkenntnisstand als eher unwahrscheinlich anzusehen, daß sich die auf den jeweiligen Energieinhalt bezogenen Kosten der Produktion nach einem dieser Verfahren langfristig und allgemein auf ein sol-

ches Niveau werden herabdrücken lassen, daß eine Konkurrenzfähigkeit gegenüber der konventionell gewonnenen Kohle aus Lagerstätten hoher Bonität, speziell solchen, die im Tagebau gewonnen werden können, oder gegenüber anderen Energieträgern gegeben wäre. Natürlich kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, daß bei dem einen oder anderen Verfahren doch noch der Durchbruch zur Erreichung der Konkurrenzfähigkeit gelingt oder daß noch völlig neue Nutzungsverfahren gefunden und realisiert werden; als wahrscheinlicher zu bezeichnen ist jedoch, jedenfalls auf absehbare Zeit und solange Vorräte in Lagerstätten hoher Bonität vorhanden sind, deren Nutzung unter Anwendung der eingeführten konventionellen Verfahren bei gleichzeitiger evolutionärer Weiterentwicklung dieser Verfahren.

Was deren Größenprogression angeht, so scheint hier allerdings, zumindest für die Kapazität der jeweiligen Grubenbetriebe insgesamt, eine Obergrenze als nahezu erreicht. Wie bei allen Mineralgewinnungsbetrieben gilt auch für die Nutzung von Kohlevorkommen die wechselseitige Abhängigkeit der drei Leitvariablen Kapazität (als Extraktionsrate bzw. Fördermenge je Zeiteinheit), Mineralvorrat und Lebensdauer voneinander dergestalt, daß durch die Bestimmung von jeweils zweien dieser Größen auch die dritte festgelegt ist.

Ein Tagebaubetrieb zur Nutzung eines Kohlevorkommens erfordert jeweils ganz erhebliche Investitionen in den Aufschluß und die Geräte, die – natürlich je nach den örtlichen Gegebenheiten unterschiedlich – in einer Größenordnung von etwa 100 DM/t Jahreskapazität anzusetzen sind. Dabei ist für unsere Betrachtung noch wichtiger als die absolute Höhe dieser Investitionen (bei einer Kapazität von z. B.  $50 \cdot 10^6$  t/a immerhin ein Betrag von  $5 \cdot 10^9$  DM) der Umstand, daß dieses Kapital langfristig gebunden ist und sich erst in einem Zeitraum amortisiert, der mit einigen Jahrzehnten anzusetzen ist. Ein Tagebaubetrieb mit  $50 \cdot 10^6$  t Jahreskapazität würde also bei einer Mindestlebensdauer von 30 Jahren das Vorhandensein von  $1,5 \cdot 10^9$  t gewinnbarem Inhalt des Kohlevorkommens als Mindestvoraussetzung für seine Wirtschaftlichkeit bedingen, und zwar unter der Voraussetzung der Gewinnbarkeit mit modernen Großgeräten, also insbesondere ausreichender Flözmächtigkeit und möglichst ungestörter Ablagerung.

Ganz ohne Zweifel sind Lagerstätten dieser Art weltweit in einiger Anzahl vorhanden, dies trifft jedoch dann nicht mehr zu, wenn man die Betriebsgröße nochmals um ein Mehrfaches erhöhen wollte. Außerdem kommt hinzu, daß mit wachsender Betriebsgröße natürlich auch die räumliche Ausdehnung eines Tagebaubetriebes wächst und damit zugleich die Inanspruchnahme der Oberfläche und Umwelt. Mit der Ausdehnung dieses, wenn auch zeitlich begrenzten, so doch als starke Beeinträchtigung empfundenen Eingriffes in die natürlichen Gegebenheiten wächst auch das Problem der öffentlichen Akzeptanz eines solchen Eingriffes, und zwar überproportional. Bereits heute sind derartige Akzeptanzschwierigkeiten jedoch häufig limitierend für die Errichtung neuer oder die Ausweitung bestehender Tagebaue.

Hinsichtlich der Wechselwirkung zwischen Jahreskapazität und Mindestvorrat, der bei gegebener Kohlenführung zugleich die räumliche Größe des Ab-



baufeldes bestimmt, gelten für den Kohle-Tiefbau die gleichen Erwägungen wie gerade für den Tagebaubereich angestellt. Mit Bezug auf die räumliche Ausdehnung des untertägigen Grubengebäudes ist zusätzlich der überproportionale Anstieg der Infrastrukturaufwendungen, z. B. für Fahrung, Förderung, Transport und vor allem Wetterführung, zu berücksichtigen, die der Vergrößerung des Grubengebäudes wirtschaftliche Grenzen setzen. Auch aus diesen Gründen erscheint eine deutliche Kapazitätsausweitung für untertägige Kohlenbergwerke über die derzeit erreichte Größenordnung von je nach den Gegebenheiten etwa  $15 \text{ bis } 20 \cdot 10^3 \text{ t}_{\text{vF}}/\text{d}$  hinaus als eher unwahrscheinlich.

Auch bei den einzelnen Gewinnungssystemen bzw. bei ihren Komponenten ist eine signifikante Kapazitätsausweitung durch Steigerung der Nennleistung dieser Systeme oder Komponenten als eher unwahrscheinlich anzusprechen, durchaus als möglich und wahrscheinlich erscheint jedoch eine Effektivitätserhöhung durch weitere Fortschritte in der Automatisierungs- und Fernwirktechnik.

Im kontinuierlichen Tagebaubetrieb mit Bagger-Band-Absetzer-Systemen erreichen Lastgrad und Zeitgrad dieser Geräte in gutgeführten Unternehmen bereits heute Werte von mehr als 90 %, d. h. die Istleistung der Systeme ist nahezu gleich der Nennleistung. Für eine weitere Steigerung der Fördermenge je Großgerät ist insofern also nicht mehr sehr viel Raum. Auch hat sich gezeigt, daß mit der Nennleistung von 240.000 t bzw.  $\text{m}^3$  je Tag wohl die optimale Baugröße erreicht wurde, sowohl im Hinblick auf die überproportional steigende Dienstmasse als auch und besonders auf die abnehmende Selektivität der Baggers. Letzterer Gesichtspunkt gewinnt angesichts der steigenden Qualitätsanforderungen der Abnehmer zunehmend an Bedeutung, und gerade in diesem Bereich einer qualitätsorientierten real-time Abbausteuerung werden durch weitere Fortschritte in der Automatisierungs- und Fernwirktechnik noch merkliche Verbesserungsmöglichkeiten gesehen.

Die satellitengestützte Positionsbestimmung (Global Positioning System-GPS) erlaubt heute die dreidimensionale Lokalisierung etwa der aktuellen Position des Schaufelrades eines Großbaggers mit einer Genauigkeit im cm-Bereich. Bei genauer Kenntnis der Qualitätseigenschaften der einzelnen Lagerstättenelemente (Blöcke), die heute beispielsweise über die Verfahren der Geostatistik verfügbar gemacht werden kann, läßt sich damit jederzeit und verzögerungsfrei erfassen, welche Kohlen- oder Abraumqualität von jedem individuellen Gerät gerade gewonnen wird, bzw. es läßt sich über entsprechende (z. B. L.P.-Optimierungs-) Algorithmen die Gewinnung jedes einzelnen Baggers kontinuierlich so steuern, daß die gesamte Rohförderung aller Bagger gemeinsam in ihrer qualitativen Zusammensetzung exakt den Anforderungen der Abnehmer entspricht und gleichzeitig das wirtschaftliche Zielkriterium des Betriebes maximiert, und zwar dies alles, ohne die verschiedenen (berg-) technischen Restriktionen zu verletzen. An entsprechenden Optimierungsverfahren wird bereits intensiv gearbeitet, beispielsweise auch an der TU Berlin.

Auch im Bereich des diskontinuierlichen Kohlen-Tagebaus können durch GPS in Verbindung mit entsprechenden, optimierenden Steuerprogrammen neue und zusätzliche Rationalisierungsmöglichkeiten erschlossen werden (OLI-

VIERI und LINSON, 1997). Beispielsweise ermöglicht die kontinuierliche Ortung jedes einzelnen mobilen Gerätes, in erster Linie der SLKW, ein verzögerungsfreies Dispatching sowohl im Interesse einer Maximierung der Geräteausnutzung, als auch mit dem Ziel einer Qualitäts-Steuerung der Produktion, denn neben der aktuellen Geräteposition können ja auch weitere Informationen etwa über die Ladung der SLKW erfaßt und ausgewertet werden.

Denkbar ist schließlich, daß mit Hilfe von GPS auch ein Durchbruch zu einem mannlosen und wirklich automatischen Fördersystem im diskontinuierlichen Tagebaubetrieb erreicht wird. Bei den bisherigen Bemühungen und Entwicklungen beispielsweise in Japan (HORI et al., 1993) stellte ja gerade die hinreichend genaue jederzeitige Ortung der mobilen Einheiten eine kaum zu überwindende Hürde dar. Nach Lösung dieses Problems ist es vorstellbar, daß – ähnlich wie bei dem individuellen Verkehrsleitsystem für PKW das Straßennetz einer Region – in einem Zentralrechner das gesamte Netz aller Fahrstraßen in einem Tagebau abgebildet ist, so daß den mittels GPS auch hinsichtlich Fahrtrichtung und -geschwindigkeit georteten Einheiten nicht nur wie dem Fahrer eines PKW Fahrtrichtungsempfehlungen übermittelt, sondern diese automatisch in Fahrtrichtungsweisungen umgesetzt und über Stellglieder im Gerät realisiert werden können. Letztlich kann auf diese Weise das gesamte mobile Transportsystem nicht nur überwacht und gesteuert, sondern dabei zugleich auch optimiert werden, beispielsweise im Hinblick auf den Energieverbrauch.

In ähnlicher Weise ist zugleich über die kontinuierliche Erfassung und Auswertung von transportierten Mengen, Transportentfernungen und Hubleistungen jedes individuellen SLKW eine bedarfs- bzw. zustandsabhängige Wartungs- und Instandhaltungsplanung bis hin zu einer automatischen Ersatzteildisposition vorstellbar. Hinsichtlich der Qualitätssteuerung der Produktion an den Baggern gelten ähnliche Überlegungen wie im Falle des kontinuierlichen Betriebes.

Die hier nur beispielhaft angedeuteten Möglichkeiten zur Effektivitätssteigerung durch die sich anbietenden Fortschritte in der Automatisierungs- und Fernwirktechnik betreffen in erster Linie die Optimierung von Betriebsorganisation und -ablauf. Ohne die dafür erforderlichen, sicherlich nicht unerheblichen Aufwendungen zu unterschätzen, kann wohl davon ausgegangen werden, daß sie deutlich geringer sein dürften, als wenn eine gleiche Effektivitätssteigerung durch den Einsatz von mehr oder größeren Geräten erreicht werden sollte. Zudem gilt auch für den diskontinuierlichen Kohle-Tagebau-Betrieb, daß die derzeit größten eingesetzten Geräte der wirtschaftlich sinnvollen Obergrenze zumindest bereits recht nahe gekommen sind.

Mutatis mutandis gilt das für den Tagebau-Betrieb Ausgeführte auch in bezug auf den Kohlentiefbau. Auch hier erscheint die Steigerung der (Nenn-) Kapazität der einzelnen eingesetzten Gewinnungsgeräte, etwa der Schrämmaschinen, als weniger zielführend und damit auch als eher weniger wahrscheinlich als die Effektivitätssteigerung des Gewinnungssystems „Strebbetrieb“ insgesamt durch weitere Fortschritte in der Automatisierung und Fernwirktechnik. Ohne die im Tiefbau gegebenen besonderen Probleme und Schwierigkeiten verkennen zu wollen, zeigt allein ein Vergleich der Systemausnutzungsgrade, ausgedrückt

beispielsweise in der produktiven Maschinenlaufzeit, mit Werten um 90 % bezogen auf die Kalenderzeit im Tagebau gegenüber teilweise nur um 50 % bezogen auf die verfügbare Arbeitszeit vor Ort im Tiefbau, wo in erster Linie zukünftige Maßnahmen ansetzen sollten.

Dies gilt umso mehr auch deshalb, weil eine wesentliche Kapazitätssteigerung beispielsweise des Gewinnungsaggregates neben allen anderen Problemen in aller Regel auch mit einem Zuwachs der Baugröße verbunden ist. Wie bereits erwähnt, wirkt sich eine Größenzunahme der Geräte jedoch ungünstig auf den Ausnutzungsgrad der Lagerstätte aus: Großbauende Maschinen lassen sich nur in Flözen mit entsprechenden Mächtigkeiten einsetzen, der Trend zur Aufgabe von diesen Anforderungen nicht entsprechenden Lagerstättenteilen würde sich also nochmals verstärken.

Zusammenfassend läßt sich damit hinsichtlich der zu erwartenden zukünftigen Tendenzen bei der Nutzung von Kohlevorkommen feststellen: Es ist eher eine evolutionäre Fortentwicklung der konventionellen Gewinnungsverfahren zu erwarten als die Nutzung alternativer Techniken. Diese evolutionäre Fortentwicklung läßt insbesondere durch weitere Fortschritte in der Automatisierungs- und Fernwirktechnik eine nochmalige Effektivitätssteigerung erwarten. Allerdings ist dabei zugleich auch davon auszugehen, daß weiterhin nur eine Teilnutzung der Kohlevorkommen erfolgen wird, nämlich nur derjenigen Lagerstättenteile, die geeignete Voraussetzungen für die Anwendung der modernen Hochleistungs-Gewinnungssysteme bieten.

### **Zur Frage einer verantwortungsbewußten Nutzung der Kohlevorkommen**

Es erhebt sich damit abschließend die Frage, ob denn eine solche nur teilweise Nutzung der Kohlevorkommen, so wie sie derzeit erfolgt und nach dem Gesagten auch für die Zukunft zu erwarten ist, als ein im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung verantwortungsbewußter Umgang mit diesem nicht erneuerbaren natürlichen Ressourcen gelten kann oder ob hier nicht in verantwortungsloser Weise die Existenzbasis zukünftiger Generationen gefährdet wird.

Zwei Überlegungen lassen die gegenwärtigen und sich abzeichnenden Tendenzen bei der Nutzung der Kohlevorkommen als durchaus mit dem Ziel einer nachhaltigen Entwicklung vereinbar erscheinen.

Es wurde bereits erwähnt, daß bei Anwendung der derzeitigen und der sich tendenziell abzeichnenden Nutzungsverfahren die Langfristigkeit der Nutzungsmöglichkeiten gewährleistet ist; die statische Reichweite der nach jetzigem Stand technisch und wirtschaftlich gewinnbaren Vorräte beträgt rund 230 Jahre und zwar, wie ausgeführt, zur Zeit sogar mit zunehmender Tendenz. Es ist daher mit großer Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, daß lange vor der schließlichen Erschöpfung dieser Vorräte die sichere wirtschaftliche Verfügbarkeit alternativer Energiequellen gegeben ist, sei es durch einen Durchbruch in der Nutzung regenerativer Energien, z. B. der Photovoltaik, oder durch Fortschritte in der Kernfusionstechnik.

Würde man jedoch eine vollständige Nutzung der Kohlevorkommen erzwingen, d. h. also auch die Teile der Lagerstätten mit abbauen, die mit den heutigen und sich abzeichnenden Gewinnungstechniken nicht wirtschaftlich gewonnen werden können, so würde hierfür ein dementsprechend höherer Aufwand zu treiben sein. Es müßten also Ressourcen der verschiedensten Art, von menschlicher Arbeitskraft über Kapital, Energie, Maschinen und damit letztlich auch von Rohstoffen, für diese (unwirtschaftliche) Nutzung herangezogen werden, die damit für andere und wirtschaftlich sinnvollere Nutzungen zwangsläufig nicht mehr verfügbar wären. Einer nur scheinbaren Schonung der Ressource Kohlevorkommen stünde damit also eine erhöhte Inanspruchnahme anderer Ressourcen gegenüber, das Ideal einer nachhaltigen Entwicklung wäre also nicht nur nicht erreicht, sondern eher in sein Gegenteil verkehrt.

Auch im Sinne eines sustainable development muß es also das Ziel einer verantwortungsvollen Nutzung der Kohlevorkommen sein, die für eine wirtschaftlich sinnvolle und damit insgesamt ressourcenschonende Gewinnung geeigneten Lagerstätten oder Lagerstättenteile nicht durch Auflagen oder Verbote zu blockieren, die aus nicht konsequent durchdachten ökologischen Bedenken resultieren. Die Frage ist nicht, ob uns ausreichende Vorkommen für eine langfristige Nutzung zur Verfügung stehen, sondern ob wir uns diese Nutzungsmöglichkeit nicht selbst verbauen.

## Literatur

- FETTWEIS, G. B.: Der Produktionsfaktor Lagerstätte. In: v. WAHL, S. (Hrsg.): Bergwirtschaft. Band 1, Essen, Verlag Glückauf, 1990.
- Gesamtverband des Deutschen Steinkohlenbergbaus, Essen (Hrsg.): Steinkohle Jahresberichte 1980–1996.
- HENNING, D.: Stand und Entwicklungstendenzen des deutschen Braunkohlenbergbaus. Braunkohle/Bergbautechnik 47 (1995), Heft 6, S. 6–15.
- HEWING, G.: Bericht über das Nineth Annual Coal Gasification Symposium Bloomingdale USA 1983. Glückauf 120 (1984), 629–630.
- HORI, A., NAKAMURA, S., OKUDA, T. und HIROCE, S.: Off-highway truck unmanned navigating systems. In: ALMGREN, G. et al. (Hrsg.): Mine Mechanization and Automation. A. A. Balkema Verlag, Rotterdam 1993, 425–434.
- NUSDICHIN, G. I. und DOKUKIN, A. V.: Der Bergbau der UdSSR. Glückauf 120 (1984), 259–267.
- OLIVIERI, F. und LINSON, L.: Profitable Mine Management Utilizing GPS Technology. In: Proceedings 2nd Regional APCOM Symposium, Moskau 1997, 521. (The Moscow State Mining University Publishing Center).
- PREUSSE, A.: Die Flözgasgewinnung – eine zusätzliche Nutzung von Steinkohlenlagerstätten. Erzmetall 48 (1995), 647–659.
- RAUHUT, F. J.: Innovationen im Steinkohlenbergwerk der Zukunft – Ziele und Wege. Glückauf 124 (1988), 120–129.

SEMRAU, G.: Zur Entwicklung der Energie- und Kohlenwirtschaft in Osteuropa und der GUS von 1989 bis 1995. Glückauf 132 (1996), 641–644.

SIEBERT, H.: Beurteilung von Steinkohlenlagerstätten hinsichtlich ihrer Eignung für den Hydrobergbau. Glückauf-Forschungshefte 45 (1984), 246.

SIEBERT, H.: Betriebserfahrungen mit der Hydrotechnik auf der Hydrogrube Hansa. Glückauf 116 (1980), 945–952.

Statistik der Kohlenwirtschaft e.V. (Hrsg.): Der Kohlenbergbau in der Energiewirtschaft der Bundesrepublik Deutschland (Jahre 1980–1996).

WILKE, F. L.: Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie zur untertägigen Verbringung schadstoffhaltiger Rückstände in Steinkohlenbergwerken. Glückauf 127 (1991), 906–907.

Wirtschaftsvereinigung Bergbau e.V., Essen (Hrsg.): Das Bergbau-Handbuch. Verlag Glückauf, Essen, 1994.

ZHANG, Youchen: Schwierigkeiten und Hoffnung: Die staatlichen Bergwerke in der chinesischen Wirtschaftsreform. Glückauf 132 (1996), 750–752.

Anschrift des Verfassers:

emer. Prof. Dr. Friedrich Ludwig WILKE  
Institut für Angewandte Geowissenschaften  
TU Berlin, Sekr. EB 11  
Straße des 17. Juni 135  
D-10623 Berlin