

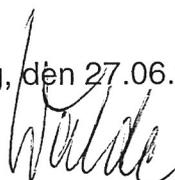
**Ergänzung der
Standicherheitseinschätzung
zur Vergrößerung der Höhe der Gewinnungsböschungen auf 16 m
beim Sandabbau mit einem Radlader im Sandtagebau Heller
und Überführung in einen Standsicherheitsnachweis**

Auftraggeber: SBU Sandwerke Dresden GmbH
Radeburger Straße
01129 Dresden

Auftragnehmer: Prof. Dr.-Ing. Manfred Walde
Goethestraße 17
09599 Freiberg

Umfang: 5 Seiten

Freiberg, den 27.06.2007


Prof. Dr.-Ing. M. Walde

1 Veranlassung

Das Sandwerk Dresden GmbH hatte den Sachverständigen mit der Ausarbeitung einer Standsicherheitseinschätzung zur beabsichtigten Vergrößerung der Abbauböschungshöhe von bisher 8 bis 10 Meter auf 16 m beauftragt. Der Sand wird mit einem Radlader am Stoß aufgenommen und auf eine Strossenbandanlage aufgegeben. Diese Technologie sollte beibehalten, aber die Zahl der Abbaustrossen verringert werden.

Da bei diesem Abbauverfahren die Abbauböschung sich im oder sehr nahe an dem Grenzgleichgewichtszustand befindet, war vom Tatbestand rutschungsbegünstigender Verhältnisse im Sinne der Richtlinie des Sächsischen Oberbergamtes über die geotechnische Sicherheit im Bergbau über Tage (Richtlinie Geotechnik) in der Fassung vom 01. 08 1997 auszugehen. Das gilt auch für die neue Fassung vom 10. März 2005, nach der sich ebenfalls die Beurteilung in einer Standsicherheitseinschätzung oder einem Standsicherheitsnachweis erforderlich macht.

In der Standsicherheitseinschätzung zum Sandabbau (U1) sollten die Realisierbarkeit einer größeren Stoßhöhe und die dabei zu beachtenden geotechnischen Sicherheitsanforderungen dargestellt werden. Um zusätzlich notwendige Daten für die Standsicherheitseinschätzung zu erhalten, machte sich ein vorangehender Abbauersuch notwendig (U2).

- U1 Standsicherheitseinschätzung zur Vergrößerung der Höhe der Gewinnungsböschungen auf 16 m beim Sandabbau mit einem Radlader im Sandtagebau Heller, SfB Prof. Dr.- Ing. M. Walde, Freiberg, 15.10.2004
- U2 Videodokumentation Abbauersuch 16m Böschung, SBU Sandwerke Dresden GmbH, 21.09.2004
- U 3 Niederschrift zur Standsicherheitseinschätzung zur Vergrößerung der Höhe der Gewinnungsböschungen auf 16 m beim Sandabbau mit einem Radlader im Sandtagebau Heller, SBU Sandwerke Dresden GmbH, Dresden- Heller, 10.11.2004

Die in U1 gewonnenen Erkenntnisse konnten dort wie folgt zusammengefasst werden:

Auf der Grundlage der an den 8 m hohen Böschungen getroffenen Feststellungen konnte ein einfaches erdstatisches Modell erarbeitet werden, dessen Anwendung mit den Erfahrungen an den bisherigen Abbauböschungen weitgehend übereinstimmende Ergebnisse liefert.

Proberechnungen zur Übertragbarkeit des Modells auf höhere Abbauböschungen führten zu dem Ergebnis, dass sich ein gezielter Abbauersuch lohnen würde, um die rechnerisch nur schwer kalkulierbaren Auswirkungen der dynamischen Komponente beim Bruch zu überprüfen.

Der Abbauersuch an einer 16 m hohen Böschung verlief wie nach den Modellrechnungen erwartet, und die dabei aufgezeichneten Bruchabläufe korrespondierten mit Beobachtungen an den 8 m hohen Böschungen.

Die beabsichtigte Vergrößerung der Stoßhöhe von 8 m auf 16 m ist aus bodenmechanischer Sicht zulässig.

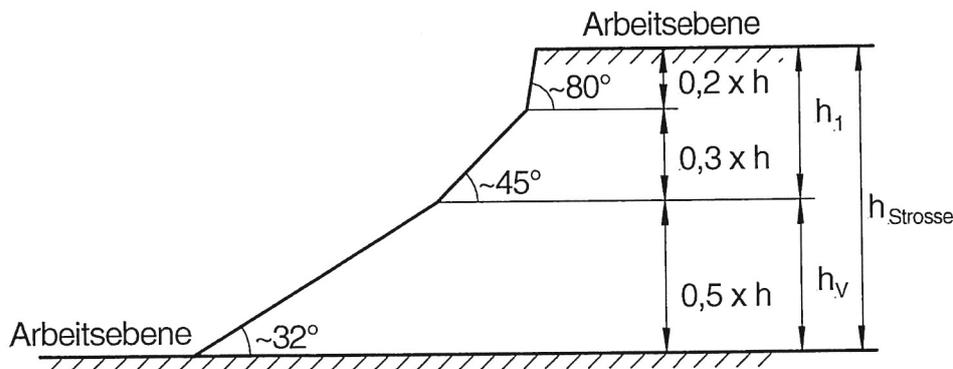
Bezüglich der weiteren Verfahrensweise sind im Erörterungsprotokoll U3 unter anderem folgende Feststellungen getroffen worden:

Nach Inbetriebnahme des ersten Strossenabschnitts mit 16 m Abbauhöhe ist der Sachverständige zu informieren, damit dieser nochmals die Kinematik des Bruchvorgangs mit den Berechnungsannahmen vergleichen kann.

Nachdem das neue Abbauregime etwa 3 Monaten ohne Störungen angewendet worden ist, kann im Einvernehmen zwischen Unternehmen und Sachverständigem die Standsicherheitseinschätzung zum Standsicherheitsnachweis erklärt werden.

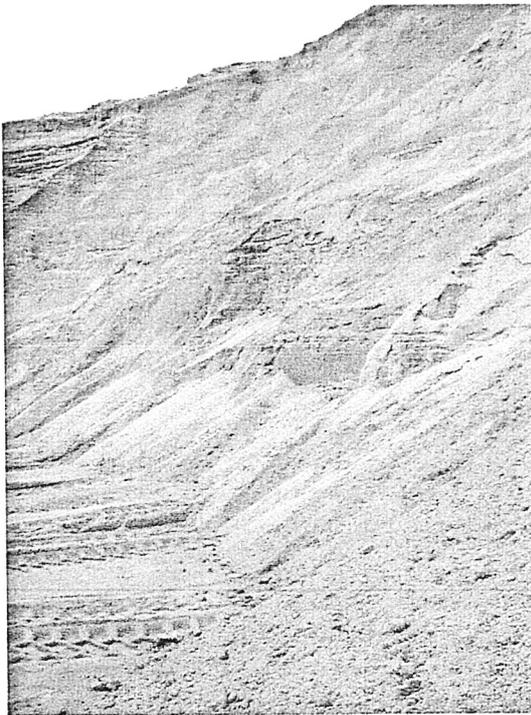
2 Feststellungen

Die Information des Sachverständigen ist erfolgt. Der bisherige Sandabbau an der 16 m hohen Abbaustrosse hat bisher zu keinen Vorkommnissen geführt. Die von den Verantwortlichen des Unternehmens mit dem Sachverständigen für Böschungen am 13.06 2007 gemeinsam durchgeführte Befahrung der Abbaustelle und die Beobachtung des Abbauvorganges stützen die seinerzeit für die Modellrechnung angestellten Überlegungen und die Beobachtungen beim Abbauersuch. Beim Abbau bildet sich eine Böschung aus, deren Neigungsverhältnisse denen beim Abbauersuch ganz ähnlich sind. Damit spiegelt das darauf aufgebaute bodenmechanische Berechnungsmodell (U1) offensichtlich die im Sandtagebau Heller anzutreffenden Lagerungsbedingungen recht gut wider. Wie die folgende Skizze, die auf einer Aufmessung und Beobachtungen bei der Befahrung basiert, zeigt, stellt sich ein Höhenverhältnis $h_v/h_s \approx 0,5$ und ein mittlerer Abbauböschungswinkel von $\beta \approx 45^\circ$ ein.



16 m hohe Abbauböschung

Die folgenden Bilder illustrieren ebenfalls die sich am 16m- Stoß einstellende Situation.



16 m hohe Abbauböschung am 13.6.2007

Die Verantwortlichen des Betriebes bestätigen, dass das Nachbrechen der Böschung nach Materialentnahmen stets im unteren, flacheren Bereich und in so flachen Schalen so vonstatten ging, dass es bisher auch nicht ansatzweise zu Überschüttungen gekommen ist. Das Nachrutschen von Massen aus dem oberen Böschungsbereich erfolgt mit zeitlicher Verzögerung, so dass der Radlader dann nicht mehr unmittelbar an der Böschung steht.

3 Schlussfolgerungen aus den Feststellungen

Auch 16 m hohe Abbauböschungen sind im Sandtagebau Heller von den bodenmechanischen Sachverhalten her beherrschbar. Der Abbau hat bei einhalten der geotechnisch- technologischen Vorgaben bisher zu keinen kritischen Situationen geführt. Damit darf der Standsicherheitseinschätzung vom 15.10.2004 der Status eines Standsicherheitsnachweises zuerkannt werden. Diese Feststellung ist an Abbaubedingungen geknüpft, auf die im Folgenden nochmals hingewiesen werden soll:

Die Sandgewinnung mit dem Radlader ist nur möglich, wenn die Abbauböschung durch Materialentnahme am Böschungsfuß gezielt, aber begrenzt aus dem Grenzgleichgewicht gebracht wird. Deshalb kann für unmittelbar aktive Gewinnungsböschungen nur $S \approx 1,0$ gelten.

Für Fahrer und Gerät ist gegen Verschüttung mit $S_G \geq 1,15$ eine größere Sicherheit zu gewährleisten. Deshalb ist darauf zu achten, dass beim Abbau nur Radlader in der Größenordnung eines Cat 980 oder größer eingesetzt werden. Bei diesem Gerät betragen der Abstand zwischen Schaufelschneide und Fahrerhaus etwas mehr als 5,11 m und die Fußhöhe des Fahrerhauses über der Arbeitsebene 1,80 m. Die Gewährleistung dieser oder größerer Konstruktionsmaße ist angeraten, da der Abstand zwischen der Schaufelschneide und dem Fahrerhaus sowie die Höhe des Fahrerhauses über der Arbeitsebene des Radladers erlangen Bedeutung für den Fall, dass es in dem Moment bereits zu größeren Nachbrüchen am Stoß käme, in dem das Gerät an der Stoßsohle aus den Vorbruchmassen gerade Sand entnimmt.

Grundvoraussetzungen sind horizontal wie vertikal sehr gleichmäßige Lagerungsverhältnisse, wie sie die Lagerstätte Heller aufweist, und besondere Aufmerksamkeit des eingewiesenen Bedienpersonals.

Kritische Situationen sind nicht aus zu schließen, wenn es im Steilbereich nicht zu den erwünschten flachen Nachbrüchen, sondern zu Übersteilungen kommen sollte. Ursachen dafür könnten veränderte Lagerungsverhältnisse durch verfestigte Sandpartien, feste Einlagerungen u. ä. oder Abbauaufnahme an gestundeten Abbaustellen nach Frostperioden sein. Hier ist besonders sorgfältige Vorprüfung durch den Aufsichtführenden notwendig. Hierzu gehört auch, dass nur bei ausreichender Sicht über die gesamte Böschungshöhe gearbeitet werden darf.

Die bisherigen Erfahrungen beim Abbau an der 16 m hohen Abbauböschung haben bestätigt, dass bei Einhalten der Sicherheitsvorgaben der Abbau mit Radladern in der Größenordnung eines Cat 980 beherrscht werden kann. Das in der Standsicherheitseinschätzung vom 15.10.2004 entwickelte Berechnungsmodell spiegelt die Realität ausreichend wieder. Die Beobachtungen stützen die getroffenen Berechnungsvoraussetzungen, so dass die genannte Standsicherheitseinschätzung den Status eines Standsicherheitsnachweises erfüllt.



SBU Sandwerke
Dresden GmbH

SBU Sandwerke Dresden GmbH, Radeburger Straße, 01129 DRESDEN

Sächsisches Oberbergamt
Postfach 13 64

09583 Freiberg

Herr Schreiber

Radeburger Straße
01129 DRESDEN
Telefon (03 51) 802 43 21
Telefax (03 51) 802 43 22

Ihre Nachricht vom

Ihre Zeichen

Unsere Zeichen

Datum

31.08.2007

Sandtagebau Dresden-Augustusweg, Betr.-Nr. 8401 Standicherheitseinschätzung

Sehr geehrte Damen und Herren,

beiliegend senden wir Ihnen die Ergänzung der Standicherheitseinschätzung zur Vergrößerung der Höhe der Gewinnungsböschungen auf 16 m beim Sandabbau mit einem Radlader im Sandtagebau Heller und Überführung in einen Standicherheitsnachweis vom Sachverständigen, Herrn Prof. Walde, zur Kenntnisnahme.

Die Untersuchung und die bereits gemachten praktischen Erfahrungen zeigen, dass der Abbau von 16 m hohen Böschungen sehr wohl möglich und bei Einhaltung der dargestellten Empfehlungen und Bedingungen eine ausreichende Sicherheit gewährleistet ist.

Die konsequente Umsetzung der Betriebsanweisung BA 01/05 –Arbeiten an einer 16 m Gewinnungsböschung- hat sich bewährt. Alle Mitarbeiter werden regelmäßig unterwiesen und über den Inhalt des Standicherheitsnachweises belehrt.

Mit freundlichen Grüßen

Th. Steglich

HRA 9623 Amtsgericht Dresden

Bankverbindung:
Deutsche Bank AG
BLZ 870 700 00 Konto-Nr. 535 019 400

Geschäftsführer:
Thomas Steglich

Standsicherheitseinschätzung
zur Vergrößerung der Höhe der Gewinnungsböschungen auf 16 m
beim Sandabbau mit einem Radlader im Sandtagebau Heller

Auftraggeber: SBU Sandwerke Dresden GmbH
Radeburger Straße
01129 Dresden

Auftragnehmer: Prof. Dr.-Ing. Manfred Walde
Goethestraße 17
09599 Freiberg

Umfang: 14 Seiten
6 Anlagen

Freiberg, den 15.10.2004


Prof. Dr.-Ing. M. Walde

Zur Zulassung vom
16.10.04... gehörig
Nr. 8407/132



Inhaltsverzeichnis

1.	Aufgabenstellung	4
2.	Verfügbare Unterlagen und Literatur	4
2.1	Unterlagen	4
2.2	Literatur	5
3.	Darstellung der Tagebausituation	5
3.1	Geologische und hydrologische Verhältnisse	5
3.2	Abbauplanung und Gewinnungstechnologie	6
4.	Bodenmechanische Kennzeichnung des anstehenden Sandes	6
4.1	Ergebnisse von Laborversuchen	6
4.2	Modellbildung und Ergebnisse von Feldversuchen	7
4.2.1	Vorangegangene Versuche	7
4.2.2	Berechnungsmodell und aufgabenbezogener Feldversuch	8
5.	Grundlagen für die Standsicherheitsberechnungen	10
5.1	Berechnungskennwerte für den Sand	10
5.2	Berechnungsverfahren	10
5.3	Notwendige Standsicherheitsgrade	10
6.	Ausführung und Ergebnisse der Berechnungen	11
6.1	Modellanwendung	11
6.2	Zu untersuchende Böschungsgeometrien	11
6.3	Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen	11
6.3.1	Abbauböschung mit 8 m Höhe	11
6.3.2	Abbauböschung mit 16 m Höhe	12
6.4	Schlussfolgerungen aus den Berechnungsergebnissen	13
7.	Zusammenfassung	14

Zur Zulassung vom
16.10.04... gehörig
Nr. 8401/132



Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Tagerissausschnitt Sandtagebau Heller mit eingetragenem Versuchsbereich
M 1 : 1500, nach SBU Sandwerk Dresden GmbH
- Anlage 2: Foto der 8 m hohen Abbauböschung nach dem Bruch
- Anlage 3: Geometrische Parameter an der aktiven Böschung , unmaßstäblich
- Anlage 4: Foto der 16 m hohen Abbauböschung nach dem Bruch
- Anlage 5: Generalisiertes Berechnungsprofil - Abbauböschung 8 m
- Anlage 6: Generalisiertes Berechnungsprofil - Abbauböschung 16 m

Zur Zulassung vom
...16.12.04..... gehörig
Nr. 8401/132..



1. Aufgabenstellung

Das Sandwerk Dresden GmbH hat den Sachverständigen mit der Ausarbeitung einer Standsicherheitseinschätzung zur beabsichtigten Vergrößerung der Abbauböschungshöhe von bisher 8 bis 10 Meter auf 16 m beauftragt. Der Sand wird mit einem Radlader am Stoß aufgenommen und auf eine Strossenbandanlage aufgegeben. Diese Technologie soll beibehalten, aber die Zahl der Abbaustrossen verringert werden.

Da bei diesem Abbauverfahren die Abbauböschung sich im oder sehr nahe an dem Grenzgleichgewichtszustand befindet, ist vom Tatbestand rutschungsbegünstigender Verhältnisse im Sinne der Richtlinie Geotechnik des Sächsischen Oberbergamtes /1/ aus zu gehen, der die Beurteilung in einer Standsicherheitseinschätzung oder einem Standsicherheitsnachweis erforderlich macht.

In der Standsicherheitseinschätzung zum Sandabbau sollen die Realisierbarkeit einer größeren Stoßhöhe und die dabei zu beachtenden geotechnischen Sicherheitsanforderungen dargestellt werden. Um zusätzlich notwendige Daten für die Standsicherheitseinschätzung zu erhalten, machte sich ein vorangehender Abbauersuch notwendig (U2).

Die technologisch- geotechnische Erprobung ist an dem in der Anlage 1 gesondert gekennzeichneten Bereich ausgeführt worden. Weil die Lagerungsverhältnisse, die anstehenden Sande und die geometrischen Randbedingungen weitestgehend gleich sein werden, gelten die zu treffenden Feststellungen und Forderungen für den gesamten bereits in Abbau befindlichen und zum Abbau zugelassenen Tagebaubereich.

2. Verfügbare Unterlagen und Literatur

2.1 Unterlagen

- U 1 Ausschnitt aus dem Tagebauriss Heller, M 1 :1500
Sandwerk Dresden GmbH
- U 2 Anzeige eines großtechnischen Versuchs zur Vergrößerung der Höhe der Abbauböschungen im Sandtagebau Heller
SBU Sandwerke Dresden GmbH und SfB Prof. Dr. Walde, 26.8.2004
- U 3 Abbaukonzept Sandtagebau Augustusweg
Sächsische Baustoffunion Dresden AG, Dresden 28.9.93
- U 4 Geologisches Kurzgutachten, Vorfelderkundung Abbaublock II Sandtagebau Dresden Augustusweg
G.E.O.S. Freiberg, Ingenieurgesellschaft mbH, Freiberg, 23. November 1999
- U 5 Bodenmechanische Standsicherheitseinschätzung – Sandtagebau Augustusweg
SfB Dipl.-Ing. Möller, Dresden, 24.1.1990



- U 6 Ergebnisse der Böschungskontrolle im Sandtagebau Augustusweg am 07.04.1995
SBU Dresden AG, Lagerstätten, Sfb Dipl.- Geol. Palme, Dresden, 18.04.95
- U 7 Bruchversuch SWD auf AE 146 am 29.07.04
SBU Sandwerke Dresden GmbH, 30.07.2004
- U 8 CAT Radlader 980G
Produktinformation des Herstellers
- U 9 Videodokumentation Abbaueversuch 16 m Böschung
SBU Sandwerke Dresden GmbH, 21.09.2004

2.2 Literatur

- /1/ Geotechnische Sicherheit im Bergbau über Tage.
Richtlinie des Sächsischen Oberbergamtes Freiberg vom 01.08.1997
- /2/ Förster, W.: Bodenmechanik.
B. G. Teubner Stuttgart - Leipzig 1998
- /3/ Walde, M. u. Wehrsig, H.: Erdbau- und geotechnische Aspekte beim Abbau von Lockergesteinen und bei der Wiedereingliederung in die Landschaft
Schriftenreihe der GDMB, Heft 71, 1993

3. Darstellung der Tagebausituation

3.1 Geologische und hydrologische Verhältnisse

Bei den geologischen und hydrologischen Verhältnisse sollen nur die für die spezielle Aufgabenstellung relevanten kurz zusammengefasst werden. Die Sandlagerstätte Heller ist eine fluviatile Bildung der Saalekaltzeit, als mächtige Sandeinschwemmungen eine breite, den gesamten Nordhang der Elbtalweitung ausfüllende Terrasse, die sogenannten „Heidesande“ bildeten (U 4). Das Sandhangende befindet sich bei + 170 m NN. Zum Liegenden hin wird der Abbau durch das Grundwasserniveau bei + 109 m NN begrenzt, so dass die im Trockenabbau gewinnbare Vorratsmächtigkeit im Mittel ca. 54 m, maximal bis ca. 60 m beträgt (U 3). Die geologischen Lagerungsverhältnisse innerhalb der Lagerstätte sind als ungestört, eben und ohne erkennbare Schwächezonen zu beschreiben (U 4). Nach der Korngrößenverteilung zu urteilen, stehen fast reine Mittel- bis Feinsande mit ganz geringen Feinkies- und Schluffkornanteilen an. Der Feinsandanteil steigt mit zunehmender Teufe an, was für die bodenmechanische Beurteilung, aber vor allem für die industrielle Verwertung des Sandes von Bedeutung ist. Das für letztere wichtige Kriterium Korngrößenanteil < 0,25 mm (Grob- und Mittelsand) < 30 % ist in etwa ab der Höhenkote + 154 m NN und tiefer erfüllt.



3.2 Abbauplanung und Gewinnungstechnologie

Im Sandtagebau Heller wird der Abbau in mehreren Arbeitsebenen vorgenommen. Die Arbeitsebenen entsprechen weitgehend denen im Abbaukonzept geplanten und liegen auf + 112 m NN, + 120 m NN, + 128 m NN, + 136 m NN, + 146 m NN, + 156 m NN und + 166 m NN. Im Abbaublock II. existiert noch ein geringmächtiger oberster Schnitt bis + 170 m NN. Es wird deutlich, dass bis zum Niveau + 136 m NN die Abbaustöße 8 Meter, ab dieser Höhenkote 10 Meter hoch sind. Die Abbautechnologie besteht darin, dass mit einem Radlader von der Böschung herunter gebrochenes Material aufgenommen und zu einem Strossenband gebracht wird. Zusätzliches Grundwasser gibt es nicht, so dass sich der anstehende Sand im bergfeuchten Zustand befindet, der dieses Vorgehen ermöglicht.

Das geplante Vorhaben verfolgt das in der Aufgabenstellung bereits genannte Ziel, die grundsätzliche Technologie beizubehalten, aber durch sinnvolle Vergrößerung der Stoßhöhen, die Zahl der Arbeitsebenen zu reduzieren.

Die für die Aufgabenstellung wesentlichen Parameter des für den Abbau eingesetzten Gerätes gehen aus den Werksangaben hervor (U 8):

Radlader Cat 980G mit Schaufelnenninhalt $5,6 \text{ m}^3$

Einsatzgewicht	300 kN
Schnittbreite	3,6 m
Dienstgewicht	294,1 kN
Radanzahl	4 Stück
Radstand	3,70 m
Gesamtlänge	9,45 m
Abstand Schaufelschneide – Fahrerhaus	5,11 m
Fußhöhe Fahrerhaus über AE	1,80 m

Der Abstand zwischen der Schaufelschneide und dem Fahrerhaus sowie die Höhe des Fahrerhauses über der Arbeitsebene des Radladers erlangen Bedeutung für den Fall, dass es in dem Moment bereits zu größeren Nachbrüchen am Stoß käme, in dem das Gerät an der Stoßsohle aus den Vorbruchmassen gerade Sand entnimmt.

4. Bodenmechanische Kennzeichnung des anstehenden Sandes

4.1 Ergebnisse von Laborversuchen

Die Ergebnisse von Laborversuchen an dem anstehenden Sand sind in U 5 einer kritischen Prüfung unterzogen worden, deren Resultat sich der Sachverständige anschließt. Es wird in anstehenden und umgelagerten Sand unterschieden.



Bodenmechanischer Kennwert	Anstehender Sand	Umgelagerter Sand
Reibungswinkel φ' in Grad	35	30
Scheinbare Kohäsion c_u in kN/m^2	6...8	0
Wichte γ in kN/m^3	18	16
Relative Lagerungsdichte I_D	0,6	
Wassergehalt w in %	4	

Die scheinbare Kohäsion ist aus Rückrechnungen der Bruchgeometrie am Stoß ermittelt worden. Die Größe der relativen Lagerungsdichte weist auf mitteldichte Lagerung an der Grenze zu dichter Lagerung hin.

4.2 Modellbildung und Ergebnisse von Feldversuchen

4.2.1 Vorangegangene Versuche

Um die im Labor erzielten Resultate zu stützen und zu ergänzen, sind verschiedene Betriebssituationen geometrisch und rechnerisch ausgewertet worden. Das gilt u.a. für die Größe der am Stoß festzustellen Kohäsion. Sand weist, so er nicht verkittet oder anderweitig verfestigt ist, keine wirksame Kohäsion auf. Aber in erdfeuchtem Zustand ist trotzdem in aller Regel in Sanden eine gewisse Haftfestigkeit fest zu stellen. Dieser als Kapillarkohäsion c_u bezeichnete Scherfestigkeitsanteil ist von der Korngrößenverteilung, der Lagerungsdichte und dem Wassergehalt w bzw. dem damit zusammenhängenden Sättigungsgrad S_R abhängig. In trockenem oder wassergesättigtem Sand ist sie physikalisch bedingt nicht vorhanden. Jedoch bei Wassergehalten $w > 0$ und $w < w_{\text{sätt.}}$ bzw. $0 < S_R < 1,0$ kann sie deutlich messbare Größen aufweisen [2]. Wegen der geschilderten Abhängigkeit vom Wassergehalt verändert sich die Größe der Kapillarkohäsion an Böschungen nahe deren Oberfläche unter den Wirkungen der Witterungseinflüsse, sie geht sukzessive verloren. Böschungen, die mit einem Böschungswinkel $\beta > \varphi'$ angelegt worden sind und dabei standsicher waren, verflachen sich von selbst im Laufe der Zeit durch oberflächenahes „Abrieseln“ auf eine Neigung $\beta \approx \varphi'$. Dieser Vorgang ist nicht auf ein Versagen der Böschung im bodenmechanischen Sinne zurückzuführen, sondern auf eine fortlaufende Anpassung der Böschungsgeometrie an die sich langsam vollziehende Änderung der oberflächennahen Scherfestigkeit des Sandes. Im Tagebau Heller ist diese Erscheinung ebenfalls fest zu stellen. In U 5 findet sich der Hinweis, dass dieser Vorgang in etwa einem Monat ein Drittel, nach etwa einem Jahr zwei Drittel und nach zwei bis drei Jahren die gesamte Böschungshöhe erfasst. Wegen der zeitweiligen Wirksamkeit ist es üblich, bei Standsicherheitsberechnungen die Kapillarkohäsion an Böschungen mit längerer Standzeit nicht in den Scherfestigkeitsansatz ein zu beziehen. Anders ist es an Abbauböschungen. Hier gestattet das Wirken der Kapillarkohäsion steilere als mit $\beta \approx \varphi'$ geneigte, aber trotzdem zeitweilig stabile Böschungen



herzustellen. Bei der Gewinnung mit Radladern beeinflusst sie die Neigung der frei stehenden Wand, von der der Sand nachbricht. Die im Tagebau Heller aus Rückrechnungen an Abbauwänden festgestellten Größen für die scheinbare Kohäsion betragen $c_u = (6...8) \text{ kN/m}^2$, im Extremfall bis 12 kN/m^2 . In U 6 wird als Ergebnis einer Rückrechnung für den Grenzzustand mit $S \approx 1,0$ an einem versuchsweise 12 m hohen Abbaustoß eine scheinbare Kohäsion von $c_u = 8 \text{ kN/m}^2$ als am besten zutreffender Wert ausgewiesen. Der vor dem Stoß abgelagerte, von der Wand herabgebrochene Sand hat sich mit 28 bis 32 Grad Neigung abgelagert. Es darf davon ausgegangen werden, dass in diesen Vorbruchmassen eine evtl. wegen der Bergfeuchte noch vorhandene scheinbare Kohäsion nur vernachlässigbar gering ist.

4.2.2 Berechnungsmodell und aufgabenbezogener Feldversuch

Ein bodenmechanisches Berechnungsmodell für die Massenumlagerungen beim Sandabbau mit dem Radlader hat von dem sich selbst einstellenden Grenzzustand am oberen, steileren Teil des Stoßes auszugehen. Der Gesamtstoß ist stabil, weil die vorgebrochenen Massen den unteren Teil anstützen. Die Entnahme von Vorbruchmassen führt zunächst zu Massenumlagerungen durch Nachbrechen in dem Vorbruchkörper, bei weiterer Entnahme zum Nachbrechen von Massen aus der steilen Wand, die sich wiederum stützend am Fuß der Wand ablagern. Dieser Vorgang läuft während des Abbaus immer wieder ab, und es stellt sich physikalische bedingt unter dem Wirken der Schwerkraft von selbst immer wieder ein Stabilitätszustand $S \geq 1,0$ ein, der jeweils durch das Entnehmen vorgelagerter Massen erneut gestört wird. Eine nochmalige gezielte Aufmessung an einer 8 m hohen Abbauböschung ist in U 7 dokumentiert. Es stellte sich erwartungsgemäß eine schaufelförmige, im obersten Böschungsbereich annähernd senkrecht verlaufende Böschungskontur ein. Das Foto in Anlage 2 zeigt die Entnahmestelle nach eingetretenem Bruch. Bodenmechanischen Standsicherheitsberechnungen kann das in der als Anlage 3 als Skizze gezeigte, generalisierte Berechnungsprofil zugrunde gelegt werden.

In der Skizze bedeuten:

- AE Arbeitsebene
- h_g Abbauböschungshöhe
- h_s Höhe des Steilbereiches
- h_v Höhe des Vorbruchs
- b_v Breite des Vorbruchs
- β_s mittlerer Böschungswinkel des Steilbereiches
- β_v mittlerer Böschungswinkel des Vorbruchbereiches
- β_g mittlerer Böschungswinkel der gesamten Abbauböschung für $S = 1,0$

Bei dem genannten Versuch ergaben sich folgende Relationen, die mit den bisherigen Beobachtungen und Erfahrungen beim Abbau an 8 m hohen Stößen korrespondieren:

$$h_v/h_s \approx 0,5 \qquad \beta_s \geq 70^\circ \qquad \beta_v \leq 30^\circ$$

Nachrechnungen mit den im folgenden Abschnitt genannten Berechnungskennwerten führten für die 8 m Böschung auf gute Übereinstimmung zwischen Modell und festgestellten geometrischen Parametern.

Die probeweise rechnerische Übertragung der an der 8 m hohen Abbauböschung gewonnenen Erkenntnisse auf einen 16 m hohen Abbaustoß zeigte, dass ein solches Arbeiten erdstatisch denkbar und aus Gründen der geotechnischen Sicherheit zulässig sein könnte.

Mit einfachen Mitteln nicht abschätzbar ist jedoch der dynamische Aspekt. Bei einer höheren Böschung ist die potenzielle Energie der aus dem steilen Wandabschnitt nachbrechenden Sandmasse größer als bei einer niedrigeren. Die Auswirkungen dieses Sachverhaltes können ein verändertes h_v/h_s – Verhältnis und ein kleinerer Winkel β_v und damit größeres b_v gegenüber dem bei der Übertragung des bodenmechanischen Modells auf die höhere Abbauwand errechneten sein. Auch die Zeit für das Nachbrechen war zu überprüfen. Der Abbauersuch sollte dazu dienen, diese Auswirkungen vor Ort quantitativ zu erfassen, um die Anwendbarkeit des erdstatischen Modells für die höhere Abbauböschung auch unter diesem Gesichtspunkt abzusichern.

Der Versuch ist an dem im beigefügten Rissausschnitt, Anlage 1, markierten Böschungsbereich am 22.9.2004 vorgenommen worden. Um räumliche Effekte zu vermeiden, war die Abbaulänge mit ≥ 30 m vorgesehen. Dann konnten die Beobachtungen und Messungen an der so geschaffenen 16 m hohen Abbauwand erfolgen. Durch Messung und Beobachtung sind folgende Größen bestimmt worden:

$$h_v/h_s \approx 0,5 \qquad \beta_s \approx 60^\circ \qquad \beta_v \approx 30^\circ$$

Die Abbruchkante lag nur ca. 0,5 m hinter der Böschungsschulter, die Bewegungszone beim Nachbrechen in den Vorbruchmassen. Die Zeit zwischen bruchauslösender Entnahme und Eintritt des Bruchs im Steilbereich betrug etwa 1 Sekunde, das Abrutschen der ersten Bruchscholle ca. 3 Sekunden. Für das Erfassen des Vorgangs war die Videoaufzeichnung hilfreich (U 9). Das Foto in Anlage 4 zeigt die Böschung nach dem Bruch. Der Versuch belegte, dass die Erfahrungen und wesentliche Parameter der Gewinnung am 8 m hohen Stoß auch auf die 16 m hohe Böschung übertragbar sind.



5. Grundlagen für die Standsicherheitsberechnungen

5.1 Berechnungskennwerte für den Sand

Hierfür werden die Parameter, wie sie im voran gegangenen Abschnitt erläutert worden sind, zugrunde gelegt.

Natürlicher Zustand am Stoß:

$$\begin{aligned}\varphi' &= 35^\circ \\ c_u &= 6 \text{ kN/m}^2 \\ \gamma &= 18 \text{ kN/m}^3\end{aligned}$$

Durch Bruchvorgänge gestörter Zustand:

$$\begin{aligned}\varphi' &= 30^\circ \\ c_u &= 0 \text{ kN/m}^2 \\ \gamma &= 16 \text{ kN/m}^3\end{aligned}$$

5.2 Berechnungsverfahren

Zur Berechnung der Standsicherheit der Böschungen wird in allen Fällen das Berechnungsprogramm BORROR benutzt, das auf dem Berechnungsverfahren von Borowicka beruht und sowohl die Berechnung auf kreisförmigen als auch auf ebenen, zusammengesetzten Prüfflächen gestattet. Da die Wirkung der Kapillarkohäsion am Abbaustoß zu beachten ist, kann nicht mit den für Standsicherheitsberechnungen im Sand bekannten einfachen Beziehungen mit ebenen Gleitflächen gearbeitet werden.

5.3 Notwendige Standsicherheitsgrade

Für die zu führenden Standsicherheitsberechnungen sind gemäß der Richtlinie des Sächsischen Oberbergamtes über die geotechnische Sicherheit im Bergbau über Tage vom 01.08.1997 die als Mindestwerte auszuweisenden rechnerischen Sicherheiten durch den Sachverständigen für Böschungen festzulegen. Dabei sind die konkreten Bedingungen der Gewinnungstechnologien ebenso zu beachten wie die Verlässlichkeit der bodenmechanischen Eingangswerte, die Bedeutung der zu schützenden Objekte und die Folgen eines evtl. Versagens.

Die Sandgewinnung mit dem Radlader ist nur möglich, wenn die Abbauböschung durch Materialentnahme am Böschungsfuß gezielt, aber begrenzt aus dem Grenzgleichgewicht gebracht wird. Deshalb kann nur gelten

- $S \approx 1,0$ für aktive Gewinnungsböschungen
- $S_G \geq 1,15$ für Fahrer und Gerät gegen Verschüttung



6. Ausführung und Ergebnisse der Berechnungen

6.1 Modellbildung

Das bodenmechanische Berechnungsmodell für die Massenumlagerungen beim Sandabbau mit dem Radlader ist bereits weiter vorn ausführlich erläutert worden. Auf seiner Grundlage sind unter Beachtung der bei den beiden Abbaueversuchen gewonnenen Erkenntnissen zum zeitlichen Ablauf des Bruchs, des Verlaufs der Bruchfläche und der sich einstellenden Geometrie der Abbauböschung deren konkrete Stabilitätsverhältnisse rechnerisch zu belegen.

6.2 Zu untersuchende Böschungsgeometrien

Bei den Standsicherheitsuntersuchungen und -berechnungen sind folgende sich aus der Aufgabenstellung ergebende Böschungsgeometrien zu untersuchen:

- Bisherige Abbauböschung mit 8 m Höhe zur Testung des Berechnungsmodells
- Künftige Regelabbauböschung mit 16 m Höhe

6.3 Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen

6.3.1 Abbauböschung mit 8 m Höhe

Das Profil der bisher üblichen Abbauböschungen ist in der Anlage 5 skizziert. Es basiert auf den weiter vorn getroffenen Feststellungen und Voraussetzungen. Der rechnerische Standsicherheitsgrad beträgt $S \geq 1,0$, wobei der tatsächliche Wert nahe bei 1,0 liegt. Die im Profil angedeutete Sandentnahme am Fuß des Vorbruchs führt zu einer Verringerung der Standsicherheit bis es zum erneuten Nachbrechen aus der steilen Wand kommt. Rechnerisch ergibt sich dieser Zustand ab dem strichliert eingetragenen Abtrag von Massen. Für die Beurteilung wichtig ist bei diesem Vorgang, dass das Nachrutschen des Sandes auf einer Gleitfläche erfolgt, die nicht durch den Fußpunkt der vorgelagerten Massen verläuft, sondern sich in diesen im oberen Böschungsbereich ausbildet. Am Steilabschnitt reicht der Abbruch rechnerisch nur bis $\leq 1,5 \dots 2$ m hinter die Böschungsschulter. Tatsächlich ist die Abbruchtiefe mit 0,6 bis 1 Meter noch geringer. Der Unterschied kommt dadurch zustande, dass der Berechnung Prüfkreise zugrunde liegen, in Wirklichkeit aber die Kohäsion am oberen Austritt über 1 bis 2 m Höhe einen steileren, oft senkrechten Verlauf der Bruchfläche bewirkt. Dadurch bleibt die nachbrechende Sandmenge begrenzt und beherrschbar. Rechenmodell und Beobachtungen am Abbaustoß stimmen in allen prinzipiellen Feststellungen überein. Gewisse Abweichungen bei den Böschungsneigungen und der Höhe des Vorbruchs von den in Anlage 5 eingetragenen Größen werden dann eintreten, wenn im Anstehenden eine größere oder geringere Kapillarkohäsion als die der Modellrechnung zugrunde gelegte wirkt. Diese Abweichungen liegen im Rahmen des Möglichen und werden zu keinen grundsätzlich anderen Abbaubedin-



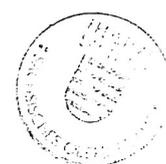
gungen am jeweiligen Stoß führen. Es stellt sich unter den jeweiligen Bedingungen immer der Zustand nahe dem Grenzgleichgewicht $S \approx 1,0$ ein!

6.3.2 Abbauböschung mit 16 m Höhe

Diese Feststellung gilt auch grundsätzlich für den 16 m hohen Abbaustoß. Die Beobachtungen bei einem Abbauersuch (U 9) bestätigen das prinzipielle Zutreffen des Berechnungsmodells und die Anwendbarkeit auf eine 16 m hohe Abbauböschung. Für die Böschung in der Anlage 6 beträgt der rechnerische Standsicherheitsgrad ebenfalls $S \geq 1,0$. Die Neigung des Steilbereiches ist logischerweise geringer, weil die Höhe zugenommen hat, und der Vorbruch reicht weiter nach vorn wegen seiner ebenfalls größeren Höhe. Auch das zur Ausbildung der Gleitfläche und zur Abbruchtiefe an der Böschungsschulter Gesagte trifft in gleicher Größenordnung zu. Die im Profil wiederum angedeutete Sandentnahme am Fuß des Vorbruchs führt ab dem strichliert eingetragenen Abtrag von Massen zu einer rechnerischen Verringerung der Standsicherheit bis es zum erneuten Nachbrechen aus der steilen Wand kommt. Gewisse Abweichungen von den in Anlage 6 eingetragenen Böschungsneigungen und der Höhe des Vorbruchs werden immer dann eintreten, wenn im Anstehenden eine größere oder geringere Kapillarkohäsion als die der Modellrechnung zugrunde gelegte wirkt. Diese Abweichungen werden im Rahmen des Möglichen und Zulässigen liegen und werden zu keinen grundsätzlich anderen Abbaubedingungen am jeweiligen Stoß führen. Abschließend ist noch das Risiko einer unter ungünstigen Umständen denkbaren Verschüttung des Vorderteils des Radladers zu bewerten. Zeitmessungen bei den Abbauersuchen haben für die Rückfahrzeit des Radladers nach der Materialentnahme in einen sicheren Abstand zum Fuß des Vorbruchs ca. 4 Sekunden ergeben. Die Zeit von Beginn des Nachbrechens im Steilbereich bis zum Ablagern der Bruchmasse auf dem Vorbruchkörper beträgt ca. 3 bis 4 Sekunden. Es ist genügend Zeit, um den Radlader vom Stoß zurück zu ziehen. Sollte jedoch einmal der Radlader die Schaufel noch so tief in die Vorbruchmassen gegraben haben, dass er mit dem Radumfang den in der Anlage 6 strichlierten Abbaustand im Vorbruch berührt, dann befindet sich die Vorderkante des Fahrerhausbodens etwa an der mit] markierten Stelle. Käme es in dieser Stellung zu einem Nachbruch, ohne dass der Radlader zurück gefahren würde, dann könnte er nur dann bis an den Fahrerhausboden verschüttet werden, wenn der Sand sich mit ca. 26 Grad Schüttwinkel ablagern würde. Da in diesem Fall mit kohäsionslosem Material zu rechnen ist, gilt

$$S_G = \frac{\tan \varphi'}{\tan \beta'} = \frac{\tan 30^\circ}{\tan 26^\circ} = 1,18.$$

Der unter sehr ungünstigen Annahmen gefundene Wert für die Sicherheit gegen ein Verschütten des vorderen Fahrzeugteils ohne die Fahrerkabine zu beeinträchtigen erreicht ausreichende Größe. Auch aus sicherheitlichen Gründen sollten an den hohen Abbaustößen nur Radlader eingesetzt werden, deren Größe mindestens mit den bei der Erprobung eingesetzten Geräten vergleichbar ist.



6.4 Schlussfolgerungen aus den Berechnungsergebnissen

Die beabsichtigte Vergrößerung der Stoßhöhe von 8 m auf 16 m ist aus bodenmechanischer Sicht zulässig. Die bei der langjährigen Gewinnung des Sandes an 8 m hohen Abbauböschungen gewonnenen Erfahrungen haben Niederschlag in einem einfachen erdstatischen Berechnungsmodell gefunden. Proberechnungen und ein Abbauersuch an einer 16 m hohen Böschung zeigten die Übertragbarkeit wesentlicher Relationen der niedrigeren Böschung auf die doppelt so hohe. Damit bestehen keine geotechnischen Gründe, an den bisherigen 8 m hohen Abbauböschungen fest zu halten. Auch 16 m hohe Abbauböschungen sind von den bodenmechanischen Sachverhalten her beherrschbar. Diese Feststellung ist an Randbedingungen geknüpft, auf die im Folgenden nochmals hingewiesen werden soll:

Der Abbau an höheren Böschungen ist an horizontal wie vertikal sehr gleichmäßige Lagerungsverhältnisse gebunden, wie sie die Lagerstätte Heller aufweist.

Die für den Sandtagebau Heller getroffenen Feststellungen sind nicht ohne vorherige bodenmechanische Prüfung auf andere Abbaustätten übertragbar.

Bei der Abbautechnologie mit der Massenentnahme durch Radlader befindet sich die Abbauböschung verfahrensbedingt im oder nahe dem Grenzgleichgewichtszustand mit $S \approx 1,0$. Daher ist besondere Aufmerksamkeit bei der Sandentnahme notwendig, damit der Radlader rechtzeitig vor nachbrechendem Sand zurück fahren kann. Die Zeit dazu ist in der Regel vorhanden.

Kritische Situationen sind nicht aus zu schließen, wenn es im Steilbereich nicht zu den erwünschten flachen Nachbrüchen, sondern zu Übersteilungen kommen sollte. Ursachen dafür könnten veränderte Lagerungsverhältnisse durch verfestigte Sandpartien, feste Einlagerungen u. ä. oder Abbaufnahme an gestundeten Abbaustellen nach Frostperioden sein. Hier ist besonders sorgfältige Vorprüfung durch den Aufsichtführenden notwendig. Hierzu gehört auch, dass nur bei ausreichender Sicht über die gesamte Böschungshöhe gearbeitet werden darf.

Das Bedienpersonal ist im Rahmen von Belehrungen auf die genannten Besonderheiten hin zu weisen und zu kontrollieren.

Auf der Abbauebene und hinter der Böschungsschulter ist für genügend breite Arbeitsebenen zu sorgen, damit die Lader sicher arbeiten und die Nachbrüche keine Gefährdung von Menschen, Fahrzeugen oder der vorseilenden Böschungen bewirken können.



7. Zusammenfassung

Das Sandwerk Dresden GmbH beabsichtigt nach Möglichkeit eine Vergrößerung der Abbauböschungshöhe von bisher 8 bis 10 Meter auf 16 m. Der Sand wird mit einem Radlader am Stoß aufgenommen und auf eine Strossenbandanlage aufgegeben. Diese Technologie soll beibehalten, aber die Zahl der Abbaustrossen aus Wirtschaftlichkeitsgründen verringert werden.

Da bei diesem Abbauverfahren die Abbauböschung sich im oder sehr nahe an dem Grenzgleichgewichtszustand befindet, ist von rutschungsbegünstigenden Verhältnissen im Sinne der Richtlinie Geotechnik des Sächsischen Oberbergamtes aus zu gehen, sodass die Beurteilung in einer Standsicherheitseinschätzung notwendig wird.

Auf der Grundlage der an den 8 m hohen Böschungen getroffenen Feststellungen konnte ein einfaches erdstatisches Modell erarbeitet werden, dessen Anwendung mit den Erfahrungen an den bisherigen Abbauböschungen weitgehend übereinstimmende Ergebnisse liefert.

Proberechnungen zur Übertragbarkeit des Modells auf höhere Abbauböschungen führten zu dem Ergebnis, dass sich ein gezielter Abbauersuch lohnen würde, um die rechnerisch nur schwer kalkulierbaren Auswirkungen der dynamischen Komponente beim Bruch zu überprüfen.

Der Abbauersuch an einer 16 m hohen Böschung verlief wie nach den Modellrechnungen erwartet, und die dabei aufgezeichneten Bruchabläufe korrespondierten mit Beobachtungen an den 8 m hohen Böschungen.

Die beabsichtigte Vergrößerung der Stoßhöhe von 8 m auf 16 m ist aus bodenmechanischer Sicht zulässig. Grundvoraussetzungen sind horizontal wie vertikal sehr gleichmäßige Lagerungsverhältnisse, wie sie die Lagerstätte Heller aufweist, und besondere Aufmerksamkeit des eingewiesenen Bedienpersonals.

Kritische Situationen könnten bei veränderten Lagerungsverhältnissen durch verfestigte Sandpartien, feste Einlagerungen u. ä. oder Abbauaufnahme an gestundeten Abbaustellen nach Frostperioden eintreten.





Anlage 2

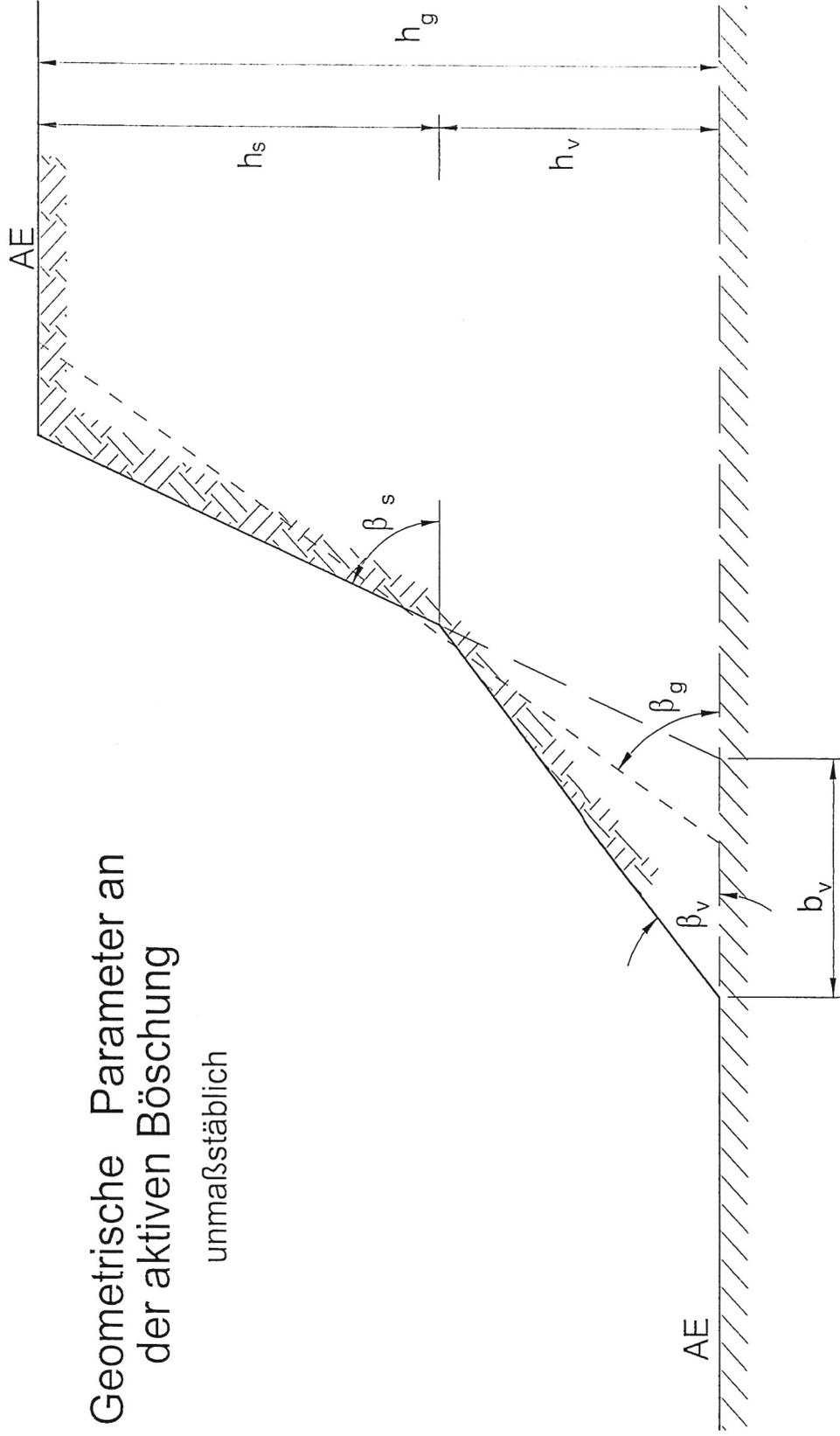
zur Standsicherheitseinschätzung Sandabbau Heller

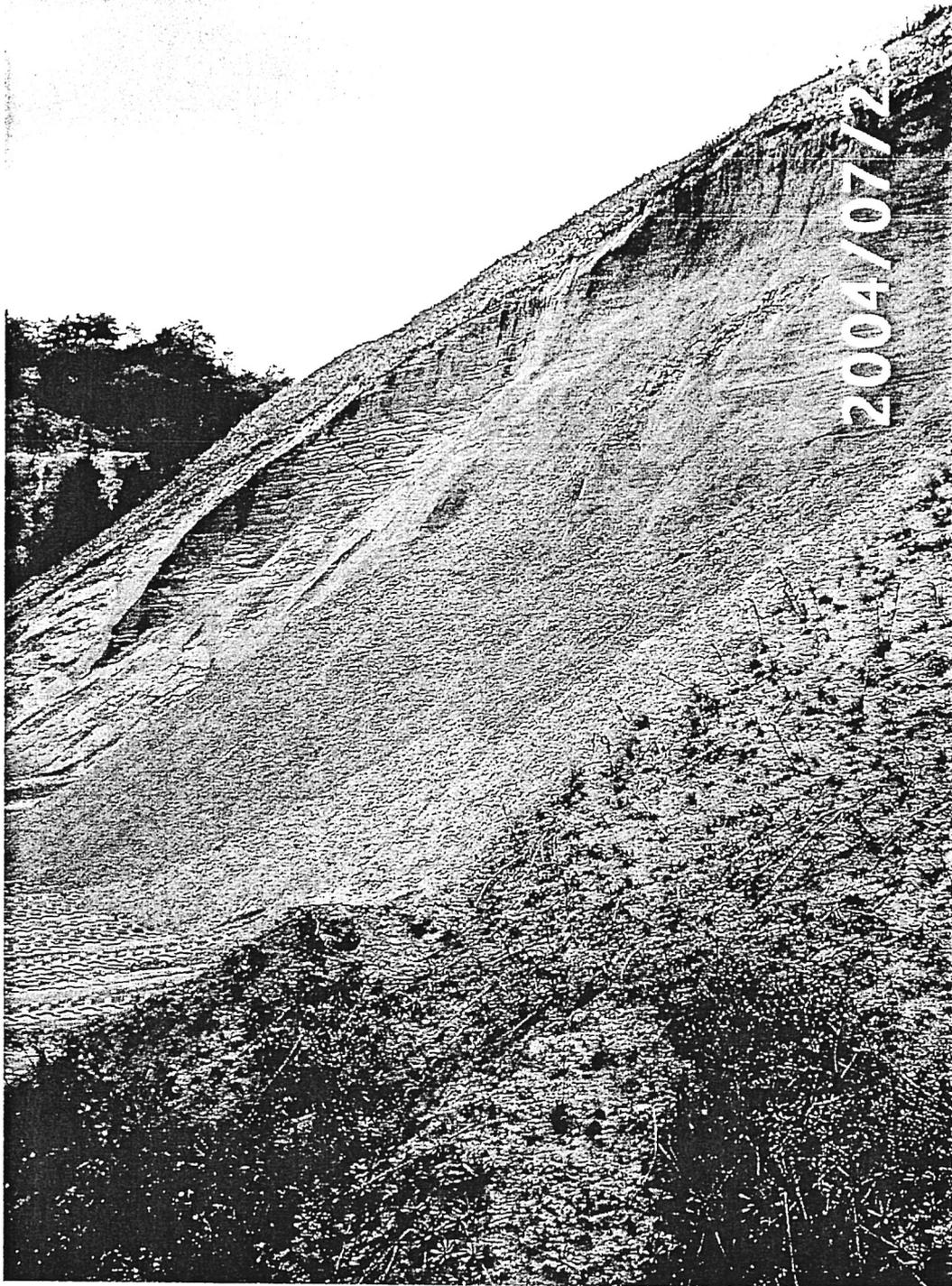
Foto der 8 m hohen Abbauböschung nach dem Bruch



Geometrische Parameter an der aktiven Böschung

unmaßstäblich





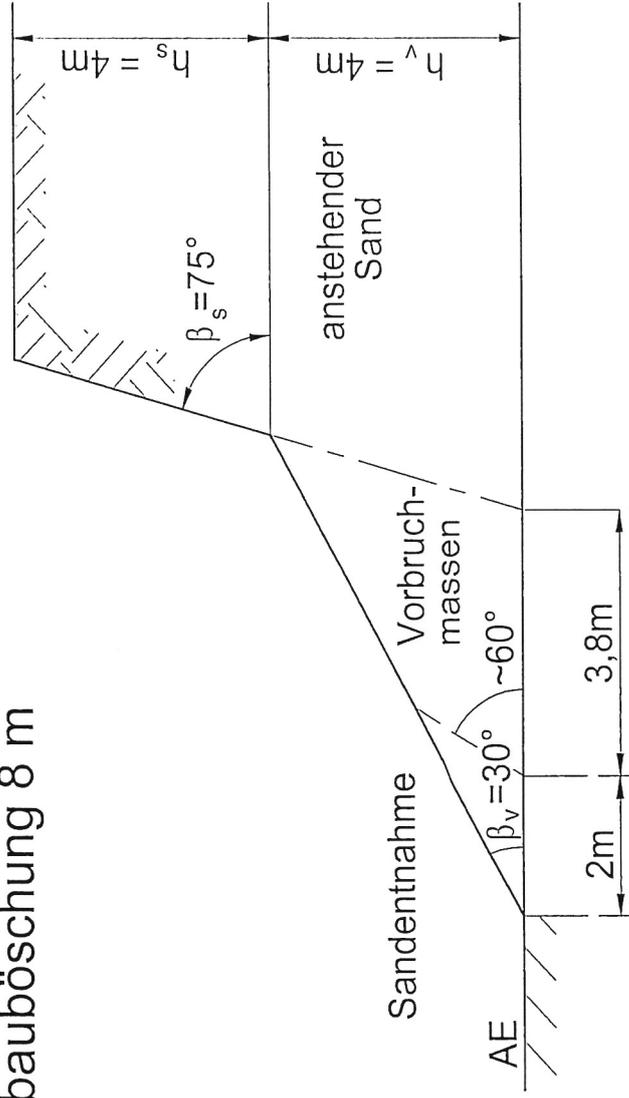
Anlage 4

zur Standsicherheitseinschätzung Sandabbau Heller

Foto der 16 m hohen Abbauböschung nach dem Bruch



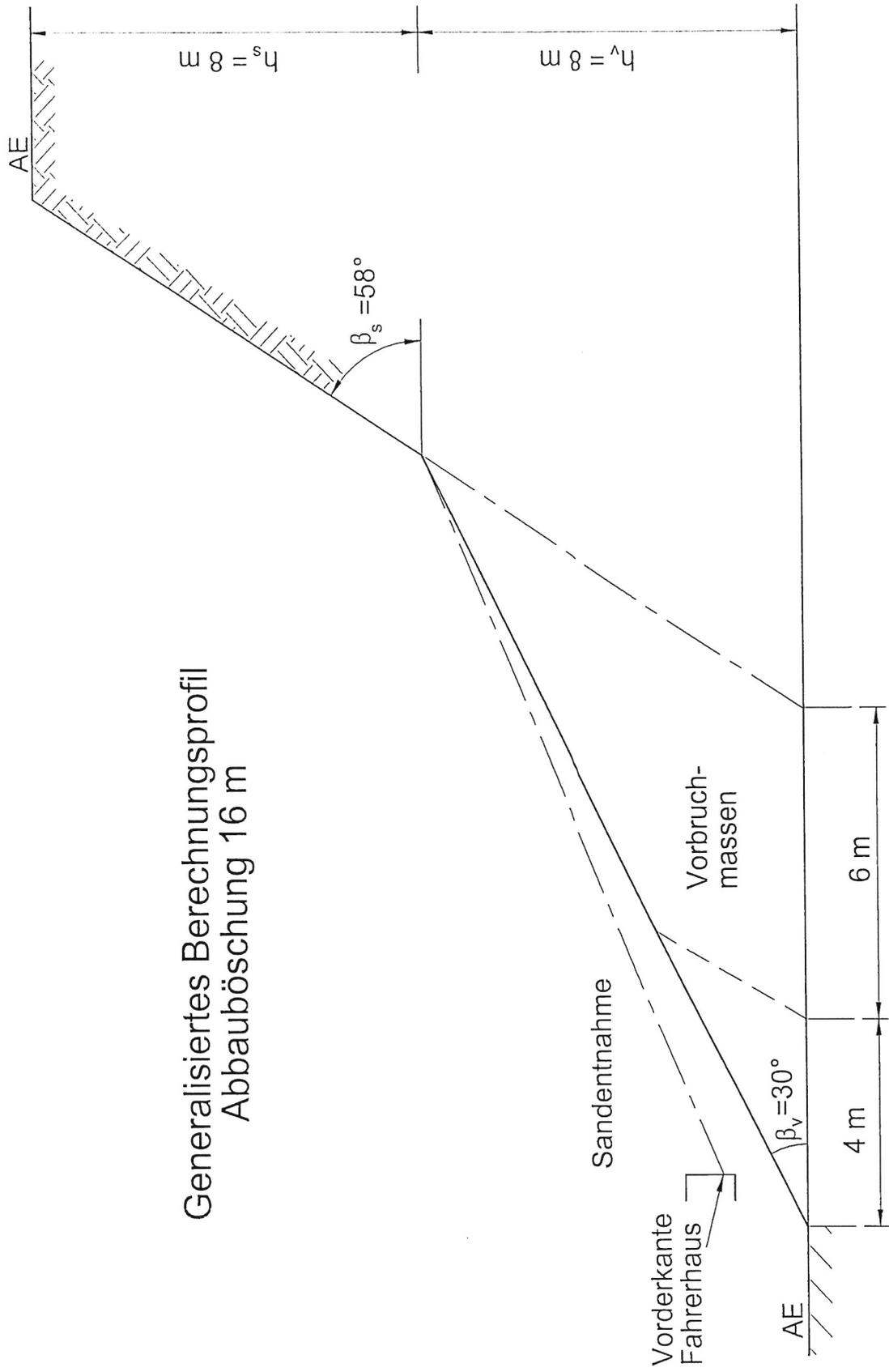
Generalisiertes Berechnungsprofil Abbauböschung 8 m



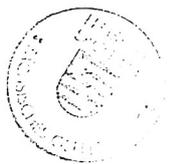
Anlage 5 zur Standsicherheitseinschätzung Sandabbau Heller



Generalisiertes Berechnungsprofil
 Abbauböschung 16 m



Anlage 6 zur Standsicherheitseinschätzung Sandabbau Heller



A 1.5

**Niederschrift zur Erörterung der
Standicherheitseinschätzung zur Vergrößerung der
Höhe der Gewinnungsböschung auf 16 m beim Sand-
abbau mit einem Radlader im Sandtagebau Heller**



Niederschrift zur

Erörterung der Standsicherheitseinschätzung
zur Vergrößerung der Höhe der Gewinnungsböschungen auf 16 m
beim Sandabbau mit einem Radlader im Sandtagebau Heller

Teilnehmer : Herr Steglich, SBU Sandwerke Dresden GmbH

Herr Wenk, SBU Sandwerke Dresden GmbH

Herr Prof. Dr. Walde, Sachverständiger für Böschungen

Ort und Zeit: Sandwerke Dresden, 10. November 2004

1. Da bei der Festlegung der Böschungswinkel für die Endböschungen die Wirkung der scheinbaren Kohäsion nicht angesetzt werden darf, ist der zulässige Böschungswinkel von der Böschungshöhe unabhängig. Es gelten somit weiter die gleichen Endböschungswinkel und Generalneigungen für die Endböschungssystem wie bei 8 m Einzelböschungshöhe.
2. Nach Inbetriebnahme des ersten Strossenabschnitts mit 16 m Abbauhöhe ist der Sachverständige zu informieren, damit dieser nochmals die Kinematik des Bruchvorgangs mit den Berechnungsannahmen vergleichen kann.
3. Nachdem das neue Abbauregime etwa 3 Monaten ohne Störungen angewendet worden ist, kann im Einvernehmen zwischen Unternehmen und Sachverständigem die Standsicherheitseinschätzung zum Standsicherheitsnachweis erklärt werden.
4. Mit dem Entwurf der Niederschrift wurde der Sachverständige für Böschungen beauftragt.

Dresden- Heller, den 10.11.2004



Dipl.- Ing. Steglich
Geschäftsführer



Prof. Dr. Walde
Sachverständiger

