

# Standsicherheitsuntersuchung setzungsfließgefährdeter Böschungen mit Initialeintragsversuchen

Dipl.-Math. (Univ.) Dr.-Ing. Wilfried Hüls & Dipl.-Ing. (Univ.) Uwe Knobloch  
 G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Zwickau, Deutschland  
 email: info@gub-ing.de

Dipl.-Geol. (Univ.) Dr. rer. nat. Ralf J. Plinninger  
 IFB Eigenschenk GmbH, Deggendorf, Deutschland  
 email: mail@eigenschenk.de

## Zusammenfassung

In den vergangenen über Hundert Jahren prägte der Braunkohlenbergbau das Landschaftsbild der Lausitz. Bedingt durch die spezifischen geologischen Verhältnisse in den Abraumschnitten der Lausitzer Tagebaue sind die entstandenen Kippenböschungen zum großen Teil setzungsfließgefährdet. Um setzungsfließgefährdete Kippenböschungen zu sichern und damit ungewollte Böschungsbewegungen verhindern zu können, ist deren Sanierung erforderlich. Zunehmend rücken ehemalige Tagebaurestseen in den Fokus, die bereits vor mehr als drei Jahrzehnten geflutet wurden. Im hier vorgestellten Fall des Restloches Mortka/Silbersee steht eine vollständige Sanierung und die damit verbundene abermäßige Devastierung der Flächen im Gegensatz sowohl zu der Forderung nach dem Schutz der Jahrzehnte alten nachbergbaulichen Fauna und Flora als auch einer teilweise entstandenen Erholungsnutzung. Die gegenwärtige „Sicherung“ eines Großteiles der gefährdeten Flächen erfolgt durch die einfachste Methode, durch Absperren. Welches Gefährdungspotential tatsächlich besteht, ist bisher unbekannt, da die örtliche Reaktion des Untergrundes auf eingebrachte Erschütterungen nicht ausreichend untersucht ist. Wissenszuwachs verspricht hier die Anwendung der Beobachtungsmethode durch Test des Materialverhaltens bei definiertem Initialeintrag unter gegebenen geotechnischen Bedingungen.

## 1 Setzungsfließproblematik im Lausitzer Braunkohlenrevier

Das Niederlausitzer Braunkohlenflöz im Bereich der heutigen Bundesländer Land Brandenburg und Freistaat Sachsen wurde und wird seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts, intensiver nach 1945 abgebaut. Überwiegend im Tagebau abgebaut worden sind die im Mittel 12 m mächtigen abbauwürdigen Braunkohlenflöze, zunächst des 1., später des 2. Lausitzer Flözhorizontes. Diese sind stratigraphisch dem mittleren Miozän mit einem Alter von ca. 15 bis 20 Mio. Jahren zuzurechnen. Das Flöz lag in einer Tiefe von ca. 40 m bis 100 m und war in limnisch-fluviatile Folgen von Feinsanden, Schluffen

und Tonen eingebettet.

Eiszeitliche Erosionsrinnen gliedern den Flözhorizont in eine Vielzahl von Teilstücken. Infolge der erosiven Auflagerung erreichen die limnischen und glazilimnischen quartären Ablagerungen aus Geschiebemergel, Schmelzwassersande, -kiese, Schluffe, Tone und Torfe stark wechselnde Mächtigkeiten zwischen 10 m und über 150 m.

Zum Freilegen des Braunkohlenflözes wurde das gebietsweise nahezu auf Geländeniveau anstehende Grundwasser bis unter das Liegende der Kohle abgesenkt, danach das Deckgebirge, z. B. mit Abraumförderbrücken, abgetragen und über den offenen Tagebau

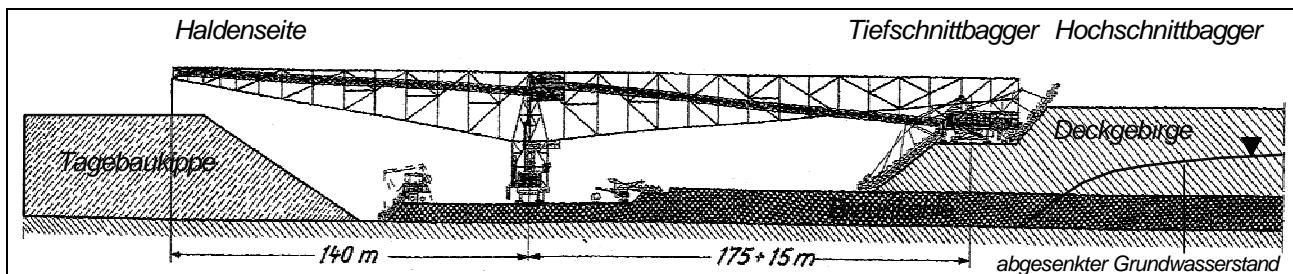


Bild 1: Schematischer Schnitt durch einen Braunkohletagebau.

mittels Bandförderung transportiert und im freien Fall verkippt (Bild 1). Die Tagebaue erreichen Tiefen von bis zu rd. 80 m bis 120 m.

Nach Ende des Bergbaus und mit Wiederanstieg des Grundwassers entstanden aus den Tagebaurestlöchern Seen bzw. befinden sich diese in der Flutungsphase.

In den gekippten Uferböschungen der Gewässer sind die im Tagebaubetrieb umgelagerten Lausitzer Sande zu erwarten, die hinsichtlich ihrer Korngrößenverteilung, Kornform und Oberflächentextur der Körner bei lockerer Lagerung und Wassersättigung als verflüssigungsgefährdet einzustufen sind [1][2]. Bleiben diese Sande unverdichtet, besteht die Gefahr, dass durch ein Initial die Lagerungsstruktur des Korngerüsts derart gestört wird, dass die Korn-zu-Korn-Kontakte und schließlich die Scherfestigkeit des Materials verloren gehen [3].

Das bedeutet, dass die aus der Überdeckung resultierende Vertikalspannung vorübergehend über die Porenflüssigkeit abgetragen werden muss. Porenwasserüberdrücke werden erzeugt und ein verflüssigter Bereich entsteht. Ein derartig verflüssigter Bereich aus einem Boden-Wasser-Luft-Gemisch kann kaum Scherkräfte aufnehmen. An Böschungen wird dann eine Rutschung ausgelöst, die eine neue Initialwirkung hervorruft und die Expansion der verflüssigten Zone bewirkt.

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  $\varphi = 0,5^\circ \dots 3^\circ$  liegen muss (Bild 2). CU-Versuche in der Triaxialzelle bestätigen das kritische Verflüssigungsverhalten der angetroffenen Böden [4].



Bild 2: Rutschung im Vorfeld einer RDV, Höhe der Abrikkante ca. 4 m, davor sind staffelförmige Brucherscheinungen und die horizontale Ablagerung der Massen sichtbar. Der bereits verdichtete Damm links im Bild blieb erhalten.

Die Beseitigung der Setzungsfließgefahr kann im Wesentlichen nur durch 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. Mit Rütteldruckverdichtung können Kippen mit Mächtigkeiten bis über 50 m verdichtet werden. Hergestellt wird ein meist uferparalleler „versteckter Damm“ mit einer Breite von ca. 50 m bis ca. 150 m.

Setzungs- und setzungsfließgefährdete Kippenbereiche umfassten in der Lausitz zusammengenommen eine Böschungslänge von insgesamt ca. 400 km. Ein erheblicher Anteil wurde bereits saniert und einer neuen Nutzung übergeben [5].

## 2 Untersuchungsareal

Das hier betrachtete Untersuchungsareal ist ein Teilbereich des ehemaligen Braunkohlentagebaus Werminghoff II.

Der Tagebau Werminghoff II wurde von 1935 bis 1960 betrieben und beanspruchte eine Fläche von ca. 745 ha. Das im Sinne 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“ (Bild 3).



Bild 3: Topographische Übersicht über das Projektareal südöstlich der Stadt Hoyerswerda.

Ein Großteil der Uferbereiche 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 gegangenen Setzungsfließrutschungen belegen diese Gefahr. Böschungsbrüche und Setzungsfließrutschungen traten während des früheren Tagebau-

betriebes (1935-1960), im Rahmen der Flutung (1970-1971) sowie während des Speicherbetriebes auf. Relativ geringe Böschungshöhen, der starke Bewuchs, die Liegezeit der Kippe und die Ablagerungen im Unterwasserbereich 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 Grundwassерwiederanstieg. Schwingungseintrag durch Personen und Fahrzeuge sowie Brüche instabiler Böschungen können ebenso zu Setzungsfließen führen.

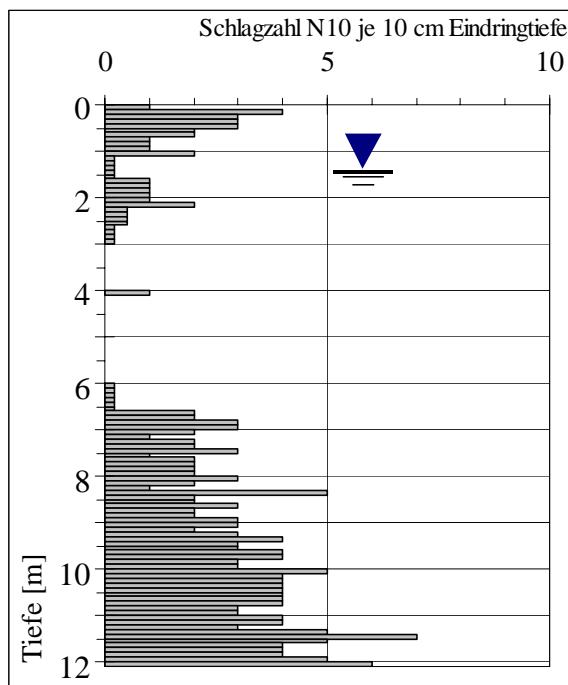


Bild 4: Leichte Rammsondierung DPL-5 im sehr locker gelagerten, gesättigten Kippenboden.

Im Falle eines Versagens der Böschungen bzw. des Untergrundes sind gefährdet:

- Personen, Geräte und Objekte, die sich im Versagensbereich einer Böschung oder auf nicht tragfähigen, zum Verflüssigen neigenden 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 usw., die Böschungskonturen selbst,
- der Auslaufkanal im Norden und der Verbindungsgraben zwischen Silbersee/RL Mortka und Silbersee, der durch Rutschungen abgesperrt werden könnte, so dass 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 ca. 6 km langen Uferböschungen, z. B. durch einen Rütteldamm mit ca. 15 Mio. m<sup>3</sup> zu verdichtenden Volumen, sind Baufeldfreimachung, Massenbewegungen und Neugestaltungen erforderlich. Im Rahmen dieser Arbeiten wäre eine vollständige Beseitigung des vorhandenen über 35-jährigen Baumbestandes, Unterholzes und Uferbewuchses erforderlich. Weiterhin würden durch die Arbeiten der bestehende Fischbesatz einschließlich einer Maränenzucht gefährdet.

Zwischen dem Ziel der Gefahrenbeseitigung und dem Schutz der nach Stilllegung und Flutung des Tagebaurestloches 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 [6].

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

### 3 Empirische Beurteilung des Verflüssigungs-potentials mittels Initialversuchen

Als empirische Methode zur Einschätzung der tatsächlichen Verflüssigungsneigung in gekippten Bereichen anstehender Lockergesteine sind daher Initialversuche konzipiert und durchgeführt worden, bei denen die örtliche Reaktion des Untergrundes 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 [7].

Darauf aufbauend wurden im Auftrag der LMBV mbH durch die Fa. G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Zwickau, (Planung, Begleitung, Auswertung) und unter gutachterlicher Begleitung von Herrn Prof. Dr. rer. nat. habil. Dr. h.c. Förster in den Uferbereichen Mortka und Silbersee 23 charakteristische Versuchsfelder festgelegt und mit der Fa. IFB Eigenschenk, Deggendorf, (Mess-, Versuchs-, Sicherungstechnik) Initialversuche durchgeführt.

Die Größe des im Versuch erforderlichen Initialeintrages wurde auf Grundlage langjähriger Erfahrungen im

Tagebau- und Kippenbetrieb [1][2][7] sowie gesonderten Recherchen und Messungen (Tabelle 1) bestimmt und schließlich festgelegt [9]. Messungen der Schwinggeschwindigkeiten belegen, dass bei Anregung durch eine Rüttelplatte mit einem Betriebsgewicht von 300 kg die registrierte Schwinggeschwindigkeit deutlich über

*Tabelle 1: Schwinggeschwindigkeiten durch Initialeintrag von Personen und einen Jeep in Abhängigkeit von der Entfernung*

Initial-eintrag durch	Ko-ordinate	Schwinggeschwindigkeiten $ v $ [mm/s] in Abhängigkeit vom Abstand $x$ von der Erregerquelle		
		$x = 0 \text{ m}$	$x = 2 \text{ m}$	$x = 4 \text{ m}$
vorbeifahrender Jeep auf unbefestigtem Weg, $v = 30 \text{ km/h}$	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 Gleichschritt 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 Gleichschritt 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

den gemessenen Schwinggeschwindigkeiten möglicherweise liegen.

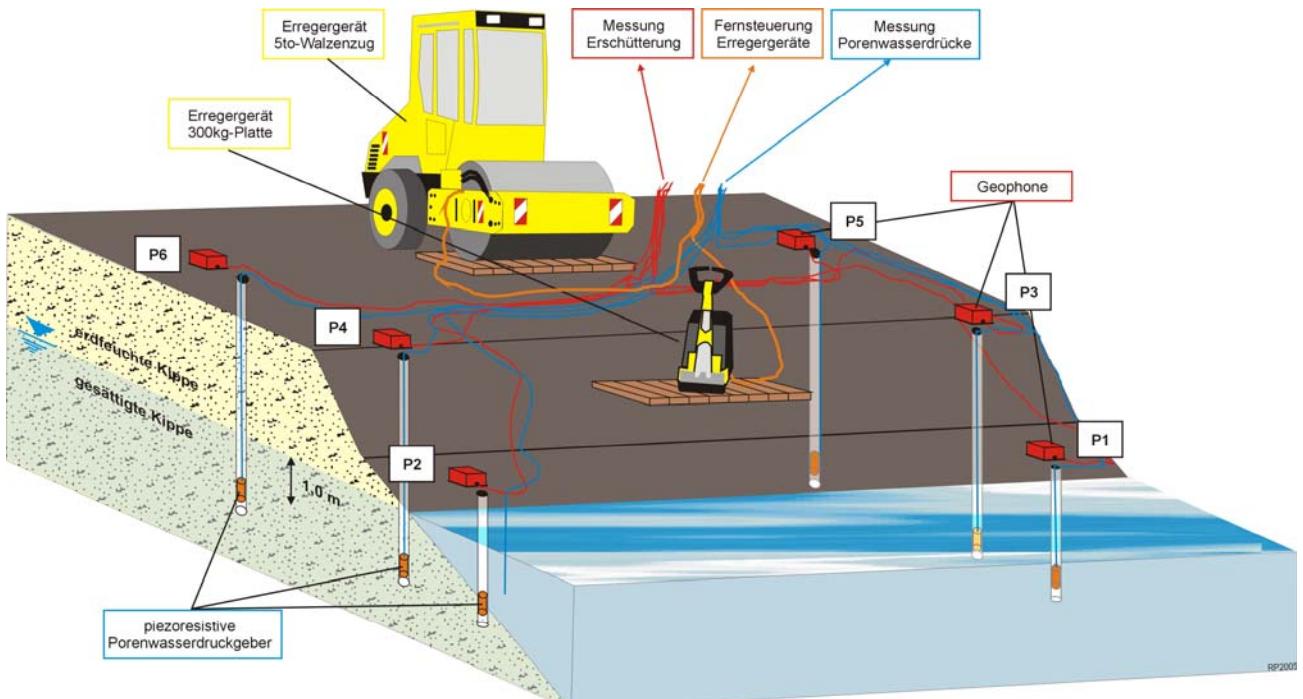
Der durch eine Rüttelplatte mit einem Betriebsgewicht von 80 kg erzeugte Schwingungseintrag ( $v_x, y, z < 1,5 \text{ mm/s}$ ) war zu gering und diese Rüttelplatte als Erregergerät nicht geeignet.

Ein typisches Versuchsfeld (Bild 5) bestand dabei aus folgenden Komponenten:

- Nachweis eines für die Verhältnisse repräsentativen Standortes durch Bodenerkundung und Laborversuche,
- bis zu zwei ferngesteuerte Erschütterungsgenerator-Rüttelplatte 320 kg, Vibrationswalzenzug 5 t,
- Erschütterungsmess-System SYSCOM MR 2002 aus bis zu sechs Dreikomponenten-Geophonen sowie Auswerte- und Dokumentationseinheit,
- Porenwasserdruckmess-System INTERFELS aus bis zu sechs in den Untergrund eingedrückten, piezoresistiven Porenwasserdruckgebern mit Messbereich 0 bis 1,6 bar und Auswerte- und Dokumentationseinheit.

Zur Minderung der Gefahr, durch die Initialversuche Bodenverflüssigungen und Setzungsfließen auszulösen, wurden Sicherheitsauflagen erarbeitet. Dazu gehört 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 zu minimieren, bestand für alle Arbeiten im Gefahrenbereich



*Bild 5: Schematische Darstellung der Versuchsfeldauslegung.*

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 bzw. vom Versuchsort befand.

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 betreten. Ein auf einem Boot postierter Rutschungsbeobachter überwachte zusätzlich die im Uferbereich der Restlöcher durchgeföhrten Versuche während der gesamten Versuchsdauer.

Während des Versuches selbst wurde mit varierten Erschütterungseinträgen und bei ständiger Überwachung der Messergebnisse die Bodenreaktion gemessen und beurteilt. Überstieg der gemessene Porenwasserdruck im Boden den nach der Beziehung

$$u_e = \eta_u \cdot (\gamma h_{erdf} + \gamma' h_w) + (\gamma_w h_w) \quad (1)$$

mit

- $\gamma$  ... Wichte,
- $\gamma'$  ... Wichte des Bodens unter Auftrieb,
- $h_{erdf}$  ... Dicke der erdfeuchten Überdeckung,
- $h_w$  ... Höhe des Messpunktes unter Wasserspiegel,
- $\eta_u$  ... Verflüssigungsgrad,  $\eta_u = 0,50$

vorher definierten Wert, so war der Versuch zu unterbrechen [7].

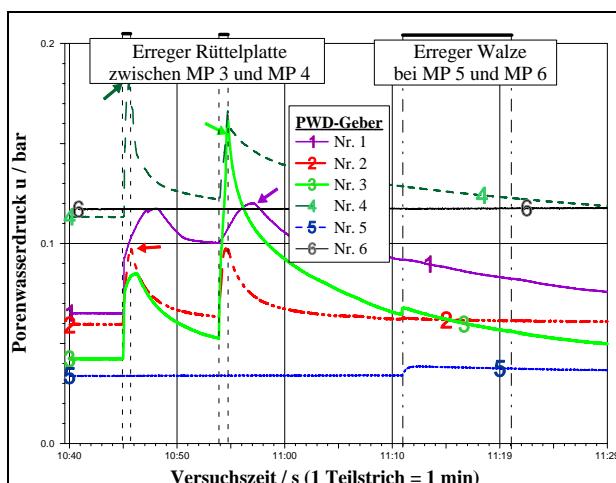


Bild 6: Beispiel für die Porenwasserdruckreaktionen während eines Versuches mit mehreren Teilversuchen.

Während der Versuche wurden beobachtet:

- in 19 von 23 Versuchsfeldern wesentliche Änderungen des Porenwasserdruckes (Bild 6),
- in 10 von 23 Versuchsfeldern grundbruchähnliche Absackungen der Erregergeräte (Bild 7), jedoch

- keine Setzungsfließbrutschungen als wesentliches Versuchsergebnis.

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



Bild 7: Beispiel für ein eingesacktes Versuchsgesetz während eines Versuches.

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 Initialen, die über den in den Versuchen getesteten Größen oder Einwirkzeiten liegen, sind daher Bodenbewegungen bzw. Bodenverflüssigungen mit nachfolgenden Setzungsfließbrutschungen nicht auszuschließen. Zu diesen möglichen Initialeinträgen gehören z. B. 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 [6]. Deshalb wird im Ergebnis der Untersuchungen z. B. von der weiteren Nutzung der derzeit in diesem Bereich betriebenen Anglerstützpunkte abgeraten.

#### 4 Mögliche Fehlinterpretationen der Porenwasserdruckmessungen

Im Idealfall wird mit dem Porenwasserdruckgeber die vermutete Bodenreaktion gemessen, die u. a. mit folgenden zu diskutierenden Fehlern belegt sein können:

- Der Porenwasserdruckgeber schwingt - durch die dynamische Anregung bedingt - mit und zeigt fehlerhafte Messwerte an. Vermieden wird dieser Zustand durch ein geeignetes Messsystem und ausreichende Abtastrate. Die Porenwasserdruckmessungen in den

Versuchsfeldern zeigen an, dass die genannte Reaktion der Messwerte nicht stattfand.

- Während des Einbaues kann durch das Eindrücken Porenwasserüberdruck entstehen, der wegen begrenzter Dränagemöglichkeiten und lokal differierenden Durchlässigkeiten sich nur langsam abbaut. In diesem Fall ist es denkbar, dass während des Versuches 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, so dass 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 Betriebes 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.

## 5 Fazit

Initialeintragsversuche stellen eine Möglichkeit dar, um das jeweilige Verflüssigungspotential setzungsfließgefährdeter Altbergbaubereiche in Bezug auf nutzungsspezifische Einwirkungen auch bei heterogenen Verhältnissen einschätzen zu können.

Mit Hilfe von Kalibrierungen, die zwischen den eingesetzten Erschütterungsgeneratoren und natürlich auftretenden Erschütterungsquellen, wie z. B. dem Vorbeifahren eines Geländewagens, springenden Menschen, etc., aufgestellt wurden, war mit der im Herbst 2004 im Bereich der Restlöcher Mortka und Silbersee im Auftrag der LMBV mbH durchgeföhrten Versuchsserie eine

zielführende und effektive Beurteilung der Standsicherheit der ehemaligen Kippenbereiche möglich.

Die potentielle Gefährdung durch mögliche Bodenverflüssigungen und Setzungsfließrutschungen infolge eines hohen Initialeintrages besteht weiterhin.

Mit den Initialversuchen wurde das Materialverhalten ortspezifisch interpretiert. Im Einklang mit dem Braunkohlenplan ist die Zielstellung weiterer Untersuchungen, falls erforderlich, durch nutzungsorientierte Sanierungsmaßnahmen nach allgemeiner Erfahrung Gefährdungen auszuschließen, erfüllt, soweit die festgelegten Verhaltensanforderungen eingehalten werden.

## 6 Literatur

- [1] Förster, W. et al.: Beurteilung der Setzungsfließgefahr und Schutz von Kippen gegen Setzungsfließende. Gemeinsame Forschungsgruppe Geotechnik des BKK Senftenberg und der Bergakademie Freiberg, Sektion Bergbau. 1989.
- [2] Förster, W., Gudehus, G. et al.: Beurteilung der Setzungsfließgefahr und Schutz von Kippen gegen Setzungsfließende. LMBV mbH, TU Bergakademie Freiberg, Universität Karlsruhe. Dezember 1998.
- [3] Redlich, A., Terzaghi, K., Kampe, R.: Ingenieurgeologie. Wien, Springer-Verlag. 1929.
- [4] Standsicherheitsuntersuchungen für die Tagebaurestlöcher Mortka und Silbersee sowie die Gleisanlagen des Bahnhofes Lohsa. G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Zwickau. 2001-2005.
- [5] Neue Ufer - Sanierungsbericht 2004. LMBV mbH. Mai 2005.
- [6] Braunkohlenplan Lohsa als Sanierungsrahmenplan für den stillgelegten Tagebau Lohsa, Regionaler Planungsstelle beim StUFA Bautzen. Eintritt der Verbindlichkeit am 01.03.2002.
- [7] Förster, W.: Belastungsversuche Knappensee Stellungnahme. 28.03.2001.
- [8] Förster, W.: Besonderheiten bei Arbeiten in setzungsfließgefährdeten Bereichen. Seminar zur Weiterbildung der vom Sächsischen Oberbergamt anerkannten Sachverständigen. TU Bergakademie Freiberg. 16.17./09.2005.
- [9] Auswertung von Initialversuchen 2004 und Fortschreibung der Standsicherheitseinschätzungen in Uferbereichen am Restloch Mortka und Silbersee (Tagebau Werminghoff II). G.U.B. Ingenieurgesellschaft mbH, Zwickau. 31.08.2005.