

Sicherheit von Tagebauböschungen im Rheinischen Braunkohlenrevier

1. Grundlegende Situation in Nachterstedt

Entwicklung des Bergbaus

Bergbau auf Braunkohle ist in der Region Nachterstedt etwa ab 1820 geführt worden, zunächst als Tiefbau am Südrand der Lagerstätte. Sehr früh, schon Mitte des 19. Jahrhunderts, hat sich ein Tagebaubetrieb entwickelt. Dieser Tagebau Concordia mit dem Nachbarbetrieb Königsau ist mit einigen Zusatzabbauen bis 1992 geführt worden. Etwas vereinfacht dargestellt, ist der Betrieb über das Rund des Tagebaus gegen den Uhrzeigersinn mit einer 360°-Drehung geführt worden. Der ursprünglich etwas südlich des Zentrums des heutigen Tagebaurestlochs Concordia gelegene Ort Nachterstedt wurde dabei auf gewachsenen Boden unmittelbar südlich des Tagebaus umgesiedelt. Abraumkippen entstanden als Außenkippen beim Aufschluss des Tagebaus und später an den Tagebaurändern, insbesondere am Südrand. Die hier befindliche Kippe, an welcher sich am 18.07.2009 die Rutschung ereignete, wurde vor 120 bis 100 Jahren geschüttet. Sie diente nicht nur zur Unterbringung des Abraums, sondern wurde auch als Verbindungsdamm der Eisenbahn zu den Brikettfabriken und der Schwelerei des Braunkohlenbergwerks auf einem eigenständig stehen gelassenen Kohlepfiler (sog. Werkpfiler) unmittelbar nordwestlich der Südrandkippe und der aktuellen Rutschung benötigt. In den 1930er Jahren wurde auf der Kippe zudem eine sog. Beamtsiedlung für die leitenden Angestellten des Bergwerksbetriebs errichtet. Im Jahr 1975 hatte der Tagebau Concordia die volle Drehung nahezu abgeschlossen. Der Abbau wurde dann auch im Werkpfiler fortgeführt, der dazu geräumt werden musste. Im Werkpfiler wurden auch eine Reihe alter Grubenbaue aus dem alten untertägigen Abbau auf bis zu drei Sohlen angetroffen. Beim Abbau des Werkpilers wurde die alte Südkippe angeschnitten. In einigen Bereichen blieb aber am Fuß der Kippenböschung eine ca. 20 m mächtige Kohlenrippe stehen, die ebenfalls Strecken des untertägigen Altbergbaus aufwies. Diese Kohlenrippe wurde zur Stützung des Böschungsfußes mit einer Zusatzüberdeckung von ca. 10 m Abraum versehen.

Gewinnungs- und Verkippungstechnik

Die Gewinnung wurde in den Anfängen von Tief- und Tagebau im Handbetrieb ausgeführt; später erfolgte eine Mechanisierung des Tagebaubetriebs durch Einsatz unterschiedlicher Baggertypen. Der Massentransport erfolgte im Eisenbahnbetrieb. Der anteilmäßig vergleichsweise geringe Abraum wurde vermutlich aus Zügen zunächst per Hand und später mit Eisenbahnplügen von der Strosse hinab in die Böschung ge-

schoben (sog. Pflugkippe); eine gesonderte Verdichtung des Kippenmaterials erfolgte nicht. Später kamen auch Absetzer zum Einsatz.

Stilllegung, Sanierung, Flutung

1992 wurde im Tagebau Nachterstedt die Braunkohlegewinnung eingestellt. Seitdem wird das Restloch von der Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (LMBV) saniert und für eine Nutzung als Freizeitsee mit Boots- und Badeaktivitäten vorbereitet (sog. Concordiasee). Diese Sanierung erfolgt als Wiedernutzbarmachung im Sinne des Bergrechts unter Aufsicht der örtlich zuständigen Bergbehörde des Landes Sachsen-Anhalt. Alle notwendigen wasserrechtlichen und bergrechtlichen Zulassungen liegen vor.

Zur Anlage des Concordiasees wurden die Böschungen durchgehend planiert und im späteren Unterwasserbereich auf eine Neigung von 1:8 gebracht. Im darüber liegenden Trockenteil der Böschung sind diese steiler gestaltet. Die Grubenbaue in der Kohlenrippe am Fuß der Südböschung wurden - soweit möglich - gesichert und dazu mit hydraulisch abbindenden Aschen verfüllt. Ob dabei alle Hohlräume und alle bestehenden Klüfte verschlossen werden konnten, ist nicht zu rekonstruieren. Zur Gründung für die Fundamente einer sog. Slipanlage zum Einlassen von Booten in den ansteigenden See wurde die Südböschung Ende 2008 auf einer rechtwinkligen Fläche mit Rütteldruckverfahren tiefenverdichtet, d. h. bis auf das Liegende verdichtet. Unmittelbar westlich anschließend wurde im Bereich der ehemaligen Brikettfabrik eine Bodenverunreinigung mit schwer löslichen Aromaten (PAK) gefunden, deren Historie unbekannt ist. Zur Sicherung wurde die Böschung dort bis Anfang April 2009 auf einer rechtwinkligen Fläche schwebend verdichtet, d. h. die Verdichtung reicht nicht bis auf das gewachsene Lockergestein. Alle Sanierungsarbeiten wurden gutachterlich begleitet.

Das Restloch Nachterstedt soll als Concordiasee bis etwa 2025 vom Tiefsten (+42 m NHN) bis auf ein Niveau von +103 m NHN mit Wasser gefüllt werden. Die Freizeitnutzung des Sees mit Badebetrieb, Wassersport und Ausflugsschiffahrt fand ab einem Wasserspiegel von +70 m NHN statt. Kurz vor dem Rutschungsereignis am 18.07.2009 befand sich der Wasserspiegel bei etwa +82 m NHN. Die Geländeoberfläche an der Südböschung einschließlich der von der Rutschung betroffenen Siedlung befindet sich auf einem Niveau +128 m NHN. Der Hauptanteil des zur Seefüllung erforderlichen Wassers muss mangels geeigneter Oberflächengewässer aus dem ansteigenden Grundwasser der unmittelbaren Umgebung des Restlochs eingespeist werden.

Zur Beschleunigung des Wasseranstiegs wurde die ehemalige Tagebausteigeleitung genutzt, um Oberflächenwasser aus dem Fluss Selke von Süden über den Böschungsrand im freien Gefälle zum Tagebautiefsten zu leiten. Die Wasserentnahme aus der Selke ist allerdings nur bei genügend hoher Wasserführung zulässig und deshalb nur be-

grenzt möglich; seit Ende Juni 2009 ist kein Wasser mehr aus der Selke in das Restloch eingeleitet worden. Der Austritt der Speiseleitung besaß eine Krümmung nach oben, um Bodenerosionen durch austretendes Wasser vorzubeugen. Der Eintritt der an der Erdoberfläche frei liegenden Leitung lag am Südrand des Tagebaus. Im Rahmen der Nachtragung des bergmännischen Risswerks wird der Seegrund im Restloch einmal jährlich echometrisch vermessen. Die Ergebnisse werden mit den Ergebnissen vorhergehender Messungen verglichen und Abweichungen ermittelt. Die letzten Messungen Ende 2008 haben dabei keine Auffälligkeiten wie z. B. Erosionen unter Wasser gezeigt.

Der Grundwasserstand in Kippe und Umgebung des Tagebaurestlochs wurde in über 100 Grundwassermessstellen im 14-tägigen, monatlichen und halbjährlichen Turnus überwacht. Messstellen mit kontinuierlicher Messwertaufzeichnung sind nicht eingesetzt gewesen. Einmal jährlich erhält die Bergbehörde einen Bericht mit den Messwerten und einer Auswertung der abzuleitenden Entwicklung. Für die Steuerung des Grundwasseranstiegs ist ein Grundwassermodell im Einsatz, das inzwischen mehrfach kalibriert worden ist, um die tatsächlichen Verhältnisse noch genauer im Modell abzubilden.

Von den Grundwasseranstromseiten (von Südosten, Süden und Südwesten) ist ständig ein gewisses hydraulisches Gefälle in den verschiedenen Grundwasserstockwerken auf die Böschungssysteme vorhanden. Dieses hydraulische Gefälle wurde bei den Standsicherheitsberechnungen berücksichtigt. Nach der Rutschung haben zwei Pegel des liegenden Grundwasserleiters Entlastungsreaktionen angezeigt.

Im März 2009 war nahe des Zentrums der jetzt großflächig abgerutschten Kippenböschung mehrere m oberhalb des Seespiegelniveaus eine kleine Böschungsanomalie erkannt worden. Dort waren auch Wasseraustrittsstellen zu erkennen gewesen. Als Konsequenz aus diesem Ereignis sollte eine örtlich begrenzte Drainage errichtet werden; dazu ist es jedoch nicht mehr gekommen.

Ablauf und Ausmaß der Böschungsrutschung am 18.07.2009

Durch insgesamt 11 seismische Messstationen in näherer und weiterer Umgebung von Nachterstedt wurde am 18.07.2009 um 04:41 Uhr eine Erschütterung mit einer Lokalmagnitude von 1,7 – 1,8 registriert. Die Seismologen und andere Wissenschaftler gehen davon aus, dass dieses Beben durch das Ereignis selbst ausgelöst worden ist. Im Übrigen zeichnet sich die Region durch sehr geringe natürliche Bebenaktivität aus; sie liegt außerhalb von Erdbebenzonen.

Es erfolgte ein Ausfließen von Kippenmassen aus der Böschung in den Concordiasee und ein Nachbrechen der Kippe des ehemaligen Braunkohlentagebaues. Dabei rutschten ein Doppelhaus mit drei Bewohnern, die bislang nicht geborgen werden konnten, und

eine Doppelhaushälfte (Bewohner waren in Urlaub) in die Tiefe. Das Doppelhaus stand 50m und die abgebrochene Doppelhaushälfte stand 85m hinter der ursprünglichen Böschungsoberkante.

Zeugen wollen ein brausendes und saugendes Geräusch wahrgenommen haben. Um 4:48 Uhr wurde die Polizei unterrichtet, der erste Vertreter der Bergbehörde war gegen 5:30 Uhr vor Ort. Die weiteren Ereignisse sind aus der Berichterstattung der Medien hinlänglich bekannt.

Zu dem Rutschungsereignis lässt sich ergänzend zu den Presseberichten Folgendes feststellen: Die Rutschung liegt etwa 600 m südlich der Grenze einer schon im Jahr 1959 eingetretenen Rutschung an der Kippenböschung während des aktiven Tagebaubetriebs (dazu nachfolgend). Oberhalb des Wasserspiegels waren ca. 2,2 Mio. m³ von der Rutschung erfasst. Anhand aufsteigender Luftblasen im Seewasser ließ sich ein Masseneintrag von 400 bis 500 m Länge (von der Uferlinie gerechnet) in den See hinein feststellen. Der dadurch verursachte Wellenschlag hob das am gegenüberliegenden Ufer liegende Ausflugsschiff "Seelandperle" an und schob es ca. 8 m die Uferböschung hinauf. Die Höhe der Flutwelle ließ sich nicht genau ermitteln, dürfte aber größer als 0,5 m gewesen sein. Nach der Rutschung war der Wasserspiegel des Sees um ca. 0,6 m gestiegen. Die Rutschung ist etwa 350 m breit. Der dem See zugewandte Böschungsbereich scheint mit hoher Wahrscheinlichkeit in einer Fließbewegung gerutscht zu sein, während der weiter landeinwärts befindliche Bereich eher die Anzeichen eines gestaffelten Böschungsbruchs aufweist. Die hintere Abbruchkante hat eine Höhe bis zu 42 m und steht relativ steil unter ca. 60 – 70°. Die Ausdehnung der Rutschung ins Hinterland beträgt - von der ursprünglichen Böschungsoberkante gerechnet - ca. 85 – 100 m. Weitere Risse befinden sich noch bis ca. 30 m hinter dieser Abbruchkante.

Rutschungsereignis von 1959

Im Februar 1959 ereignete sich etwa 600 m nördlich der aktuellen Rutschung infolge von Setzungsfliessen eine erste Kippenrutschung größeren Ausmaßes. Insgesamt setzten sich dabei 6,6 Mio. m³ Abraum in Bewegung und flossen in Richtung Tagebautiefes. Dabei kam ein Bergmann ums Leben. Zwei Absetzer und ein Zug wurden mitgerissen. Das Ereignis führte in der DDR zu erheblichen Konsequenzen. Zum ersten Mal wurde das Phänomen "Setzungsfliessen" systematisch wissenschaftlich erforscht. Die Tagebaubetriebe erhielten planmäßig ingenieurgeologische Stabsabteilungen. Es wurden auch Verfahren entwickelt und eingesetzt, um beim Aufbau der Kippen die Gefahren eines Setzungsfliessens zu vermeiden oder eine Sanierung bereits vorhandener und möglicherweise gefährdeter Kippenbereiche vornehmen zu können.

2. Situation im Rheinischen Braunkohlenrevier

Behördliche Zuständigkeiten und Verfahrensabläufe

Die bergrechtliche Genehmigung und die Überwachung des sicheren Betriebs der Braunkohlentagebaue sind Aufgaben der Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie in NRW, die als Bergaufsicht landesweit zuständig ist. Im Rahmen der bergaufsichtlichen Tätigkeit wird u.a. die sichere Gestaltung der Tagebauböschungen geregelt und überwacht. Auf Verlangen der Bergbehörde muss die RWE Power AG als Bergbauunternehmer für alle relevanten Böschungen auf den Einzelfall bezogene Sonderbetriebspläne vorlegen, die durch firmeneigene Sachverständige bereits bei der Böschungsplanung erstellt werden.

Bevor die Zulassung einer bestimmten Geometrie von Abbau- oder Kippenböschungen erfolgen kann, werden Standsicherheitsberechnungen durch das Bergbauunternehmen durchgeführt. Dabei wird die Richtlinie für Standsicherheitsberechnungen (RfS)¹ angewandt. Darin sind auch die Berechnungsverfahren beschrieben. Bei der Beurteilung der Standsicherheit sind stets die Lagerstättenverhältnisse, Art und Umfang der Feld- und Laboruntersuchungen, Ansatz der bodenmechanischen Kennwerte, die zu schützenden Objekte im Böschungsrandbereich und die Standzeit der Böschung zu berücksichtigen. Diese Berechnungen werden dann im Auftrag der Bezirksregierung Arnsberg durch den Geologischen Dienst NRW (GD) durch Vergleichsrechnungen geprüft. Der GD untersucht darüber hinaus auch weitere mögliche Bruchkörper und Bruchmechanismen. Die Richtlinie für Standsicherheitsberechnungen schreibt auch die Berücksichtigung von Erdbebenlasten vor.

Die Standsicherheitsberechnungen basieren auf anerkannten Berechnungsverfahren und Normen. Sie entsprechen somit dem Stand der Technik. Grundlage von Standsicherheitsberechnungen sind stets bodenmechanische Feld- und Laboruntersuchungen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im Rahmen der Prüfung ebenfalls auf Plausibilität und Vollständigkeit geprüft. Der Prüfbericht des GD enthält Hinweise und Empfehlungen zur Herstellung und Überwachung der Böschungen. Sie fließen in die Zulassungsbescheide der Bergverwaltung ein.

Bei den Standsicherheitsberechnungen für Randböschungen werden die Grund- und Restwasserstände in der Böschung und im Liegenden berücksichtigt. Starkregenereignisse führen zwar kurzzeitig zu einem erhöhten Oberflächenwasserabfluss im Tagebau, aber die Grundwasserspiegel werden dadurch nicht nennenswert beeinflusst.

¹ Richtlinie für die Untersuchung der Standsicherheit von Böschungen der im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke (Richtlinie für Standsicherheitsuntersuchungen - RfS -)
Neufassung vom 16.05.2003 Az. 86.19.2-2-1
Abschnitt A 2.19 des Sammelblatts der Bezirksregierung Arnsberg

Bei der Herstellung der Randböschungen werden besondere Vorkehrungen zur Fassung von Oberflächen- und Sickerwasser getroffen. Lokale Erosionen lassen sich zwar nicht vollständig verhindern. Eine Beeinträchtigung der Standsicherheit von Rand- oder Kippenböschungen durch häufigere Starkregen ist jedoch nicht zu besorgen.

Für die bleibenden Böschungen im Braunkohlenbergbau in NRW („Endböschungen“) muss die rechnerische Standsicherheit für das Böschungssystem mindestens $\eta = 1,3$ betragen. Dieser globale Standsicherheitskoeffizient ist vergleichbar mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_ϕ und $\gamma_c = 1,25$ (für den Reibungswinkel und die Kohäsion) der DIN 1054 (Januar 2005), die für alle sonstigen Bauwerke gelten.

Der Unternehmer lässt die Anlage der Böschungen durch Markscheider vermessungstechnisch erfassen. Markscheider sind zwar Beschäftigte des Bergbauunternehmens, stehen aber unter besonderer Aufsicht der Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie. Anhand der von den Markscheidern erstellten Kartenwerke kann die Bergbehörde kontrollieren, ob eine Böschung planmäßig erstellt worden ist. Neben der Vermessung hat der Unternehmer ständig die Standsicherheit von Böschungen zu überwachen. Hierzu setzt er manuelle Messverfahren und darüber hinaus auch automatisierte Messsysteme mit Alarmgebung ein. Der Unternehmer hat der Bergbehörde über den Einsatz der Messsysteme und die Ergebnisse regelmäßig zu berichten. Die Bergbehörde prüft zusätzlich bei Kontrollbefahrungen vor Ort den Einsatz der Messsysteme und nimmt Einsicht in die Messdaten der Überwachung. Zudem finden regelmäßig gemeinsame Fachgespräche mit Sachverständigen statt, um sich über die betrieblichen Verhältnisse und die ermittelten Messwerte einerseits sowie über neue technische Entwicklungen auf dem Gebiet der Prognose und der Überwachungstechnik andererseits auszutauschen und so den Stand der Technik zu wahren.

Setzungsfleßen, Kippenaufbau

Die grundlegenden geologischen und hydrologischen Verhältnisse in Nachterstedt sind gegenüber denen im Rheinischen Revier sehr unterschiedlich. So ist die in weiten Teilen der ostdeutschen Braunkohlenreviere bekannte Gefahr des sog. Setzungsfleßens wegen des besonders gleichförmigen Kornaufbaus des dortigen sandigen Kippenmaterials im Rheinland nicht gegeben. Setzungsfleßen, d.h. die Verflüssigung eines wassererfüllten Lockergesteins tritt ein, wenn ein locker gelagertes Korngerüst zusammenbricht und ein Wasser-Korn-Gemisch entsteht. Es treten in diesem Moment Porenwasserüberdrücke auf, da dieses Gemisch bestrebt ist, eine dichtere Lagerung einzunehmen. Wenn sich dieser verflüssigte Bereich in einer Böschung befindet oder einen freien Ausfluss besitzt, kommt es zu einer Fließbrutschung.

Bei Wassersättigung zusammen mit einer lockeren Lagerung ist im Allgemeinen von einer Fließgefährdung auszugehen. Von der Materialzusammensetzung her sind überwie-

gend enggestufte Fein- und Mittelsande gefährdet. Zum Auslösen einer Fließrutschung bedarf es eines Initials, z. B. Erschütterung, Erdbeben, Lastaufbringung oder eine kleine Rutschung.

Setzungsfließen ist im Rheinischen Braunkohlenrevier bisher nicht aufgetreten, da die Voraussetzungen hierfür nicht vorliegen. Dies gilt sowohl für die Randböschungen im natürlich anstehenden Material als auch für Kippenböschungen:

- In den Randböschungen, die im natürlich anstehenden Material und nur für vorübergehende Zwecke angelegt werden, stehen quartäre und tertiäre Sande z. T. in mitteldichter, überwiegend aber in dichter bis sehr dichter Lagerung an. Selbst bei einer Wassersättigung wäre hier ein Setzungsfließen ausgeschlossen.
- In den Kippen wird der Aufbau gezielt so gewählt, dass eine Wechsellagerung aus Kiesen, Sanden, Schluffen und Tonen erzeugt wird. Hinzu kommt auch, dass der Abraum von den Absetzern mit großer Versturzhöhe verkippt wird. Durch diesen hohen Energieeintrag schon bei der Verkipfung erfahren die Kiese und Sande bereits eine gewisse Verdichtung. Die Überlagerung mit weiteren Kippmassen bewirkt eine Erhöhung der Lagerungsdichte und damit auch eine weitere Zunahme der Scherfestigkeit. Eine Setzungsfließgefahr besteht hier ebenfalls nicht. Der Böschungsaufbau wird durch Standsicherheitsuntersuchungen begleitet, um deren Sicherheit sowohl während der aktiven Betriebsphase als auch während der Endgestaltung zu gewährleisten.

Sicherheitszone

Sicherheitszonen sind nach Nr. 1 der Anlage 2 zur Verordnung zur Braunkohlenplanung vom 10. Mai 2005² wie folgt definiert:

“Die Sicherheitslinie setzt parzellenscharf die äußere Begrenzung der Sicherheitszone fest. Die Sicherheitszone ist der Bereich zwischen der Abbau-/ Verkipperkante und der Sicherheitslinie, dessen Breite sich vorrangig nach bergsicherheitstechnischen Gesichtspunkten bemisst. Ihre Breite entspricht in der Regel der halben oder gesamten Tiefe des Tagebaus an der betroffenen Stelle, mindestens jedoch 100 m.

Mit der Sicherheitslinie wird diejenige Fläche umschlossen, innerhalb derer unmittelbare Auswirkungen der Abbau- bzw. Verkippsmaßnahmen auf die Geländeoberfläche nicht ausgeschlossen werden können. Insbesondere auf dieser Fläche können, falls erforderlich, Maßnahmen zur Sicherung gegen Gefahren und sonstige den Bergbau begleitende Maßnahmen getroffen werden.“

Die Sicherheitslinie wird von der Bergbehörde in allen entsprechenden Betriebsplänen berücksichtigt. Eine erste Konkretisierung der Sicherheitszone erfolgt im Rahmenbetriebsplan, womit die Sicherheitszone für den Unternehmer und seinen Abbaubetrieb rechtlich verbindlich wird.

² GV. NRW. S. 506 bzw. SGV. NRW. 230

Insbesondere auch mit Blick auf die Gewährleistung der Standsicherheit der Randböschungen werden Sicherheitslinie und Sicherheitszone zudem in den gem. § 51 BBergG der Bergbehörde vorzulegenden Hauptbetriebsplänen für den jeweiligen Abbaubereich - und damit auch für den Randböschungsbereich - aktuell konkretisiert. Hierzu gehört, dass das Bergbauunternehmen der Bergbehörde entsprechend der RfS geeignete standsicherheitliche Nachweise und Berechnungen für alle relevanten Böschungsanlagen vorzulegen hat. Damit sind bei der Dimensionierung der Sicherheitszone auch die bodenmechanischen Eigenschaften des anstehenden Lockergesteins und des verkippten Abraummateri als entsprechend berücksichtigt. Ggf. muss im Einzelfall die Böschungsneigung geändert werden, d.h. sie ist flacher zu stellen. Dieses wird in der bergrechtlichen Betriebsplanzulassung gegenüber dem Unternehmer verbindlich festgelegt.

Diesen genannten Vorgaben entsprechen alle Sicherheitslinien/Sicherheitszonen der aktiven Tagebaue Inden, Hambach und Garzweiler.

Über außerbetriebliche Nutzungen innerhalb der Sicherheitszonen wird in jedem Einzelfall in Abstimmung mit der Bergbehörde entschieden. Keinesfalls zulässig ist der dauerhafte Aufenthalt von Personen (z.B. Wohn- oder Schlafnutzung).

Folgende Nutzungen werden zugelassen:

- land- und forstwirtschaftliche Nutzung,
- bergbauliche Nutzung, z.B. für Brunnen und Leitungen,
- Betriebsstraßen, die auch durch den öffentlichen Verkehr genutzt werden,
- Erholungsnutzung (Fahrradfahren, Wandern),
- bauliche Einrichtungen, soweit sie vorgenannten Zwecken dienen, wie z.B. Tagebauaussichtspunkte.

Im Einzelfall wird unter Berücksichtigung der entsprechenden Standsicherheitsprüfung über die konkrete örtliche und räumliche Zulässigkeit solcher Anlagen entschieden. Insbesondere wird der konkrete Abstand einer geplanten Einrichtung zur Tagebaukante betrachtet.

Die vorgenannten Nutzungen sind zulässig, weil der Bergbautreibende die Rand- und Endböschungen planmäßig überwacht. Bei einer unvorhersehbaren Gefährdungslage ist eine kurzfristige Reaktion gewährleistet.

Sollten größere Böschungsbewegungen trotz aller Vorsorge dennoch auftreten, werden diese von dem Überwachungssystem so frühzeitig erkannt, dass die Durchführung geeigneter Maßnahmen im Tagebau (Böschungsstabilisierung) oder innerhalb der Sicherheitszone (Räumung, Sperrung) möglich ist.

Bauliche Nutzung von Kippen und verfüllten ehemaligen Tagebaubereichen

Die 1936 auf der Kippe nördlich von Nachterstedt am Rand des Concordiasees gelegene Siedlung war vollständig auf gekipptem Boden errichtet und liegt weniger als 100 m vom oberen Kippenrand entfernt.

Im Rheinischen Revier wird z. Zt. in drei Tagebauen (Inden, Hambach und Garzweiler) abgebaut. Die Auskohlung erfolgt ausschließlich in gewachsenem Gelände. An die aktiven Tagebaue unmittelbar angrenzende bebaute Altkippen sind daher nicht vorhanden.

Für das Rheinland sind zwei Fälle von Wohnsiedlungen auf Kippen bekannt. Diese liegen aber mit mindestens 300 m wesentlich weiter vom Kippenrand entfernt oder sind durch einen Damm aus natürlichem, stehengebliebenem Material vor dem eigentlichen Tagebaubereich abgegrenzt. Auf der Altkippe „Goltsteinkuppe“ im weiteren Umfeld des Tagebaus Inden wurde im Rahmen der Euregionale 2008 der Indemann in etwa 300 m Entfernung zur zukünftigen Abbaukante errichtet, nachdem die Standsicherheit des Bauwerks gutachterlich nachgewiesen worden war. Vom Tagebau Inden ist die Goltsteinkuppe durch gewachsenes Gelände getrennt. Weiterhin sind im Rheinland auf vielen verkippten Flächen landwirtschaftliche Betriebe (Umsiederhöfe: Neuhöllnerhof, Antoniushof, Schirrhof, Weidenhof), Freizeiteinrichtungen (Golfplatz Erftaue), Gewerbegebiete (Gewerbepark Mühlenerft), Eisenbahnen, Straßen und auch Flüsse angelegt worden. Diese befinden sich aber mit Abständen in der Größenordnung ab 1.000 m erheblich weiter im Hinterland ehemaliger Tagebaue.

Befüllung von Restseen

Wird das Tagebaurestloch wie beim Concordiasee überwiegend aus dem Grundwasser aufgefüllt, ist der Grundwasserspiegel in Kippenböschungen, die den künftigen See umschließen, höher als der Wasserstand im See selbst; entsprechende Beobachtungen für Nachterstedt liegen vor. Dadurch entsteht ein Fließdruck aus der Kippe in den See, der zur Destabilisierung der Kippe beitragen kann. Die Restlöcher im Rheinland (z.B. Blausteinsee) werden durch Fremdwassereinspeisung über eine Leitung von außen befüllt. Der Seespiegel ist hierdurch im Allgemeinen höher als der umgebende Grundwasserspiegel. Zusätzlich wird das Grundwasserniveau durch zahlreiche Grundwassermessstellen im Kippenbereich überwacht und im Bedarfsfall mit Grundwasserbrunnen niedriger als der Seestand gehalten. Ziel ist es, einen leichten Strömungsdruck aus dem Wasserkörper des Restsees in die Kippenböschungen zu erreichen. Dies wirkt gerade einer Destabilisierung der Böschungen entgegen. Wesentliche Grundlage sind hierfür umfassende Grundwassermodelle, mit denen sich die Grund-

wasserverhältnisse erfahrungsgemäß präzise modellieren und im Voraus planen lassen. Letztlich wird gerade das Grundwasserverhalten im Rheinland durch entsprechende Monitoringverfahren unter Beteiligung aller Fachbehörden zusätzlich überwacht.

Auch in Nachterstedt war zur Beschleunigung der Seeflutung eine zusätzliche Einspeisung für Fremdwasser in den Concordiasee vorhanden. Diese Leitung war vollständig auf der Böschung bis zum Austragsende im Seetieftsen verlegt. Insbesondere beim Austritt des Wassers aus der Leitung besteht dort wegen der Strömungsverhältnisse die Gefahr von Unterwassererosionen, die nur schwer erkannt werden können und ebenfalls zu einer Destabilisierung der Böschung führen können. Im Concordiasee war daher am Ende der Speiseleitung ein nach oben gerichteter Krümmer angebracht. Im Rheinland werden die Flutungsleitungen grundsätzlich im See schwimmend geführt; der Austrag befindet sich auf einem Ponton, das Wasser wird (auch zur Anreicherung mit Sauerstoff) in die Luft ausgetragen.

Erfassung von Böschungsbewegungen

Durch Entlastungs- und Belastungsvorgänge des Gebirges entstehen elasto – plastische Verformungen. Diese wirken sich unmittelbar an der Tagebäusohle, aber auch im Böschungsbereich aus. Entlang der Randböschungen erfolgt eine intensive Überwachung der Bewegungen. Dies geschieht in erster Linie mittels Lage- und Höhenmesspunkten, die zumeist elektro – optisch von stationären Messpunkten aus ("Georobot") beobachtet werden. In den letzten Jahren wurden aber auch zunehmend Messpunkte installiert, die mittels GPS ihre aktuelle Lage im Minutentakt direkt an eine Empfangsstation senden.

Für die Überwachung der Standsicherheit werden an ausgewählten Stellen auch Inklinometer – Messstellen eingerichtet. Hierbei handelt es sich um vertikale Messrohre bis zu 500 m Tiefe, in denen mit einer mobilen Neigungsmesssonde Abweichungen von der Vertikalen erfasst werden können. Die daraus abgeleiteten horizontalen Verschiebungen können bestimmten Schichten im Gebirge zugeordnet werden. Dadurch können frühzeitig ungewöhnliche Gebirgsbewegungen erkannt und eventuell erforderliche Maßnahmen (z. B. Sicherungsschüttung oder geänderter Abbau) durchgeführt werden.

Erfassung möglicher Veränderungen der Oberfläche allgemein im Tagebaumfeld

Im gesamten Einflussbereich der Grundwasserabsenkung finden seit Beginn der großräumigen Grundwasserabsenkung ab Mitte der 1950er Jahre bzw. Anfang der 1960er Jahre wiederkehrende Präzisionshöhenmessungen zur Erfassung der sumpfungsbe-

dingten Bodensenkungen statt. Dafür wurde vom Bergbautreibenden ein sehr umfangreiches Festpunktnetz (Messpunkte) an Gebäuden und in der freien Feldflur angebracht. Die Messintervalle richten sich zum einen nach den gesetzlichen Bestimmungen (§ 10 MarkschBergV), zum anderen nach den sich aus den Bodenbewegungsabläufen ergebenden Erfordernissen. Durch diese revierweiten Höhenmessungen wird das Bewegungsverhalten flächendeckend kontrolliert und dokumentiert. Dabei wird insbesondere auch die den aktiven Tagebauen nächstgelegene Bebauung wie auch die Situation im Randbereich der Alttagebaue und Restseen zuverlässig erfasst.

Im Nahbereich der aktiven Tagebaue einschließlich des Sicherheitsstreifens werden zusätzliche Bodenbewegungsmessungen durchgeführt. Ziel ist es dabei, eventuelle Besonderheiten des Bewegungsverhaltens, die durch die Tagebauaktivitäten verursacht werden, zu erfassen. Dafür werden Profillinien mit Längen- und Höhenmessungen beobachtet, im Einzelfall auch Permanentüberwachungen durch GPS-Messungen mit dem GOCA-Messsystem (GPS-based online Control and Alarm System). Durch die Kombination revierweiter Höhenmessungen und der beschriebenen zusätzlichen Messungen im Nahbereich der aktiven Tagebaue einschließlich des Sicherheitsstreifens werden Bodenbewegungen insbesondere auch innerhalb der Bebauung im Randbereich der aktiven Tagebaue wie auch im Randbereich der Alttagebaue und der Restseen zuverlässig erfasst.

Bevor ein Tagebau sich einer Ortslage annähert oder an ihr vorbeistreicht, finden Beweissicherungsmaßnahmen in einer Zone statt, deren Breite etwa der doppelten Tagebautiefe entspricht. Das vorhandene Messpunktfeld wird hier weiter verdichtet bis hin zur Vermessung aller Gebäude. Neben der Vermessung erfolgt hier auch eine fotografische Beweissicherung aller Gebäude.