

Geotechnische Untersuchungen zur Ausweisung von Gefährdungsbereichen des tagesnahen Altbergbaus am Beispiel des Aachener Wurmreviers

Geotechnical Investigations for the Assessment of Hazard Zones from Near Surface Mining
at the Example of the Aachen Mining District of the River Wurm

Mainz, M., Heitfeld, M. & Schetelig, K.¹

Zusammenfassung

Im Aachener Wurmrevier ist auf einer Gesamtfläche von rd. 19 km² Steinkohle tagesnah, d.h. etwa zwischen 0 und 40 m u GOK, abgebaut worden. Der Steinkohlenbergbau reicht dabei bis in das 12. Jahrhundert zurück. Auch heute noch ereignen sich in unregelmäßigen Abständen als Folge des tagesnahen Steinkohlenbergbaus Tagesbrüche über Abbaubereichen und Schächten, die zu Schäden an Sachgütern und Personen führen können. Über dem Grundgebirge (Tonsteine bis Sandsteine und Steinkohle des Karbons) von geringer bis mäßiger Festigkeit liegen bindige und feinsandig-schluffige Schichten aus dem Tertiär, sandige Kiese der quartären Maas-Terrasse sowie Löss und Lösslehm. Die Gesamtmächtigkeit der Lockergesteinsüberdeckung liegt meist zwischen 15 und 25 m. In den letzten Jahren wurden an gefallenen Tagesbrüchen umfassende Untersuchungen durchgeführt; im Rahmen dieser Bearbeitung wurde ein bodenmechanisches Mehrphasenmodell zum Verbruchsgeschehen im Lockergestein entwickelt. Mit diesem Modell können die maximalen Tagesbruchabmessungen in Abhängigkeit vom Aufbau und den bodenmechanischen Kennwerten des Lockergesteins abgeschätzt werden. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für ein fundiertes Risikomanagement im Aachener Wurmrevier.

Schlüsselworte: Altbergbau, Tagesbruch, Verbruchmodell, Gefährdungsbereiche

Abstract

Before the industrial revolution in the 19th century, mining activity concentrated on near surface coal and ore deposits. In the hard coal mining district of Aachen near the river "Wurm", near surface hard coal has been mined in an area of about 19 km². Shallow mining dates back to at least the 12th century in this district. The ancient mines only reached depths of about 40 m below surface. Nowadays, still collapse features occur in irregular intervals above such shallow mining hollows and shafts, being hazardous to infrastructure and human life: The hard rock consisting of Claystones to Sandstones of low to medium strength is covered by clayey to sandy Tertiary sediments, sandy gravels of the Quaternary sediments of the river Maas and Loess/Loess-loam. The thickness of the soil overburden in most cases roughly varies between 15 and 25 m. In recent years, intensive field investigations were performed at collapse features. Based on these investigations, a soilmechanical model of the collapse mechanism in the soil overburden was developed. This new model allows for an estimation of the maximum diameter of collapse features depending on the character of the soil overburden. The results are basis for an efficient risk management in the mining district of Aachen.

Key words: Post mining, collapse feature, collapse model, hazard zones

1 Einleitung

In der Frühzeit des Bergbaus, während der Vor- und Frühgeschichte und bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts, war die Gewinnung von Rohstoffen weitgehend auf oberflächennahe Zonen, im Wesentlichen auf den Bereich oberhalb des Grundwassers beschränkt. Dieser Bergbau verlangte flächenmäßig sehr ausgedehnte Gewinnungsgebiete. Erste Ansätze für eine Wasserhaltung mit Hilfe von Wasserkraft oder von Tieren (Pferdegöpel) wurden ab dem Ende des Mittelalters entwickelt, z.B. die „Wasserkünste“ im Harz und im Erzgebirge. Der industrielle Großbergbau bis in große Tiefen und mit leistungsfähigen Wasserhaltungspumpen konnte sich aber erst nach der Erfindung der Dampfmaschine entwickeln.

Die im oberflächennahen Bereich im Zusammenhang mit der Steinkohlengewinnung geschaffenen Hohlräume sind

heute teilweise verbrochen; sie können aber auch, je nach Ausbildung des umgebenden Gebirges, zunächst Jahrhunderte oder sogar Jahrtausende erhalten bleiben oder, als Folge von Spannungsumlagerungen, Verwitterungsvorgängen oder Kriechbewegungen, spontan, ohne vorhersehbaren Anlass zusammenbrechen. Reicht dieser Verbruch bis an die Geländeoberfläche, spricht man von einem Tagesbruch (s. Abb. 1).

Als besonders stabil erweisen sich Hohlräume im Festgestein von Erzlagerstätten. Aber auch die bergbauliche Gewinnung von Baustoffen wie Schiefer, Kalkstein oder Gips sowie der Ausbruch von Lagerräumen für Wein und Bier oder von Schutzräumen führten zu relativ großen Hohlräumen, die zum Teil seit sehr langer Zeit offen stehen. Beispiele finden sich z.B. in Maastricht, Paris oder Jerusalem. Große Weinkeller wurden z.B. in Oppenheim/Rhein sowie an der Mosel ausgebrochen. Aus-

¹ M. Mainz M.Sc. (Hons), Dr.-Ing. M. Heitfeld, Prof. Dr. K. Schetelig
Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH, Preusweg 74, D - 52074 Aachen, info@ihs-online.de

gehend von einzelnen Schwachstellen, z.B. an ungünstig verlaufenden Klüften, treten auch heute noch kleinere oder größere Verbrüche auf.



Abb. 1: Tagesbruch Mühlenbach (BERGAMT DÜREN, 1999).

Fig. 1: Collapse feature Mühlenbach (BERGAMT DÜREN, 1999).

Bei geringerer Gebirgsfestigkeit, z.B. bei fast allen Kohlelagerstätten, können die tagesnah geschaffenen Hohlräume bereits zu einem früheren Zeitpunkt verbrochen sein. Tagesnah können aber auch noch Hohlräume offen stehen und plötzlich zu Bruch gehen. Beispiele aus jüngerer Zeit sind ein Tagesbruch in Bochum-Höntrop sowie Tagesbrüche im Aachener und Inde-Revier.

In den betroffenen Regionen besteht ein dauerhaftes, schwer abschätzbares Gefährdungspotenzial für die Tagesoberfläche. Nach Ausdehnung und wirtschaftlicher Bedeutung dürfte dieses vom Menschen geschaffene Gefährdungspotenzial jenes aus natürlicher Verkarstung in Kalkstein, Gips oder Salzregionen noch übertreffen, weil der Bergbau meist zu einer Verdichtung der Besiedlung führte. Das Bewusstsein für die Gefährdung durch Altbergbau ist in unserer Gesellschaft noch schwach entwickelt.

In Nordrhein-Westfalen ist auf etwa 20 % der Landesfläche mit einem Bevölkerungsanteil von etwa 50 % in der Vergangenheit Bergbau umgegangen (s. Abb. 2). Tagesnaher Bergbau wurde dabei nur auf einem Teil dieser Fläche betrieben.

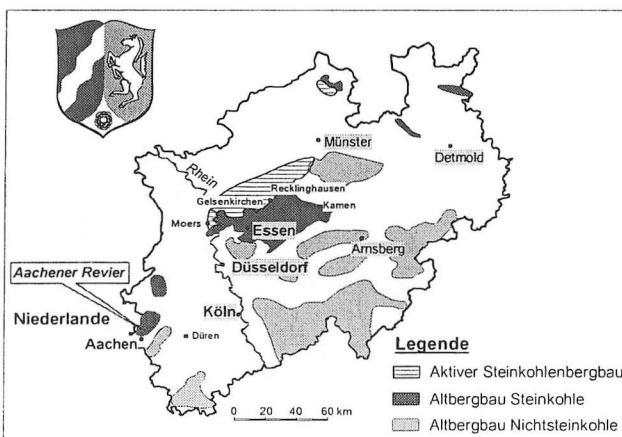


Abb. 2: Übersicht Untertage-Bergbau in Nordrhein-Westfalen (geändert nach WELZ, 2001).

Fig. 2: Subsurface mining areas in North Rhine-Westphalia (altered after WELZ, 2001).

2 Neue Aufgaben durch alten Bergbau am Beispiel des Wurmreviers

Das Wurmrevier wird von einer mächtigen Oberkarbon-Mulde gebildet mit möglicherweise bis zu 3.000 m mächtigen Schluffstein- und Sandstein-Schichten geringer bis mäßiger Festigkeit, die stratigraphisch vom Namur C bis zum Westfal B reichen (HEITFELD ET AL., 2005a). Dies ist ein typisches Beispiel für ein Steinkohlengebiet, in welchem der Abbau schon sehr früh, nämlich nachweislich mindestens im 12. Jahrhundert begonnen hat. Der Kohleanteil beträgt im Westfal im Mittel etwa 3 %. Der Abbau konzentrierte sich im Wesentlichen auf Flöze von > 50 cm Mächtigkeit. Die Ausdehnung des Steinkohlenbergbaus nördlich von Aachen und im Südlimburger Revier in den benachbarten Niederlanden ist aus Abb. 3 zu ersehen. Die Gesamtfläche der Grubenfelder beträgt rd. 400 km². Tagesnaher Abbau fand dabei aber nur auf einem kleinen Teil dieser Fläche (rd. 25 km²) statt, davon rund 19 km² auf deutschem Gebiet (s. Abb. 4).

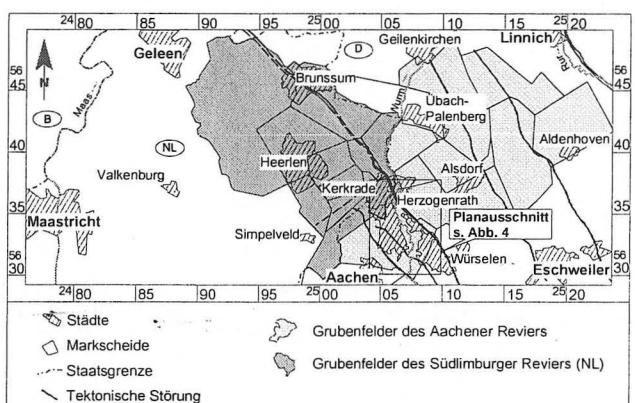


Abb. 3: Steinkohlenbergbau im Aachener und Südlimburger Revier.

Fig. 3: Hard coal mining in the mining districts of Aachen and South-Limburg.

Die Karbonschichten sind gefaltet, wobei die Faltungsintensität vom Eifelrand im Süden nach Norden hin tendenziell abnimmt. Der Altbergbau konzentrierte sich auf die Sattelstrukturen. Dabei sind bergtechnisch die steiler einfallenden „Rechten“ und die flacher einfallenden „Platten“ zu unterscheiden (s. Abb. 5).

Flachlagernde Kohle in den weiten Muldenbereichen konnte erst später durch den industriellen Tiefbergbau erschlossen werden.

Bei dem Versuch, das aus dem tagesnahen Altbergbau resultierende Gefährdungspotenzial einzelfallbezogen zu beurteilen, sind folgende Schritte notwendig:

Zunächst sind alle geologischen und markscheiderischen Unterlagen (Grubenbilder, Risswerke) zusammenzustellen und auszuwerten. Als sehr wichtige Quelle erweisen sich alte Kartenwerke, deren Entwicklung im Rheinland während der französischen Besatzungszeit um 1800 begann und anschließend unter preußischer Verwaltung weiter geführt wurde.

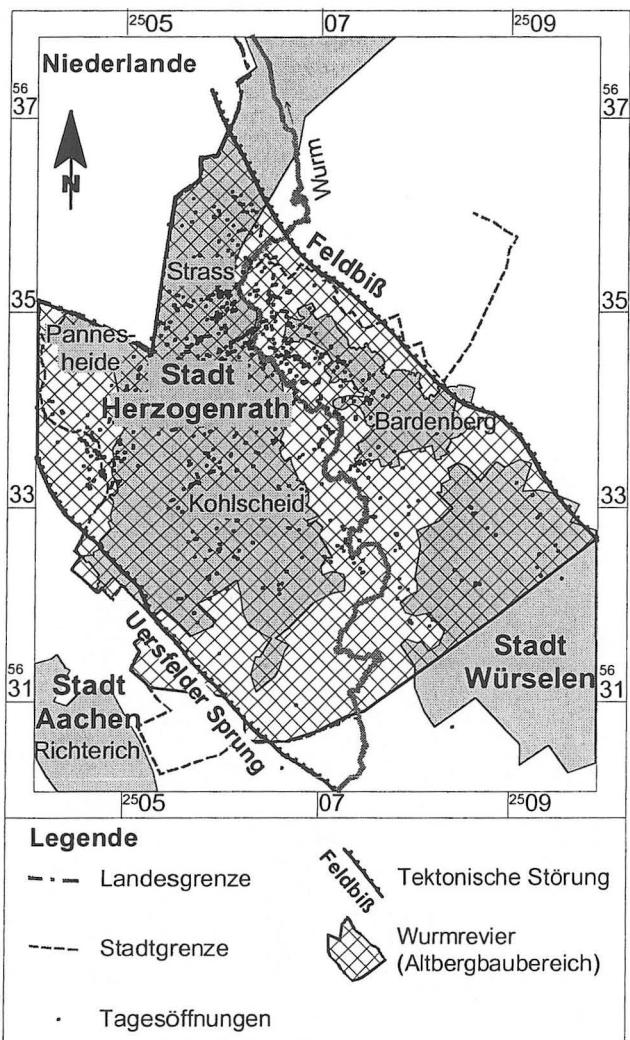


Abb. 4: Tagesnaher Abbau im Raum Herzogenrath – Würselen.

Fig. 4: Area of shallow mining in the Aachen mining district of the river Wurm.

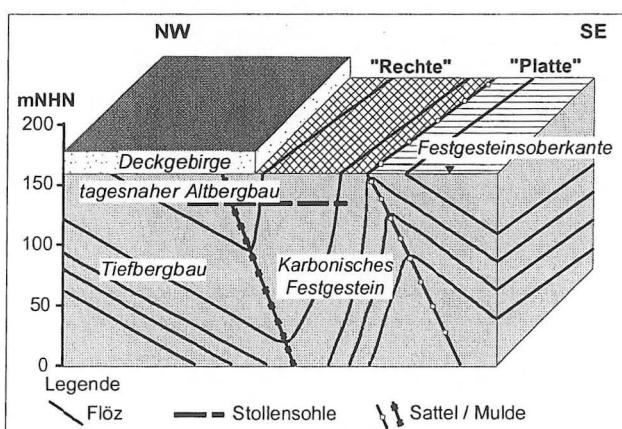


Abb. 5: Sattel mit „Rechten“ und „Platten“.

Fig. 5: Anticline with high and low inclination sides.

Da diese alten Kartenwerke auf nicht mehr gebräuchlichen Koordinatensystemen beruhen und auch in ihrer Genauigkeit von den heutigen Anforderungen abweichen, besteht eine wichtige Aufgabe darin, die bergbaulichen Informationen, z.B. über Schächte, Stollen oder Tagesbrüche, auf unser heutiges Kartenwerk zu übertragen. Hierzu wurde ein EDV-gestütztes System der Georeferenzierung entwickelt, das die alten Kartenwerke anhand von unveränderten Geländemerkmalen transformiert.

Die gesammelten bergtechnischen, geologischen und geodatischen bzw. markscheiderischen Informationen werden in einer Datenbank für das Aachener Revier gesammelt. Diese enthält inzwischen Angaben unterschiedlicher Genauigkeit über rund 850 alte Schächte (davon rd. 100 gesichert), etwa 30 alte Entwässerungsstollen sowie Bereiche mit tagesnahem Flözabbau.

Die Ausarbeitung einer Lagerstättenprojektion zur Erfassung der Flözverläufe an der Oberfläche des karbonischen Festgesteins sowie eine Untersuchung des Aufbaus der Lockergesteinsüberdeckung (Bohrkernaufnahme, Profilkonstruktion) liefern ein detailliertes geologisches Modell.

Für einzelne Teilbereiche wurden im Auftrag des Bergamtes Düren als Pilotprojekt mit Hilfe eines GIS-gestützten Informationssystems Gefährdungsbereiche im Hinblick auf eine bestehende oder geplante Bebauung ausgewiesen. Dabei wurden die geologischen Daten über den stratigraphischen und tektonischen Bau der Wurmholde im Niveau der Karbon-Oberfläche, bergtechnische Daten über möglichen Abbau, Schächte oder Stollen sowie Informationen zum Deckgebirge zusammengeführt. Es werden drei Wahrscheinlichkeitsklassen (ehemals auch Gefährdungsklassen GK genannt) im Hinblick auf tagesnahen Altbergbau unterschieden, die sich in Bezug auf weitergehende Erkundungs- und Sicherungsmaßnahmen wie folgt unterscheiden:

- GK 1: Vor Realisierung eines Bauvorhabens ist eine eingehende Erkundung der bergbaulichen Verhältnisse erforderlich; Sicherungsmaßnahmen sind sehr wahrscheinlich erforderlich;
- GK 2: Vor Realisierung eines Bauvorhabens ist eine eingehende Erkundung der bergbaulichen Verhältnisse erforderlich; Sicherungsmaßnahmen sind möglicherweise erforderlich;
- GK 3: keine detaillierte vor Ort-Erkundung erforderlich; die Beurteilung der bergbaulichen Situation bzw. des Gefährdungspotenzials erfolgt durch eine Auswertung der historischen Kartenwerke sowie Begutachtung von Baugrubensohlen.

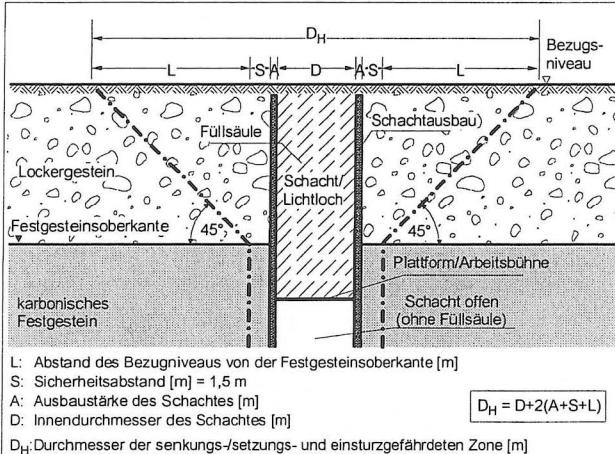
Aufgefundene alte Schächte werden bautechnisch durch Stahlbeton-Platten auf dem Festgestein, eine verdichtete Verfüllung oder mit Hochdruck-Zementinjektionen gesichert.

3 Bisherige Modellvorstellungen

Zur Abschätzung von Gefährdungsbereichen sind konkrete Vorstellungen zu den Tagesbruchmechanismen notwendig.

Hierzu wurden in der Vergangenheit verschiedene Modelle (u.a. LÖBEL & SROKA, 2001) entwickelt; im Rahmen der Untersuchungen im Wurmrevier wurde jedoch festgestellt, dass keines der verfügbaren Modelle zu einer realitätsnahen Beschreibung der im Wurmrevier beobachteten Tagesbrüche geeignet ist.

Bisher war es in NRW üblich, Einwirkungsbereiche unter einem Einwirkungswinkel von $\delta_E = 45^\circ$ durch das Lockergestein abzugrenzen. Diese Bereiche beinhalten auch mögliche Senkungen und Setzungen. Tatsächlich handelt es sich bei den im Wurmrevier beobachteten Tagesbrüchen um steil einfallende Schlotte, die plötzlich einbrechen und in der Regel vor der Einstellung eines flacheren Böschungswinkels zur Sicherung verfüllt werden; Setzungen oder Senkungen wurden nicht beobachtet.



Daraus resultiert eine unwirtschaftliche Diskrepanz zwischen den bisher ausgewiesenen Einwirkungsbereichen und den tatsächlichen Tagesbruchabmessungen.

Eine bodenmechanische Grundlage für die Annahme eines pauschalen Einwirkungswinkels von $\delta_E = 45^\circ$ liegt nicht vor. Es ist vielmehr ein direkter Zusammenhang zwischen der Ausbildung des Lockergesteins (bindige/nichtbindige Schichten) und dem Verlauf des Tagesbruches zu erwarten.

Daher bestand der Bedarf, ein neues Modell auf der Grundlage tatsächlicher Tagesbruchereignisse sowie bodenmechanischer Überlegungen zu entwickeln; dieses im Rahmen einer Promotionsarbeit (MAINZ, 2007) entwickelte neue Modell wird im Folgenden vorgestellt.

4 Entwicklung eines neuen Tagesbruchmodells

Zur Klärung des aktuellen Gefährdungspotentials für die Geländeoberfläche wurden im Auftrag des Bergamtes Düren in den Jahren 2003 und 2004 an mehreren Tagesbrüchen vor Ort-Untersuchungen durchgeführt und diese im Hinblick auf die speziellen Tagesbruchbedingungen und Geometrien detailliert ausgewertet.

4.1 Qualitatives Modell aus Felduntersuchungen

Auf der Grundlage der durchgeführten Untersuchungen konnte ein modellhaftes Bild des typischen Tagesbruchverlaufes in fünf Verbruchphasen rekonstruiert werden (s. Abb. 7). Das karbonische Festgestein über dem versatzlosen Abbauhohlraum versagt in einer 1. Verbruchphase (s. Abb. 7a) und bricht in diesen hinein; eine Prognose des Eintrittszeitpunktes ist nicht möglich.

Innerhalb der 2. Verbruchphase (s. Abb. 7b) bildet sich ein Erosionsschlot mit nahezu senkrechten Wandungen in den unmittelbar darüber anstehenden, bindigen Unteren Lintfort-Schichten aus. Der Durchmesser des Schlosses beträgt nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen im Allgemeinen nur wenige Meter. Die Wirkung des Grundwassers ist von wesentlicher Bedeutung in dieser Phase; generell liegt der freie Grundwasserspiegel in den Terrassensedimenten. Mit fortschreitendem Hochbruch steigt der hydraulische Gradient zwischen dem Schichtwasserhorizont in den Terrassensedimenten und dem sich langsam hocharbeitenden Hohlraum; die Prozessgeschwindigkeit nimmt stetig zu. In Abhängigkeit von der Schichtmächtigkeit verläuft dieser Prozess vermutlich in einer Zeitspanne von Jahren oder auch Jahrzehnten bis zu Jahrhunderten.

Hat der Erosionsschlot die nichtbindigen Hauptterrassensedimente erreicht, kommt es in einer 3. Verbruchphase (s. Abb. 7c) zu einer sukzessiven seitlichen Ausweitung des Hohlraumes; es bildet sich ein trichterförmiger Verbruch in den Terrassensedimenten aus, der sich nach oben hin fortentwickelt.

Aufgrund der Gewölbewirkung sowie der Scherfestigkeit der überlagernden Terrassensedimente, im Endstadium auch der hangenden Lösslehmschicht, wird das Hängende des Hohlraumes zunächst weiterhin getragen.

Während der fortschreitenden seitlichen Ausweitung des Verbruches führt die wiederholte Überschreitung der maximalen Gewölbespansweite zum Einbruch dünner Hangendschichten und jeweils zum Aufbau eines neuen, größeren Druckgewölbes. Dabei wandert die Firste in Richtung Geländeoberkante. Die 3. Verbruchphase ist vermutlich weitaus kürzer als die 2. Verbruchphase in den Unteren Lintfort-Schichten.

Die Gewölbekraft sinkt mit der Annäherung des Hohlraumes an die Geländeoberkante unter ein kritisches Minimum ab. Daraus resultiert eine Überschreitung der Scherfestigkeit des überlagernden Lösslehms in einer senkrechten Scherfuge (vgl. PENZEL, 1980).

Geneigte Böschungen im Tagesbruch entsprechend der inneren Reibung bilden sich erst dann, wenn der Tagesbruch in einer 5. Verbruchphase längerfristig offen steht. In der Regel kommt es dazu jedoch aufgrund kurzfristig einsetzender Sicherungsarbeiten nicht mehr.

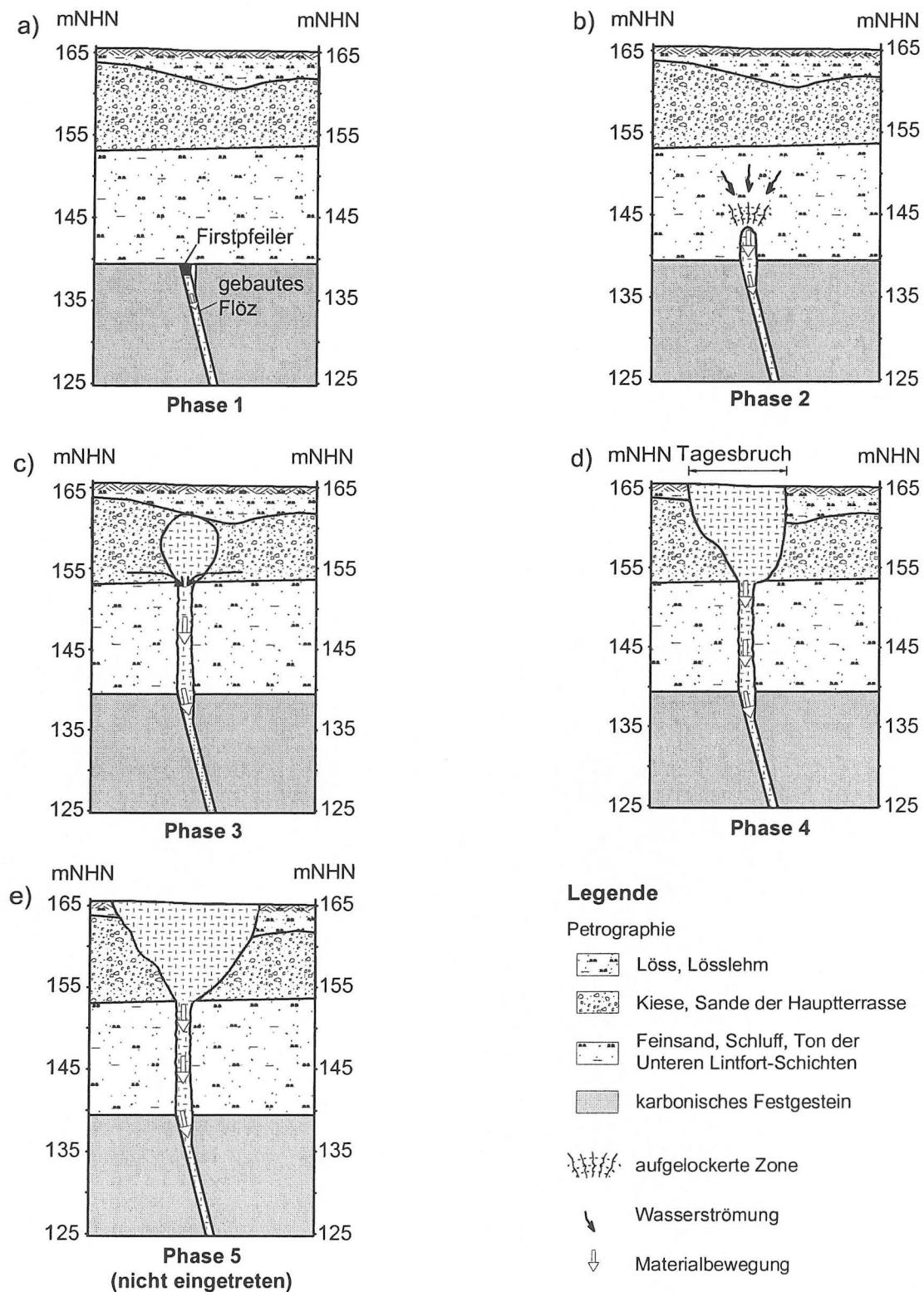


Abb. 7: 5 Phasen-Verbruchmodell für das Wurmrevier (HEITFELD ET AL., 2005b).

Fig. 7: 5 phases collapse model for the mining district of the river Wurm (HEITFELD ET AL., 2005b).

4.2 Quantitatives Berechnungsmodell

Im Folgenden werden die zunächst qualitativen Modellvorstellungen zum Verbruchgeschehen im Lockergestein oberhalb der abgebauten Steinkohlenflöze theoretisch belegt und unter Berücksichtigung umfangreicher Laborergebnisse in ein quantitatives Tagesbruchmodell weiterentwickelt. Dieses neue Modell basiert auf an gefallenen Tagesbrüchen beobachteten Scherflächen und somit auf Bruchwinkel anstelle von Einwirkungswinkel.

Die gefährdete Breite an der Oberkante des karbonischen Festgestein ist ein maßgebender Eingangsparameter für die Abschätzung der Tagesbruchgeometrie im Lockergestein. Die Abschätzung dieser Breite an der Karbonoberfläche erfolgt auf der Grundlage von HOLLMANN & NÜRENBERG (1972); hierauf wird an dieser Stelle nicht eingegangen.

Die maximal zu erwartende Tagesbruchbreite an der Geländeoberfläche setzt sich aus der Breite des Erosionschlotes innerhalb der bindigen Unteren Lintfort-Schichten und der seitlichen Ausdehnung des Hohlraumes innerhalb der Terrassensedimente zusammen.

In Streichrichtung der Flöze ist der Gefährzungsbereich theoretisch unbegrenzt; tatsächlich wird er von der Art und Reichweite der Abbauhohlräume sowie den lokalen geologisch-tektonischen Verhältnissen bestimmt.

Für eine realistische Abschätzung der maximalen Gesamtbreite des Gefährzungsbereiches quer zum Flözstreichen muss das neue Modell insbesondere die Verbruchgeometrie innerhalb der Terrassensedimente zutreffend beschreiben.

Als Grenzbedingung für den seitlich fortschreitenden Verbruch innerhalb der Terrassensedimente wird der Zustand des plastischen Gleichgewichtes zugrunde gelegt. Unter bruchauslösender Last entstehen im aktiven Rankine-Bereich konjugierte Gleitflächen unter einem Winkel von $\beta = 45^\circ + \varphi'/2$ gegen die Horizontale. Innerhalb dieses plastischen Bereiches kommt es zum Zonenbruch.

In Abb. 8 sind solche Gleitflächen dargestellt. Der Grenzzustand und damit der Bruch tritt dann ein, wenn die durch die Kohäsion c' und den Winkel der inneren Reibung φ' definierte Schergerade von dem durch die beiden Hauptspannungen (Vertikalspannung σ_1 und Horizontalspannung σ_3) gegebenen Spannungskreis geschnitten wird.

Dabei hat weder die Größe der Kohäsion c' einen Einfluss auf die Neigung der Gleitflächen (s. Abb. 8a, Spannungskreise A und B und zugehörige Gleitflächen) noch der Spannungszustand (s. Abb. 8b, Spannungskreise B und C und zugehörige Gleitflächen) und somit die Teufelage.

Die bodenmechanische Begründung dafür, dass der Verbruch innerhalb der Unteren Lintfort-Schichten keine maßgebliche seitliche Ausdehnung erfährt, während in

den nichtbindigen Terrassensedimenten mit einem seitlichen Fortschreiten des Bruchprozesses gerechnet werden muss, wird im Folgenden anhand von Darstellungen der Mohr-Coulomb'schen Fließbedingung für verschiedene Schichtglieder und Teufen gegeben.

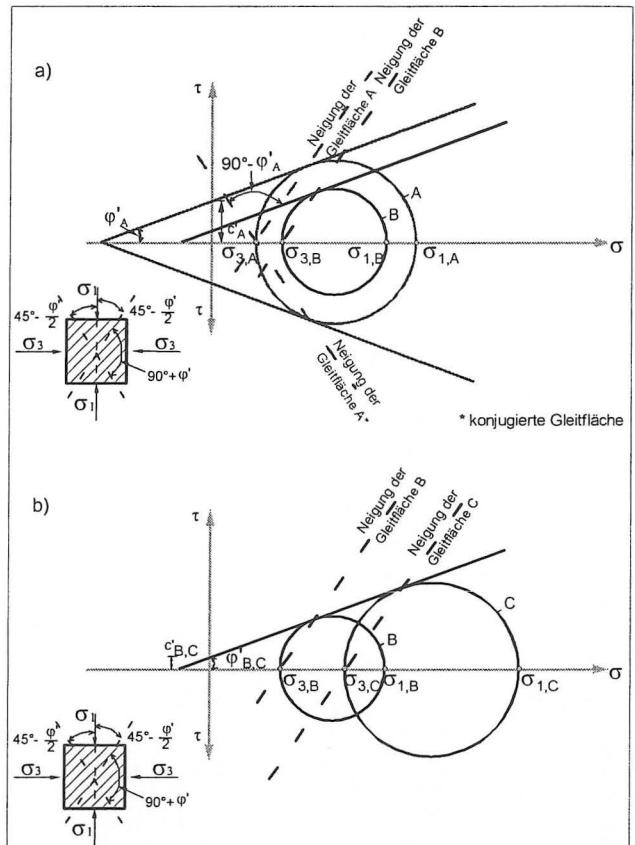


Abb. 8: Mohr-Coulombsche Fließbedingung.
Fig. 8: Mohr-Coulomb failure criterion.

In Abb. 9 sind Spannungskreise für die Unteren Lintfort-Schichten in Teufen von 10 m und 20 m dargestellt; vereinfachend wurde die Wichte des Bodenmaterials mit 20 kN/m³ und der aktive Erddruck horizontal angenommen sowie die Vertikalspannung aus der Wichte des überlagernden Bodens berechnet. Die Schergerade wurde auf der Grundlage der Ergebnisse von Laborversuchen an Proben aus den Unteren Lintfort-Schichten konstruiert.

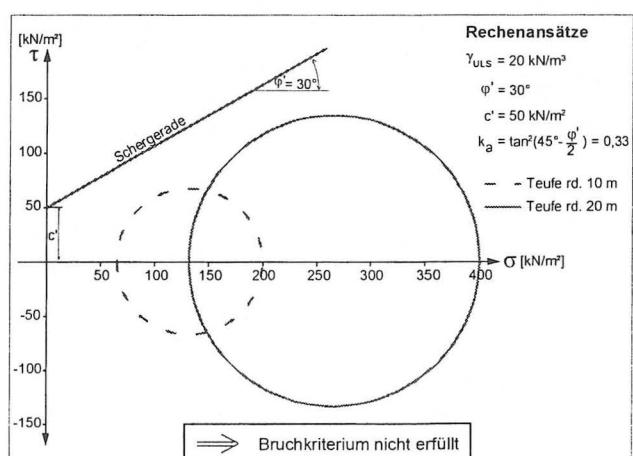


Abb. 9: Mohr-Coulombsche Fließbedingung für die Unteren Lintfort-Schichten.
Fig. 9: Mohr-Coulomb failure criterion for the Lower Lintfort Formation.

Im Vergleich dazu sehen die Lage der Schergeraden und die Spannungsverhältnisse in den Terrassensedimenten grundlegend anders aus. In Abb. 10 sind Spannungskreise für 5 m und 10 m Teufe dargestellt. Das Bruchkriterium ist in beiden Fällen erfüllt, da die Schergerade durch die Spannungskreise geschnitten wird. Als Folge kommt es innerhalb der Terrassensedimente zu einem Verbruch. Dieser schreitet unter einem Winkel von $\beta = 45^\circ + \varphi'/2$ auch seitlich fort, bis eine senkrechte Scherfuge durch die im Hangenden verbliebenen Terrassensedimente und den Lösslehm bis zur Geländeoberfläche auftritt. Dies belegt, dass die Mächtigkeit der Terrassensedimente maßgebend für den maximal zu erwartenden Durchmesser des Tagesbruches ist.

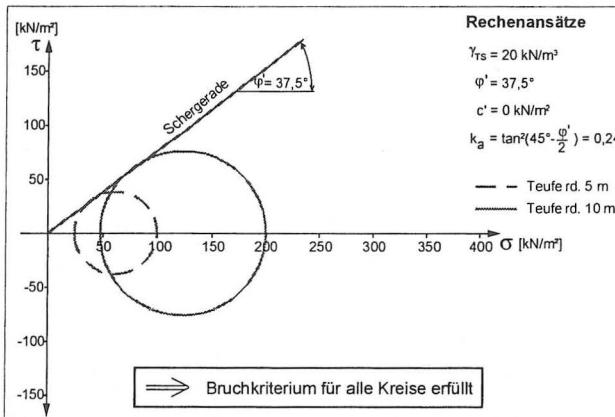


Abb. 10: Mohr-Coulombsche Fließbedingung für die Terrassensedimente

Fig. 10: Mohr-Coulomb failure criterion for the sediments of the river Maas.

Diese theoretischen Betrachtungen führen zu dem in Abb. 11 dargestellten Berechnungsmodell.

In der Abb. 11 und der Formel (1) ist

- $B_{GOK, max}$: Maximale Tagesbruchbreite an der Geländeoberfläche quer zum Flözstreichen [m]
- B_{ULS} : Breite des Hochbruches an der Oberkante der Unteren Lintfort-Schichten [m]
- $M_{Terrasse}$: Mächtigkeit der Terrassensedimente [m]
- φ' : Winkel der inneren Reibung der Terrassensedimente [°]

Die aus dem Modell entwickelte Formel zur Abschätzung der maximalen Tagesbruchbreite quer zum Flözstreichen lautet:

$$B_{GOK, max} = 2 * M_{Terrasse} \tan(45^\circ - \varphi'/2) + B_{ULS} \quad (1)$$

Die tatsächlich auftretende Tagesbruchbreite hängt davon ab, wann der senkrechte Scherbruch durch den Lösslehm eintritt; die Tagesbruchbreite kann dadurch auch kleiner als $B_{GOK, max}$ ausfallen.

In der angegebenen Formel (1) sind noch keine Sicherheitsfaktoren enthalten. Sie ist daher ausdrücklich **nicht** für die konkrete Ausweisung von Gefährdungsbereichen in der Praxis geeignet; entsprechend weiterentwickelte

Formeln werden jedoch zeitnah veröffentlicht werden (s. Kap. 6).

Das vorgestellte Modell wurde durch die Rückrechnung mehrerer großer Tagesbrüche im Wurmrevier überprüft (HEITFELD ET AL., 2005b). Die Abweichungen zwischen dem Berechnungsergebnis und den tatsächlichen Tagesbruchbreiten lagen maximal bei 2 m. Die Prognose lieferte dabei meist geringfügig größere Werte als die realen Tagesbruchabmessungen. Die Übereinstimmung zwischen Berechnungsmodell und Realität ist somit sehr gut.

Anwendungsvoraussetzung für das Prognosemodell ist u.a., dass ein ähnlicher Untergrundaufbau vorliegt und dieser durch qualitativ geeignete Untersuchungsbohrungen (das heißt Kernbohrungen mit Gewinnung von Proben der Güteklassen 1 bis 2 nach DIN 4021) erkundet wird.

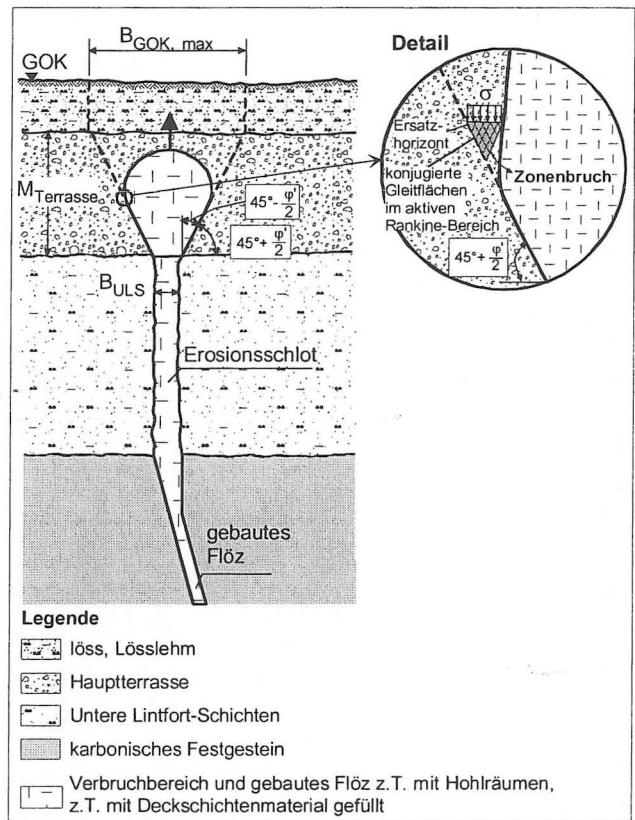


Abb. 11: Bodenmechanisches Berechnungsmodell (HEITFELD ET AL., 2005b)

Fig. 11: Soil mechanical collapse feature model (HEITFELD ET AL., 2005b).

5 Übertragung des Modells auf Schächte

Die Verbruchmechanismen bei Schächten entsprechen aufgrund der in der Regel annähernd kreisförmigen oder quadratischen Schachtquerschnitte dem räumlichen Fall der oben dargestellten Verbruchmechanismen. Die Erfahrungen im Wurmrevier und anderen Regionen belegen, dass auch im räumlichen Erddruckfall innerhalb von nichtbindigen Terrassensedimenten ein seitlich voranschreitender Verbruch auftritt.

MATSOUKA & NAKAI (1983) haben die Lage der Scherflächen im Raum untersucht. Ihre Analysen ergaben räumliche Gleitflächen, die mit den Raumachsen eben-

falls jeweils einen Winkel von $45^\circ + \varphi'/2$ einnehmen. Dabei werden für unterschiedliche Raumrichtungen unterschiedliche Reibungswinkel angesetzt. Die Raumstruktur der Terrassensedimente weist jedoch keine bevorzugte Ausrichtung auf; eine solche Unterscheidung kann hier daher entfallen.

Grundsätzlich sind für die alten Schächte im Wurmrevier die nachfolgend diskutierten Versagensfälle denkbar.

a) Schacht mit Füllsäulenabschnitt, intaktem Schachtausbau und Lockergesteinsüberdeckung (s. Abb. 12)

Zunächst wird davon ausgegangen, dass in den alten Schächten zumindest im oberen Bereich noch eine Füllsäule und ein intakter Schachtausbau vorhanden sind.

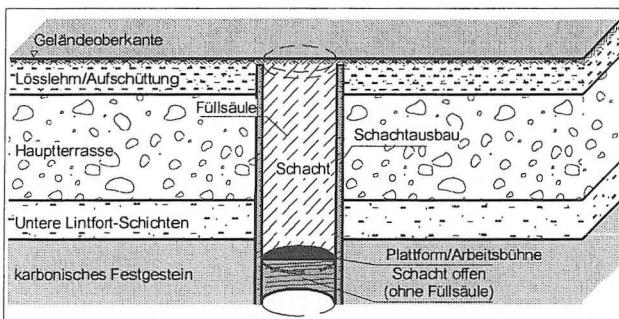


Abb. 12: Schacht mit Füllsäule.

Fig. 12: Shaft with filling.

Falls die Lockermassen-Füllsäule bei noch vorhandenem Schachtausbau abgeht, kann sich an der Oberfläche unmittelbar ein Tagesbruch bilden, dessen Abmessungen nicht wesentlich über den Schachtdurchmesser hinausgehen (s. Abb. 13); es handelt sich um einen insgesamt günstigen Schadensfall.

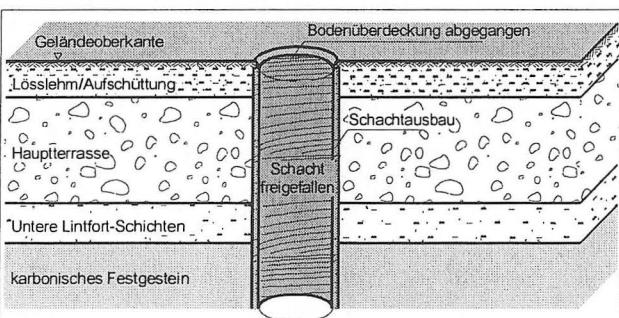


Abb. 13: Freigefallener Schacht mit intaktem Schachtausbau.

Fig. 13: Empty shaft with intact shaft support.

b) Freigefallener Schacht mit intaktem Schachtausbau und frei tragender Überdeckung

Denkbar ist dabei auch, dass der freigefallene Schacht noch über einen begrenzten Zeitraum unter einer geringmächtigen frei tragenden Überdeckung verborgen bleibt, zum Beispiel unter einer Asphalt- oder Stahlbetondecke. Sofern diese Asphalt- oder Stahlbetondecke oder eine anderweitige „Bewehrung“ der Bodenüberdeckung über den Gefährdungsbereich hinausreichen, sind größere Einwirkungsbereiche betroffen, die weiterhin entsprechend der bisher üblichen Vorgehensweise unter einem

Einwinkelwinkel von $\delta_E = 45^\circ$ abgeschätzt werden sollten.

c) Schacht mit defektem Schachtausbau bzw. ohne Schachtausbau (s. Abb. 14)

Nachfolgend soll ein weiterer ungünstiger Fall mit großen Tagesbruchabmessungen an der Geländeoberfläche diskutiert werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Schachtwand im Bereich des Lockergesteines des umgebenden Bodens ihre tragende Wirkung verliert, während die Schachtfüllsäule selbst zunächst noch stabil bleibt.

Wenn zum Beispiel beim Verrottungsprozess eines Holzausbaus ein Hohlraum zwischen der Füllsäule und dem umgebenden Boden entsteht, kann beim Versagen der Plattform, die in diesem Fall die ganze Last der Füllsäule tragen muss, ein Tagesbruch auftreten. Im günstigsten Fall entsprechen die Tagesbruchabmessungen den Abmessungen des Schachtes.

Es ist jedoch auch denkbar, dass sich im Laufe des Verrottungsprozesses des Schachtausbaus das umgebende Erdreich aufgrund des Erddruckes in Richtung der Füllsäule bewegt, so dass die Füllsäule durch Reibungskräfte mit dem umgebenden Erdreich weiterhin gehalten wird. Sind diese Reibungskräfte ausreichend groß, kann die Plattform unterhalb der Füllsäule verrotten, ohne dass diese dabei abgeht.

Findet aber eine Erosion der Füllsäule von unten nach oben statt oder kommt es zu ungünstigen Spannungsumlagerungen im Erdreich, das an den Schachtausbau angrenzt, so kann es hier, wie im Modell der Tagesbrüche über Flözausbissen geschildert, innerhalb der nichtbindigen Terrassensedimente zu einer seitlichen Aufweitung des Hohlraumes in Form eines unter dem Bruchwinkel $\beta = 45^\circ + \varphi'/2$ geneigten Trichters kommen (s. Abb. 14). Im Bereich des Lösslehms bildet sich wieder eine senkrechte Scherfuge aus; es entsteht ein Tagesbruch, dessen maximale Abmessungen nach dem hier vorgestellten Ansatz abgeschätzt werden können.

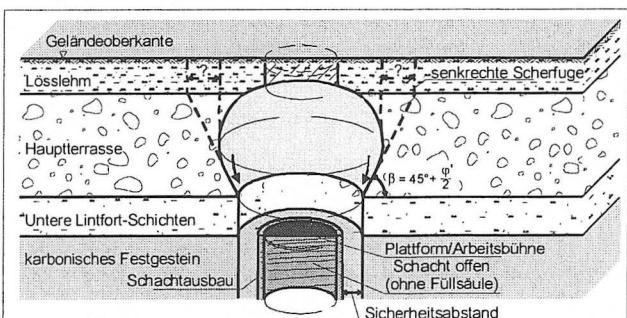


Abb. 14: Schacht mit Bruchtrichter in den Terrassensedimenten.

Fig. 14: Shaft with collapse funnel in sediments of the river Maas.

Diese Betrachtungen zeigen, dass bei unterschiedlichen Versagensarten der alten Schächte auch mit unterschiedlichen Gefährdungsbereichen bzw. Tagesbruchabmessungen gerechnet werden muss.

Im günstigsten Fall entsteht über einem alten Schacht ein Tagesbruch mit Abmessungen, die etwa dem lichten Schachtdurchmesser entsprechen; im ungünstigsten Fall bildet sich ein Tagesbruch aus, der dem über einem tagesnah abgebauten Flözbereich entspricht.

Für die Ausweisung von Gefährzungsbereichen müssen die ungünstigsten Verhältnisse berücksichtigt werden. Im vorliegenden Fall ergeben sich somit bei einem Schachtdurchbruch Tagesbruchabmessungen, die den Gefährzungsbereichen bei tagesnah abgebauten Flözen entsprechen. Das hier vorgestellte Verbruchmodell und der darauf basierende bodenmechanische Modellansatz sind somit auch auf Tagesbrüche im Bereich von Schächten übertragbar; sie können der zukünftigen Abschätzung von Schachtschutzbereichen im Wurmrevier zugrunde gelegt werden.

6 Ausblick

Eine ausführliche Veröffentlichung im Rahmen einer Dissertation ist derzeit in Vorbereitung (MAINZ, 2007). Darin wird auch ein Formelwerk für die praktische Anwendung des Modells veröffentlicht.

In der Vergangenheit wurden bereits durch die Bergbehörden im Wurmrevier Gefährzungsbereiche im Bereich ausstreichender Steinkohlenflöze sowie von Schächten ausgewiesen. In Zukunft können diese Gefährzungsbereiche auf der Grundlage des vorgestellten Verbruchmodells unter Beachtung der Anwendungsvoraussetzungen projektbezogen und schrittweise an die neuen Modellvorstellungen angepasst werden.

Dabei können die Gefährzungsbereiche und Schachtschutzzonen im Vergleich zum bisherigen Modellansatz der Bergbehörden in Abhängigkeit vom Aufbau des Lockergesteins zum Teil erheblich reduziert werden. Viele Grundstücksflächen, die bisher nicht wirtschaftlich bebaut waren, können auf der Grundlage der neuen Modellansätze einer Nutzung zugeführt werden. Auf diese Weise wird ein maßgebliches Investitionshemmnis für das Flächenrecycling in den entwicklungsbedingt meist strukturschwachen Altbergbaufolgelandschaften entscheidend verringert.

Der Vergleich der Modellansätze für Locker- und Festgestein zeigt auf, dass im Fels wegen der begrenzten Erkundungsmöglichkeiten, der Unsicherheit über die tatsächlichen Abmessungen und Bedingungen in den ehemaligen Abbaugebieten und Strecken sowie der starken Wechselhaftigkeit in der Gebirgsausbildung, insbesondere in der Verwitterungs- und Auflockerungszone, Voraussagen mit größeren Unsicherheiten behaftet sind als im Lockergestein. Daher resultieren auch Unsicherheiten über die Ausdehnung und Gebirgsausbildung des Firstpfeilers und über die Standsicherheit der hangenden Gebirgsschichten über offenen Abbauen bei den bisher entwickelten Modellvorstellungen.

Das vorgestellte Modell bietet grundsätzlich für all jene Altbergaugebiete, in denen Deckgebirge in der Größenordnung von etlichen Metern bis zu einigen Zehner-Metern über dem Fels liegt, ein Werkzeug, um die bisher

wenig beachtete Lockergesteinsüberdeckung in die Beitrachtungen zur Stabilität des Geländes und zur Ausweisung von Gefährzungsbereichen mit einzubeziehen.

Im Rahmen zukünftiger Arbeiten sollte untersucht werden, wie weit der vorgestellte Modellansatz auch auf andere Altbergbaureviere mit ähnlichen Deckgebirgsverhältnissen (z.B. das südliche Ruhrgebiet) übertragbar ist.

Literatur

- BERGAMT DÜREN (1999): Fotodokumentation des Tagesbruches Mühlenbach.- Düren.
- BEZIRKSREGIERUNG ARNSBERG (1991): Besondere Hinweise beim Vorhandensein verlassener Tagesöffnungen.- 7 S., 2 Abb.; Dortmund.
- HEITFELD, M., MAINZ, M. & SCHETELIG, K. (2005a): Post Mining Hazard Assessment in North Rhine-Westphalia (Germany) at the Example of the Aachen Hard Coal Mining District.- GISOS 2005, 12 S., 11 Abb., 1 Tab.; Nancy.
- HEITFELD, M., KRINGS, K., MAINZ, M. & SCHETELIG, K. (2005b): Ein Modell zur Prognose von Einwirkungsbereichen des tagesnahen Altbergbaus auf Steinkohle für das Aachener Wurmrevier. In: 5. Altbergbau-Kolloquium: 25-41, 9 Abb., 1 Tab.; Essen.
- HEITFELD, M., KLÜNKER, M., MAINZ, M. & SCHETELIG, K. (2006): Risk of collapse features from near surface cavities in old mining cities.- IAEG 2006, 13 S., 12 Abb., 2 Tab.; Nottingham.
- HOLLMANN, F. & NÜRENBERG, R. (1972): Der "Tagesnahe Bergbau" als technisches Problem bei der Durchführung von Baumaßnahmen im Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebiet.- Mitt. d. Westf. Berggewerkschaftskasse, H. 30, 39 S., 10 Abb.; Bochum.
- LÖBEL, K.H. & SROKA, A. (2001): Markscheiderische Modelle für die Prognose von stetigen und unstetigen Verformungen an der Tagesoberfläche. In: 1. Altbergbau-Kolloquium: 71-84, 8 Abb.; Essen.
- MAINZ, M. (2007): Geotechnische Modellvorstellungen zur Abschätzung von Gefährzungsbereichen des Altbergbaus und Schachtschutzzonen im Aachener Steinkohlenrevier. Dissertation an der RWTH Aachen (in Vorbereitung); Aachen.
- MATSOUKA, H. & NAKAI, T. (1983): Shear behaviours of sand and clay under three dimensional stress condition.- Soils and Foundations; B. 32, H. 2: 26-42; Tokyo.
- PENZEL, M. (1980): Bemerkungen zur Erdfallgenese in Auslaugungsgebieten aus geomechanischer Sicht.- In: Neue Bergbautechnik 10, Nr. 1: 15-19, 10 Abb., VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie; Leipzig.
- WELZ, A. (2001): Vorgehensweise bei der Grundlagenerarbeitung für die Untersuchung und Sicherung der Tagesoberfläche in Altbergaugebieten am Beispiel „Bochum-Höntrop“.- 1. Altbergbau-Kolloquium: 58-62, 3 Abb.; Essen.