



Geofakten 25

■ Boden

Handlungsempfehlungen zur Bewertung und zum Umgang mit Bodenaushub aus (potenziell) sulfatsauren Sedimenten

Schäfer, W., Pluquet, E., Weustink, A., Blankenburg, J. & Gröger, J.

November 2010

1 Einleitung

Diese Handlungsempfehlungen haben das Ziel, erste Hinweise zu den folgenden Punkten zu geben:

- Vorerkundung und Probenahme,
- Abschätzung des Versauerungspotenzials von Bodenaushub,
- Vermeidung/Minimierung von Bodenaushub,
- Vor-Ort-Management,
- Umlagerung/Ablagerung
 - unter reduzierenden Bedingungen (subaquatisch),
 - unter teilweise reduzierenden Bedingungen (semiterrestrisch),
 - unter oxidierenden Bedingungen (terrestrisch).

Die Hinweise sind beschränkt auf Bodenaushub der (potenziell) sulfatsauren Sedimente (Böden) des Küstenholozäns.

2. Vorerkundung

Die Vorerkundung sollte die regionalen geologischen und bodenkundlichen Gegebenheiten berücksichtigen.

Die Auswertungskarten „SSB50-Sulfatsaure Böden, Tiefenbereich 0–2 m“ und „SSB50T-Sulfatsaure Böden, Tiefenbereich ab 2 m“ sind im Kartenserver des LBEG (<http://nibis.lbeg.de/cardomap3>) verfügbar und geben erste Hinweise auf Problemgebiete (s. a. Geofakten 24, SCHÄFER et al. 2010).

In diesen Gebieten, besonders im Bereich der ausgewiesenen Legendeneinheiten GR1 bis GR2.5 und Niedermoor, sind vor der Durchführung von Baumaßnahmen weitere Vorerkundungen, z. B. Erkundungsbohrungen, zu empfehlen, da die Auswertungskarten maßstabsbedingt nicht als alleiniges Kriterium der Vorerkundung dienen können.

In der Regel sollte hierbei ein Sachverständiger hinzugezogen werden.

3. Probenahme

Die Beprobungsempfehlungen gelten für Bodenproben, die durch Bohrungen oder in der Profilwand entnommen werden. Sie gelten nicht für die Beprobung von Haufwerken. Die Beprobung des Bodens erfolgt tiefenorientiert unter Berücksichtigung von Horizont- und Schichtgrenzen, wobei die Probenahme den Raum bis 1 m unter der geplanten Eingriffstiefe einschließen sollte, sofern aufgrund von Grundwasserhaltungsmaßnahmen während der Baumaßnahme eine mögliche Versauerung zu erwarten ist.

Das Beprobungskonzept ist nach der Art des geplanten Eingriffs und der geplanten Strecke bzw. Fläche auszurichten. Unterschieden wird zwischen linearen (z. B. Leitungsbau) und nichtlinearen Eingriffen. Die Empfehlungen zur Probenahme bei nichtlinearen Eingriffen enthält Tabelle 1.

Tab. 1: Empfehlungen für den Beprobungsumfang bei nichtlinearen Eingriffen.

Größe des Eingriffs	erforderliche Bohrungen
bis 1 ha	4
1 – 2 ha	6
2 – 3 ha	8
3 – 4 ha	10
> 4 ha	mindestens 2 pro ha

Zur Ableitung von differenzierten Handlungsempfehlungen wird die Untersuchung von Einzelproben empfohlen. Mischproben können lediglich ein erstes Bild über die zu erwartenden mittleren Eigenschaften des Bodenaushubs vermitteln. Die Proben sollten feldfeucht luftdicht verpackt und anschließend gekühlt werden. Ist eine sofortige Untersuchung im Labor nicht möglich, müssen sie bis zur Analyse tiefgefroren werden.

Bei linearen Eingriffen wird empfohlen, mindestens alle 50 m eine Sondierung durchzuführen. Da die Pyritanreicherung häufig nesterweise erfolgt, ist ein enger Bohrabstand notwendig.

Die Böden und Sedimente sind nach KA 5 (AG BODEN 2005) in verkürzter Fassung nach dem „Geländeformblatt für die Untersuchungen nach § 12 BBodSchV (Aufbringen von Materialien)“ zu beschreiben. Aufzuführen sind hier:

- Bodenart (Torf, Mineralboden, Bodenprofil etc.), Abschätzung von Korngröße, Farbe, Humusgehalt, Geruch, sichtbaren Pflanzenresten (z. B. Schilf) etc.,
- Beschreibung der Fleckungen, Hydromorphie Merkmale, vor allem strohgelber Jarositflecken,
- Carbonatgehalt,
- Konsistenz,
- Wasserstand unter GOF im Bohrloch und/oder in angrenzenden Gewässern,
- Auftreten von Eisenfällungen in den umgebenden Gewässern bzw. Gräben,
- Fotos des Bohrkerns bzw. des Profilanschnitts.

Als Vor-Ort-Schnellmethode sollten folgende Untersuchungen vorgenommen werden:

- Salzsäure-Schnelltest mit 10%iger HCl (Carbonatgehalt und säureflüchtige Sulfide, H₂S-Geruch bei Kontakt des Bodens mit Salzsäure),
- optional: pH-Wert im Boden (Einstichmessung oder in Wasser fest/flüssig 1 : 5).

4. Hinweise zur Bodenuntersuchung, Parameterumfang

Einfache Labormethoden können die o. g. Vor-Ort-Methoden ergänzen und die Diagnose von potenziell sulfatsauren Sedimenten unterstützen:

- SO₂-Freisetzung beim Glühen einer Bodenprobe (stechender Geruch),
- pH-Messung vor und nach Oxidation mit H₂O₂; bei potenziell sulfatsauren Sedimenten sinkt der pH-Wert nach Oxidation mit H₂O₂ stark ab,
- Inkubation von Probenmaterial an der Luft und regelmäßige Messung des pH-Wertes über einen Zeitraum von 3–6 Monaten.

Anhand dieser Parameter lässt sich die zu untersuchende Probenanzahl fallweise reduzieren. Ausgewählte Proben sollten im Regelfall auf die nachfolgend genannten Parameter untersucht werden:

- Humusgehalt nach DIN ISO 10694 (DIN 1996) bzw. Glühverlust nach DIN 19684-3 (DIN 1977b),
- pH-Wert nach DIN ISO 10390 (DIN 2005) und aktueller Kalkbedarf nach DIN 19684-1 (DIN 1977a),
- Carbonatgehalt nach DIN ISO 10693 (DIN 1997),
- Säurebildender Schwefel
 - aus Jarosit und Pyrit nach FEIGE & LEISEN (1973) bzw. DIN 19684-9 (DIN 1977c, nur Pyrit),
 - aus Pyrit nach DIN 51724-2 (DIN 1999) bzw. GRÖGER, HAMER & BLANKENBURG (2009),
- Trockenrohddichte nach DIN ISO 11272 (DIN 2001).

5. Hinweise zur Abschätzung der Versauerungsgefährdung

Aus der Differenz der Säureneutralisationskapazität und des Säurebildungspotenzials eines Bodenmaterials oder Sedimentes kann das mögliche Eintreten einer Versauerung (pH < 4) bei Belüftung bzw. der Kalkbedarf ermittelt werden.

5.1 Säurebildungspotenzial (SBP)

Zur Bestimmung des Säurebildungspotenzials stehen zwei verschiedene Verfahren zur Verfügung:

1. Der Säure bildende Schwefel aus Jarosit und Pyrit kann durch Bestimmung nach FEIGE & LEISEN (1973) bzw. nach DIN 19684-9 (DIN 1977c, nur Pyrit) erfolgen. Das Verfahren kann bei Torfmaterialien zu Fehlbewertungen führen.
2. Der Säure bildende Schwefel aus Pyrit kann als chromreduzierbarer Schwefel nach DIN 51724-2 (DIN 1999) bzw. GRÖGER, HAMER & BLANKENBURG (2009) oder GRÖGER et al. (2009) bestimmt werden. Das Verfahren eignet sich nicht für Materialien, die bereits auf < pH 4 versauert sind, da Säure bildende Zwischenprodukte wie Jarosit nicht erfasst werden.

5.2 Säureneutralisationskapazität (SNK)

Sind die potenziell sulfatsauren Sedimente carbonathaltig, kann der Carbonatgehalt nach DIN ISO 10693 (DIN 1997) bestimmt werden, um die Säureneutralisationskapazität zu berechnen. Allerdings können auch carbonatarme oder -freie Bodenmaterialien über eine relevante SNK verfügen. Die Säureneutralisationskapazität sollte in diesem Fall durch Titrationsverfahren bestimmt werden (GRÖGER, HAMER & BLANKENBURG 2009).

Aus der Bilanzierung von SBP und SNK leitet sich die Versauerungsgefährdung ab:

$SBP > SNK \rightarrow$ Es ist eine Versauerung auf pH-Werte < 4 zu erwarten.

Zur Neutralisation eines Bodenmaterials kann aus dem aktuellen Kalkbedarf (KB_{akt}) nach DIN 19684-1 (DIN 1977a), der SNK und dem SBP (entspricht dem potenziellen Kalkbedarf KB_{pot}) der Gesamtkalkbedarf (KB_{ges}) ermittelt werden:

$$KB_{ges} = KB_{akt} + (KB_{pot} - SNK)$$

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der KB_{pot} , als chromreduzierbarer Schwefel bestimmt, nicht den säurebildenden Schwefel von Jarosit umfasst. In Torfmaterialien kann die Bestimmung nach DIN 19684-9 (DIN 1977c) zu einer deutlichen Überschätzung des KB_{pot} führen.

Nach praktischen Erfahrungen im Rahmen von Feldversuchen mit potenziell sulfatsaurem Spülgut wurde ein Kalkbedarf von 20–30 t $CaCO_3/ha$ je dm Schichtmächtigkeit bzw. 20–30 kg $CaCO_3/m^3$ ermittelt (SCHÄFER, KUNTZE & BARTELS 1987).

Die Kalkzufuhr kann auch durch Vermischung mit eventuell vorhandenen carbonathaltigen Sedimenten erfolgen.

6. Hinweis zum Umgang mit potenziell sulfatsauren Sedimenten

Ziel aller Maßnahmen muss eine Vermeidung negativer Auswirkungen auf Schutzgüter sein. Gleichzeitig sollte der Material-, Arbeits- und Kostenaufwand minimiert werden.

Beim Umgang mit potenziell sulfatsauren Sedimenten sollten grundsätzlich drei Kernstrategien verfolgt werden, die wie folgt zu priorisieren sind:

1. Vermeidung oder Minimierung des Eingriffs,
2. Vor-Ort-Management,
3. Umlagerung/Ablagerung.

6.1 Strategien zur Vermeidung oder Minimierung des Eingriffs

Die Vermeidung von potenziell sulfatsaurem Bodenaushub könnte bereits bei der Planung von Maßnahmen, z. B. bei der Erstellung von Bebauungsplänen und der Ausweisung von Gewerbegebieten berücksichtigt werden. Hier könnten bereits Eingriffe in Arealen vermieden werden, die aus Kartenauswertungen bzw. Voruntersuchungen als gefährdet identifiziert wurden. In solchen Fällen wäre es sinnvoll, eine Alternativfläche für die geplante Maßnahme zu ermitteln. Ist es nicht möglich, den Eingriff an einem bestimmten Ort zu vermeiden, sollte geprüft werden, ob die Lage der Eingriffe auf der Zielfläche (damit also in den meisten Fällen die Lage der Bebauung) so angepasst werden kann, dass möglichst wenig potenziell sulfatsaures Bodenmaterial betroffen ist.

Wenn die oben genannten Möglichkeiten nicht realisierbar sind, sollte geprüft werden, ob sich spezielle Maßnahmen, beispielsweise Fundamente, anpassen lassen. So könnten z. B. Punkt- statt Flächenfundamente zum Einsatz kommen. Ebenso sollte geprüft werden, ob sich der Austausch von nicht tragfähigem Material durch Auflastverdichtung vermeiden lässt. In jedem Fall muss beim Vorliegen potenziell sulfatsaurer Böden, sofern möglich, eine starke Grundwasserabsenkung vermieden werden, da das Material sonst auch im ungestörten Schichtverband oxidieren kann.

6.2 Vor-Ort-Management von potenziell sulfatsauren Sedimenten

Ist ein Eingriff, der potenziell sulfatsaure Sedimente betrifft, nicht vermeidbar, so sollte das Material möglichst wenig transportiert werden und möglichst umgehend wieder in den reduzierten Bereich des Untergrunds eingebaut werden. Der Wiedereinbau des Bodenaushubs muss dabei unterhalb des mittleren Grundwassertiefstandes erfolgen, um zu gewährleisten, dass im Bodenaushub reduzierende Bedingungen erhalten bleiben. Im Fall von Leitungsbaumaßnahmen (linearer Eingriff) sollte ein rascher schichtenkonformer Wiedereinbau erfolgen.

6.3 Umlagerung und Abtransport von potenziell sulfatsauren Böden (off-site)

Sollten weder die Vermeidung noch ein Vor-Ort-Management realisierbar sein, muss der Bodenaushub umgelagert werden.

Beim Umgang mit Bodenaushub aus potenziell sulfatsauren Sedimenten ist zu beachten, dass dieses Substrat in der Regel erhöhte Gehalte an

organischer Substanz (> 8 Gew.-%) aufweist und bei oxischen Ablagerungsbedingungen chemisch instabil ist (Pyritoxidation).

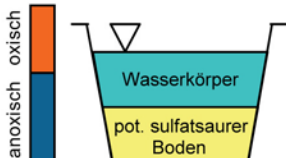
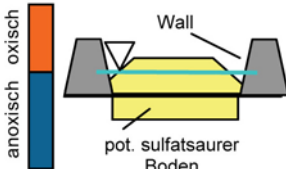
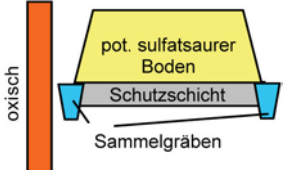
Eine Ablagerung von (potenziell) sulfatsauren Sedimenten sollte grundsätzlich nur im Bereich des Küstenholzäns erfolgen, weil

- das Küstenholzän aufgrund seiner Geogenese von Natur aus durch eine intensive Schwefeldynamik geprägt ist und
- aufgrund der in der Regel hohen Grundwasserstände ein reduktives Milieu mit dem Potenzial zur Sulfatreduktion vorhanden ist.

Die Ablagerung des potenziell sulfatsauren Bodenaushubs kann grundsätzlich nach den in Tabelle 2 aufgeführten Ablagerungsstrategien erfolgen:

1. vollständige Vermeidung der Sulfidoxidation (subaquatische Ablagerung),
2. Beschränkung der Sulfidoxidation auf den Oberboden und Förderung der Sulfatreduktion im Unterboden, Vermeidung der Versauerung des Oberbodens durch Kalkung (semiterrestrische Ablagerung),
3. vollständige Sulfidoxidation, Vermeidung der Versauerung durch Kalkung, kontrollierte Abfuhr des sulfathaltigen Sickerwassers (terrestrische Ablagerung).

Tab. 2: Ablagerungsstrategien von (potenziell) sulfatsaurem Bodenaushub.

Ablagerung	Ablagerungsmilieu	Ziel der Maßnahme	Prozesse
	subaquatisch	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeidung der Sulfidoxidation durch Gewährleistung vollständiger und permanenter reduktiver Bedingungen. 	<ul style="list-style-type: none"> • keine Sulfidoxidation, deshalb kein Sulfataustrag, • keine Bodenversauerung, • keine erhöhten Schwermetallausträge, • eventuell Ammoniumaustrag.
	semiterrestrisch	<ul style="list-style-type: none"> • Beschränkung der Sulfidoxidation auf den Oberboden, • Förderung der Sulfatreduktion im Unterboden durch Gewährleistung permanenter reduktiver Bedingungen, • Vermeidung der Bodenversauerung durch Kalkung. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sulfatverlagerung in den Unterboden, • Sulfatreduktion im Unterboden, • verminderte Schwermetallmobilität im reduzierten Unterboden, • Neutralisation der Säure durch Kalk, • Schwermetallfällung durch Kalk.
	terrestrisch	<ul style="list-style-type: none"> • vollständige Sulfidoxidation, • Vermeidung von Stoffausträgen durch Dichtungsschicht, • kontrollierte Abfuhr des (sulfathaltigen) Sickerwassers, • Vermeidung der Bodenversauerung durch Kalkung. 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Sulfatausträge mit dem Sickerwasser, • Neutralisation der Säure durch Kalk, • verminderte Schwermetallmobilität durch Kalkung.

6.3.1 Subaquatische Ablagerung

Denkbar wäre eine kontrollierte subaquatische Ablagerung des reduzierten Bodenaushubs, wie es z. T. bereits bei Baggergut aus Schifffahrtswegen durchgeführt wurde (HAKSTEGE 2007). Die rechtliche Würdigung ist nicht Gegenstand dieser Ausführungen. In erster Linie sollte hier die Verfüllung von existierenden Vertiefungen, die ihrerseits bereits ein reduzierendes Milieu aufweisen, angestrebt werden. Die Ablagerung könnte abgedeckt unterhalb der Wasseroberfläche oder abgedeckt unter der Grundwasseroberfläche erfolgen (s. Abb. 1).

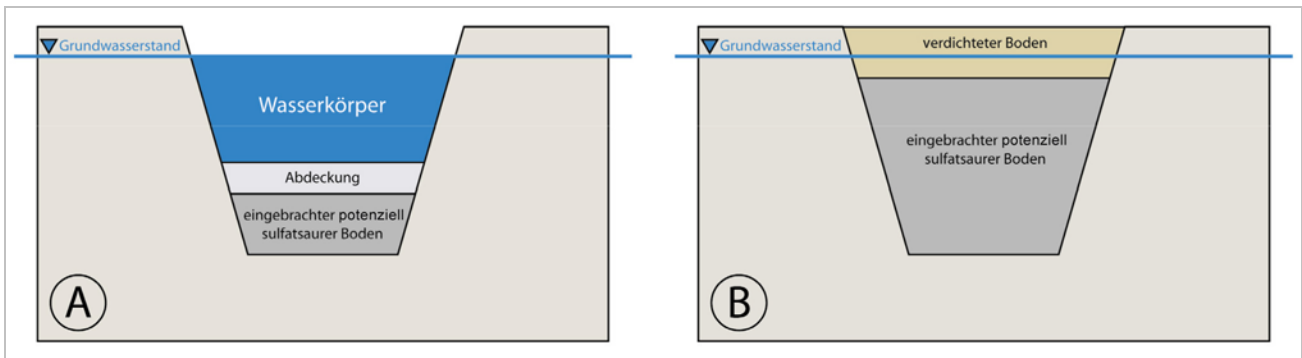


Abb. 1: Schematische Darstellung zur subaquatischen Ablagerung von potenziell sulfatsaurem Bodenaushub (aus: GRÖGER, HAMER & BLANKENBURG 2009, verändert nach DEAR et al. 2002).

6.3.2 Semiterrestrische Ablagerung

Eine Alternative ist die Anlage von Poldern zur Erzeugung künstlicher Feuchtgebiete. Diese könnten gleichzeitig als Ersatz- oder Ausgleichsflächen dienen, sofern das anstehende Habitat als Ersatz für die ursprünglich beeinträchtigte Fläche geeignet ist.

Als Ablagerungsfläche sollte ein grundwassernahe Standort (z. B. im Sietland) im Bereich des Küstenholozäns ausgewählt und entsprechend Abbildung 2 als (abflussloser) Polder hergerichtet werden. Die wichtigsten Anforderungen an den Standort sind in Abbildung 2 aufgelistet. Nach Einbau des potenziell sulfatsauren Bodenaushubs (s. Abb. 3) und Einstau des Niederschlagswassers wird sich im Polder ein höherer Stauwasserstand einstellen, der reduzierende Bedingungen im unteren Bereich der Ablagerung gewährleistet. Die

unter den oxischen Bedingungen im Oberboden durch Sulfidoxidation freigesetzte Säure sollte durch Kalkung der Oxidationszone des Bodenaushubs (s. Abb. 3) neutralisiert werden. Zur Neutralisation von sauren Sickerwässern und Fällung von eventuell mobilisierten Schwermetallen kann zusätzlich Kalk in die oberen 3–5 dm der Basis der Ablagerungsfläche eingearbeitet werden. Die insgesamt auszubringende Kalkmenge orientiert sich an der Bestimmung des Kalkbedarfs (vgl. Punkt 5).

Das mit dem Sickerwasser in den Unterboden eingetragene Sulfat wird im reduktiven Milieu zu Sulfid reduziert und zusammen mit Eisen in Form von Eisensulfid (FeS) wieder festgelegt (s. Abb. 3). Die Schwermetallmobilität wird durch einen Anstieg des pH-Wertes und durch Sulfidbildung deutlich vermindert.

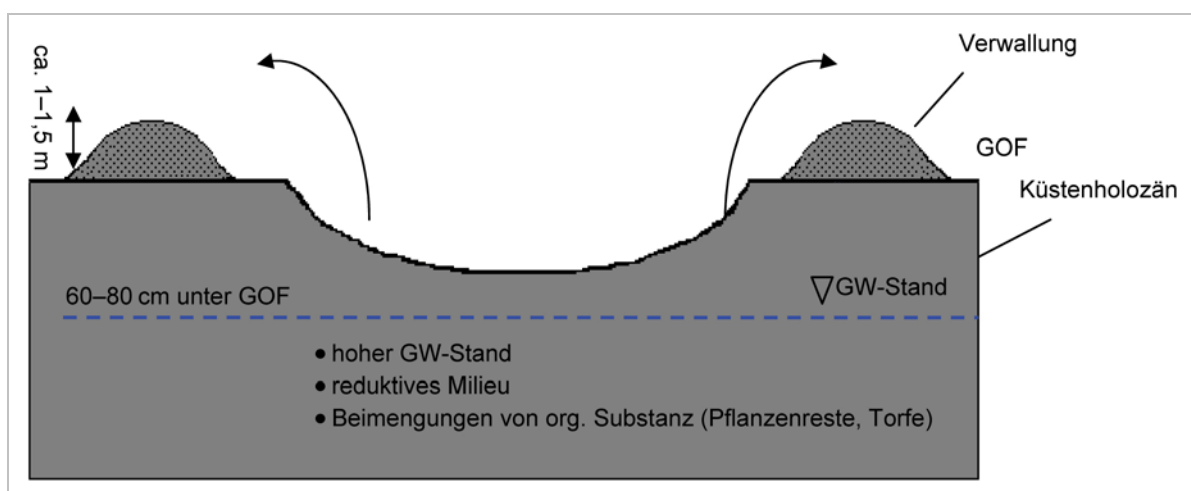


Abb. 2: Anlage eines abflusslosen Polders.

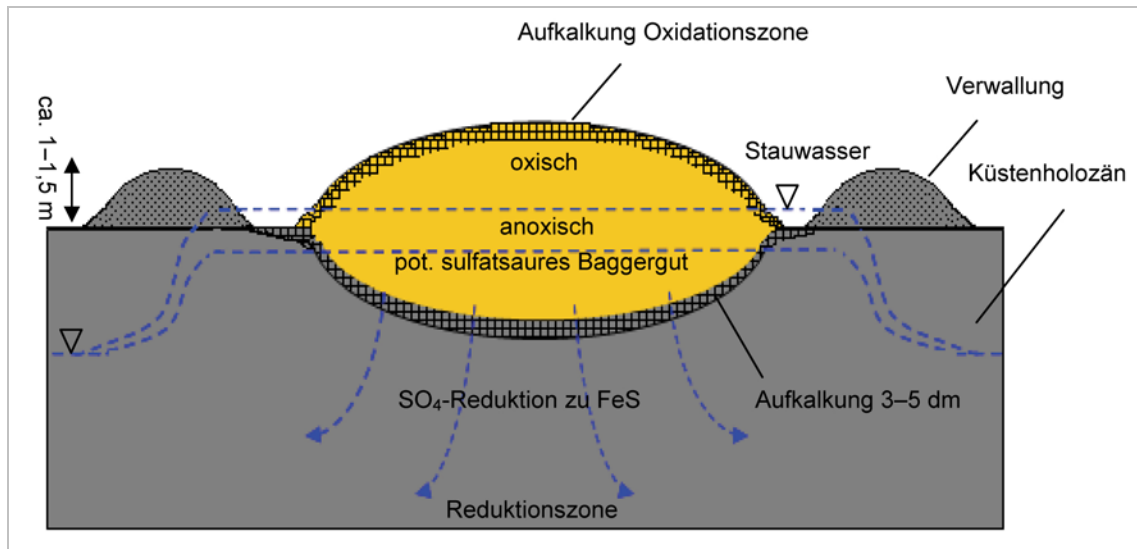


Abb. 3: Ablagerungsfläche mit zusätzlicher „Kalkfalle“ an der Basis.

6.3.3 Terrestrische Ablagerung

Eine weitere Möglichkeit ist die obertägige oxische Deponierung. Diese sollte nur mit einer Neutralisation der entstandenen Säure erfolgen, z. B. durch Kalkung (s. Abb. 4). Es wären jedoch weitergehende Sicherungsmaßnahmen erforderlich. Selbst wenn der Bodenaushub neutralisiert wird, treten weiterhin hohe Sulfatfrachten auf. Ebenso kann ein erhöhter Austrag an gelöstem Eisen auftreten, das in angrenzenden Gewässern zu einer beträchtlichen Versauerung führen kann. Erfolgt keine Neutralisation, ist zudem mit hohen Schwermetall- und Aluminiumfrachten zu rechnen.

Ist eine vollständige Durchmischung des sulfatsauren Bodenaushubs mit Kalk technisch nicht möglich, bietet sich eine partielle Kalkung entsprechend Abbildung 3 an. Die Kalkung des Oberbodens verhindert die Versauerung der Vegetationstragschicht; die Kalkeinwirkung in die oberen 3–5 dm der Deponiebasis gewährleistet eine Neutralisation von sauren Sickerwässern und eine Ausfällung von gelösten Schwermetallen.

Sulfatsaure Sedimente stellen bei terrestrischer Ablagerung und oxidierenden Bedingungen eine zeitlich befristete Sulfatquelle dar. Nach vollständiger Oxidation der Sulfide, Neutralisation der Säure und Abfuhr (Auswaschung) der überschüssigen Sulfate könnte das Bodenmaterial verwertet werden.

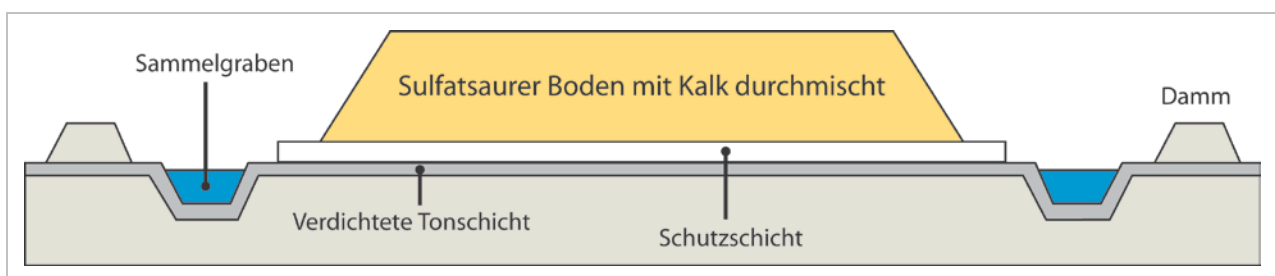


Abb. 4: Schematischer Aufbau einer möglichen oxischen Deponierung eines mit Kalk behandelten sulfatsauren Bodenaushubs (aus: GRÖGER, HAMER & BLANKENBURG 2009, verändert nach DEAR et al. 2002).

7. Auswirkungen auf das Grundwasser

Im Falle einer Ablagerung sind die Auswirkungen auf das Grundwasser zu prognostizieren, so dass eine Entscheidung nur im Einzelfall getroffen werden kann. Ist das umgebende Milieu einer geplanten Ablagerung (s. Abb. 1 und 3) bereits stark reduzierend, z. B. wie im Bereich oder unterhalb von tonig-schluffigen Ablagerungen des Küstenholozäns, wird eine subaquatische bzw. semiterrestrische Ablagerung im Regelfall vorgenommen werden können.

Die in Punkt 6.3 angedeuteten Möglichkeiten zur Ablagerung von potenziell sulfatsaurem Bodenaushub sollten generell durch eine Beweissicherung begleitet werden, um nachzuweisen, dass von ihnen keine nachteiligen Veränderungen des Grundwassers ausgehen.

7.1 Umgang mit potenziell sulfatsauren Sedimenten in Wassergewinnungsgebieten

Nach den vorliegenden Auswertungskarten (s. Punkt 2) kommen potenziell sulfatsaure Böden auch im Bereich der für die Trinkwassergewinnung genutzten Grundwasserleiter vor. Gefährdungen des Grundwassers durch die Belüftung, Um- und Ablagerung sulfatsaurer Substrate sind im Sinne des vorsorgenden Grundwasserschutzes auszuschließen. Ablagerungen (s. Tab. 2) müssen zudem so geplant und betrieben werden, dass von ihnen keine nachteilige Veränderung des Grundwassers ausgeht.

Innerhalb der Wasserschutzgebiete sowie der Vorranggebiete für die Trinkwassergewinnung ist es daher erforderlich, alle oben genannten Maßnahmen unter Beachtung der einschlägigen Schutzbestimmungen (Verordnung über Schutzbestimmungen in der Wasserschutzgebietsverordnung (SchuVo) bzw. in der Wasserschutzgebietsverordnung des jeweiligen Gebietes) und des besonderen Schutzbedürfnisses durchzuführen. Demnach ist es im Regelfall abzulehnen, potenziell sulfatsaures Bodenmaterial in entsprechenden Gebieten abzulagern.

Darüber hinaus ist zu empfehlen, dass generell keine Um- und Ablagerungen im Bereich von Grundwasserabsenkungen stattfinden. Hier kann in Abhängigkeit der veränderlichen Förderraten im Grundwasserleiter eine entnahmebedingte Belüftung ehemals reduzierter Bereiche auftreten. Mittlere Grundwassertiefstände (MNGW), unterhalb derer eine Einlagerung solchen Bodenaushubs

sauerstofffrei möglich wäre, können sich in solchen Bereichen nicht dauerhaft einstellen.

Literatur

AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). – 5. Auflage, 438 S., 41 Abb., 103 Tab., 31 Listen; Hannover.

DEAR, S. E., MOORE, N. G., DOBOS, S. K., WATLING, K. M. & AHERN, C. R. (2002): Queensland acid sulphate soil technical manual - Soil Management Guidelines. – 63 S., Department of Natural Resources and Mines; Indooroopilly, Queensland, Australia.

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (1977a): DIN 19684-1, Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau - Chemische Laboruntersuchungen, Teil 1: Bestimmung des pH-Wertes des Bodens und Ermittlung des Kalkbedarfs. – Berlin (Beuth).

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (1977b): DIN 19684-3, Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau - Chemische Laboruntersuchungen, Teil 3: Bestimmung des Glühverlustes und des Glührückstandes. – Berlin (Beuth).

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (1977c): DIN 19684-9, Bodenuntersuchungsverfahren im landwirtschaftlichen Wasserbau; Chemische Laboruntersuchungen, Teil 9: Bestimmung des Gehaltes an pflanzenschädlichen Sulfiden und Polysulfiden im Boden. – Berlin (Beuth).

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (1996): DIN ISO 10694, Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von organischem Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse). – Norm, 1996-08; Berlin (Beuth).

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (1997): DIN ISO 10693, Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Carbonatgehaltes - Volumetrisches Verfahren. – Norm, 1997-05; Berlin (Beuth).

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (1999): DIN 51724-2, Prüfung fester Brennstoffe - Bestimmung des Schwefelgehaltes, Teil 2: Spezies. – 1999-06; Berlin (Beuth).

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2001): DIN ISO 11272, Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der Trockenrohdichte. – Norm, 2001-01; Berlin (Beuth).

- DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2005): DIN ISO 10390, Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des pH-Wertes. – Norm, 2005-12; Berlin (Beuth).
- FEIGE, W. & LEISEN, E. (1973): Der Kalkbedarf schwefelhaltiger Böden. – Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung **14**: 190–196; Berlin.
- GRÖGER, J., FRANKE, J., HAMER, K. & SCHULZ, H. D. (2009): Quantitative Recovery of Elemental Sulfur and Improved Selectivity in a Chromium-Reducible Sulfur Distillation. – *Geostandards and Geoanalytical Research* **33** (1): 17–27.
- GRÖGER, J., HAMER, K. & BLANKENBURG, J. (2009): Handlungsempfehlung zur Bewertung des Versauerungspotenzials von Aushubmaterial durch reduzierte anorganische Schwefelverbindungen. – Bericht, Version 1.1., Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen und Geologischer Dienst für Bremen.
- HAKSTEGE, A. L. (2007): Sub-aquatic confined disposal. – in: BORTONE, G. & PALUMBO, L. (Hrsg.) (2007): Sustainable Management of sediment resources. Volume 2: Sediment and dredged material treatment. – S. 113–118; Amsterdam (Elsevier).
- KARTENSERVER LBEG: <http://nibis.lbeg.de/cardomap3>.
- SCHÄFER, W., GEHRT, E., MÜLLER, U., BLANKENBURG, J. & GRÖGER, J. (2010): Sulfatsaure Böden in niedersächsischen Küstengebieten. – *Geofakten* **24**: 9 S., 4 Abb., 1 Tab.; Hannover (LBEG).
- SCHÄFER, W., KUNTZE, H. & BARTELS, R. (1987): Bodenentwicklung aus Spülgut in Deponieflächen. – *Geol. Jb.* **F 22**, 79 S., 24 Abb., 41 Tab.; Hannover.

Impressum:

Die Geofakten werden vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) herausgegeben und erscheinen unregelmäßig bei Bedarf. Der Bezug beim LBEG ist kostenlos.

Die bisher erschienenen Geofakten können unter <http://www.lbeg.niedersachsen.de> abgerufen werden.

© LBEG Hannover 2010

Version: 25.11.2010

DOI: 10.48476/geofakt_25_1_2010

Autoren

- Dr. Walter Schäfer, Tel.: 0511/ 643-3264
mail: Walter.Schaefer@lbeg.niedersachsen.de
- Dr. Erich Pluquet, Tel.: 0511/ 643-2588
mail: Erich.Pluquet@lbeg.niedersachsen.de
- Andree Weustink, Tel.: 0511/ 643-2493
mail: Andree.Weustink@lbeg.niedersachsen.de
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie
Stilleweg 2, 30655 Hannover
Internet: <http://www.lbeg.niedersachsen.de>
- Dr. Joachim Blankenburg, Tel.: 0421/ 218 659-10
mail: jblankenburg@gdfb.de
Geologischer Dienst für Bremen,
Marum-Gebäude
Leobener Straße, 28359 Bremen
Internet: <http://www.gdfb.de/>
- Jens Gröger
mail: jgroeger@uni-bremen.de, Tel.: 0421/ 218-65119
Universität Bremen
Fachbereich Geowissenschaften
Postfach 330440, 28334 Bremen
Internet: <http://www.geo.uni-bremen.de>