

# Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen der Bezirksregierung Arnsberg

ANNIKA MITTMANN, KONRAD KUNTSCHKE, Germany

## Guideline for stability examinations of the Arnsberg regional government

Since 1976 stability tests performed on rim slopes and permanent slopes in North Rhine-Westphalian opencast lignite mines have been governed by the provisions laid down in the Guideline for Stability Examinations (RfS) of the Arnsberg regional government. This Guideline obliges the parties involved in the verification and inspection process to apply the so-called six-eyes principle, ensuring that the slopes meet high safety standards.

In the meantime the “Geomechanics in Rhenish lignite mining operations” working group was set up. Under the direction of the Arnsberg regional government and with input from Geological Service of NRW and the mining company this group of experts is responsible for the structured further development and discussion of the Guideline and also processes geomechanical issues in general. In the case of specific problems additional experts of specialist authorities or universities are consulted, making sure that upcoming questions are dealt with on the basis of sound technical information and scientific facts. This strategy was also adopted in the run-up to the latest amendment to the Stability Examinations Guideline in 2013. Prior to its incorporation into the Guideline, the present earthquake approach developed by experts was revised and modified again by specialists and scientists.

The result of these efforts is an addendum to the Guideline that is based on scientific facts and which contains specific provisions for the consideration of impact from earthquakes in stability examinations of permanent slopes. For the residual-lake slope systems the provisions on the level of seismic action to be assumed (return period) go beyond the usual requirements of DIN 1054 (Subsoil – Verification of the Safety of Earthworks and Foundations) applicable in civil engineering as well as Eurocode 8 – Earthquakes and are let by the high requirements of DIN 19700 – Dam Plants. Although a residual lake does not meet the criteria of a reservoir on account of the marginal conditions on site (direct connection to the groundwater in its final state, situated lower than the surrounding terrain), the addendum will ensure that future residual lakes satisfy the same high safety standards that are used in NRW for the dimensioning of dam structures (dams) situated higher than the surrounding terrain.

The “Geomechanics in the Rhenish Lignite-mining Area” working group will continue to ensure structured and comprehensive processing of all issues of relevance in geomechanics for opencast lignite mines in NRW.

## 1 Hintergrund und Anwendungsbereich der Richtlinie

Die Standsicherheit der Böschungen der im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke muss, sofern sie nicht bereits auf Grund der bisherigen Erfahrungen als gegeben anzusehen ist, entsprechend der Bergverordnung für Braunkohlenbergwerke (BVOBr) nachgewiesen werden.

Die Beurteilung der Standsicherheit der Tagebauböschungen des Rheinischen Braunkohlenreviers erfolgt in der Regel zunächst durch den planenden Unternehmer. Die Standsicherheit ist Gegenstand der Prüfung von Betriebsplänen, die das Anlegen und Umgestalten von Böschungen zum Inhalt haben. Sofern es sich

dabei um die Vorlage von rechnerischen Standsicherheitsnachweisen handelt, holt die Bezirksregierung Arnsberg bei deren Prüfung die Stellungnahme des Geologischen Dienstes NRW (oder von durch die Bezirksregierung Arnsberg benannten Sachverständigen) ein und berücksichtigt diese bei der Entscheidung über die Zulassung der Betriebspläne.

Für den Bereich der bleibenden Böschungen der im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke ist dabei seit 1976 die Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen – RfS – bei der Vorlage und Prüfung entsprechender Betriebspläne zugrunde zu legen. In der derzeit gültigen Fassung vom 08.08.2013 trägt die RfS den Titel: „Richtlinie für die Untersuchung der Standsicherheit von Böschungen der im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke“. Der Anwendungsbereich der RfS ist die Untersuchung und Beurteilung der Standsicherheit von Randböschungen und bleibenden Böschungen der Braunkohlentagebaue und der zugehörigen Hochkippen sowie Restseen. Auf Betriebsböschungen findet diese Richtlinie keine Anwendung.

## 2 Historie der RfS

### 2.1 Fassung vom 04.03.1976

In der Ursprungsfassung vom 04.03.1976 wurde die RfS [1] getitelt: „Richtlinien für die Untersuchung der Standsicherheit von bleibenden Böschungen der im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke (Richtlinien für Standsicherheitsuntersuchungen – RfS)“.

Dipl.-Geol. ANNIKA MITTMANN,  
Bezirksregierung Arnsberg – Abt. Bergbau und Energie in NRW,  
Dezernat 61 – Braunkohlenplanung, Josef-Schregel-Straße 21,  
52349 Düren, Germany  
Tel. +49 (0) 2421-9440-23, Fax +49 (0) 2931-824-0941  
e-mail: annika.mittmann@bra.nrw.de

Prof. Dr.-Ing. KONRAD KUNTSCHKE,  
Hochschule RheinMain, Kurt-Schumacher-Ring 18,  
65197 Wiesbaden, Germany  
Tel. +49 (0) 611-9495-1461, Fax: +49 (0) 611-9495-1487  
e-mail: konrad.kuntsche@hs-rm.de

Die RfS wurde vom damaligen Landesoberbergamt NW (heute Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie in NRW) unter Mitwirken des Geologischen Landesamts Nordrhein-Westfalen (heute Geologischer Dienst NRW) sowie nach Anhörung des Vereins Rheinischer Braunkohlenwerke e.V., Köln (heute Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein, DEBRIV), und der Rheinischen Braunkohlenwerke AG, Köln (heute RWE Power AG) erarbeitet.

Der Anwendungsbereich der damaligen RfS umfasst bleibende Böschungen (Einzelböschungen und Böschungssysteme) der Braunkohlentagebaue und der zugehörigen Außenkippen. Hierzu gehören auch die Teile einer Böschung, die zu einem späteren Zeitpunkt wieder verkippt werden (d.h. Randböschungen). Auf fortschreitende (Betriebs-) Böschungen der Braunkohlentagebaue und der zugehörigen Außenkippen (Gewinnungs- und Kippenböschungen) finden diese Richtlinien keine Anwendung.

Die Fassung beschreibt die Grundsätze zur Anlage von Böschungen und Maßnahmen gegen Böschungsumbildungen, erläutert die wesentlichen Begriffe und gibt vor, wie die Untersuchung und Beurteilung der Standsicherheit zu erfolgen hat. Weiterhin enthält sie Vorgaben zur Vorlage und zum Inhalt von Betriebsplänen zu Standsicherheitsuntersuchungen. Sie beinhaltet bereits eine konkrete Vorgabe zum unter ungünstigen Bedingungen mindestens erforderlichen Standsicherheitskoeffizienten ( $\eta$ ).

## 2.2 Fassung vom 16.05.2003

Zur Überprüfung der Richtlinien aus 1976 hinsichtlich wissenschaftlicher Aktualität und Normkonformität wurde seitens des damaligen Landesoberbergamtes NRW ein Gutachten an Prof. Dr.-Ing. Kuntsche, Bensheim, vergeben, das am 30.06.2000 vorgelegt wurde. Die „Gutachterliche Stellungnahme zu den im Rheinischen Braunkohlenbergbau für die rechnerische Prüfung der Standsicherheit von Tagebaurandböschungen verwendeten Berechnungsverfahren sowie Prüfung dieser Verfahren auf Grundlage des aktuellen Standes der wissenschaftlichen Erkenntnisse und unter Berücksichtigung der einschlägigen nationalen und europäischen Normen und Regelwerke der Geotechnik“ [2] wurde am 22.03.2001 bei der Bezirksregierung Arnsberg in Dortmund vom Gutachter persönlich im Rahmen eines sogenannten Standsicherheitlichen Kolloquiums einem Fachgremium unter Beteiligung des Geologischen Dienstes NRW, des DEBRIV, der Universität Karlsruhe sowie der Rheinbraun AG vorgestellt und erläutert. Weiterhin wurde in diesem Rahmen der aktuelle Stand zu Berechnungsverfahren, Verformungsberechnungen und Verformungsmessungen vorgestellt und im Fachkreis intensiv diskutiert.

Auf Grundlage der Ergebnisse des Standsicherheitlichen Kolloquiums erfolgte anschließend eine grundlegende Überarbeitung der Richtlinien unter Beteiligung des Geologischen Dienstes NRW und des Bergamtes Düren. Im Rahmen dieser Überarbeitung wurden sowohl der DEBRIV als auch die damalige RWE Rheinbraun AG angehört.

Bei der Überarbeitung war insbesondere zu klären, ob die zuvor angewandten Berechnungsverfahren noch dem aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis entsprachen und welche Methoden unter den spezifischen Randbedingungen des Rheinischen Braunkohlenbergbaus zukünftig bei der bergbehördlichen Prüfung der Standsicherheit eingesetzt werden sollen.

Eine Überprüfung der bisherigen Beurteilungsgrundlagen war insbesondere auch deshalb angezeigt, weil mit der DIN 1054 (Baugrund) [3] eine neue Grundlagennorm für sämtliche Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau geschaffen worden war. Vor diesem Hintergrund wurde u.a. geprüft, ob das mit den Normen DIN 1054 und DIN 4084 (Böschungs- und Geländebruchberechnungen) [4] neu eingeführte Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Bodenkenngrößen auch im Braunkohlenbergbau zur Anwendung kommen sollte. Nach den zuvor angewandten

Verfahren war hingegen der Ansatz globaler Sicherheitsbeiwerte üblich. Ferner war der Frage nachzugehen, in welchem Umfang die durch den Unternehmer und die Universität Karlsruhe gemeinsam entwickelten räumlichen Berechnungsverfahren in Ergänzung zur üblichen Berechnung ebener Bruchmechanismen für die behördliche Beurteilung der Standsicherheit geeignet sind. Weiterhin war zu prüfen, ob die elektro-optischen Verfahren zur kontinuierlichen Überwachung der Böschungen und sonstige Verformungsmessungen, die sich in der betrieblichen Praxis bereits bewährt haben, auch bei der behördlichen Prüfung berücksichtigt werden können.

Die Neufassung der „Richtlinie für Standsicherheit von bleibenden Böschungen der im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke (Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen – RfS)“ wurde am 16.05.2003 veröffentlicht [5].

Gegenüber der Fassung aus 1976 wurden nachfolgende wesentliche Inhalte ergänzt:

- Im Anwendungsbereich werden explizit Randböschungen und bleibende Böschungen von Außenkippen sowie von Restlöchern genannt.
- Als Basis für den Nachweis der Standsicherheit werden die Nutzung geotechnischer Untersuchungen, Standsicherheitsberechnungen und deren Beurteilung sowie Ergebnisse markscheiderischer Beobachtungsmaßnahmen verlangt.
- Es erfolgt die Vorgabe konkreter Berechnungsverfahren (Lamellenverfahren Bishop und zusammengesetzte Bruchmechanismen mit geraden Gleitlinien – Starrkörpermethode) sowie die Vorgabe zur Verwendung der globalen Sicherheitsdefinition nach Fellenius.
- Bei zu schützenden Objekten im Böschungsrandbereich und bei bleibenden Böschungen wird eine Mindestsicherheit ( $\eta$ ) von 1,3 gefordert.
- Durch mögliche Erdbeben bedingte Einwirkungen sind bei bleibenden Böschungen angemessen zu berücksichtigen.
- Neu aufgenommen sind Beobachtungsmaßnahmen und die Forderung zur Aufstellung eines Überwachungskonzeptes für Böschungen.
- Es wird eine Mustergliederung „Sonderbetriebsplan für Standsicherheitsuntersuchungen“ vorgegeben.
- Die Prüfung der Standsicherheitsuntersuchungen kann entweder durch den Geologischen Dienst NRW oder durch von der Bezirksregierung Arnsberg benannte Sachverständige bzw. sachverständige Stellen erfolgen.

## 2.3 Standsicherheitliche Kolloquien – Arbeitskreis Gebirgsmechanik

Über die weiteren Erfahrungen mit der Umsetzung dieser RfS-Neufassung wurde in den Jahren 2005 und 2008 im Rahmen Standsicherheitlicher Kolloquien unter Federführung der Bezirksregierung Arnsberg und Beteiligung der oben genannten Institutionen berichtet. Weiteres Ziel der Veranstaltungen war, sich im Expertenkreis über Erfahrungen und Entwicklungen auf dem Gebiet der Bodenmechanik im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit im Braunkohlenbergbau auszutauschen. Schwerpunktthemen der Veranstaltungen waren Sonderbetriebspläne für Randböschungen, Überwachungskonzepte, Einwirkungen infolge von Erdbeben, Standsicherheitsberechnung mit Berücksichtigung von Erdbeneinfluss (Berechnungsverfahren mit Ansatz von Erdbenenlasten und Außenwasser<sup>1</sup>), Hydrologieansätze zur Modellierung von Grundwasserhorizonten bei Standsicherheitsberechnungen, Qualitätssicherung bei geomechanischen Untersuchungen (Laborakkreditierung, Laborinformationssystem, geomechanische

<sup>1</sup> Außenwasser meint hier zur Unterscheidung von Grundwasser das Wasser außerhalb der Böschung, d.h. das Wasser im See.

Datenbank), alte Grubenbaue (Braunkohlentiefbau Morschenich, ehemaliger Bergbau im Raum Lucherberg), optimierte Kohlegewinnung im Randböschungsbereich, Prüfung der Standsicherheit von Tagebauböschungen durch den Geologischen Dienst NRW, Standsicherheits- und Verformungsberechnungen mit der Methode der Finiten Elemente, Verformungsverhalten von Tagebaurandböschungen (Georobot, Vertikal-Inklinometer).

Im November 2009 wurde daraufhin unter Beteiligung der Bezirksregierung Arnsberg zusammen mit dem Geologischen Dienst NRW und dem Bergbauunternehmen RWE Power AG ein ständiger Arbeitskreis als feste Institution für „Gebirgsmechanik im Rheinischen Braunkohlenbergbau“ in NRW gegründet, um eine sich systematisch mit der Fortentwicklung des Standes der Technik und somit der Prüfung und Weiterentwicklung der RfS befassende Instanz zu schaffen [6, 7]. Der Arbeitskreis gewährleistet somit, dass die Böschungen der Braunkohlentagebaue im Rheinischen Revier stets nach neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen geplant, geprüft, genehmigt, sicher ausgestaltet und hergestellt sowie unterhalten werden.

### 3 Prüfung und Weiterentwicklung der RfS durch den Arbeitskreis Gebirgsmechanik im Rheinischen Braunkohlenrevier

Bereits in der Fassung der RfS aus 2003 ist für bleibende Böschungen eine angemessene Berücksichtigung von durch mögliche Erdbeben bedingten Einwirkungen (4.5 (5)) gefordert. Da zum damaligen Zeitpunkt noch keine verbindlichen oder verlässlichen Angaben zur einer angemessenen Berücksichtigung des Einflusses von Erdbeben auf die Standsicherheit bleibender Böschungen vorlagen, wurden seitens RWE Power mehrere Gutachten in Auftrag gegeben und mit wissenschaftlicher Unterstützung ein Verfahren zur Berücksichtigung von Erdbebeneinwirkungen bei Standsicherheitsuntersuchungen entwickelt [8, 9].

#### 3.1 Entwicklung eines Ansatzes zur Berücksichtigung von Erdbeben bei Standsicherheitsuntersuchungen

2005 legte Professor Kuntsche von der Hochschule RheinMain ein Gutachten zur „Berücksichtigung des Einflusses „Erdbeben“ bei der Standsicherheitsberechnung von bleibenden Tagebauböschungen im Rheinischen Braunkohlenrevier, Darstellung der Grundlagen“ [10] vor. In diesem Gutachten wurden verschiedene Möglichkeiten zur rechnerischen Berücksichtigung des Einflusses von Erdbebenlasten vorgestellt und bewertet. Im Ergebnis wird die Berücksichtigung eines quasistatischen Ansatzes innerhalb der klassischen statischen Berechnungsverfahren empfohlen. Bei diesen Verfahren werden die durch ein Erdbeben auftretenden Kräfte entweder als Anteil der Erdbebenbeschleunigung (mit  $k$  als „seismischer Koeffizient“) oder anhand der durch Erdbeben verursachten Spitzenbodenbeschleunigung (mit  $\chi$  als „pseudo-statischer Koeffizient“) angesetzt. Der Wertebereich des seismischen Koeffizienten  $k$  ist regional unterschiedlich und umso größer, je stärker die in einem Gebiet zu erwartenden Erdbeben sind. Bei Nutzung des pseudostatischen Koeffizienten  $\chi$  wird die Stärke der zu erwartenden Erdbeben durch die Spitzenbodenbeschleunigung berücksichtigt.

Von 2004 bis 2010 erarbeitete Dr.-Ing. Goldscheider, ehemals am Institut für Boden- und Felsmechanik in Karlsruhe, verschiedene Gutachten (z.B. [11]) zu Berechnungsverfahren unter Ansatz von Erdbeben und Außenwasser. Aufbauend auf dem zunächst von Professor Kuntsche vorgeschlagenen konventionellen Verfahren, entwickelte Dr. Goldscheider für die beiden in der RfS benannten Berechnungsverfahren – Gleitkreismethode nach Bishop und Starrkörpermethode – statisch korrekte Ansätze für die aus den geminderten Maximalbeschleunigungen ermittelten Einwirkungen.

Im Jahr 2006 stellte Prof. Dr. Hinzen, Leiter der Erdbebenstation Bensberg der Universität Köln, die Ergebnisse des Gutachtens zu „Seismische Lasten für die Ermittlung von Böschungsstandsicherheiten“ [12] vor. Im Gutachten wurden Werte für die Maximalbeschleunigung aus der Erdbebeneinwirkung an der Geländeoberfläche ermittelt.

#### 3.2 Prüfprozess und Risikobetrachtung

Das Risiko eines möglichen Böschungsbruches ergibt sich zum einen aus der Wahrscheinlichkeit des Auftretens und zum anderen aus einer möglichen Schadenshöhe.

Bei hohem Schadenspotenzial wird man die Böschungen bei den rechnerischen Nachweisen mit entsprechend hohen Erdbeben-Einwirkungen belasten und sie dadurch so gestalten, dass selbst bei sehr seltenen Ereignissen keine zerstörerischen Massenbewegungen zu erwarten sind.

Für die angemessene Berücksichtigung wird also immer auch das jeweilige Schadenspotenzial<sup>2</sup> genauer zu untersuchen sein. Das Schadenspotenzial bestimmt damit auch den Umfang und die Tiefe erforderlicher geotechnischer<sup>3</sup> und seismologischer<sup>4</sup> Untersuchungen.

Unter Berücksichtigung des möglichen Schadenpotenzials und vor dem Hintergrund der Weiterentwicklung der Normenwelt schien eine Prüfung des vorliegenden Erdbebenansatzes und eine daraus abgeleitete verbindliche Festlegung zur Berücksichtigung von Erdbeben in der RfS erforderlich. Der Arbeitskreis beschloss daher eine Überprüfung und Erweiterung der bisherigen Erkenntnisse. So wurde die Einwirkungsseite – im Speziellen die Erdbebenbeschleunigungen – durch den Geologischen Dienst NRW als Landeserdbebendienst unter Einbindung der Erdbebenstation Bensberg (Universität zu Köln) und temporär des Geoforschungszentrums (GFZ) Potsdam untersucht, während für die Überprüfung der standsicherheitslichen Aspekte zu Berechnungsansätzen und -verfahren Prof. Dr.-Ing. Triantafyllidis vom Institut für Boden- und Felsmechanik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) eingebunden wurde.

Die Prüfung der Einwirkungsseite erfolgte unter Berücksichtigung der aktuellen Vorgaben aus dem Eurocode 8 – Erdbeben [13] sowie der DIN 19700 – Stauanlagen [14]. Im Eurocode 8 mit DIN EN 1998-1/NA als geplante Nachfolgenorm der DIN 4149 ist als Gefährdungsniveau eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren zu Grunde gelegt. Dies entspricht dem für Anlagen üblicher Hoch- und Ingenieurbauten weltweit und dem der gültigen deutschen Erdbebenbaunorm (DIN 4149) [15] angesetzten Gefährdungsniveau. Für die Absperrbauwerke von Stauanlagen werden entsprechend der DIN 19700 für große Stauanlagen (Talsperrenklasse 1) Wiederkehrperioden von 500 Jahren („Betriebserdbeben“) und 2500 Jahren („Bemessungserdbeben“) angesetzt.

Da die Dauer der Befüllphase eines Restsees zeitlich begrenzt ist und der Größenordnung der Lebensdauer eines Hochbaus entspricht, wird das Sicherheitsniveau der Befüllphase des Restsees angelehnt an den Eurocode 8 mit einer Wiederkehrperiode von 475 bzw. 500 Jahren berücksichtigt. Obwohl bei bleibenden Böschungen im Rheinischen Revier gegenüber beispielsweise Staudämmen von einer geringeren Sekundärgefährdung im Versagensfall auszugehen ist, wurde für den Endzustand eines Restsees die Dimensionierung in Anlehnung an das Sicherheitsniveau des Absperrbauwerks einer über Gelände liegenden großen

<sup>2</sup> Größe eines durch mögliche Massenbewegungen beeinflussten Gebietes, dortige Infrastruktur, mögliche Auswirkungen von etwaigen Schallwellen im Restsee.

<sup>3</sup> Erkundungen, Laborversuche, Messungen, Berechnungen usw.

<sup>4</sup> Festlegung der seismischen Last, Bestimmung von Standorteffekten, Ermittlung relevanter Bodenbewegungszeitverläufe usw.

Stauanlage nach DIN 19700 bzw. Merkblatt 58 „Berücksichtigung von Erdbebenbelastungen nach 19700“ (LANUV) [16] festgelegt. Da die Anforderungen der DIN 19700 grundsätzlich nur für das eigentliche Absperrbauwerk, nicht aber für die bezüglich ihrer Lage unterhalb des umgebenden Geländes liegenden Böschungen und Hänge der Staubecken gelten, werden für die Böschungssysteme von Restseen gegenüber dem für die Hänge und Böschungen von Staubecken anzuwendenden Eurocode 8 stärkere Erdbeben angesetzt. Die Bemessung der Restseeböschungen wird damit bereits im Hinblick auf eine mögliche spätere bauliche Nutzung, für die ebenfalls die Anforderungen der DIN EN 1998 (Eurocode 8) zu berücksichtigen sind, ausgelegt.

Professor Triantafyllidis hat in seiner gutachterlichen Stellungnahme „Erdbebenbeschleunigungen für Böschungen im Rheinischen Braunkohlenrevier – Überprüfung des quasi-statischen Ansatzes der Erdbebenbeschleunigung bei Standsicherheitsuntersuchungen und Bewertung der Rechenverfahren für Böschungen im Rheinischen Braunkohlenbergbau“ die aus den o.g. Gutachten und Betrachtungen resultierenden Vorschläge und das von Dr. Goldscheider entwickelte Verfahren geprüft und kommt in seinem Gutachten vom Juni 2013 [17] zu dem Ergebnis, dass das im Rheinischen Braunkohlenbergbau bewährte und präferierte quasistatische Berechnungsverfahren zur Untersuchung der Standsicherheit von Böschungen unter Erdbebeneinwirkungen gut geeignet ist und Ergebnisse liefert, die auf der sicheren Seite liegen. Dies wurde durch umfangreiche dynamische Vergleichsberechnungen bestätigt.

Professor Triantafyllidis bestätigte das in der Richtlinienfassung von 2003 benannte Verfahren nach Bishop in seiner Geeignetheit zur Beurteilung der Standsicherheit von Böschungen. Die entsprechende Erweiterung zur Berücksichtigung der Erdbebenlasten auf die Feststoffmasse und das Wasser nach Goldscheider wird aus Gutachtersicht empfohlen, da Porenwasserüberdrücke entsprechend dem Ansatz von Goldscheider auf der sicheren Seite liegend eingeschätzt werden können. Die Erdbebenlast auf das Grundwasser wird folglich mit der gleichen Beschleunigung zur Ermittlung der Trägheitskräfte in der Böschungsrichtung beaufschlagt, wie diejenige für die anstehende Feststoffmasse. Das Gutachten kommt zu dem Schluss, dass die Standsicherheitsberechnung der Böschung ohne Teilsicherheitsfaktoren durchgeführt werden kann, da zum Nachweis der globalen Standsicherheit ( $\eta > 1$ ) es zu zeigen genügt, dass in dem maßgebenden Gleitkreis die stabilisierenden Momente gegen eine Böschungsrutschung im Falle von Erdbeben größer sind als die treibenden Momente. Unter Berücksichtigung einschlägiger Normen und durch Einsatz dynamischer Berechnungsverfahren erfolgte eine Rückrechnung der in pseudo-statischen Verfahren anzusetzenden pseudo-statischen Koeffizienten. Insgesamt wurden relativ gering schwankende pseudo-statische Koeffizienten unabhängig vom Betriebs- und Endzustand und der seismischen Belastung festgestellt. Auf der sicheren Seite liegend werden daher konstante, folglich von der Spitzenbodenbeschleunigung und der Wiederkehrperiode unabhängige  $\chi$ -Werte für die oberflächennahen und tiefliegenden Gleitkreise empfohlen. Die  $\chi$ -Werte können zwischen hoch- und tiefliegenden Gleitkreisen linear interpoliert werden oder aber auf der sicheren Seite liegend der Wert  $\chi = 0,25$  angewendet werden.

### 3.3 Erarbeitung der Richtlinienergänzung

Grundlage der Erarbeitung der Richtlinienergänzung war die bereits erwähnte gutachterliche Stellungnahme vom Mai 2012, mit Ergänzung vom Juni 2013 von Professor Triantafyllidis sowie die Empfehlung des Geologischen Dienstes NRW zur Einwirkungsseite.

Seit 2012 kann bei der Ermittlung der Bodenbeschleunigungen inzwischen auf umfangreiche Standortgutachten verzichtet werden, da die beim GFZ Potsdam bundesweit vorhandenen Daten für die Beschleunigungswerte an der Geländeoberfläche

(PGA-Werte) auf deren Internetseite online abgerufen werden können. Auf Anfrage des Arbeitskreises Gebirgsmechanik stellt das GFZ Potsdam seine Daten inzwischen auch dauerhaft zur Verfügung und weist die Spitzenbodenbeschleunigung am jeweiligen Standort als Zahlenwert aus. Die Richtlinienneufassung sieht daher neben standortspezifischen Gutachten auch die Nutzung der GFZ-Daten vor.

Die im Jahr 2013 im Rahmen der Tätigkeit des Arbeitskreises Gebirgsmechanik unter Federführung der Bezirksregierung Arnsberg entwickelte Neufassung der RfS mit einer 1. Ergänzung wurde als Entwurfsfassung nochmals Professor Triantafyllidis übersandt und von ihm bestätigt, dass seine Empfehlungen in der Richtlinie Berücksichtigung fanden.

## 4 Neufassung der Richtlinie für Standsicherheit mit Ergänzung zu Erdbeben 2013

In der Neufassung der Richtlinie für Standsicherheit, welche am 08.08.2013 im elektronischen Sammelblatt veröffentlicht wurde, sind nachfolgende Aspekte hinsichtlich der Berücksichtigung von Erdbebenwirkungen zu betonen:

- Die Ergänzung der RfS gilt für die Berücksichtigung von Erdbebeneinwirkungen bei bleibenden Böschungen von Restseen und Hochkippen der Braunkohlentagebaue in NRW.
- Wiederkehrperioden (500 bzw. 2500 Jahre) sowie pseudo-statische Koeffizienten werden verbindlich festgelegt.
- Voraussetzung für die Untersuchung mit diesen Verfahrensansätzen ist das Nichtauftreten von Verflüssigungseffekten der Materialien.
- Die mittels pseudo-statischer Verfahren für den Erdbebenfall ermittelte Standsicherheit  $h$  muss über dem Grenzgleichgewicht 1,0 liegen; ist  $\eta \leq 1,0$ , müssen die infolge von Erdbeben zu erwartenden Verformungen mittels weiterführender dynamischer Untersuchungen ermittelt und gutachterlich bewertet werden.
- Die Festsetzung der Wiederkehrperioden und die Ermittlung der zugehörigen Bodenbeschleunigungen für den Standsicherheitsnachweis sind wie in der RfS dargestellt vorzunehmen.

Dem Hinweis, den Einfluss seismischer Ereignisse auf die Standsicherheit vorrangig mittels (spezieller) dynamischer Berechnungsverfahren zu prüfen, wurde nachgegangen. Gemäß der aktuellen Richtlinienergänzung können zur Berücksichtigung von Erdbebeneinwirkungen auf bleibende Böschungen sowohl statische als auch dynamische Berechnungsverfahren angewendet werden. Üblicherweise finden dynamische Berechnungen dann Anwendung, wenn der Nachweis einer ausreichenden Standsicherheit mittels der auf der sicheren Seite liegenden quasistatischen Berechnungsverfahren nicht möglich ist (vgl. Ziffer 5.2 der RfS-Ergänzung vom 08.08.2013 und Ziffer 4.2.2.1 des Merkblatts 58).

## 5 Unterschiede zur Böschungsbemessung im Bauwesen (DIN 1054/EC7)

Der Anwendungsbereich der DIN 1054 (Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1/NA) [18] schließt Braunkohlentagebaue wie folgt explizit aus:

„Braunkohlentagebaue gehören nicht zum Anwendungsbereich dieser Norm, da hier durch andere geologische und geotechnische Erkundungen, Voruntersuchungen und Überwachungen andere Sicherheitsbedingungen vorliegen.“

Diese Ausnahmeregelung ist in der vorliegenden Endfassung der DIN 1054 von Dezember 2010 als ergänzende Regelung

des Nationalen Anhangs (DIN EN 1997-1/NA) der europäischen Norm Eurocode 7 (Entwurf, Berechnungen und Bemessungen in der Geotechnik, EC 7, DIN EN 1997-1:2009-09) enthalten; sie ist damit konform zur gültigen europäischen Normung. Hintergründe der in DIN 1054 genannten anderen Sicherheitsbedingungen sind betriebs- aber auch volkswirtschaftlicher Art ([7]. vgl. auch Ziffer 3 (2) der RfS)<sup>5</sup>.

Umfangreiche und zuverlässige geologische und geotechnische Untersuchungen sind zur sicheren Gestaltung der Tagebaurandböschungen zwingend erforderlich. Vorlaufende Erkundungsmaßnahmen mit Untersuchungsbohrungen, in denen Bohrkerne aus dem Lockergebirge gewonnen werden, sowie aufwendigen Laboruntersuchungen zu den mechanischen Eigenschaften der unterschiedlichen Lockergesteine liefern Grundlagendaten für die Standsicherheitsberechnungen. Diese Standsicherheitsberechnungen werden weit vorlaufend zur Erstellung der Böschungen durchgeführt.

### 5.1 Böschungsüberwachung als Element der Standsicherheit

Im Vergleich zum Bauwesen und zur DIN 1054/EC 7 liegen in den Tagebauen andere Sicherheitsbedingungen hinsichtlich der Böschungsüberwachung vor. Für die Tagebaurandböschungen sind diese in der Bergverordnung für die Braunkohlenbergwerke vorgeschrieben [§37 BVOBr] und in der RfS unter Ziffer 5, Beobachtungsmaßnahmen, weiter konkretisiert. Neben den in den Tagebauen des Rheinischen Reviers entwickelten automatisierten elektro-optischen Messsystemen („Georobot“) und GPS-gestützten Systemen zur kontinuierlichen Überwachung der Böschungsoberfläche werden auch Inclinometermessungen zur Messung des Verformungsverhaltens im Inneren von Böschungen eingesetzt. Mittels dieser Systeme ist sichergestellt, dass etwaige Anomalien im Verformungsverhalten frühzeitig detektiert werden und unverzüglich geeignete Maßnahmen zur Sicherung des Böschungssystems und ggf. zur Abwehr von Gefahren eingeleitet werden können (vgl. Ziffer 5 (2) RfS).

### 5.2 Vergleich der Sicherheitskonzepte

Entgegen der DIN 1054 sieht die RfS die Ausweisung von globalen Standsicherheitskoeffizienten entsprechend dem Ansatz von Fellenius mit gleichmäßiger Abminderung über die gesamten Bruchmechanismen vor. Vorteil dieses Verfahrens gegenüber der DIN 1054/EC 7 ist die transparente und nachvollziehbare Ausweisung der vorhandenen Standsicherheiten.

Für den Erdbebenfall bestehen dabei keine Unterschiede zwischen dem Vorgehen nach der RfS und der DIN 1054, da letztere für den Bemessungsfall Erdbeben („BS-E“) keine Teilsicherheitsbeiwerte ansetzt.

Ein direkter zahlenmäßiger Vergleich der Sicherheiten für den Fall ohne Erdbebeneinwirkungen ist aufgrund der unterschiedlichen Sicherheitskonzepte nicht möglich, da bei der DIN 1054 die ungünstigen veränderlichen Einwirkungen (z.B. Verkehrslasten) mit einem Teilsicherheitsbeiwert vergrößert werden.

Da die Einflüsse solcher ungünstigen veränderlichen Einwirkungen auf die Sicherheit einer Böschung und insbesondere von großen Tagebaurand- oder -endböschungssystemen allerdings vernachlässigbar sind [vgl. 19], ergibt sich aus dem Vergleich der Globalsicherheiten der RfS mit den Teilsicherheitsbeiwerten der Widerstände aus DIN 1054 folgendes Bild:

*Für bleibende Böschungen und Randböschungen mit zu schützenden Objekten sieht die RfS eine Sicherheit von 1,30 vor, bei Anwendung des Teilsicherheitskonzeptes der DIN 1054 ergäbe sich dagegen nur eine Sicherheit von 1,25.*

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang auch der Hinweis im EC 7 zur Genauigkeit von Rechenmodellen und Teilsicherheitsbeiwerten (2.4 Geotechnische Bemessung auf Grund von Berechnungen):

„Es sollte berücksichtigt werden, dass die Kenntnis der Baugrundverhältnisse vom Umfang und von der Güte der Baugrunduntersuchungen abhängt. Deren Kenntnis und die Überwachung der Bauarbeiten sind im Allgemeinen wichtiger für die Einhaltung der grundsätzlichen Anforderungen als die Genauigkeit der Rechenmodelle und Teilsicherheitsbeiwerte.“

Diese Aussage verdeutlicht nochmals den Hintergrund, warum Braunkohlentagebaue aus dem Anwendungsbereich der DIN 1054 herausgenommen wurden, da hier durch andere, deutlich umfangreichere, geologische und geotechnische Erkundungen, Voruntersuchungen und Überwachungen andere Sicherheitsbedingungen vorliegen.

## 6 Zusammenfassung und Fazit

Seit 1976 erfolgt die standsicherheitliche Prüfung von Rand- und bleibenden Böschungen der Braunkohlentagebaue in NRW entsprechend den Vorgaben der Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen der Bezirksregierung Arnsberg. Diese sieht ein sogenanntes „6-Augen-Prinzip“ der am Nachweis- und Prüfprozess beteiligten Parteien vor, womit ein hohes Sicherheitsniveau der Böschungen gewährleistet wird.

Die fachliche Diskussion und Weiterentwicklung der Richtlinie und die Bearbeitung von gebirgsmechanischen Fragestellungen erfolgt inzwischen strukturiert durch den Arbeitskreis „Gebirgsmechanik im Rheinischen Braunkohlenbergbau“ unter der Federführung der Bezirksregierung Arnsberg mit Beteiligung des Geologischen Dienstes NRW sowie des Bergbauunternehmers. Bei speziellen Fragestellungen werden weitere Experten von Fachbehörden oder Hochschulen hinzugezogen. Damit ist sichergestellt, dass anstehende Fragestellungen fachlich fundiert und wissenschaftlich abgesichert bearbeitet werden.

Dieses Vorgehen erfolgte auch vor der letzten Neufassung der Standsicherheitsrichtlinie im Jahr 2013. Der vorliegende, gutachterlich entwickelte Erdbebenansatz wurde nochmals fachlich und wissenschaftlich überprüft und modifiziert, bevor er Eingang in die Richtlinie fand.

Im Ergebnis liegt heute eine wissenschaftlich abgesicherte Ergänzung der Richtlinie mit konkreten Vorgaben zur Berücksichtigung von Erdbebeneinwirkungen bei der Standsicherheitsuntersuchung bleibender Böschungen vor. Diese gehen für die Restseeböschungssysteme hinsichtlich der anzusetzenden Erdbebeneinwirkungen (Wiederkehrperiode) über die Anforderungen der im Bauwesen üblichen DIN 1054 (Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau) sowie Eurocode 8 (Erdbeben) hinaus und orientieren sich an den hohen Anforderungen der DIN 19700 Stauanlagen. Obwohl ein Restsee aufgrund der vorliegenden Randbedingungen (direkte Grundwasseranbindung im Endzustand, Lage unterhalb des umgebenden Geländes) nicht die Kriterien eines Stausees erfüllt, ist damit für die zukünftigen Restseen ein vergleichbar hohes Sicherheitsniveau gewährleistet, wie es in NRW auch für die Bemessung von über Gelände befindlichen Absperrbauwerken (Staudämmen) herangezogen wird.

Durch den Arbeitskreis „Gebirgsmechanik im Rheinischen Braunkohlenbergbau“ wird auch weiterhin eine strukturierte und umfangreiche Bearbeitung aller gebirgsmechanisch relevanten Fragen der Braunkohlentagebaue in NRW sichergestellt.

<sup>5</sup> Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen (RfS), Ziffer 3 (2): Aufgrund zunehmender Gewinnungsteufen sind eine richtige Bemessung der Tagebaurandböschungen und deren zutreffende standsicherheitliche Beurteilung auch aus betriebs- und volkswirtschaftlichen Gründen geboten, um eine möglichst vollständige Gewinnung der Lagerstätte zu ermöglichen.

## References/Literatur

- [1] Richtlinien für die Untersuchung der Standsicherheit von Böschungen der im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke (Richtlinien für Standsicherheitsuntersuchungen – RfS) Landesoberbergamt NRW; Fassung vom 04.03.1976
- [2] KUNTSCHKE, K. (2000): Gutachterliche Stellungnahme zu den im Rheinischen Braunkohlenbergbau für die rechnerische Prüfung der Standsicherheit von Tagebaurandböschungen verwendeten Berechnungsverfahren sowie Prüfung dieser Verfahren auf Grundlage des aktuellen Standes der wissenschaftlichen Erkenntnisse und unter Berücksichtigung der einschlägigen nationalen und europäischen Normen und Regelwerke der Geotechnik. – Bensheim, 30.06.2000.
- [3] DIN 1054 2005-01: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau.
- [4] DIN 4084 2009-01: Baugrund – Geländebruchberechnungen.
- [5] Richtlinie für die Untersuchung der Standsicherheit von Böschungen der im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke (Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen – RfS) Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie in NRW; Neufassung vom 16.05.2003, Neufassung mit 1. Ergänzung vom 08.08.2013.
- [6] PETRI, R. (2009): Tagebauböschungen – Standsicherheit von Rand- und Endböschungen von Braunkohlentagebauen. – Jahresbericht 2009 der Bergbehörden des Landes NRW.
- [7] PETRI, R. & STEIN, W. (2012): Tagebauböschungen – Standsicherheit von Böschungen der Braunkohlentagebaue in Nordrhein-Westfalen. – World of Mining **64**, 2: 114-125.
- [8] DAHMEN, D., HINZEN, K.-G. & KUNTSCHKE, K. (2014): Verfahren zur rechnerischen Berücksichtigung von Erdbebeneinwirkungen für bleibende Böschungen der Braunkohlentagebaue im Rheinischen Revier. – World of Mining **66**, 2: 91-100.
- [9] GOLDSCHIEDER, M., DAHMEN, D. & KARCHER, C. (2010): Berücksichtigung von Erdbeben bei Standsicherheitsberechnungen für tiefe Endböschungen unter Wasser. – World of Mining **62**, 5: 252-261.
- [10] KUNTSCHKE, K. (2005): Berücksichtigung des Einflusses „Erdbeben“ bei der Standsicherheitsberechnung von bleibenden Tagebauböschungen im Rheinischen Braunkohlenrevier, Darstellung der Grundlagen. – Bensheim, 10.03.2005.
- [11] GOLDSCHIEDER, M. (2011): Ansatz von Außenwasser von Erdbebenlasten bei horizontalem Grundwasserspiegel und Außenwasser. – 07.05.2005 mit Berichtigung vom Juni 2011 (unveröffentlicht).
- [12] HINZEN, K.-G. (2006): Seismische Lasten für die Ermittlung von Böschungsstandsicherheiten. – Universität Köln, Abteilung Erdbebengeologie, Institut für Geologie und Mineralogie, Köln, Oktober 2006.
- [13] Eurocode 8 (DIN EN 1998-1/NA): Erdbeben.
- [14] DIN 19700: Stauanlagen.
- [15] DIN 4149: Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten; April 2005.
- [16] NRW Merkblatt 58 (2006): Berücksichtigung von Erdbebenbelastungen nach 19700 in NRW, Landesumweltamt NRW, Essen.
- [17] TRIANTAFYLIDIS, T. (2012): Erdbebenbeschleunigungen für Böschungen im Rheinischen Braunkohlenrevier – Überprüfung des quasi-statischen Ansatzes der Erdbebenbeschleunigung bei Standsicherheitsuntersuchungen und Bewertung der Rechenverfahren für Böschungen im Rheinischen Braunkohlenbergbau. – Universität Karlsruhe, Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Karlsruhe, Mai 2012 mit Ergänzungen vom Juni 2013.
- [18] DIN 1054: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1/NA.
- [19] SCHUPPENER, B. & WEISSENBACH, A. (2012): Zuverlässigkeit und Sicherheit bei der Bemessung in der Geotechnik. – Bautechnik **89**, 9: 629-638.