

Einsatz der Beobachtungsmethode zur Standsicherheitsuntersuchung setzungsfließgefährdeter Böschungen in der Lausitz

Dipl.-Math. Dr.-Ing. Wilfried Hüls,
Dipl.-Ing. Uwe Knobloch, G.U.B.
Ingenieurgesellschaft mbH, Zwickau,
Dipl.-Geol. Dr.rer.nat Ralf Plinninger
und Dipl.-Ing. Rolf d'Angelo, IFB
Eigenschenk GmbH, Deggendorf

Das Landschaftsbild der Lausitz wird vom Braunkohlentagebau und dessen Bergbaufolgelandschaften geprägt. Die entstandenen Kippenböschungen sind bedingt durch die geologischen Verhältnisse zum großen Teil jedoch setzungsfließgefährdet. Eine Sanierung dieser Areale mittels in Spreng- oder Rütteldruckverdichtung hergestellten Dämmen ist vielfach einzige Möglichkeit zur dauerhaften Sicherung. Beim hier vorgestellten Fall des Restlochs Morka/Silbersee steht eine derartige Sanierung im Gegensatz zum Schutz der Jahrzehnte alten, nachbergbaulichen Fauna und Flora und der mittlerweile entstandenen Nutzung als Erholungsgebiet. Die Umsetzung der Beobachtungsmethode mit so genannten „Initialeintragsversuchen“, bei denen die Reaktion des Bodens auf kontrolliert eingebrachte Erschütterungen gemessen wird, stellt hier ein effektives Mittel zur Untersuchung und Bewertung des tatsächlichen Gefährdungspotenzials dar.

Das Niederlausitzer Braunkohlenflöz im Bereich der Bundesländer Brandenburg und Sachsen wird seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts überwiegend im Tagebau abgebaut. Ziel des Abbaus sind die im Mittel 12 m mächtigen abbauwürdigen Braunkohlenflöze zunächst des ersten, später des zweiten Lausitzer Flözhorizonts. Diese Flöze sind stratigraphisch dem mittleren Miozän mit einem Alter von etwa 15 bis 20 Mill. Jahren zuzurechnen. Das Flöz lag in einer Tiefe von rund 40 bis 100 m und war in limnisch-fluviatilen Folgen von Feinsanden, Schluffen und Tonen eingebettet.

Eiszeitliche Erosionsrinnen gliedern die Flözhorizonte in eine Vielzahl von Teilfeldern. Infolge der erosiven Auflagerung erreichen die limnischen und glazilimnischen quartären Ablagerungen aus Geschiebemergeln, Schmelzwassersanden, Kiesen, Schluffen, Tonen und Torfen stark wechselnde Mächtigkeiten zwischen 10 und über 150 m.

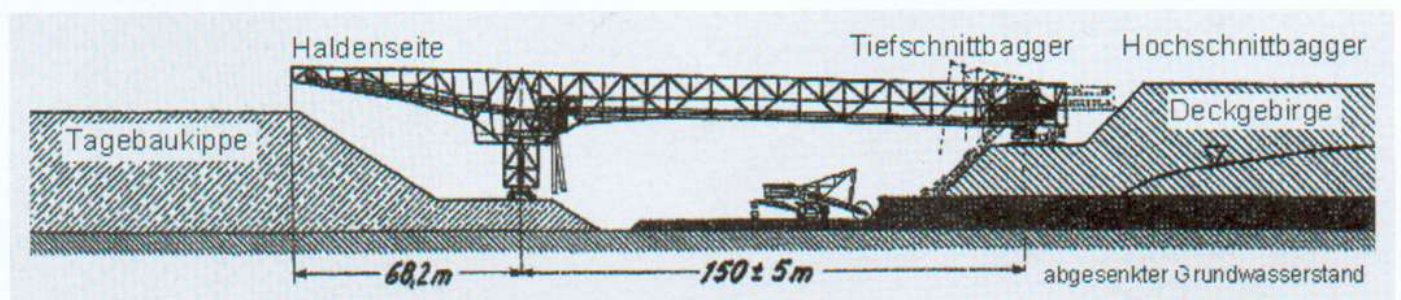
Zum Freilegen des Braunkohlenflözes wurde das gebietsweise nahezu auf Geländeneiveau anstehende Grundwasser bis unter das Liegende der Kohle abgesenkt, danach das Deckgebirge abge-

tragen, über den offenen Tagebau mittels Bandförderung transportiert und im freien Fall verkippt (Bild 1). Die Tagebaue erreichen dabei Tiefen von bis zu 120 m. Nach Ende des Bergbaus und mit Wiederanstieg des Grundwassers entstanden aus den Tagebaurestlöchern Seen beziehungsweise befinden sich diese derzeit in der Flutungsphase.

Die in den gekippten Uferböschungen der Gewässer anzutreffenden umgelagerten Sande sind aufgrund ihrer Korngrößenverteilung und Kornform sowie der Oberflächentextur der Körner bei lockerer Lagerung und Wassersättigung als verflüssigungsgefährdet einzustufen (FÖRSTER et al., 1989; FÖRSTER/GUDEHUS et al., 1998). Bleiben diese Sande unverdichtet, besteht die Gefahr, dass durch Erschütterung („Initial“) die Lagerungsstruktur des Korngerüsts derart gestört wird, dass die Korn-zu-Korn-Kontakte und schließlich die Scherfestigkeit des Materials verloren gehen (REDLICH et al., 1929).

Das bedeutet, dass die aus der Überdeckung resultierende Vertikalspannung vorübergehend über das Porenwasser abgetragen werden muss. Die hierbei entstehenden Porenwasserüberdrücke

Bild 1. Schematischer Schnitt durch einen Braunkohlentagebau.



führen zur Bildung eines verflüssigten Boden-Wasser-Luft-Gemischs, das kaum Scherkräfte aufnehmen kann. An Böschungen wird infolgedessen eine Rutschung ausgelöst, die eine neue Initialwirkung hervorruft und eine weitere Ausweitung der verflüssigten Zone bewirken kann.

Die Rutschung tritt ohne vorherige Anzeichen auf und kann plötzlich große Bereiche bis zu mehreren Hundert Metern ins Hinterland erfassen. Die danach meist nahezu horizontal abgelagerten Massen in den ausgeflossenen Bereichen dokumentieren, dass die Restscherfestigkeit der ausgeflossenen Massen in der Größenordnung von $\phi = 0,5$ bis 3° liegen muss (Bild 2). Triaxialversuche (CU-Versuche) bestätigen das kritische Verflüssigungsverhalten der angetroffenen Böden (G.U.B., 2005a).

Die Beseitigung der Setzungsfließgefahr kann im Wesentlichen nur durch extremes Abflachen der Uferböschungen oder durch Verdichten der anstehenden Kippenböden erfolgen. Verdichtung durch Sprengen ist als wirtschaftliches Verfahren anzusehen, wegen den auftretenden Erschütterungen und Druckwellen jedoch nicht immer einsetzbar.

Mittels Rütteldruckverdichtung (RDV) können Kippen mit Mächtigkeiten bis über 50 m verdichtet werden. Hergestellt wird ein meist uferparalleler „versteckter Damm“ mit einer Breite von etwa 50 bis 150 m.

Setzungs- und setzungsfließgefährdete Kippenbereiche umfassten in der Lausitz zusammengekommen eine Böschungslänge von insgesamt rund 400 km. Ein erheblicher Anteil wurde bereits saniert und einer neuen Nutzung übergeben (LMBV, 2004).

Untersuchungsareal

Das hier betrachtete Untersuchungsareal ist ein Teilbereich des ehemaligen Braunkohlentagebaus Werminghoff II (Bild 3). Der Tagebau Werminghoff II wurde von 1935 bis 1960 betrieben und beanspruchte eine Fläche von rund 745 ha. Das im Sinn wasserbaulicher Vorgaben planmäßig geflutete Tagebaurestloch wird als „Speicherbecken Lohsa I“ seit 1972 wasserwirtschaftlich und fischereiwirtschaftlich genutzt. Ein Badestrand existiert am Südufer des Silbersees. Der westliche Teilsee trägt die Bezeichnung „Restloch Mortka“, der östliche Teilsee heißt „Silbersee“ (vgl. Bild 3). Ein Großteil der Uferbereiche beider Seen besteht aus Kippenböschungen.

Wegen der Verflüssigungsneigung der vorhandenen Materialien im Zusammenhang mit der nachgewiesenen lockeren und sehr lockeren Lagerung (Bild 4) besteht für die Kippenböschungen und für die Inselbereiche Setzungsfließgefahr. Die zahlreichen bereits eingetretenen Setzungsfließrutschungen belegen diese Gefahr. Böschungsbrüche und Setzungsfließrutschungen traten wäh-



Bild 2. Setzungsfließversagen im Vorfeld einer Rütteldruckverdichtung. Höhe der Abrisskante etwa 4 m. Der bereits verdichtete Damm links im Bild blieb erhalten.

rend des früheren Tagebaubetriebs (1935 bis 1960), im Rahmen der Flutung (1970 bis 1971) sowie während des Speicherbetriebs auf. Relativ geringe Böschungshöhen, der starke Bewuchs, die Liegezeit der Kippe und die Ablagerungen im Unter-

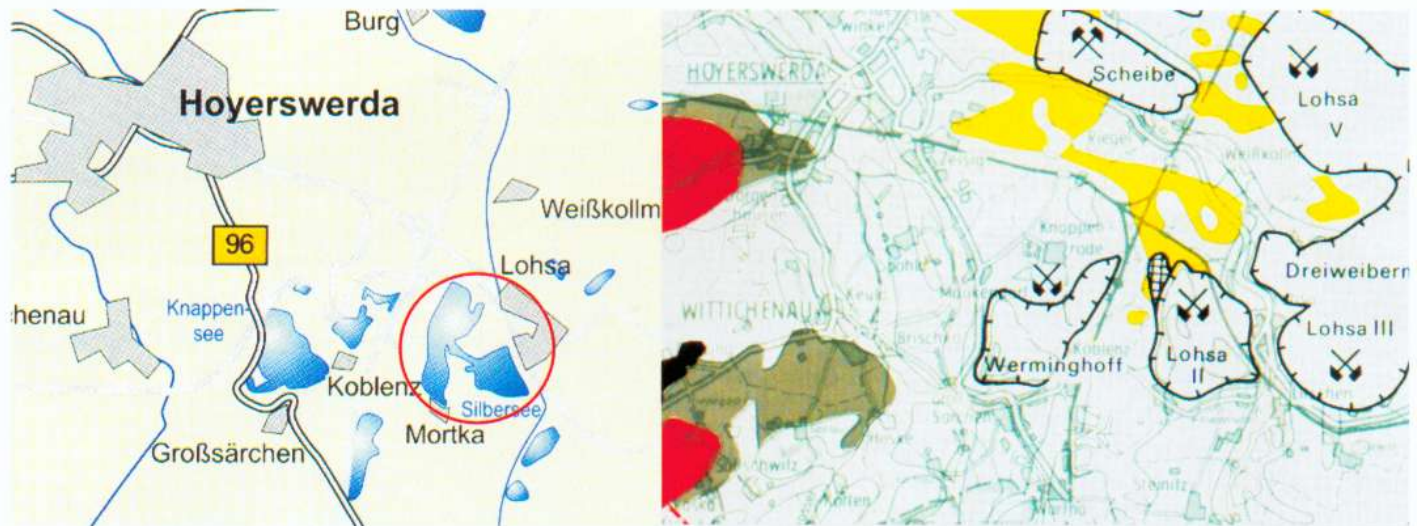


Bild 3. Topographische Übersicht über das Projektareal südöstlich der Stadt Hoyerswerda (links) und Lage der Alltagsbaue (rechts, aus: NOWEL, 1995).

Bild 4. Beispiel für Rammdiagramm (Sondierung mit der leichten Rammsonde DPL-5) in setzungsfließgefährdetem Areal. In den in sehr locker gelagerten, wassergesättigten Kippen-sanden dringt die Sonde unter ihrem Eigengewicht in den Boden ein.

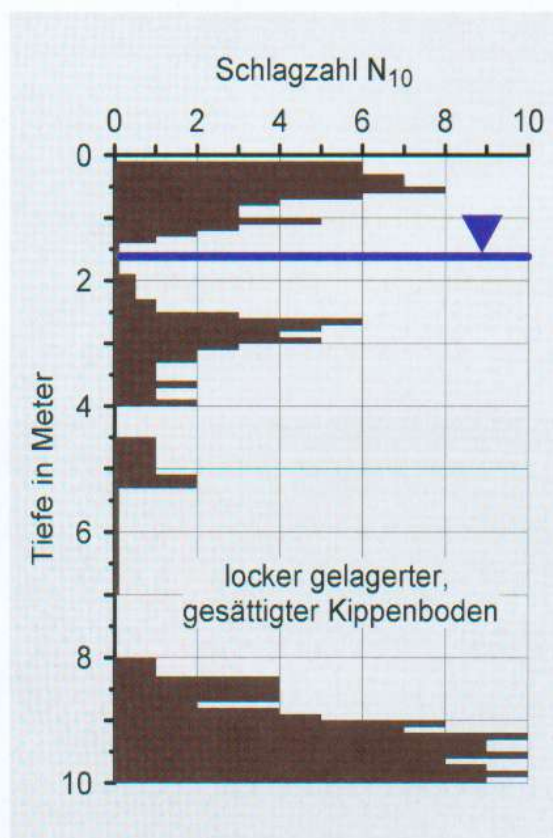


Tabelle 1. Schwinggeschwindigkeiten durch Initialeintrag von Personen und einem Jeep in Abhängigkeit von der Entfernung.

Initialeintrag durch	Koordinate	Schwinggeschwindigkeiten v [mm/s] in Abhängigkeit vom Abstand x von der Erregerquelle		
		$x = 0$ m	$x = 2$ m	$x = 4$ m
Vorbeifahrender Jeep auf unbefestigtem Weg, $v = 30$ km/h	x	–	0,2 ... 0,5	0,2 ... 0,3
	y	–	0,2 ... 0,4	0,2 ... 0,3
	z	–	0,2 ... 0,5	0,2 ... 0,3
Personengruppe (5 Personen), im Gleichtakt auf der Stelle springend	x	–	0,7 ... 0,9	0,5 ... 0,8
	y	–	0,8 ... 1,4	0,5 ... 0,9
	z	–	0,9 ... 1,5	0,5 ... 0,6
Personengruppe im Gleichtakt springend, um $x = 0$ herum aufgestellt	x	2,0 ... 2,4	0,03	0,03
	y	3,0 ... 4,2	0,05	0,03
	z	3,0 ... 3,8	0,06	0,03

wasserbereich der Böschungen mindern diese grundsätzlich bestehende Gefahr erfahrungsgemäß nicht.

Initiale für Setzungsfließrutschungen waren in der Vergangenheit mit großer Wahrscheinlichkeit Wasserströmungen und -drücke sowie Sackungen beim Grundwasserwiederanstieg. Schwingungseintrag durch Personen und Fahrzeuge sowie Brüche instabiler Böschungen können ebenso zu Setzungsfließen führen.

Im Fall eines Versagens der Böschungen beziehungsweise des Untergrunds sind gefährdet:

- ◇ Personen, Geräte und Objekte, die sich im Versagensbereich einer Böschung oder auf nicht tragfähigem, zur Verflüssigung neigendem Untergrund befinden,
- ◇ Personen und Objekte im gesamten Uferbereich der Wasserflächen einschließlich Badestrand durch Schwallwellen,
- ◇ Die Kippenböschungen und deren Hinterland,
- ◇ Fischereiwirtschaftliche Einrichtungen auf gewachsenen Böschungen im und am Wasser, Bootsstege,
- ◇ Die Böschungskonturen selbst,
- ◇ Der Auslaufkanal im Norden und der Verbindungsgraben zwischen Silbersee/Restloch Mortka und Silbersee, der durch Rutschungen abgesperrt werden könnte, sodass die Regulierung der Wasserstände behindert ist.

Die endgültige Sicherung der setzungsfließgefährdeten Kippen und Kippenböschungen kann nur durch technische Eingriffe in den Kippenkörper erreicht werden. Sowohl der Eingriff in die Natur als auch der wirtschaftliche Aufwand dafür sind erheblich. Bei einer vollständigen Sanierung der etwa 6 km langen Uferböschungen, zum Beispiel durch einen Rütteldamm mit etwa 15 Mill. m^3 zu verdichtendem Volumen, sind Baufeldfreimachung, Massenbewegungen und Neugestaltungen erforderlich. Im Rahmen dieser Arbeiten wäre eine vollständige Beseitigung des vorhandenen über 35-jährigen Baumbestands, Unterholzes und Uferbewuchses erforderlich. Weiterhin würde durch derartige Arbeiten der bestehende Fisch-

besatz einschließlich einer Maränenzucht gefährdet.

Zwischen dem Ziel der Gefahrenbeseitigung und dem Schutz der nach Stilllegung und Flutung des Tagebaurestlochs entstandenen Natur und Landschaft besteht somit ein Interessenkonflikt.

Das Gebiet des ehemaligen Tagebaus Werminghoff II mit seinen Randböschungen und der etwa 400 ha großen Wasserfläche wurde als „Landschaftsschutzgebiet Speicherbecken Lohsa I“ festgesetzt. Der Braunkohlenplan als Sanierungsrahmenplan gibt als Sanierungsziel vor, dass die bergbaulichen Sanierungsarbeiten so zu führen sind, dass die ausgewiesenen Flächennutzungen vollständig und dauerhaft gewährleistet sind. Eingriffe in die Natur und Landschaft sind dabei auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken (STUFA BAUTZEN, 2002).

Sanierungs- und Verhaltensanforderungen unter Berücksichtigung der derzeitigen beziehungsweise geplanten Nutzung können erst formuliert werden, wenn das ortsspezifische Materialverhalten ausreichend genau bekannt ist.

Empirische Beurteilung des Verflüssigungspotenzials mittels Initialversuchen

Als empirische Methode zur Einschätzung der tatsächlichen Verflüssigungsneigung sind daher

Initialversuche konzipiert und durchgeführt worden, bei denen die örtliche Reaktion des Untergrunds auf kontrolliert eingebrachte Erschütterungen beobachtet wird. Eine erstmalige erfolgreiche Anwendung dieser Methode erfolgte im Februar 2002 im Uferbereich „Koblenzer Strand“ am Knappensee, dem im Jahr 1945 unkontrolliert gefluteten ehemaligen Tagebau Werminghoff I (FÖRSTER, 2001).

Darauf aufbauend wurden im Herbst 2004 im Auftrag der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) durch die G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH (Planung, Begleitung, Auswertung) und die IFB Eigenschenk GmbH, (Mess-, Versuchs- und Sicherungstechnik) Initialversuche in großmaßstäblichem Rahmen durchgeführt. Die in insgesamt 23 charakteristischen Versuchsfeldern an den Uferbereichen des Restlochs Mortka und Silbersee durchgeführten Versuche standen dabei unter gutachterlicher Begleitung von Professor Förster.

Die Größe des im Versuch erforderlichen Initialintrags wurde auf Grundlage langjähriger Erfahrungen im Tagebau- und Kippenbetrieb (FÖRSTER et al., 1989; FÖRSTER/GUDEGUS et al., 1998; FÖRSTER, 2001) sowie gesonderten Recherchen und Messungen (Tabelle 1) bestimmt und schließlich festgelegt (G.U.B., 2005b).

Messungen der Schwinggeschwindigkeiten belegten, dass die registrierte Schwinggeschwindig-

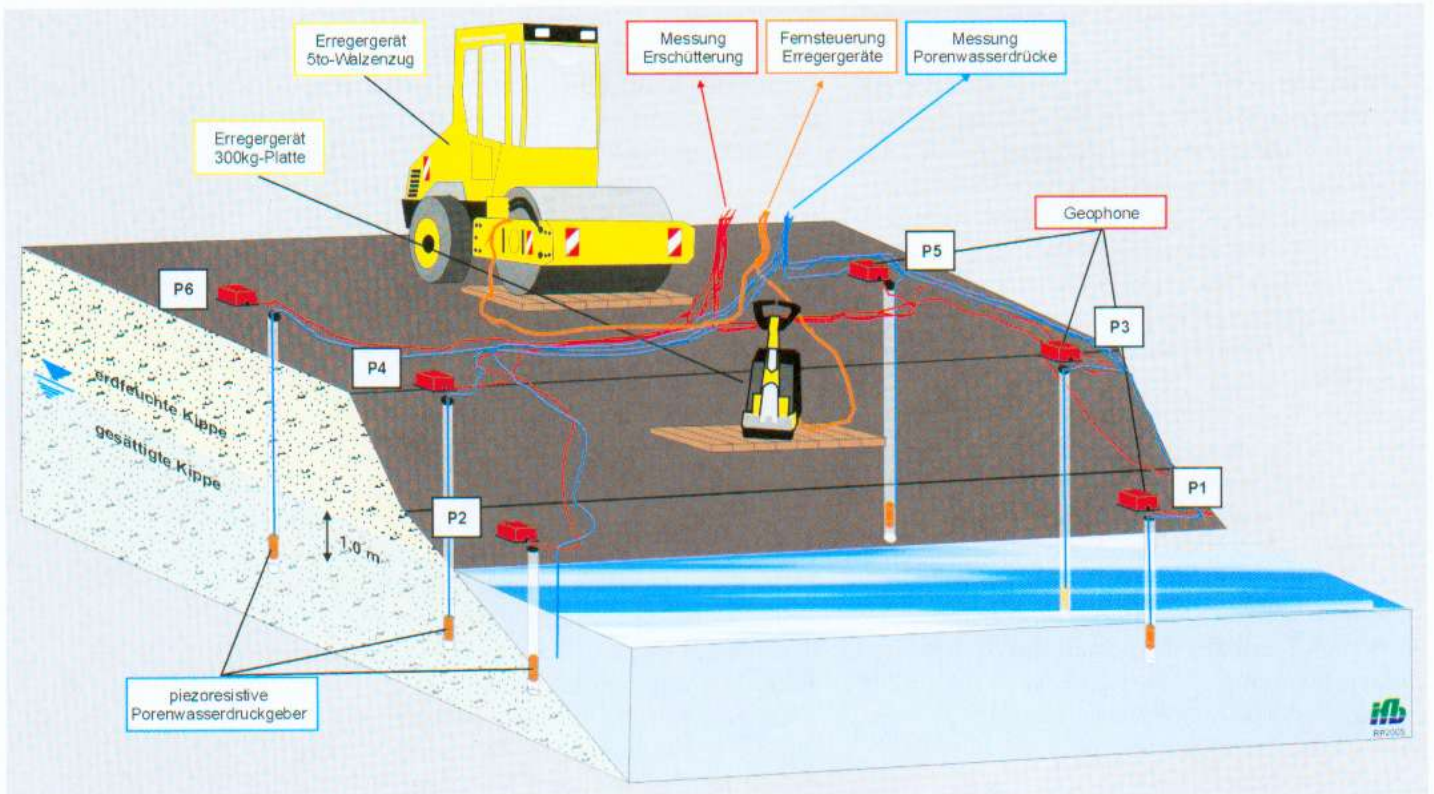


Bild 5. Schematische Darstellung der Versuchsfeldauslegung.

keit bei Anregung durch eine Rüttelplatte mit einem Betriebsgewicht von 320 kg deutlich über den gemessenen Schwinggeschwindigkeiten möglicher Initiale liegen. Der durch eine Rüttelplatte mit einem Betriebsgewicht von 80 kg erzeugte Schwingungseintrag ($v_{x,y,z} < 1,5 \text{ mm/s}$) war dagegen zu gering und diese Rüttelplatte deshalb als Erregergerät nicht geeignet.

Ein typischer Versuchsfeldaufbau (Bild 5) beinhaltete dabei folgende Komponenten:

- ⇒ Nachweis eines für die Verhältnisse repräsentativen Standorts durch Bodenerkundung und Laborversuche,
- ⇒ Einsatz von bis zu zwei ferngesteuerten Erschütterungsgeneratoren Rüttelplatte 320 kg, Vibrationswalzenzug 5 t,
- ⇒ Erschütterungsmesssystem aus bis zu sechs an der Oberfläche installierten Dreikomponenten-Geophonen SYSCOM MR 2002 sowie Auswerte- und Dokumentationseinheit,

⇒ Porenwasserdruckmesssystem aus bis zu sechs in den Untergrund eingedrückten, piezoresistiven Porenwasserdruckgebern INTERFELS mit Messbereich 0,0 bis 1,6 bar sowie Auswerte- und Dokumentationseinheit.

Zur Minderung der Gefahr, durch die Initialversuche Bodenverflüssigungen und Setzungsfließen auszulösen, wurden Sicherheitsauflagen erarbeitet. Dazu gehörten die Messung der Bodenreaktion mit Porenwasserdruckgebern und deren Sofortanzeige sowie die Fernsteuerung der Erregergeräte mit Schnellabschaltung beim Erreichen kritischer Porenwasserdrücke.

Um Gefährdungen für alle Beteiligten weiterhin zu minimieren, bestand für alle Arbeiten im Gefahrenbereich Schwimmwestenpflicht. Zum Ausschluss von Gefährdungen für beteiligte und unbeteiligte Personen wurden die Rüttelplatten und der Walzenzug einschließlich Schnellabschaltung vom Kontrollplatz aus ferngesteuert. Die zeitgleiche Anzeige und Kontrolle der registrierten Porenwasserdrücke und Schwinggeschwindigkeiten erfolgte ebenfalls am Kontrollplatz, der sich in einer Entfernung von 200 m von der Uferlinie beziehungsweise vom Versuchsplatz befand (Bild 6).

Vor Versuchsbeginn hatten alle Personen die festgelegten Bereiche am Ufer und im Hinterland zu verlassen. Sicherungsposten an Land stellten sicher, dass während der Versuchsdauer keine Unbeteiligten Gefahrenbereiche betraten. Ein auf einem Boot postierter Rutschungsbeobachter überwachte zusätzlich die im Uferbereich der Restlöcher durchgeführten Versuche während der gesamten Versuchsdauer.

Während des Versuchs selbst wurde mit varierten Erschütterungseinträgen und bei ständiger

Bild 6. Mobiler „Kontrollplatz“ vor Versuchsbeginn. Die Ergebnisse der Porenwasserdruck- und Erschütterungsmessungen laufen auf zwei Notebooks auf, ebenso werden von hier die 200 m entfernten Erregergeräte ferngesteuert.



Überwachung der Messergebnisse die Bodenreaktion gemessen und beurteilt. Überstieg der gemessene Porenwasserdruck im Boden den nach der Beziehung

$$u_c = \eta_u \cdot (\gamma h_{\text{crdf}} + \gamma' h_w) + (\gamma_w h_w) \dots\dots\dots [1]$$

mit

- γ Wichte der erdfeuchten Überdeckung,
- γ' Wichte des Bodens unter Auftrieb,
- γ_w Wichte des Wassers,
- h_{crdf} Dicke der erdfeuchten Überdeckung,
- h_w Höhe Messpunkt unter Wasserspiegel,
- η_u Verflüssigungsgrad, $\eta_u = 0,50$

den vorher definierten Wert, so war der Versuch zu unterbrechen (FÖRSTER, 2001).

Während der Versuche wurden beobachtet:

- ⇒ In 19 von 23 Versuchsfeldern wesentliche Änderungen des Porenwasserdrucks (Bild 7),
- ⇒ In 10 von 23 Versuchsfeldern grundbruchähnliche Absackungen der Erregergeräte (Bild 8), jedoch
- ⇒ Keine Setzungsfließrutschungen als wesentliches Versuchsergebnis.

Die gemessenen Porenwasserdruckänderungen während der Initialeinträge betrugen bis zu $\Delta u = 0,12$ bar.

Auf Grundlage der gemessenen Porenwasserdruckreaktionen, der Wasseraustritte aus den Sondierlöchern, Rissbildungen an der Oberfläche und Tragfähigkeitsverlusten ist einzuschätzen, dass die gekippten Uferbereiche am Restloch Mortka/Silbersee weiterhin vom Grundsatz her als setzungsfließgefährdet einzustufen sind. Bei Initialem, die über den in den Versuchen getesteten Größen oder Einwirkzeiten liegen, sind daher Bodenbewegungen beziehungsweise Bodenverflüssigungen mit nachfolgenden Setzungsfließrutschungen nicht auszuschließen. Zu diesen möglichen Initialeinträgen gehören zum Beispiel Fahrverkehr, Tätigkeiten größerer Personengruppen, Badebetrieb und Bautätigkeiten jeder Art. Deshalb wurden Verhaltensanforderungen aufgestellt und Absperrbereiche definiert, die sicherstellen, dass entweder unzulässige Initiale nicht verursacht oder Gefährdungen von Personen abgewendet werden.

Im Rahmen der gemäß Braunkohlenplan vorgesehenen Nutzung am Restloch Mortka/Silbersee ist ein Betreten der gekippten Uferbereiche durch unbefugte Personen nicht vorgesehen (STUFA BAUTZEN, 2002). Deshalb wird im Ergebnis der Untersuchungen zum Beispiel von der weiteren Nutzung der derzeit in diesem Bereich betriebenen Anglerstützpunkten abgeraten.

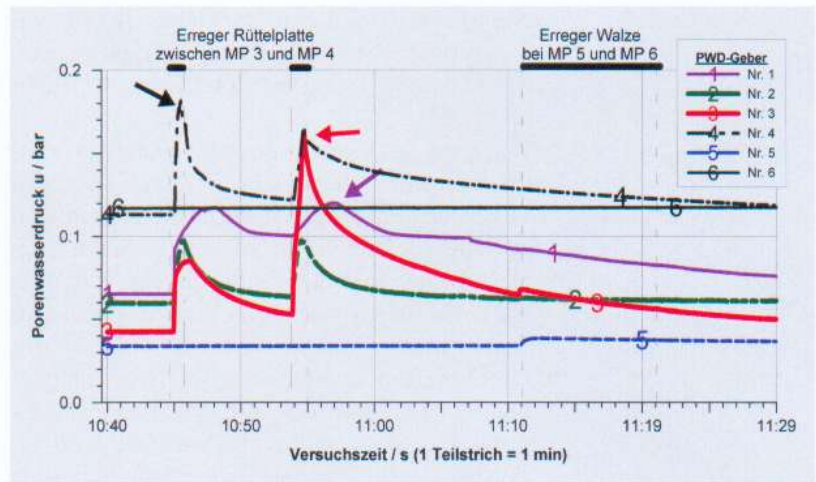


Bild 7. Beispiel für die Porenwasserdruckreaktionen während eines Versuchs mit mehreren Teilversuchen.

Bild 8. Beispiel für ein eingesacktes Versuchsgerät während eines Versuchs.

Mögliche Fehlinterpretationen der Porenwasserdruckmessungen

Im Idealfall wird mit dem Porenwasserdruckgeber die vermutete Bodenreaktion gemessen, die unter anderem mit folgenden potenziellen Fehlern belegt sein können:

- ⇒ Der Porenwasserdruckgeber gerät bedingt durch die dynamische Anregung in Eigenschwingung und zeigt fehlerhafte Messwerte an. Um derartige gerätetechnische Einflüsse auf das Messergebnis zu vermeiden, wurden einerseits piezoresistive Geber (anstatt Schwingsaiten-Geber) eingesetzt, andererseits ausreichende

Abtastraten vorgegeben. Die Porenwasserdruckmessungen in den Versuchsfeldern zeigen, dass die genannte Reaktion der Messgeber nicht stattfand.

- ◇ Während des Einbaus entsteht durch das Eindrücken ein Porenwasserüberdruck, der sich wegen begrenzter Dränagemöglichkeiten und lokal differierenden Durchlässigkeiten nur langsam abbaut. In diesem Fall ist es denkbar, dass während des Versuchs der registrierte Porenwasserdruck abfällt.
- ◇ Durch die begrenzte Durchlässigkeit des Kippenbodens stellt sich der statische Porenwasserdruck erst nach mehreren Stunden auch im Porenwasserdruckgeber ein. Deshalb wurde nach dem ersten Versuchsfeld E1 der Einbau der Porenwasserdruckgeber in weiteren Versuchsfeldern nachmittags und der Initialversuch am nächsten Tag vorgenommen, sodass über Nacht ein Ausgleich der Porenwasserdrücke erfolgen konnte.
- ◇ Durch den Einbau der Geber in den gesättigten Kippenboden wird die unmittelbare Umgebung des Gebers gestört. Dadurch sind lokal Materialverdichtungen mit geringeren Durchlässigkeiten möglich. Dadurch könnte der Geber Porenwasserdruckänderungen verzögert und kurzzeitige Extremwerte unzureichend registrieren.
- ◇ Während des Einbaus oder des Betriebs der Porenwasserdruckgeber werden die Wassereintrittsöffnungen und Filter zugesetzt. Weiterhin kann sich Luft im Messsystem befinden. Dadurch kann der Geber ebenfalls Porenwasserdruckänderungen verzögert und kurzzeitige Extremwerte nicht registrieren.
- ◇ Zwischen dem Gestänge zum Einbringen des Porenwasserdruckgebers und dem Boden verbleibt ein Spalt. Durch diesen Spalt kann Wasser bei ausreichendem Überdruck entweichen. Im Extremfall tritt Wasser an der Oberfläche aus. Über diese Dränagemöglichkeit besteht die Möglichkeit, dass der registrierte Porenwasserdruck niedriger ist als der im ungestörten Boden aufgetretene.

Aus den vorgenannten Überlegungen geht hervor, dass registrierte Porenwasserdruckanstiege während der Versuchsdurchführung die tatsächliche Porenwasserdruckreaktion eher unterschätzen.

Fazit

Die Umsetzung der Beobachtungsmethode bei so genannten „Initialeintragsversuchen“ stellt eine zielführende Möglichkeit dar, das tatsächliche Verflüssigungspotenzial setzungsfließgefährdeter Altbergbaubereiche in Abhängigkeit nutzungsspezifischer Einwirkungen auch bei heterogenen Verhältnissen einschätzen zu können. Die hierbei eingesetzte Versuchstechnik und zu Grunde lie-

gende Theorie hat sich als praktisch anwendbar erwiesen.

Mithilfe von Kalibrierungen, die zwischen den eingesetzten Erschütterungsgeneratoren und natürlich auftretenden Erschütterungsquellen wie dem Vorbeifahren eines Geländewagens oder springenden Menschen aufgestellt wurden, war mit der im Herbst 2004 im Bereich der Restlöcher Mortka und Silbersee durchgeführten Versuchsserie eine zielführende und effektive Beurteilung der Standsicherheit der ehemaligen Kippenbereiche möglich.

Als Fazit ist festzustellen, dass für den untersuchten Bereich eine potenzielle Gefährdung durch mögliche Bodenverflüssigungen und Setzungsfließrutschungen infolge eines hohen Initialeintrags weiterhin besteht.

Im Einklang mit dem Braunkohlenplan und unter Berücksichtigung allgemeiner Erfahrungen ist die Zielstellung weiterer Untersuchungen, Gefährdungen bei den vorgesehenen Nutzungen auszuschließen. Diese Zielstellung kann erfüllt werden, indem einerseits, falls erforderlich, nutzungsorientierte Sanierungsmaßnahmen durchgeführt und andererseits die festgelegten Verhaltensanforderungen eingehalten werden.

Quellennachweis

FÖRSTER, W. (2001): *Belastungsversuche Knappen-see*. Stellungnahme vom 28. März 2001.

FÖRSTER, W. (2005): *Besonderheiten bei Arbeiten in setzungsfließgefährdeten Bereichen*. Seminar zur Weiterbildung der vom Sächsischen Oberbergamt anerkannten Sachverständigen, TU Bergakademie Freiberg, 16./17. September 2005.

FÖRSTER, W. et al. (1989): *Beurteilung der Setzungsfließgefahr und Schutz von Kippen gegen Setzungsfließen*. Gemeinsame Forschungsgruppe Geotechnik des BKK Senftenberg und der Bergakademie Freiberg, Sektion Bergbau.

FÖRSTER, W. ; GUDEHUS, G. et al. (1998): *Beurteilung der Setzungsfließgefahr und Schutz von Kippen gegen Setzungsfließen*. LMBV mbH, TU Bergakademie Freiberg, Universität Karlsruhe.

G.U.B. (2005a): *Standsicherheitsuntersuchungen für die Tagebaurestlöcher Mortka und Silbersee sowie die Gleisanlagen des Bahnhofs Lohsa*. Zwickau, 2001-2005.

G.U.B. (2005b): *Auswertung von Initialversuchen 2004 und Fortschreibung der Standsicherheitseinschätzungen in Uferbereichen am Restloch Mortka und Silbersee (Tagebau Werminghoff II)*. Zwickau, 2005.

LMBV (2004): *Neue Ufer*. Sanierungsbericht 2004.

NOWEL, W. (1995): *Geologische Übersichtskarte 1:200.000 des Niederlausitzer Braunkohlereviere*. Lausitzer Braunkohle Aktiengesellschaft, 1995.

REDLICH, A. ; TERZAGHI, K. ; KAMPE, R. (1929): *Ingenieurgeologie*. Wien: Springer.

STUFA BAUTZEN (2002): *Braunkohlenplan Lohsa als Sanierungsrahmenplan für den stillgelegten Tagebau Lohsa, Eintritt der Verbindlichkeit am 01.03.2002*. Regionale Planungsstelle beim StUFA, Bautzen.