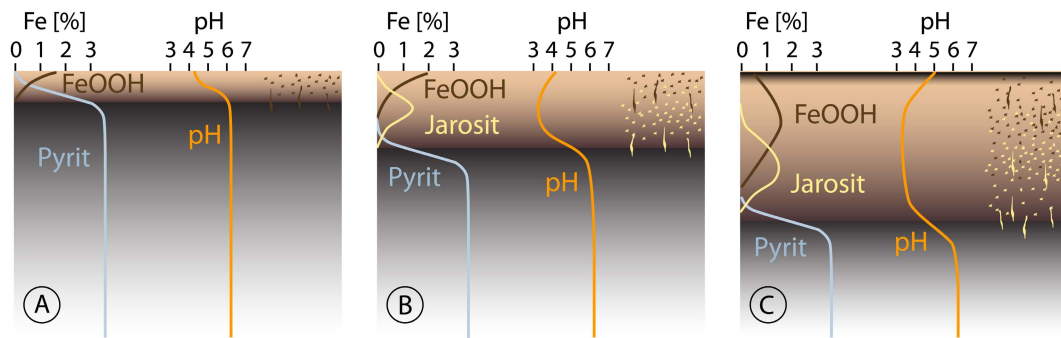


Sulfatsaure Böden im Land Bremen Aus Boden kann Abfall werden



Im Auftrag des Senators für Umwelt, Bau und Verkehr

Impressum

Bremen, 30.11.2011

Geologischer Dienst für Bremen
Leobener Str. marum
28359 Bremen



Dr. J. Gröger
Dr. J. Blankenburg

1 Sulfatsaure Böden im Land Bremen – wo liegt das Problem?

1.1 Böden, die sauer werden können

In Norddeutschland treten in den Niederungs- und Küstengebieten weiträumig mineralische Ablagerungen und Torfe auf, die nach der letzten Eiszeit (Holozän) entstanden sind. Im wassergesättigten Untergrund enthalten diese Ablagerungen häufig beträchtliche Mengen an natürlichen Eisen-Sulfidverbindungen (Pyrit), die sich in den letzten Jahrtausenden dort unter Luftabschluss gebildet haben. Solche Böden werden als potentiell sulfatsaure Böden bezeichnet. Bei stabilen Lagerungsbedingungen geht von dem Material keinerlei Gefahr für die Umwelt aus.

Da solche Ablagerungen nur eine geringe Tragfähigkeit aufweisen, ergibt sich im Rahmen von Baumaßnahmen häufig der Bedarf, sie z.B. gegen Sand auszutauschen. Bei einem Aushub, prinzipiell ebenso auch bei einer Grundwasserabsenkung, kommt es zu einer Belüftung des Materials. Dabei werden die Eisen-Sulfidverbindungen durch den Luftsauerstoff oxidiert. Bei entsprechender Zusammensetzung kommt es dabei zu einer beträchtlichen Freisetzung von Schwefelsäure, auch können Schwermetalle in Lösung gehen.

1.2 Vorgänge und Wirkungen

Bei einer Belüftung potentiell sulfatsaurer Böden kommt es infolge der chemischen Prozesse zu einem deutlichen Abfall des pH-Werts, häufig werden pH-Werte zwischen pH 2-4 erreicht. In diesem pH-Bereich tritt eine deutliche erhöhte **Mobilität von Schwermetallen und Aluminium** auf. Böden mit einem pH unter 4 werden als effektiv sulfatsaurer Boden bezeichnet. Gleichzeitig werden zudem große Mengen **Sulfat** (Salz der Schwefelsäure) freigesetzt, so dass im Sickerwasser Sulfatkonzentrationen von mehreren 1000 mg/l erreicht werden können. Infolge der ausgeprägten Versauerung und damit einhergehenden Stoffmobilisation weisen effektiv sulfatsaure Böden Eigenschaften auf, die eine ordnungsgemäße, das heißt schadlose Wiederverwertung ausschließen.

Die chemischen Umsetzungsprozesse bedingen neben der Versauerung und der Bildung von Sulfaten auch eine beträchtliche Freisetzung **von gelöstem**

Eisen (Fe(II)). Sofern diese in anliegende Gewässer oder das Grundwasser gelangen und dort oxidiert werden kann das betroffene Gewässer ebenfalls versauern und pH-Werte unter 4 erreichen. Ähnliches gilt auch für Mangan, das ebenfalls in zweiwertiger Form ausgetragen und zu drei- oder vierwertigem Mangan oxidiert werden und ausfallen kann. Eine stark vereinfachte Übersicht über die Prozesse, die in sulfatsauren Böden ablaufen ist in Abbildung 1 dargestellt.

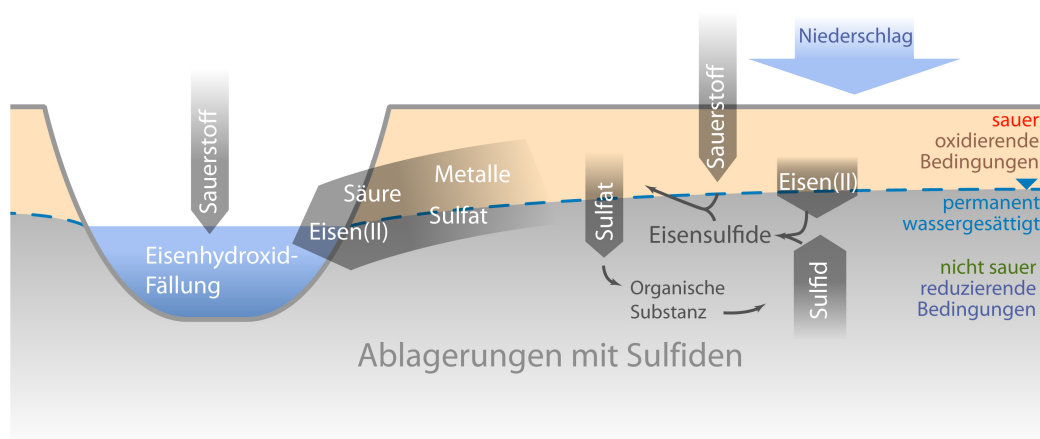


Abb. 1: Vereinfachte Übersicht über die Prozesse, die in sulfatsauren Böden ablaufen.

1.3 Bildung und Verbreitung von sulfatsauren Böden

Sulfatsaure Böden treten vor allem in Niederungen auf, die bei der Entstehung zeitweise mit Meer- oder Brackwasser überflutet wurden oder im Einflussbereich sulfathaltigen Grundwassers liegen. Aus diesem Grund sind sulfatsaure Böden weltweit vor allem in Küstengebieten zu finden.

Für die Bildung von Eisensulfiden, die später bei der Belüftung die Versauerung verursachen, sind grundsätzlich folgende Dinge erforderlich:

- eine Sulfatquelle (z.B. Meerwasser oder aufsteigendes Wasser im Bereich von Salzstöcken),
- eine Eisenquelle (z.B. reduzierbare Eisen-(hydr)oxide),
- organische Substanz (z.B. Pflanzenreste, Torf).

Unter wassergesättigten Bedingungen können unter Luftabschluss Eisen-Schwefelverbindungen entstehen (Pyrit). Häufig bilden sich die Eisen-Schwefelverbindungen in Böden, die eine Wechsellagerung von organischen und mineralischen Schichten aufweisen.

1.4 Auftreten im Land Bremen

Die Stadt Bremen liegt relativ küstenfern. Deshalb werden hier keine jungen (holozänen) vom Meerwasser (marin) oder Brackwasser (brackisch) bedingten Ablagerungen erwartet. In Stadtgebiet von Bremen treten potentiell sulfatsaure Böden deshalb in erster Linie als Unter- und/oder Überlagerungen von Torfen und mineralischen Sedimenten im Einzugsbereich von meist salzstockbeeinflusstem Grundwasser auf. Salzhaltiges Grundwasser tritt vereinzelt an der Oberfläche als Salzlake aus (z.B. Pannlake im Hollerland) (Abbildung 2).

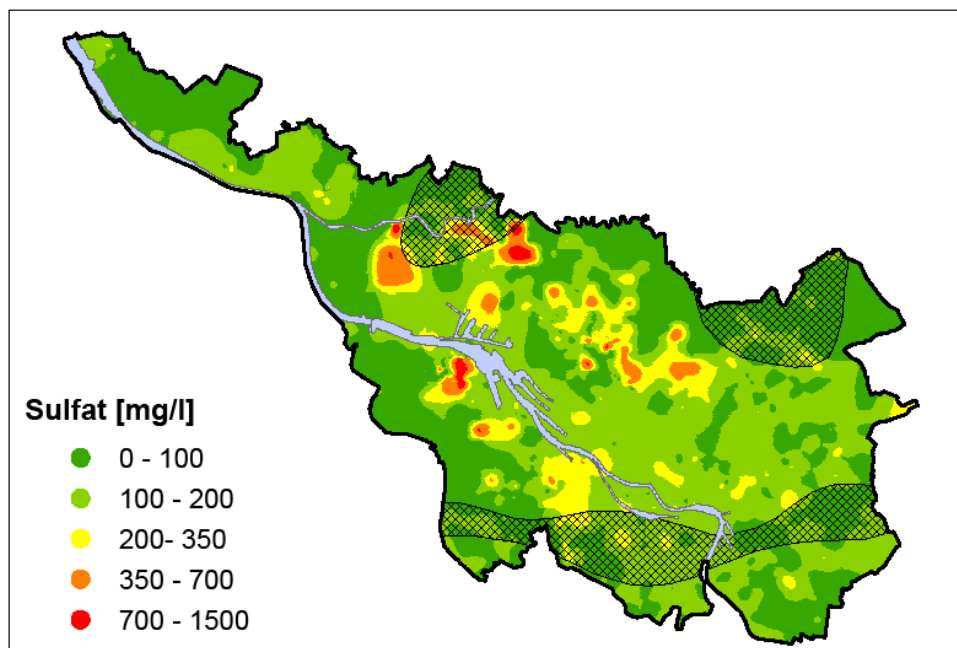


Abb. 2: Karte aus der geochemischen Grundwasserkartierung (Ortlam und Sauer 1993), Sulfat im Grundwasser bis 15 m Tiefe. Schwarze Schraffuren zeigen die Lage von Salzstöcken im Untergrund.

Betroffen sind vor allem die Gebiete nördlich der Weser, z.T aber auch die südlich gelegenen Gebiete. Es ist davon auszugehen, dass diese Salzstocklau-

gungswässer eine primäre Sulfatquelle für die Bildung von Eisensulfiden darstellen.

In **Bremerhaven** hingegen treten brackische und marine Ablagerungen, in denen die Bildungsbedingungen für sulfatsaure Böden gegeben sind, mit bedeutenden Flächenanteilen auf. Hier ist als Sulfatquelle, im Gegensatz zum Stadtgebiet von Bremen, vor allem das Meer von Bedeutung.

In Bremerhaven ist ein Auftreten bekannt im Stadtteil Wulsdorf. Potentiell sulfatsaure Böden treten hier als Organomarsch über Niedermoortorfen auf, in die Schlicklagen eingeschaltet sind.

Sowohl aus dem **Stadtgebiet von Bremen**, als auch aus **Bremerhaven** sind effektiv sulfatsaure Böden nicht bekannt, d.h. die aktuellen pH-Werte in den Böden liegen oberhalb pH 4,0.









2 Karten über die Verbreitung von potentiell sulfatsauren Böden

Die für das Land Bremen vorliegenden Karten „sulfatsaure Böden 0-2 m“ und „sulfatsaure Böden des tieferen Untergrundes (2-15 m, bzw. Holozänbasis)“ wurden auf Basis vorhandener Karten und einer Auswertung der Bohrdatenbank des Geologischen Dienstes für Bremen erstellt. Die Auswertungen von Schäfer et al. (2010a) für das niedersächsische Umland wurden hierbei berücksichtigt.

2.1 Flächeneinheiten und Bodengruppen

Die ausgewiesenen Flächeninhalte entsprechen der Karte „Sulfatsaure Böden in niedersächsischen Küstengebieten (SSB50)“ des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) des Landes Niedersachsen (Schäfer et al. 2010a). Die Beschreibungen der Einheiten wurden zum Teil geringfügig auf die auftretenden Ablagerungen im Bremer Raum angepasst. Eine Übersicht über alle Legendeneinheiten und die zugehörigen Gefährdungsklassen sind in Tabelle 1 dargestellt, GR steht für Gruppe und die Ziffern beschreiben die unterschiedlichen Ausprägungen der Versauerungsgefahr. Mit dem Begriff Gefährdung werden die möglichen negativen Auswirkungen auf den Boden und das Oberflächen- und Grundwasser im Hinblick auf den Säureaustrag bzw. Säureeintrag und die Gefahr der Schwermetallfreisetzung beschrieben. Im Stadtgebiet von Bremen dominieren die Einheiten GR2.3 und GR2.6, wohingegen in Bremerhaven auch die Klassen GR2.1, GR 2.2, GR 2.4 und GR 2.5 mit relevanten Flächenanteilen auftreten (Abbildungen 3 bis 6). Die Einheit GR 1 kommt in Bremen und Bremerhaven nicht vor. Sie wird in der Tabelle 1 nur deshalb aufgeführt, da sie im angrenzenden Niedersachsen vorkommt und damit dort eine Rolle spielt.

Tabelle1: Flächeneinheiten und Erkundungsmaßnahmen (modifiziert aus Schäfer et al. 2010a)

Farbe	Kürzel	Beschreibung	Einstufung des Gefährdungspotentials
	GR1	Effektiv (aktuell) sulfatsaure Böden. Stark saure Böden, kommt im Land Bremen nicht vor	sehr hoch
	GR2.1	Potentiell sulfatsaure Böden, carbonatfrei. Hohes Potential für ausgeprägte Versauerung	sehr hoch
	GR2.2	Potentiell sulfatsaure Böden, carbonatfrei bis mittel carbonathaltig. Mittleres Potential für Versauerung	mittel-hoch
	GR2.3	Über- und Unterlagerungen von Torf und Ton. Mittleres bis z.T. hohes Potential für ausgeprägte Versauerung	mittel-hoch
	GR2.4	Carbonatfreie, tonig-brackische Sedimente. Stetiges Auftreten von sulfatsauren Böden mit geringem Flächenanteil	mittel
	GR2.5	Carbonathaltige, tonig-brackische Sedimente. Auftreten von sulfatsauren Böden mit mittlerem bis geringem Versauerungspotential mit geringem Flächenanteil	gering
	GR2.6	Marinogene/fluviatile Substrate ohne sulfatsaure Böden	gering
		Niedermoor. Geringer Flächenanteil potentiell sulfatsaurer Böden	gering, örtlich mittel-hoch

Einheit GR1 – Effektiv (aktuell) sulfatsaure Böden

Effektiv sulfatsaure Böden (pH<4 durch Sulfidoxidation) treten im Land Bremen nicht auf.

Gefährdungspotential: sehr hoch

Einheit GR2.1 – Potentiell sulfatsaure Böden, carbonatfrei

Carbonatfreie Ablagerungen mit ausgeprägtem Versauerungspotential. Im Falle einer Belüftung ist folgende Entwicklung zu beobachten:

- kritische Versauerung pH < 4,
- hohe Sulfat-Austräge,
- erhöhte Schwermetalllöslichkeit, d. h. erhöhte Schwermetallverfügbarkeit und erhöhte Schwermetallausträge,
- Pflanzenschädigung durch freies dreiwertiges Aluminium

Gefährdungspotential: sehr hoch.

Einheit GR2.2 - Potentiell sulfatsaure Böden, carbonatfrei bis mittel carbonathaltig

Ablagerungen häufig mit freiem Carbonat (1–7 % CaCO₃) und dann nur schwache bis mäßige Bodenversauerung. Entwicklungen bei Oxidation:

- Entkalkung, ggf. mäßige bis starke Versauerung, die teilweise oder vollständig durch Carbonate gepuffert werden kann.
- hohe SO₄-Austräge,
- eventuell erhöhte Schwermetallmobilität (bei starker Versauerung),

Gefährdungspotential: mittel-hoch (abhängig vom Carbonatgehalt).

Einheit GR2.3 – Über- und Unterlagerungen von Torf und Ton

Grenzbereich zwischen (marinen) Sedimenten und Mooren (Über- oder Unterlagerung oder Wechsellagerung mit Torf). In diesen Verzahnungsbereichen von Sedimenten und Torfen sind häufig die Bildungsbedingungen für sulfatsaure Böden gegeben.

Gefährdungspotential: mittel-hoch.

Einheit GR2.4 – carbonatfreie tonige brackische Sedimente

Diese Einheit umfasst die brackischen tonigen Sedimente mit nur geringen Anteilen organische Substanz. Lokal können jedoch Ablagerungen mit höheren Organikgehalten und z.T. effektiv sulfatsaure Böden auftreten.

Gefährdungspotential: mittel.

Einheit GR2.5 – carbonathaltige tonige brackische Sedimente

Wie auch bei Einheit GR2.4 handelt es sich hier um brackische Sedimente, die jedoch Carbonat enthalten. Der Anteil organischer Substanz ist im Allgemeinen gering. Effektiv sulfatsaure Böden treten nur äußerst selten auf.

Gefährdungspotential: gering.

Einheit GR2.6 – Marinogene / fluviatile Substrate ohne sulfatsaure

Böden

Diese Einheit umfasst die junge marine Marsch und die Flussmarschen. Sulfatsaure Böden treten in diesen Gebieten kaum auf.

Gefährdungspotential: gering.

Einheit Niedermoore

Reine Niedermoore ohne mineralische Beimengungen enthalten eher selten bedeutende Mengen an Eisensulfiden. Im Falle von Schlick-Beimengungen können sich jedoch sulfatsaure Böden entwickeln.

Gefährdungspotential: gering, örtlich mittel-hoch.

Andere Flächen

Die weißen Flächen in den Karten (Abb. 3 bis 6) umfassen vor allem Sande, Geestgebiete, Auffüllungen u.a., in denen ein Auftreten von sulfatsauren Böden unwahrscheinlich ist.

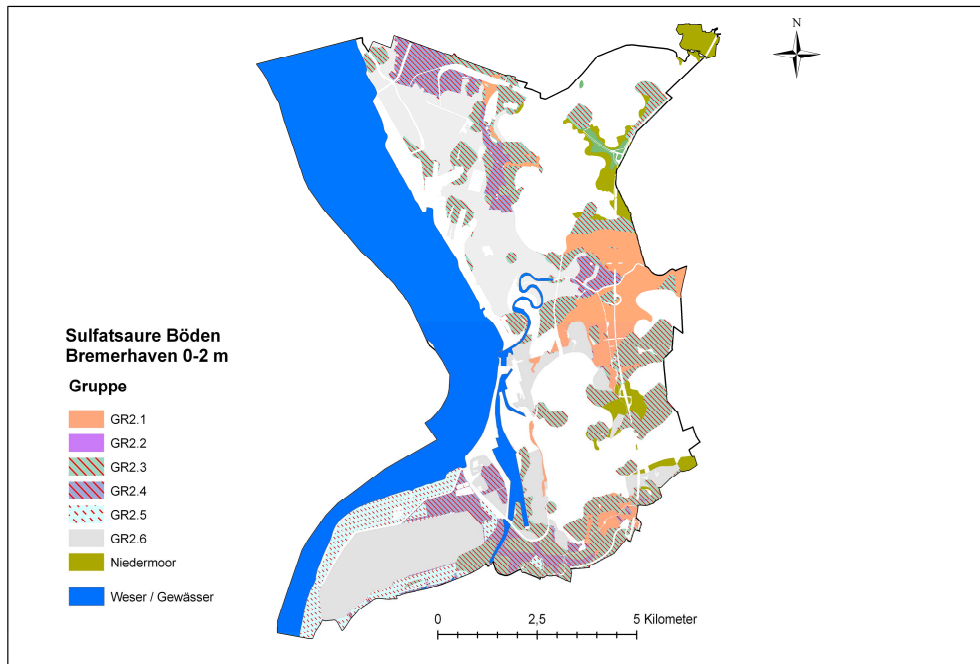


Abb. 3: Karte der sulfatsauren Böden von Bremerhaven für den Tiefenbereich 0 bis 2 m unter Gelände

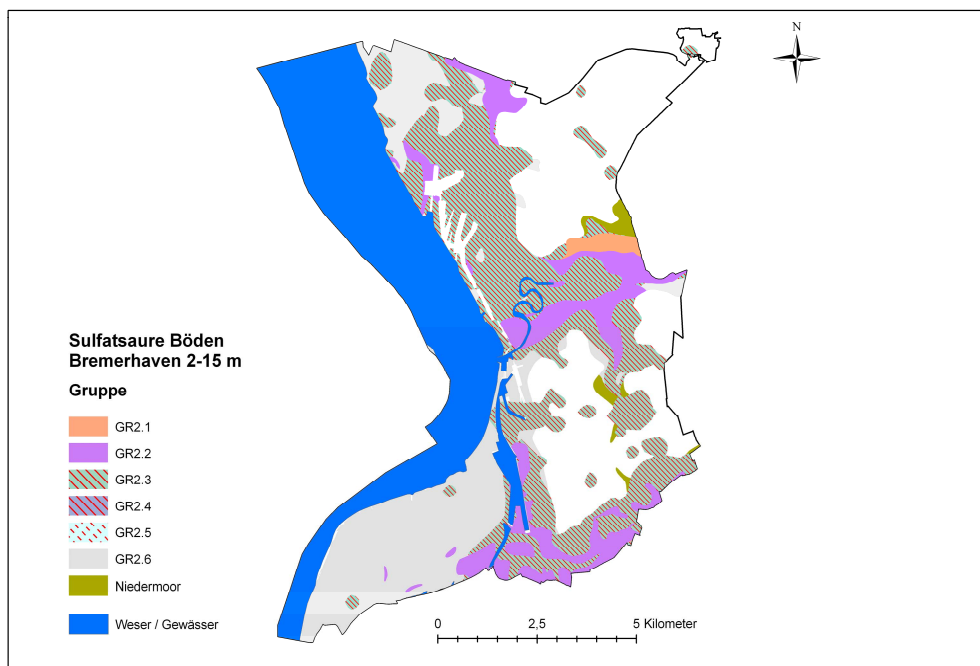


Abb. 4: Karte der sulfatsauren Böden von Bremerhaven für den Tiefenbereich 2 bis 15 m unter Gelände

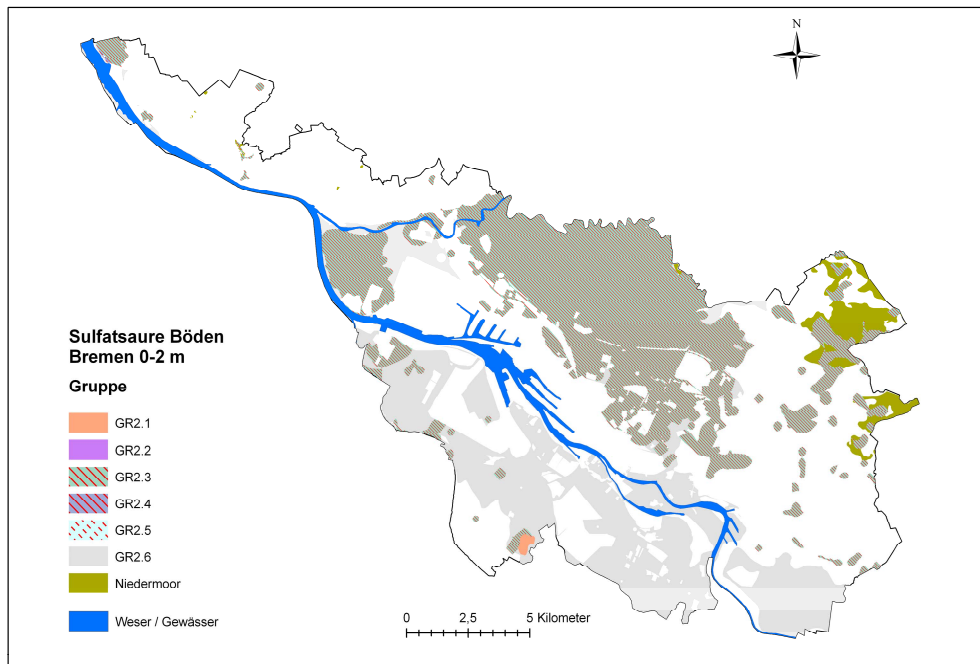


Abb. 5: Karte der sulfatsauren Böden von Bremen für den Tiefenbereich 0 bis 2 m unter Gelände

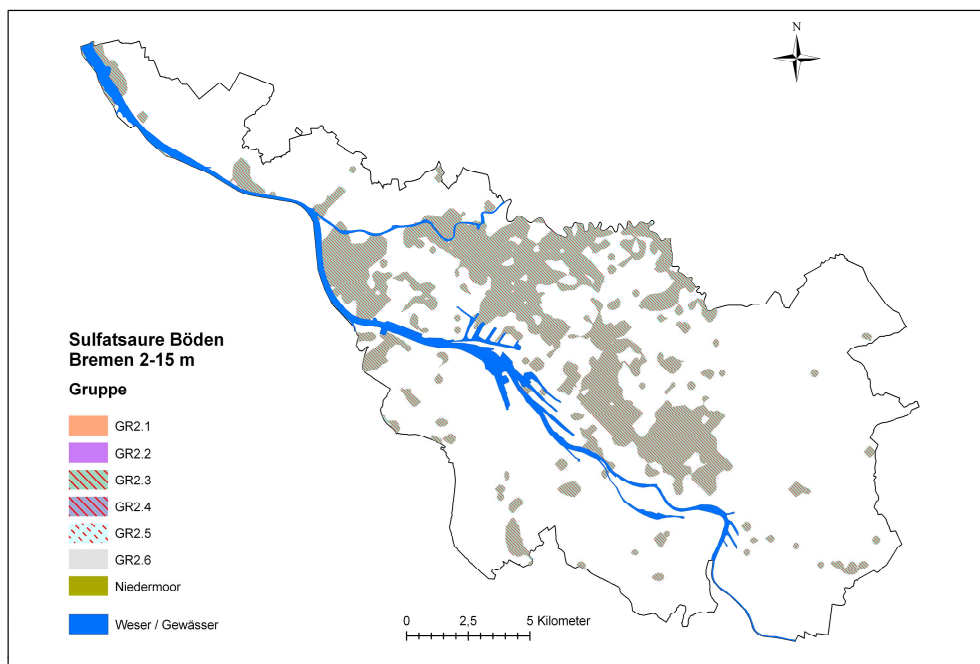


Abb. 6: Karte der sulfatsauren Böden von Bremen für den Tiefenbereich 2 bis 15 m unter Gelände

3 Vorerkundung, Probenahme, Bewertung und Analytik

Im Folgenden wird eine Übersicht über die Vorgehensweise zur Standortbewertung gegeben und zwar zur Vorerkundung, Probenahme, Bewertung und Analytik. Detaillierte Ausführungen hierzu sind der Handlungsempfehlung (Gröger et al., 2009) und den Geofakten 24 und 25 (Schäfer et al. 2010a, 2010b) zu entnehmen.

3.1 Vorerkundung

Die hier vorgestellten Karten des Gefährdungspotentials durch sulfatsaure Böden für das Land Bremen gliedern sich in Karten für 0-2 m Tiefe und 2-15 m Tiefe (bzw. bis zur Holozänbasis) (Abbildungen 3 bis 6). Je nach Art und Tiefe des Eingriffs in den Boden sollten die jeweiligen Kartenwerke herangezogen werden. Des Weiteren sollte versucht werden zu ergründen, ob aus dem betroffenen Bereich Probleme mit sulfatsaurem Bodenaushub bekannt sind. Die bisher bekannten Flächen, bei denen Probleme auftraten sind in Tabelle 2 vermerkt.

Im Ortsteil Hohweg sind Flächen zu finden, wo im Untergrund Torfe mit Gehalten an Sulfidschwefel von bis zu 8% auftreten. Weitere Problembereiche sind aus dem Gebiet des Bürgerparks bekannt. Beide Flächen liegen im Bereich der Legendeneinheit GR2.3, Über- und Unterlagerungen von Ton und Torf.

Tabelle 2: Bekanntes Auftreten potentiell sulfatsauren Bodenaushubs in Bremen und Bremerhaven.

Ort	Art des Materials	Legenden-Einheit
Bremen, Ortsteil Hohweg (2 untersuchte Flächen)	sulfidhaltige Niedermoortorfe, unter sulfidfreiem Klei	GR2.3
Bremen, Bürgerpark	sulfidhaltige Niedermoortorfe, unter sulfidfreiem Klei	GR2.3
Bremerhaven, Ortsteil Wulsdorf	sulfidhaltige Niedermoortorfe, verzahnt mit sulfidhaltigem Schlick	GR2.3

3.2 Probenahme

Bei der Erkundung muss eine **tiefenorientierte Probenahme** durchgeführt werden. Die Untersuchung von Mischproben ist nicht zielführend. Die Bepro-

bung und Auswertung sollte durch einen Sachverständigen ausgeführt werden. Dieser kann anhand des Bohrbefundes eine Vorauswahl treffen, so dass das zu untersuchende Probenaufkommen gegenüber fest vorgegebenen Entnahmetiefen verringert wird. Bei allen Beprobungen ist eine Profilaufnahme durchzuführen. Eine detaillierte Beschreibung der durchzuführenden Arbeiten ist in der Handlungsempfehlung zu finden (Gröger et al., 2009). Die entnommenen Proben müssen umgehend untersucht oder bis zur Analyse eingefroren werden.

3.3 Analytik

Die chemische Analytik sollte nach Handlungsempfehlung (Gröger et al., 2009) und/oder Geofakten 25 erfolgen. Mit Hilfe der Analytik werden die relevanten Säurebildungspotentiale des Bodenmaterials (SBP) und die Säureneutralisationskapazität (SNK) bestimmt. Hierbei ist zu beachten, dass carbonatfreie Ablagerungen auch über eine beträchtliche Säureneutralisationskapazität verfügen können. Somit ist die alleinige Kalkbestimmung nicht ausreichend für die Ermittlung der Säureneutralisationskapazität in kalkarmen oder -freien Ablagerungen. Nach Aufbrauch der freien Carbonate können Säuren im Boden durch Silikate und durch Austauschprozesse an Tonmineralien gepuffert werden.

Verfahren in der „Handlungsempfehlung zur Bewertung des Versauerungspotentials von Aushubmaterial durch reduzierte anorganische Schwefelverbindungen“ beschriebenen Verfahren sind hingegen ohne Einschränkung für die Analyse organischer Ablagerungen, wie sie vielfach im Bremer Stadtgebiet auftreten, geeignet.

3.4 Bewertungsgrundlagen

Die Bewertung erfolgt nach dem Prinzip der Säure-Base-Bilanzierung. Es wird bestimmt wie viel Säure (SBP) im Boden gebildet werden kann und wie hoch der Basenanteil im Boden ist (SNK), der die Säure neutralisieren kann. Die Bilanz kann als Netto-SNK angegeben werden. Diese setzt sich aus der SNK des Bodens abzüglich der Säurebildungspotentiale zusammen. Ist die Netto-SNK negativ, so ist eine kritische Versauerung auf pH-Werte < 4 zu erwarten

und bei dem untersuchten Material handelt es sich um einen potentiell sulfat-sauren Boden.

4 Vorschläge zum Umgang mit Bodenaushub

Im Umgang mit sulfatsaurem Bodenaushub gibt es im Wesentlichen zwei Möglichkeiten:

- Vermeidung bzw. Minimierung des Eingriffs
- Umlagerung/Ablagerung.

Bei anfallendem Bodenaushub muss immer **zwischen sulfatsaurem, potenziell sulfatsaurem und nicht sulfatsaurem** Material unterschieden werden. Grundsätzlich sollten diese Materialien **nicht vermischt** werden, um eine unnötige Umlagerung oder Entsorgung von Material zu verhindern. Alle Maßnahmen das Management sulfatsaurer Böden betreffend sollten in Abstimmung mit der für den Bodenschutz zuständigen senatorischen Behörde oder dem Geologischen Dienst für Bremen begleitet werden.

Anfallender potenziell sulfatsaurer Bodenaushub sollte schnellstmöglich wieder in ein reduzierendes Milieu verbracht werden. Auf keinen Fall sollte das Material entwässert werden, da sonst schnell die Oxidation der enthaltenen Sulfide einsetzen kann.

4.1 Grundlegende Strategien: Vermeidung oder Minimierung

Die effektivste und kostengünstigste Strategie im Umgang mit potentiell sulfatsauren Böden ist die **Vermeidung** einer Belüftung, da unter natürlichen Bedingungen, im wassergesättigten Milieu, diese Ablagerungen keine Gefahr darstellen. Die Karten (Abb. 3-5) können jedoch keine alleinige Grundlage für eine Bewertung sein. Sie liefern nur eine Abschätzung des Gefährdungspotentials. Kleinräumig sind hier jedoch Abweichungen möglich.

- Mit dem Aufbringen von Sand als **Auflastverdichtung, um einen geeigneten Baugrund zu schaffen**, lässt sich ein Bodenaushub vollständig vermeiden. Gewerbegebiete in Bremen werden häufig nach diesem Verfahren erschlossen (z.B. Bayernstraße, Hansaline, Güterverkehrszentrum).
- Bei der Gründung mit **Punktfundamenten** (z.B. Bohrpfählen) ist kaum oder gar kein Bodenaushub erforderlich.

- Zu beachten ist, dass beim Vorliegen potentiell sulfatsaurer Böden in jedem Fall eine Grundwasserabsenkung vermieden werden sollte, da das Material sonst auch in seiner natürlichen Lagerung im Untergrund oxidieren kann.

4.2 Grundlegende Strategien: Aushub und Umlagerung

Ist ein Aushub potentiell sulfatsaurer Böden unumgänglich, so sollte das Material möglichst nicht weit transportiert werden und umgehend in eine sichere Ablagerungsform überführt werden. Die **Umlagerungsziele** hierbei sind:

- vollständige Umlagerung des potentiell sulfatsauren Bodenaushubs,
- langzeitsichere Ablagerung des Materials gegen Sauerstoffzutritt,
- Vermeidung einer Beeinträchtigung von z.B. Gewässern und Böden.

Eine Umlagerung kann an Ort und Stelle (**on-site**) erfolgen. Die ortsnahe Verbringung von potentiell sulfatsaurem Bodenaushub hat höchste Priorität. Beim Anfall von Aushubmassen sollte geprüft werden, ob sich das Material auf der betroffenen Fläche im reduzierten Untergrund verbringen lässt. Die Unterbringung von Aushubmaterial auf der Fläche ist allerdings nur möglich, wenn nicht auf der gesamten Fläche ein Bodenaustausch erforderlich ist (Gröger et al., 2009). Aufgrund technischer Aspekte und des Aufwandes ist dies jedoch häufig nicht möglich.

Eine typische Möglichkeit für das on-site Management von sulfatsauren Böden ist z.B. der Leitungsbau. Im Falle des Leitungsbaus muss nach Einbringen der Leitung ein umgehender schichtkonformer Wiedereinbau des Materials erfolgen. Auf diese Weise lassen sich negative Folgeerscheinungen weitgehend vermeiden. Hierzu muss in der Regel eine Aufteilung des Aushubs nach Tiefenlage in drei Komponenten erfolgen:

- humoser Oberboden (Mutterboden)
- oxidiertes Material
- reduziertes Material

Das Material muss anschließend in ursprünglicher Schichtenfolge wieder eingebracht werden. Im Zuge dieser Maßnahmen müssen lange Zwischenlagerungszeiten vermieden werden.

Für die beschriebenen Umlagerungsformen müssen die rechtlichen Rahmenbedingungen geprüft und eingehalten werden. Weiterhin müssen die Möglichkeiten einer schadlosen Verwertung (off-site) im

Einzelfall durch die für Umwelt zuständige senatorische Behörde geprüft werden.

Für Fragen oder weitere Informationen und digitale Karten, wenden Sie sich bitte an:

Geologischer Dienst für Bremen (GDfB)
Leobener Str./ Marum, 28359 Bremen
Tel.: 0421-218 65911
E-Mail: info@gdfb.de
www.gdfb.de

Senator für Umwelt, Bau und Verkehr
Referat Bodenschutz
Ansgaritorstraße 2, 28195 Bremen
Tel.: 0421 – 361 - 89439
E-Mail: boden@umwelt.bremen.de
www.umwelt.bremen.de

Literatur

- Ahern, C.R., McElnea, A.E., Sullivan, L.A. (2004) Acid Sulfate Soils - Laboratory Methods Guidelines. Department of Natural Resources, Mines and Energy, Indooroopilly, Queensland.
- Dear, S.E., Moore, N.G., Dobos, S.K., Watling, K.M., Ahern, C.R. (2002) Queensland acid sulfate soil technical manual - Soil Management Guidelines. Department of Natural Resources and Mines, Indooroopilly, Queensland, Australia.
- Gröger, J., Hamer, K., Blankenburg, J. (2009): Handlungsempfehlung zur Bewertung des Versauerungspotentials von Aushubmaterial durch reduzierte anorganische Schwefelverbindungen. (Nov. 2009). Bericht. Universität Bremen.
[http://www.geochemie.uni-bremen.de/images/geochem/jgroeger/handlungsempfehlung_version1.1_e.pdf]
- Gröger, J. (2006): Bericht zum Projekt: Methodenentwicklung zur Beurteilung der Verwertungsfähigkeit von Bodenaushub (Auenlehm und Torf) im Land Bremen – Literaturstudie. 73 S., Fachbereich 5 Geowissenschaften, Universität Bremen.
- Gröger, J. (2011). Acid sulfate soils: processes and assessment, Diss. Universität Bremen: 159 S.
- Ortlam, D. und M. Sauer (1993): Geochemische Grundwasser-Kartierung Bremen : Darstellung der Grundwasserbeschaffenheit und deren Beeinflussung durch Altlasten in der Stadtgemeinde Bremen. Bremer Entsorgungsbetriebe, 1993. - 28 S., 60 Bl. in 1 Ordner, Bremen.
- Schäfer, W., Gehrt, E., Müller, U., Blankenburg, J. & Gröger, J: (2010a): Geofakten 24 - Sulfatsaure Böden in niedersächsischen Küstengebieten. - 9 S., 4 Abb., 1 Tab.; Landesamt für Bergbau Energie und Geologie (LBEG), Hannover.
- Schäfer, W., Pluquet, E., Weustink, A., Blankenburg, J. & Gröger, J. (2010b): Geofakten 25 - Handlungsempfehlungen zur Bewertung und zum Umgang mit Bodenaushub aus (potenziell) sulfatsauren Sedimenten.