



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach

-Ordinarius für Geotechnik-  
Direktor des Institutes und der  
Versuchsanstalt für Geotechnik der  
Technischen Universität Darmstadt  
-Vereidigter Sachverständiger-

Petersenstraße 13  
64287 Darmstadt  
Tel. +49 6151 16 2149  
Fax +49 6151 16 6683  
E-Mail:  
katzenbach@geotechnik.tu-darmstadt.de  
www.geotechnik.tu-darmstadt.de

K/Ho/Vo/Ff/Fs/Ra/Sm/Wa  
Wl/Hg/Se/Ke/Hk/Rü  
G0935/G1040/IK0965  
04.07.2013

## Zusammenfassende Darstellung der durchgeführten Maßnahmen und der Bewertung der Ergebnisse der Ursachenforschung

**Vorgang:** Böschungsbewegung in Nachterstedt  
am 18.07.2009

**Auftraggeber:** LMBV • Lausitzer und Mitteldeutsche  
Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH  
Knappenstraße 1  
01968 Senftenberg

**Prüfsachverständiger für  
Erd- und Grundbau  
nach Bauordnungsrecht:** Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach  
Direktor des Institutes und der Versuchsanstalt  
für Geotechnik der TU Darmstadt  
-Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger-  
Petersenstraße 13 · 64287 Darmstadt



## 1 Vorgang, Aufgabenstellung und Methodik der Ursachenforschung

### 1.1 Ablauf der Böschungsbewegung am 18.07.2009

Am frühen Morgen des 18.07.2009 hat sich an der Südböschung des Tagebaurestloches Nachterstedt, dem Concordiasee, eine großräumige Böschungsbewegung ereignet, bei der drei Doppelhaushälften und drei Bewohner der dortigen Wohnsiedlung „Am Ring“ in die Tiefe gerissen worden sind (Bild 1). Insgesamt sind rd. 4,5 Millionen Kubikmeter Erdreich in Bewegung geraten. Es ist ein großräumiger Rutschungskessel entstanden.



**Bild 1** Luftbildaufnahme des Rutschungskessels nach der Böschungsbewegung in Nachterstedt am 18.07.2009 (Befliegung am 18.07.2009)  
links: Blick aus nordöstlicher Richtung; rechts: Blick aus westlicher Richtung

Unmittelbar nach der Böschungsbewegung zeigten sich am 18.07.2009 und auch danach noch im Bereich des Rutschungskessels zahlreiche Strudellöcher mit Materialauswurf (Bild 2). Der Materialauswurf wurde als Tertiärsand des Liegenden identifiziert.



**Bild 2** Strudellöcher mit Materialauswurf im Bereich des Rutschungskessels (Aufnahmedatum 28.08.2009)

## 1.2 Aufgabenstellung und Methodik

Die Aufgabenstellung besteht in der Aufklärung, der Ursachenforschung und der darauf aufbauenden Beurteilung der Böschungsbewegung.

Hierzu wurde ein umfangreiches Monitoring- und Messprogramm mit einer Vielzahl von geotechnischen, hydrogeologischen, geodätischen und geophysikalischen Messungen und Feld- und Laboruntersuchungen entworfen und unter Würdigung der Angemessenheit von Art und Umfang der jeweiligen Maßnahmen sukzessive fortgeschrieben und umgesetzt.

Nach einer ersten Identifikation von Einflussfaktoren auf die Böschungsbewegung lag der Schwerpunkt der Ursachenforschung auf den potentiellen Einflussfaktoren

- Hydrogeologie / Aquifere
- Altbergbau / Altstrecken
- Geologie / Boden / Kippen / Gewachsenes
- Dynamisches Initial / Seismologie

inkl. deren eventueller Wechselwirkungen.

Neben dieser inhaltlichen Ausrichtung wurden bei der Ursachenforschung für jeden der 4 potentiellen Einflussfaktoren die nachfolgend aufgeführten methodischen Arbeitsschritte abgearbeitet:

- Historische Recherche
- Messungen
- Modellbildungen
- Berechnungen
- Validierung
- Iteration
- Sachverständigenbefunde

Die Aufklärung der Ursache bzw. der Ursachen der Böschungsbewegung basiert also letztendlich auf dem 2-Säulen-Modell

- Messung und
- Berechnung.

Nur wenn die theoretische, physikbasierte Modellbildung und die darauf basierenden Computer-Simulationsberechnungen in Übereinstimmung mit der Vielzahl, z.T. mit sehr unterschiedlichen Prozeduren erhobenen, physikalischen Messdaten stehen, ist die Aufklärung der Ursache der Böschungsbewegung und die Erarbeitung der Sachverständigenbefunde widerspruchsfrei möglich, wohlwissend um die grundsätzliche Problematik und der Grenzen der Modellbildung bei der hier untersuchten, äußerst komplexen Situation.

Es werden nachfolgend die hinsichtlich Schadensursächlichkeit relevanten Ergebnisse der Ursachenforschung vorgestellt. Die vollständige Beschreibung aller durchgeführten Maßnahmen und die breit dokumentierte Ursachenanalyse findet sich im Sachverständigen-Gutachten Nr. G9035-13/01 vom 30.05.2013, Seiten 1-534, Bilder 1-394, Anlagen 1-9 sowie Anhänge.

## 2 Durchgeführte Erkundungsmaßnahmen

Im Zuge der Ursachenforschung ist die komplexe Lagerstättenstruktur in Nachterstedt mit Hilfe von 186 Aufschlussbohrungen an 88 Erkundungsstandorten sowohl an Land als auch auf dem Concordiasee unter Einsatz von 3 Pontons für die Bohr- und Sondierarbeiten mit insgesamt rd. 12.840 Bohrm Metern sowie 28 Brunnenbohrungen erkundet worden (Bild 3).

Es wurden bohrlochgeophysikalische Untersuchungen und Laboruntersuchungen an rd. 2.200 Bodenproben durch die TU Darmstadt und durch die projektbeteiligten Ingenieurbüros zur Bestimmung bodendynamischer und hydrogeologischer Parameter vorgenommen.



**Bild 3** links: Bohrstandorte im und um den Concordiasee; Erkundungsbohrstandorte (rot), Brunnenbohrstandorte (gelb) (Orthophoto Stand: 29.03.2011)  
rechts: Erkundung auf dem Concordiasee vom Ponton aus

Zur Erfassung der Grundwasserverhältnisse wurden 184 Grundwassermessstellen inkl. Piezometern installiert und ein Wiederanstiegsversuch zur kleinräumlichen und quantitativen Identifizierung der hydrogeologischen und hydrodynamischen Anomalien durchgeführt.

Hinzu kommen die seismologischen Messungen im ehemaligen Tagebau Spreetal mit der vergleichenden Auswertung der dortigen seismischen Aufzeichnungen künstlich induzierter Rutschungsereignisse mit den Messungen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und der Universität Leipzig.

Zur Gewährleistung der Sicherheit aller bei den Erkundungsmaßnahmen zur Ursachenforschung vor Ort tätigen Akteure wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt (LAGB), Halle, ein umfassendes Sicherheitskonzept erarbeitet und umgesetzt. Dieses beinhaltet ein umfangreiches Monitoring- und Überwachungsprogramm gemäß den Anforderungen der Beobachtungsmethode nach DIN EN 1997-1.

### **3 Messungen**

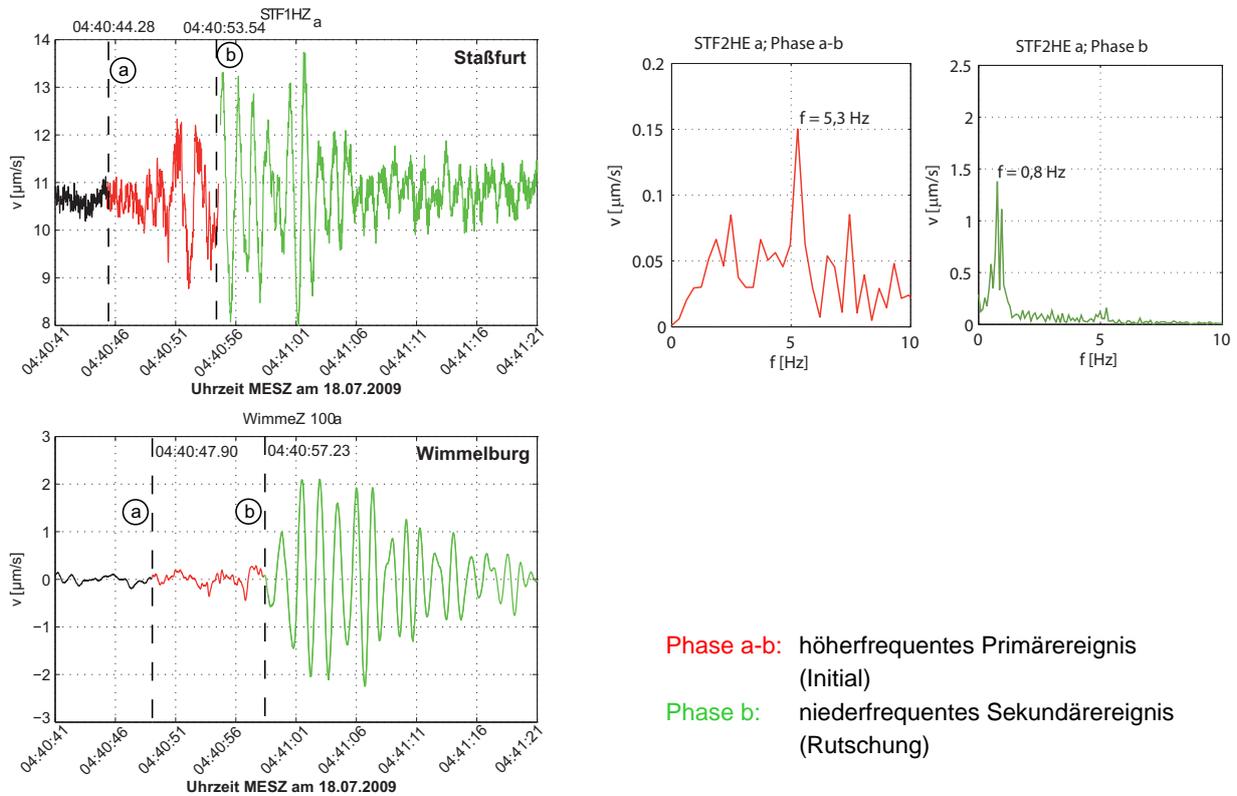
Es werden nachfolgend die für die Ursachenanalyse besonders relevanten Messungen mitgeteilt. Eine Vielzahl weiterer Informationen findet sich im o.g. Sachverständigen-Gutachten Nr. G0935-13/01 vom 30.05.2013.

#### **3.1 Seismologische Messungen**

Am Morgen des 18.07.2009 wurden von den seismologischen Observatorien seismische Ereignisse registriert, die in enger zeitlicher und räumlicher Verbindung zur Böschungsbewegung Nachterstedt stehen (Bild 4). Die seismischen Messungen beginnen an den nächstgelegenen Messstationen mit einem höherfrequenten Vorgang, einem dynamischen Initial (Primärereignis), mit einer Vorzugsfrequenz von rd. 5 Hertz (Bild 4, rechts). Die Messungen wurden von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, und von der Universität Leipzig vorgenommen und ausgewertet. Die Universität Leipzig gibt die aus dem höherfrequenten Vorgang resultierende Raumwellenmagnitude in ihrem Bulletin für den Monat Juli 2009 mit  $M_L = 1,0$  an (Bild 5).

Erst nach diesem höherfrequenten Initial ist ein zweiter seismischer Vorgang, das Sekundärereignis, aufgezeichnet worden. Die Universität Leipzig gibt die Magnitude des niederfrequenten Vorganges des Sekundärereignisses in ihrem Bulletin mit  $M_S = 2,1$  an (Bild 5).

Die Messungen an den nächstgelegenen Messstationen belegen eindeutig und widerspruchsfrei das Auftreten zweier getrennter seismischer Ereignisse, und zwar u.a. auch dadurch, dass die Zeitpunkte, die den höherfrequenten vom niederfrequenten Vorgang bzw. vom Grundrauschen abgrenzen, an den verschieden weit entfernten Messstationen Staßfurt und Wimmelburg gleiche zeitliche Abstände besitzen (Bild 4).



Phase a-b: höherfrequentes Primäreignis (Initial)  
 Phase b: niederfrequentes Sekundäreignis (Rutschung)

**Bild 4** Gemessenes Primär- und Sekundäreignis  
 links: Seismogramme mit identischen Zeitabständen bei unterschiedlicher Stationsentfernung von Staßfurt und Wimmelburg  
 rechts: Frequenzspektren des an der Station Staßfurt (STF1, Ost-West-Richtung) (Originaldaten BGR, LAGB; Farben und Marken a und b ergänzt)

Datum	Herdzeit UTC	Koordinaten N; O	Tiefe km	Magnitude MSgV	Magnitude Ml	Herdgebiet
175	12-Jul-2009	06:24:53.0	50.22;12.44	9	-0.4(6)	Novy Kostel
176	13-Jul-2009	21:26:01.1	50.14;12.34	11	0.3(8)	SW-lich von Skalna/CR
177	14-Jul-2009	03:19:02.9	50.23;12.40	12	-0.6(6)	S-lich von Luby/CR
178	15-Jul-2009	23:59:01.4	50.28;12.20	4	-0.4(5)	W-lich von Bad Elster (?)
179	16-Jul-2009	02:08:27.6	50.19;12.47	6	0.1(9)	SE-lich von Novy Kostel
180	16-Jul-2009	15:46:58.6	50.32;12.63	7	1.2(9)	E-lich von Kraslice
181	18-Jul-2009	02:40:44.6	51.81;11.34	0	1.0(8)	Nachterstedt; Ms_BB=2.1(5) (ind) Koordinaten und Tiefe gesetzt
182	19-Jul-2009	17:35:47.3	50.20;12.45	8	-0.5(5)	SE-lich von Novy Kostel
183	19-Jul-2009	17:36:31.3	50.20;12.45	8	0.2(6)	SE-lich von Novy Kostel
184	21-Jul-2009	12:57:27.7	50.20;12.45	9	0.8(9)	SE-lich von Novy Kostel
185	23-Jul-2009	02:22:52.8	50.36;12.52	11	-0.3(5)	E-lich von Klingenthal
186	23-Jul-2009	03:24:36.5	50.20;12.46	8	-0.5(6)	SE-lich von Novy Kostel
187	23-Jul-2009	18:41:23.3	50.23;12.45	7	-0.1(8)	NE-lich von Novy Kostel
188	24-Jul-2009	03:33:25.0	50.28;12.57	8	0.3(9)	SE-lich von Kraslice
189	25-Jul-2009	01:10:18.9	50.21;12.46	7	-0.2(7)	Novy Kostel
190	25-Jul-2009	01:50:19.1	50.21;12.46	8	-0.2(6)	Novy Kostel
191	25-Jul-2009	04:42:07.2	50.15;12.34	12	-0.4(5)	SW-lich von Skalna/CR
192	25-Jul-2009	04:42:17.3	50.15;12.33	12	-0.5(4)	SW-lich von Skalna/CR
193	25-Jul-2009	04:42:29.0	50.15;12.34	11	-0.2(6)	SW-lich von Skalna/CR
194	25-Jul-2009	04:42:48.9	50.14;12.34	12	-0.6(5)	S-lich von Skalna/CR
195	25-Jul-2009	04:43:09.9	50.15;12.33	13	-0.5(4)	SW-lich von Skalna/CR

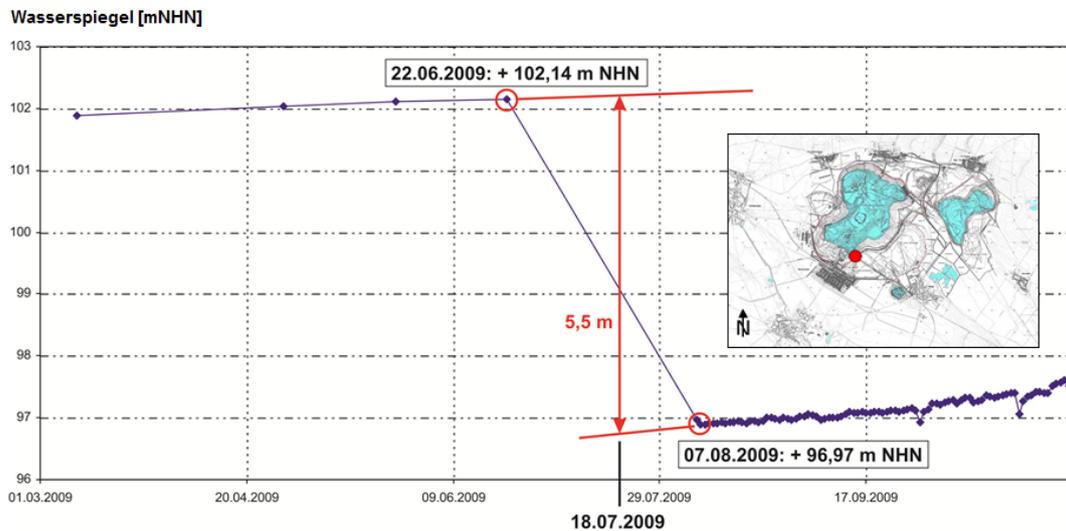
[ Observatorium Collm ] [ Institut für Geophysik und Geologie ] [ Universität Leipzig ]

**Bild 5** Ausriss aus dem Bulletin des Observatoriums Collm der Universität Leipzig für den Monat Juli 2009 (Univ. Leipzig, 2009)

Die gemessenen zwei nacheinander aufgetretenen seismischen Vorgänge, das höherfrequente Primärereignis und das niederfrequente Sekundärereignis, werden durch die Messungen an Lockergesteinsrutschungen im ehemaligen Tagebau Spreetal und durch die von der Technischen Universität Berlin durchgeführten Analysen widerspruchsfrei bestätigt.

### 3.2 Hydrodynamische Messungen

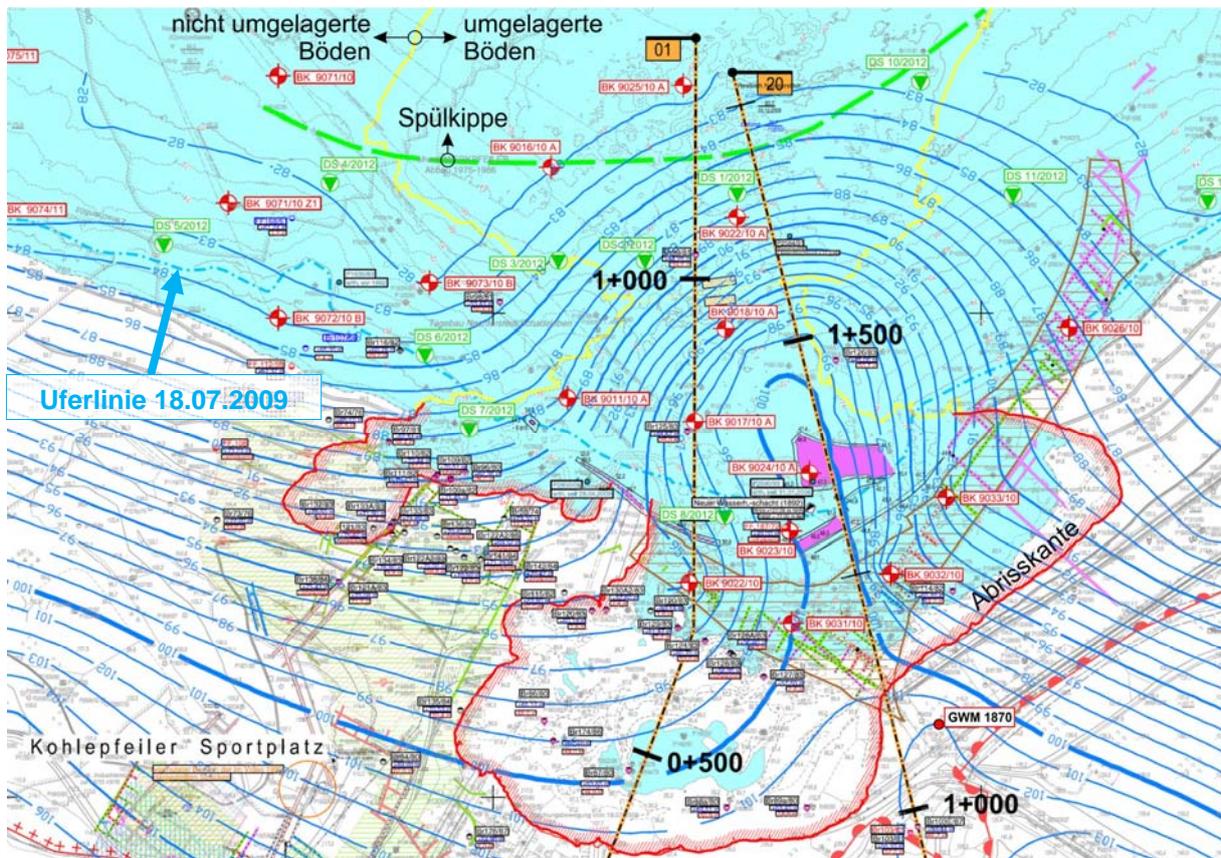
Nach der Böschungsbewegung ist der Wasserstand im Liegendgrundwasserleiter GWL 6.3 an der Grundwassermessstelle GWM 1870 um insgesamt 5,5 m zurückgegangen (Bild 6).



**Bild 6** Ausschnitt Zeitraum 01.03.2009 bis 06.11.2009 der Ganglinie der Grundwassermessstelle GWM 1870

Unter dem Rutschungskessel wurde mit dem im Jahr 2012 mittels gezielter Brunnenabschaltungen durchgeführten Wiederanstiegsversuch eine räumlich eng begrenzte und sehr ungewöhnliche Anomalie im Grundwasserleiter GWL 6.3 in Form einer Rinnenstruktur gemessen. In dieser nunmehr erstmals identifizierten Rinnenstruktur wird im Bereich des Rutschungskessels in einer Druckblase artesisch gespanntes Grundwasser unter das Kippensystem geführt (Bild 7). Der in der anomalen Rinnenstruktur herrschende Überdruck lag vor der Böschungsbewegung 18 m hoch über dem Seewasserspiegel.

Nach der Böschungsbewegung zeigten sich im Rutschungskessel zunächst zahlreiche Strudellöcher mit Materialauswurf (Bild 2). Diese Strudellöcher belegen, dass unmittelbar nach der Böschungsbewegung noch ein hoher Wasserdruck im Grundwasserleiter GWL 6.3 vorhanden gewesen sein muss, der erst sukzessive zurückgegangen ist.



**Bild 7** Druckblase unter dem Rutschungskessel infolge der nunmehr identifizierten hydrogeologischen Anomalie einer Rinnenstruktur im Grundwasserleiter GWL 6.3

#### 4 Berechnungen • Modellbildungen

Basierend auf den durch die Messungen gewonnenen neuen Erkenntnissen konnte der Ablauf der Böschungsbewegung mit Hilfe von Böschungsberechnungen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik nachvollzogen werden (Bild 8).

Die Böschungsbruchberechnungen wurden im Sinne einer Systemanalyse für die verschiedensten Stationen des Böschungssystems durchgeführt. Als Belastungen wurden

- der Wasser- und Strömungsdruck im Hangenden, dies sind die oberflächennahen quartären Schichten sowie die Alt- und Stützkippe, und
- der Wasser- und Strömungsdruck im Liegenden, dies ist der artesisch gespanntes Wasser führende Grundwasserleiter GWL 6.3

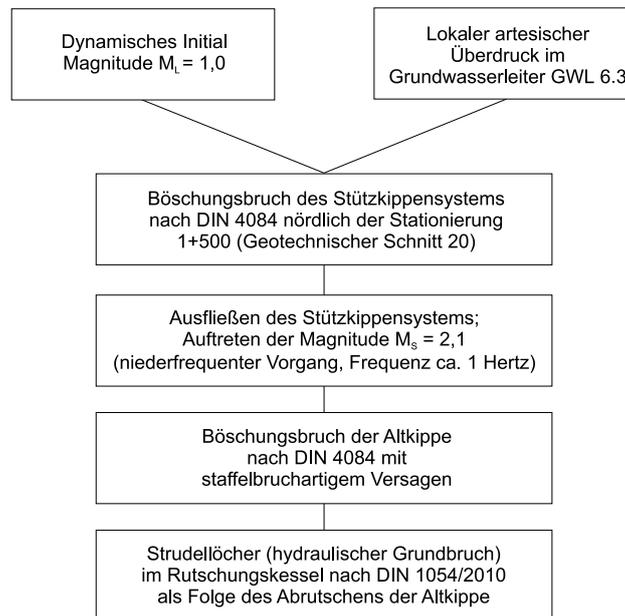
grundsätzlich auf das Böschungssystem aufgebracht. Variiert wurde die Belastung aus dem gemessenen dynamischen Initial mit der Magnitude  $M_L = 1,0$  und die Lage und Größe eines eventuell vorhandenen hydraulischen Fensters, einer hydraulischen Verbindung, zwischen dem Grundwasserleiter GWL 6.3 und dem Stützkippsystem. Dabei wurde berücksichtigt, dass das hydraulische Fenster nur in einem Abstand von mehr als 400 m zur Achse des Restkohlepfilers nördlich der Station 1+500 im Geotechnischen Schnitt 20 liegen kann (Bild 7). Südlich dieser Stationierung, also in Richtung Seeufer, kann es kein großflächiges hydraulisches Fenster geben, weil dies zu einer erheblichen Entspannung im Grundwasserleiter GWL 6.3 geführt hätte, was im Widerspruch zu den Messungen an der Grundwassermessstelle GWM 1870 und auch im Widerspruch zu den beobachteten Strudellöchern mit Materialauswurf steht.

Die Böschungsbruchberechnungen ergeben, dass das Böschungssystem für den Fall, dass kein hydraulisches Fenster zwischen dem Grundwasserleiter GWL 6.3 und dem Stützkippsystem vorhanden ist, für alle Lastkombinationen rechnerisch standsicher ist; dies gilt auch für den Fall, dass das dynamische Initial mit der Magnitude  $M_L = 1,0$  auf das Böschungssystem einwirkt.

Wird bei der Böschungsbruchberechnung ein hydraulisches Fenster zwischen dem Grundwasserleiter GWL 6.3 und dem Stützkippsystem dort angesetzt, wo es nach den Messungen liegen müsste, nämlich in einem Abstand von mehr als 400 m zum Restkohlepfiler, dann ist die Böschung trotz des enormen Strömungsdruckes immer noch standsicher; erst wenn eine zusätzliche Belastung durch das dynamische Initial einwirkt, kommt es zum Versagen und zum Ausfließen des Stützkippsystems, was zu dem von der Universität Leipzig gemessenen seismischen Sekundärereignis mit der Magnitude von  $M_S = 2,1$  geführt hat.

Dieses Sekundärereignis, die durch das Versagen des Stützkippsystems fehlende Stützung der Altkippe und der nahezu unverändert hoch in der Altkippe anstehende Kippenwasserstand führten in der Folge zum staffelbruchartigen, rückschreitenden Versagen der Altkippe (Bild 8).

Als Folge des Versagens des Stützkippsystems und der ersten Staffelbrüche der Altkippe und wegen des damit einhergehenden Verlusts der Bodenauflast verringerte sich die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch im Bereich des Rutschungskessels auf  $\eta < 1$ . Als Folge der Böschungsbewegung trat im Bereich des Rutschungskessels ein lokales Versagen in Form der Strudellöcher (Bild 2) ein, nachdem das Stützkippsystem und die Altkippe abgerutscht waren. Der über die Strudellöcher stattfindende Materialauswurf ist so lange aufgetreten, bis sich der Liegendwasserdruck im Grundwasserleiter GWL 6.3 so weit entspannt hat, dass sich im Endzustand ein bodenmechanisches und hydrodynamisches Gleichgewicht gebildet hat. Dieser neue Gleichgewichtszustand wurde mit der Messung der Druckreduktion an der Grundwassermessstelle GWM 1870 um insgesamt  $\Delta h = 5,5$  m messtechnisch erfasst (Bild 6).



**Bild 8** Ablauf der Böschungsbewegung vom 18.07.2009

## 5 Sachverständigenbefunde

Grundlage der Sachverständigenbefunde sind die in Kap. 3 beschriebenen, schadensursächlichen, durch Messungen belegten Fakten und die in Kap. 4 beschriebenen, mit den Messungen kontrollierten und validierten Modellbildungen und Berechnungen.

### 5.1 Sachverständigenbefund zum potentiellen Einflussfaktor „Hydrogeologie/Aquifere“

Im Grundwasserleiter GWL 6.3 wurde erstmals eine räumlich eng begrenzte und sehr ungewöhnliche Anomalie in Form einer Rinnenstruktur identifiziert, die unter hohem Druck stehendes Grundwasser führt, das vor der Böschungsbewegung vom 18.07.2009 artesisch gespannt war (Bild 7). Diese anomale Rinnenstruktur des Grundwasserleiters GWL 6.3 befindet sich direkt unter dem Zentrum des Rutschungskessels und dehnt sich wie eine Druckblase weit nach Norden hin lokal unter den Concordiasee aus.

Diese nunmehr hinsichtlich ihrer räumlichen und hydrogeologischen Anomalie identifizierte Besonderheit im Grundwasserleiter GWL 6.3 führt zu einer nicht vorhersehbaren Einwirkung auf das Stützkippsystem. Wie alle durchgeführten Kontrollberechnungen und Parameterstudien zeigen, ist das Stützkippsystem allerdings so dimensioniert, dass diese nicht vorhersehbare Einwirkung vom Stützkippsystem sicher aufgenommen werden kann.

Dies bedeutet, dass die im Grundwasserleiter GWL 6.3 identifizierte Anomalie für sich alleine nicht schadensursächlich ist.

## **5.2 Sachverständigenbefund zum potentiellen Einflussfaktor „Altbergbau/Altstrecken“**

Alle durchgeführten Untersuchungen zum Altbergbau und alle Messungen in den Altstrecken und im Umfeld der Altstrecken zeigen, dass die Bruchfelder und die Altstrecken lagestabil sind, und dass dort kein hydraulisches Regime herrscht, das auf eine hydraulisch wirksame Verbindung zwischen dem Restloch Frose, wo das Druckniveau mit rd. +112 m NHN 30 m höher liegt als am Concordiasee, zurückzuführen wäre.

Mit allen Kontrollbohrungen und den zugehörigen Messungen wurde festgestellt, dass die Altstrecken verwahrt sind. Schon aus diesem Grund ist es nachvollziehbar, dass die Altstrecken kein schadensrelevantes hydraulisches Regime bilden.

Mit den Untersuchungen der Altstrecken ist auch festgestellt worden, dass der unmittelbar nördlich vor dem Rutschungskessel im Concordiasee liegende Restkohlepfeiler an Ort und Stelle verblieben und unversehrt ist. Dies gilt auch für die im Restkohlepfeiler erbohrten Altstrecken, die verwahrt sind.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Altbergbau und die Altstrecken nicht schadensursächlich sind. Der Altbergbau und die Altstrecken haben mit der Böschungsbewegung vom 18.07.2009 nichts zu tun.

## **5.3 Sachverständigenbefund zum potentiellen Einflussfaktor „Geologie/Boden/Kippen/Gewachsenes“**

Hinsichtlich der Geologie ist festzustellen, dass die in Kap. 3.2 beschriebene hydrogeologische und damit auch geologische Anomalie des Grundwasserleiters GWL 6.3 als maßgebliches Element identifiziert worden ist, und dass die bislang kartierte Prätertiärbasis, also ein Faktum über den tieferen Untergrund, um mehrere Dekameter angepasst werden muss. Es gibt neue Informationen über den großräumigen Gebirgsbau.

Aus der Kenntnisstandsanalyse zur Subrosion und zur Tektonik ergibt sich Folgendes:

- Die Verkarstung des Caprocks am Ascherslebener Salzsattel im Bereich der Seeländereien ist nachgewiesen. Die Entstehung von Höhlen in den Anhydriten und Gipsen des Hutgesteins ist anzunehmen.

- Rezente Verkarstungsprozesse am Staßfurt-Salz können als gegeben angenommen werden. Die Ausbildung relevanter Hohlräume ist theoretisch möglich. Das Kollabieren derartiger Hohlräume mit Auswirkungen bis an die Basis der von der Böschungsbewegung erfassten Kippenböden ist hypothetisch.
- Die Berücksichtigung von seismischen Entspannungen infolge flächenhafter Subrosion, z. B. am Salzspiegel, bietet eine aus karstgeologischer Sicht logische Erklärung für das Auftreten seismischer Ereignisse am Ascherslebener Sattel. Der hypothetische Ansatz wird als Ursache für ein seismisches Initial der Böschungsbewegung vom 18.07.2009 als nicht unwahrscheinlich erachtet.
- Nach der jüngsten Kenntnisstandsanalyse des LAGB aus dem Jahr 2012 besteht die Möglichkeit, dass die Athensleben-Störung im Umfeld der Böschungsbewegung vom 18.07.2009 verläuft. Geophysikalische Messungen belegen die Rolle der Athensleben-Störung als bedeutendes rheinisch streichendes Element.

Zu den Klassifikationsparametern, nämlich Korngrößenverteilung, Porenanteil, Porosität und Lagerungsdichte, ist Folgendes festzustellen:

Die zumindest mitteldicht, i.W. dicht gelagerte Altkippe ist gut tragfähig und besteht i.W. aus quartären schluffigen Sanden und Kiesen und untergeordnet aus enggestuften gleichförmigen Tertiärsanden. Wie die seit rd. 4 Jahren stehende, den Rutschungskessel umschließende Steilböschung in der Altkippe zeigt, ist die Altkippe standsicher, wenn sie nicht durch unvorhersehbare Einwirkungen überbeansprucht wird, wie dies am 18.07.2009 geschehen ist.

Das Stützkippensystem besteht -mit zahlreichen Ausnahmen- an vielen Stellen aus enggestuften gleichförmigen Tertiärsanden, die locker gelagert sind. Die Korngrößenverteilung dieser Sande liegt im Spektrum der verflüssigungsempfindlichen Böden. Um das tatsächliche Verflüssigungspotential und das damit einhergehende Gefährdungspotential zu überprüfen, wurden die relevanten Böschungsbereiche im Zuge der Flutung des Tagebaurestloches Nachterstedt dynamischen Probelastungen mittels mehrerer zeitlich nacheinander realisierter Testsprengungen unterzogen. Bei den dynamischen Probelastungen trat keine signifikante Verflüssigung und auch keine Böschungsbewegung auf. Gleiches wurde bei dem dynamischen Energieeintrag im Zuge der Herstellung der RDV-Dämme für die Slipanlage und zur Sicherung der Altablagerung festgestellt. Das Stützkippensystem hat diese Energieeinträge schadlos aufgenommen.

Zu den Festigkeitsparametern wird Folgendes festgestellt:

Die bodenmechanischen Festigkeitsparameter für den granularen Feststoff Boden, die im Zuge der Sanierungsmaßnahmen den erdstatischen Nachweisen der Kippensysteme zugrunde gelegt worden sind, werden als zutreffend bestätigt und für in Ordnung befunden. Wie die umfangreichen Kontrolluntersuchungen im Feld und im Labor gezeigt haben, liegen die der Bemessung zugrunde liegenden Reibungswinkel inkl. der Kohäsion auf der sicheren Seite.

Diese Kennwerte gelten voraussetzungsgemäß für bodenmechanische und grundwasserhydraulische Einwirkungen, wie sie den normativ geregelten Standsicherheitsnachweisen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik für den granularen Feststoff Boden zugrunde liegen und auch zugrunde liegen müssen. Sie wurden daher auch den eigenen Kontrollberechnungen zur Ursachenforschung zugrunde gelegt.

#### **5.4 Sachverständigenbefund zum potentiellen Einflussfaktor „Dynamisches Initial/Seismologie“**

Basis des Sachverständigenbefundes zum potentiellen Einflussfaktor „Dynamisches Initial/Seismologie“ sind u.a. die von den neutralen, öffentlichen Institutionen

- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, und
- Universität Leipzig

durchgeführten Messungen.

Die für die Böschungsbewegung relevanten seismischen Messungen der BGR und der Universität Leipzig einschließlich der Station Wimmelburg beginnen am Morgen des 18.07.2009 um 4:40:44 Uhr Mitteleuropäischer Sommerzeit (MESZ) mit einem höherfrequenten Vorgang, der als dynamisches Initial (Primärereignis) bezeichnet wird und eine Vorzugsfrequenz von rd. 5 Hertz besitzt (Bild 4).

Nach diesem Primärereignis wurde ein zweiter seismischer Vorgang, das niederfrequente Sekundärereignis, mit einer Vorzugsfrequenz um 1 Hertz als Folge der großvolumigen Lockergesteinsrutschung gemessen.

Für diese beiden seismischen Vorgänge, die -wie aus Bild 4 hervorgeht- nacheinander abgelaufen sind, gibt die Universität Leipzig in ihrem Bulletin für den Juli 2009 die Magnituden für die höherfrequenten Raumwellen (Primärereignis) und für die niederfrequenten Oberflächenwellen (Sekundärereignis) wie folgt an (Bild 5):

- Primärereignis:  $M_L = 1,0$
- Sekundärereignis:  $M_S = 2,1$

Es ist demnach durch Messungen belegt, dass im Zuge der Böschungsbewegung vom 18.07.2009 eindeutig zwei seismische Ereignisse aufgetreten sind. Dies wird auch dadurch bestätigt, dass die Zeitpunkte, die die höherfrequente von der niederfrequenten Phase abgrenzen, an verschieden weit entfernten Messstationen, wie z.B. die Messstationen in Staßfurt und Wimmelburg, gleiche zeitliche Abstände aufweisen. Auch die auf Messungen basierenden theoretischen Untersuchungen der Technischen Universität Berlin bestätigen die Existenz von zwei verschiedenen seismischen Phasen.

Durch das Primärereignis, das dynamische Initial, ist eine seismische Energie von 2.000 kNm freigesetzt worden, was zu einer nicht vorhersehbaren dynamischen Belastung auf das Böschungssystem durch eine Beschleunigung von  $a_{dyn} = 0,55 \text{ m/s}^2$  geführt hat.

Diese nicht vorhersehbare dynamische Belastung des Böschungssystems führt in Verbindung mit der hydrogeologischen Anomalie mit einer erst im Zuge der Ursachenforschung identifizierten, örtlichen Druckblase, die artesisch gespanntes Grundwasser in einem schmalen Korridor unter das abgerutschte Stützkippsystem transportiert hat, zum Böschungsbruch nach DIN 4084, der zur Lockergesteinsrutschung vom 18.07.2009 geführt hat.

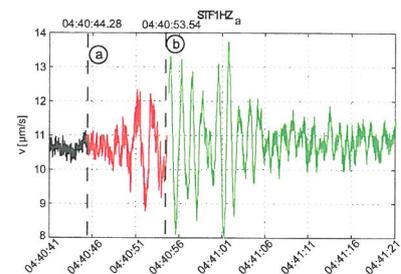
### 5.5 Schadensursache

Die Schadensursache für die Böschungsbewegung vom 18.07.2009 wurde auf der Basis der umfangreich erhobenen Messdaten und der darauf aufbauenden, hinsichtlich Standsicherheitsberechnungen in der DIN 4084 normativ geregelten Modellbildungen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik widerspruchsfrei wie folgt identifiziert:

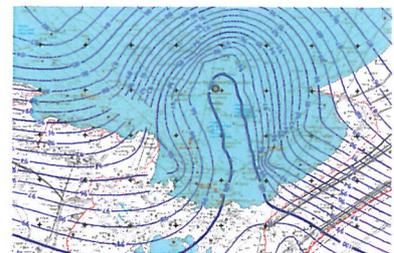
Die Böschungsbewegung ist durch das Zusammentreffen

- der nicht bekannten und daher auch nicht vorhersehbaren dynamischen Belastung des Böschungssystems durch ein dynamisches Initial (Phase a-b, rot in Bild 9) mit dem
- ebenfalls unvorhersehbaren, hohen artesischen Wasserüberdruck (Bild 10), der eine Folge der anomalen lokalen Rinnenstruktur des Grundwasserleiters GWL 6.3 ist,

verursacht worden.



**Bild 9** Gemessenes Seismogramm, Station Staßfurt STF1HZ



**Bild 10** Druckblase im GWL 6.3



*Rolf Katzenbach*  
 Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach  
 -Vereidigter Sachverständiger-  
 Institutsdirektor

