

2. SACHVERSTÄNDIGENKOLLOQUIUM

22. September 2015

Schloss Paffendorf

Bergheim-Paffendorf

VOR**RWE**G GEHEN

Programm

- 9:00 **Begrüßung und Einleitung**
Alois Herbst, RWE Power
- 9:10 **Grußwort**
Dr. Heinrich Bökamp,
Präsident der Ingenieurkammer-Bau NRW
- 9:30 **Aktuelle Themen der Bergschadensbearbeitung**
Markus Poths, RWE Power
- 10:00 **Pause**
- 11:00 **Schwindverhalten bindiger Böden und seine bautechnische Bedeutung**
Prof. Dr. Dietmar Placzek, ELE Beratende Ingenieure
Ulrich Estermann, ELE Beratende Ingenieure
- 11:40 **Sanierung des Erftstollens**
Michael Hippe, Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH
Ralf Puderbach, Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH
- 12:20 **Mittagessen**
- Untersuchungen zur Mineralisierung humoser Böden**
- 13:30 **Untersuchungen und Bewertungen zum Einfluss der Mineralisierung humoser Böden**
Prof. Dr. Richard Herrmann, Universität Siegen
- 14:10 **Mikrobiologische Aktivitäten bei der Mineralisierung humoser Böden**
Prof. Dr. Sylvia Schnell, Universität Gießen
- 14:45 **Abschlussdiskussion**
- 15:00 **Ende der Veranstaltung**

Aktuelle Themen der Bergschadensbearbeitung

Die Auswirkungen der tagebaubedingten Entwässerung auf die Tagesoberfläche werden regelmäßig und mit hoher Genauigkeit bestimmt. Die Messungsergebnisse zeigen gleichförmige Bodenbewegungen, nur in Bereichen mit geologischen Besonderheiten (bewegungsaktive Tektonik, beeinflusste Aue) treten nach allgemein anerkannter Fachkunde ungleichförmige Bewegungen auf, die zu Bergschäden führen können. Die Bergschadenssituation im Rheinischen Revier ist in den letzten Jahren gleichbleibend, neue Bergschäden sind auf Einzelfälle beschränkt. Dies ist fachlich erklärbar, da die großräumige Entwässerung bereits seit Jahrzehnten wirkt und schadensverursachende Tektonik- oder Auebereiche vorwiegend vor vielen Jahren aktiviert bzw. beeinflusst wurden.

In den vergangenen Jahren wurde das Fachwissen über das Bewegungsverhalten und Veränderungen von Böden infolge der bergbaulichen Entwässerung anhand verschiedener wissenschaftlicher Untersuchungen nochmals deutlich vertieft und auch methodisch erweitert. Durch den intensiven Austausch zu Grundsatzfragen wird das allgemeine Verständnis über die Bergschadensthematik gefördert. Dies unterstützt auch die Einzelfallbewertung. Im Zuge der Transparenzinitiative werden solche Erkenntnisse in regelmäßigen Fachveranstaltungen, wie etwa dem heutigen Sachverständigenkolloquium, diskutiert.

von Markus Poths,

RWE Power AG

Sachverständigenkolloquium 2015

Aktuelle Themen aus der praktischen Bergschadensbearbeitung

Markus Poths

Schloss Paffendorf, 22.09.2015

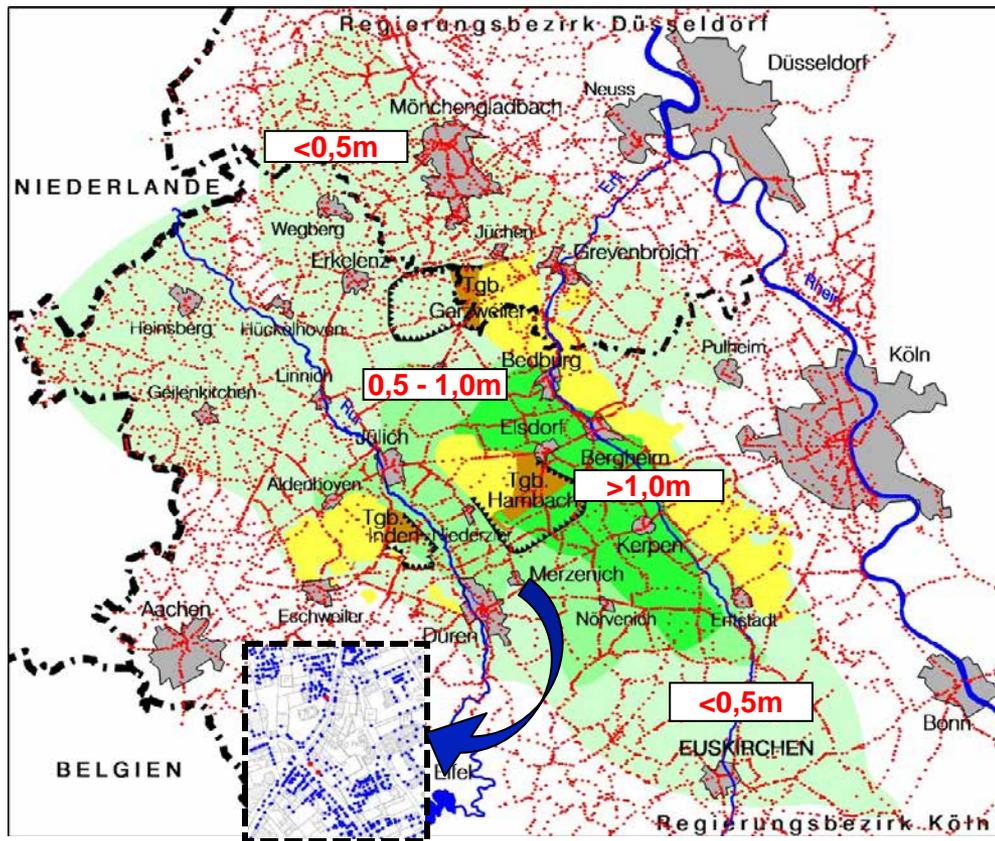


VORWEG GEHEN

Agenda

1	Bergschadenssituation und Anrufungsstelle
2	Aktuelle wissenschaftliche Untersuchungen
3	Transparenzmaßnahmen und sonstige Neuerungen

Auswirkungen der tagebaubedingten Entwässerung auf die Tagesoberfläche werden regelmäßig gemessen



Systematik Messungen:

- I. Leitnivellement: übergeordnetes behördliches Grundlagennetz
- II. Ortslagenvermessung Bergbau: verdichtende Detailaufnahme in bebauten Bereichen
- III. Sondermessungen Bergbau: gezielte Vermessung besonderer Objekte (z.B. Bahntrassen)

~200.000 Messpunkte im Revier

- ⇒ Bodenbewegungen im Revier werden regelmäßig und mit hoher Genauigkeit bestimmt
- ⇒ Messungsergebnisse zeigen gleichförmige Schollensetzungen und -schiefstellungen, die nicht typischerweise zu Bauwerksschäden führen
- ⇒ Im Bereich von bewegungsaktiver Tektonik und beeinflusster Aue treten ungleichförmige Bodenbewegungen auf, die zu Bergschäden führen können.

Bergschadensstatistik

Rheinisches Revier

Gebäude	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Erstmeldungen	297	289	268	299	270	277
Neue Bergschäden	42	29	20	24	17	18
Wiederholungsmeldungen	596	596	585	521	612	550

- Die Bergschadenssituation ist in den vergangenen Jahren gleichbleibend, jährlich gehen knapp 300 Erst- und 600 Wiederholungsmeldungen ein.
- Neue Bergschäden sind auf Einzelfälle beschränkt. Dies ist fachlich erklärbar, da die großräumige Entwässerung bereits seit Jahrzehnten wirkt und schadensverursachende geologische Besonderheiten (Tektonik, Aue) vorwiegend vor vielen Jahren aktiviert bzw. beeinflusst wurden.
- Bei den Wiederholungsmeldungen handelt es sich überwiegend um bekannte, ältere Bergschäden, die wiederholt reguliert werden.

Anrufungsstelle Bergschaden Braunkohle NRW

- Die Anrufungsstelle Bergschaden Braunkohle NRW startete 2010, Sitz der Geschäftsstelle ist beim Rhein-Kreis Neuss ab September 2015.
- Die Geschäftsordnung der Anrufungsstelle entspricht der Schlichtungsstelle der Steinkohle NRW, die Überprüfung seines Einzelfalles durch die Anrufungsstelle ist für den Betroffenen kostenlos.
- Anrufungsfälle behandeln regelmäßig die Grundsatzfrage, ob ein Bergschaden vorliegt, die Entschädigungshöhe ist selten strittig.
- In den vergangenen Jahren gingen im Durchschnitt ca. 40 Fälle pro Jahr ein, rund 80 % der Anrufungsfälle sind abgeschlossen.
- Wegen der hohen Komplexität der Sachverhalte und der regelmäßig hohen Erwartungshaltung der Betroffenenseite müssen in den überwiegenden Fällen Stellungnahmen von Fachbehörden und vereidigte Sachverständige zur Klärung herangezogen werden.
- Die Ergebnisse der vorangegangenen Einzelfallprüfung von RWE Power werden in weit überwiegender Anzahl durch die unabhängigen Sachverständigen und Fachbehörden inhaltlich bestätigt.

⇒ Die Tätigkeit der Anrufungsstelle hat insgesamt zu einer Beruhigung der öffentlichen Wahrnehmung der Bergschadensthematik geführt.

Übersicht Anrufungsverfahren

Stand 18.09.2015	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Ø p. a.
Eingegangene Fälle	6	43	38	53	19	4	rd. 40
Angenommene Fälle¹	6	43	37	51	18	4	
Verhandelt	6	43	37	51	18	2	
davon:							Σ
abgeschlossen	6	33	30	42	10	0	121 (77%)
offen ²	0	10	7	9	8	2	36 (23%)

¹ Keine Annahme bei fehlender Zuständigkeit (z. B. Lage außerhalb der Beeinflussung).

² Gründe für offene Fälle und Anzahl:

Gutachten steht aus	23
Abschlussverhandlung steht aus	7
Warten auf anderen Fall	4
Sonstiges	2

- ⇒ Rund die Hälfte aller Anrufungsfälle wurde ohne bergbauliche Ursache einvernehmlich abgeschlossen, in den übrigen Fällen war oftmals bergbauliche (Mit-)Verursachung unstrittig (→ Schlichtung/Regulierung)
- ⇒ In den meisten Fällen erhalten Antragsteller durch die eingehende Überprüfung eine kostenfreie Hilfestellung etwa zur Ursachenklärung bzw. für die Beseitigung der Schäden

Agenda

- 1 Bergschadenssituation und Anrufungsstelle
- 2 Aktuelle wissenschaftliche Untersuchungen
- 3 Transparenzmaßnahmen und sonstige Neuerungen

Reaktion feinkörniger Böden auf Wasserentzug

Prof. Düllmann wurde von der Anrufungsstelle mit der Untersuchung der Reaktion feinkörniger Böden auf Wasserentzug beauftragt.

Gutachten: http://www.anrufungsstelle.de/wp-content/uploads/2015/08/fachinformationen_wasserentzug.pdf

Wesentliche Erkenntnisse :

- Die natürliche Deckschicht besteht im Rheinischen Revier überwiegend aus typischen Schluffböden (Lösslehm) mit niedrigem Tongehalt* und daher ausgesprochen niedrigem Schrumpfpotential.
- Der Wassergehalt dieser **oberflächennah anstehenden Schluffböden** wird durch die großräumige Sumpfung nicht signifikant verändert (Saugspannung der Brunnen nicht ausreichend für Wasserentzug). Daher findet auch kein Schrumpfvorgang bei diesen Schluffböden statt. Auch bei Hinzutreten klimatischer Einflüsse sind keine ausgeprägten Senkungen zu erwarten.
- Stehen im Einzelfall **oberflächennahe Tonschichten** an, verhindern schon geringmächtige Deckschichten aus nicht-bindigen Böden den Schrumpfvorgang. Klimatische Einflüsse reichen nur bis ca. 1,50m unter Gelände, sodass ein Einfluss auf tiefer gegründete (unterkellerte) Gebäude auch bei oberflächennah anstehenden Tonen ausgeschlossen werden kann.
- Ein Schrumpfen **tiefliegender Tonschichten** wird ausgeschlossen, da von einer vollständigen Wasserdampfsättigung im Porenraum auszugehen ist (kein Austrocknen) und sich oberhalb des Tons Stauwasser aus der Grundwasserneubildung sammelt.

Analyse von Bodenbewegungen

Prof. Kuhlmann (Universität Bonn) entwickelte im Rahmen eines 3-jährigen Forschungsprojektes mathematische Ansätze zur Analyse von Bodenbewegungen

Diverse Veröffentlichungen: Sachverständigenkolloquium, Fachzeitschriften, etc. (www.rwe.com/bergschaeden)

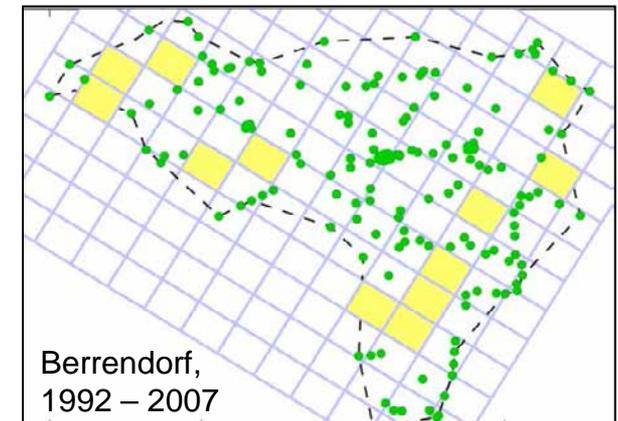
Ausgangssituation:

- Das Bodenbewegungsverhalten im Rheinischen Revier wird mittels Präzisionsnivellements erfasst; diese sind eine wichtige Grundlage bei der Bewertung von Schadensmeldungen.
- In vielen Ortslagen werden gleichförmige und somit unkritische Bodenbewegungen beobachtet.

Aufgabenstellung:

- Überprüfung des bisherigen Vorgehens
- Entwicklung eines Verfahrens zur Analyse von Bodenbewegungen
- Entwicklung objektiver Kriterien zur Bewertung von Punktfeld und Modellqualität

Beurteilung des Messpunktfeldes



Wesentliche Erkenntnisse:

- ⇒ Flächenpolynome sind zur Analyse der Messwerte geeignet.
- ⇒ Das Punktfeld (Dichte und Verteilung) ist durch objektive Kriterien beurteilbar.
- ⇒ Bewegungsaktive tektonische Störungen können detektiert werden.
- ⇒ Ortslagen mit homogenen Senkungsverhalten können identifiziert werden.

Grundsatzgutachten zur Analyse von Bodenbewegungen

Prof. Niemeier (TU Braunschweig) führte im Auftrag der Anrufungsstelle eine Bewertung der von Prof. Kuhlmann verwendeten Methode zur flächenhaften Analyse von Bodenbewegungen durch.

Gutachten: http://www.anrufungsstelle.de/wp-content/uploads/2015/08/fachinformationen_bodensenkungen.pdf

Wesentliche Erkenntnisse :

- Das von RWE Power eingesetzte geometrische Nivellement ist ein geeignetes Höhenmessverfahren zur Erfassung des generellen Bewegungsverhaltens.
- Der von Prof. Kuhlmann verwendete Auswerteansatz entspricht dem Stand der Wissenschaft und Technik. Der Ansatz ist sachgerecht bzgl. der Beurteilung der Bodenbewegungen.
- Aus den Ergebnissen von Prof. Kuhlmann können belastbare Einschätzungen im Hinblick auf ein Bergschadensrisiko gewonnen werden. So können Bereiche mit bewegungshomogenen Bodenbewegungsverhalten ausgewiesen werden.
- Der von Prof. Kuhlmann verwendete Ansatz ist nicht in jedem Untersuchungsgebiet einsetzbar. In den Gutachten von Prof. Kuhlmann wird vorab die Zulässigkeit des Verfahrens anhand objektiver Kriterien geprüft.

⇒ Die Methode entspricht dem Stand der Wissenschaft und Technik und ist geeignet, bewegungshomogene Bereiche zu identifizieren, in denen mit hoher Wahrscheinlichkeit keine Bergschäden auftreten (z.B. Heppendorf).

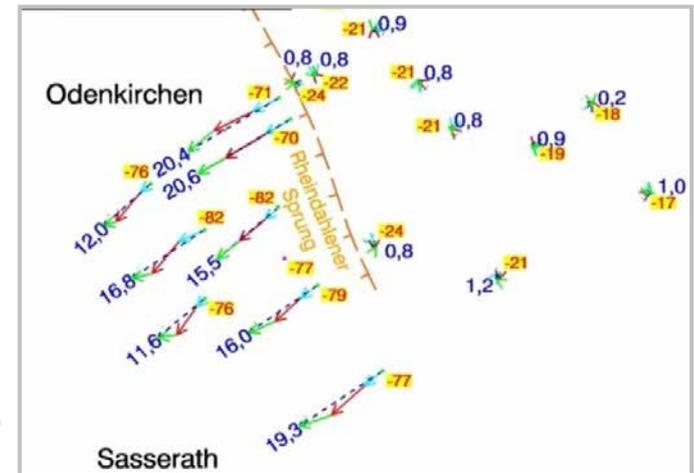
Bewegungsabläufe in Störungsbereichen

Prof. Preuße (RWTH Aachen) untersuchte am Beispiel des Rheindahlener Sprungs die Bodenbewegungsabläufe in Störungsbereichen

Vortrag Fachgespräch Bodenbewegungen am 12.03.2015 (www.rwe.com/bergschaeden)

Wesentliche Erkenntnisse:

- Die untersuchten Verwerfungsbereiche zeigen vertikale Versätze mit geringeren horizontalen Bewegungsanteilen.
- Die horizontale Bewegungsrichtung ist eindeutig rechtwinklig zum Störungsverlauf.
- Die eigentliche Störzone, in der gebäude-relevante Bodenbewegungen auftreten können, kann sehr gut eingegrenzt werden.
- Außerhalb der eng begrenzten Störzone sind die Bodenbewegungen homogen und zeigen eine eindeutige gleichmäßige Schollenabsatzbewegung.
- Die gemessenen Lageänderungen sind außerhalb der Störzone, auf fester und abgehender Scholle, sehr gering und nicht schadensrelevant für Gebäude.
- Nur innerhalb der eng begrenzten Störzonen treten signifikante Bodenbewegungen auf, die schadensrelevante Größenordnungen erreichen können (Einzelfallbetrachtung erforderlich).



⇒ Präzisionshöhenmessungen sind geeignet, die Lage und das Bewegungsverhalten einer solchen Störung sicher zu erkennen.

Setzungsverhalten von Aueböden

Prof. Herrmann (Universität Siegen) bewertete das Setzungsverhalten von Schluff- und Aueböden in Kooperation mit dem akkreditierten Gebirgs- und Bodenmechanischen Prüflabor der RWE Power AG.

Publikation geotechnik 12/2014, siehe heutiger Vortrag Prof. Herrmann

Ausgangssituation: In der DIN Norm wird als Grenze der bautechnischen Relevanz für organische Bestandteile ein Glühverlust von 5% angegeben.

Ziele:

- Untersuchung des Setzungsverhalten für typische rheinische Schluffböden
- Praktischer Nachweis der 5%-Grenze durch Laborversuche

Ergebnisse

- ⇒ Die Laborversuche bestätigen die in der DIN Norm festgelegte Grenze des bautechnisch relevanten Anteils von 5% Glühverlust (bzw. TOC von 3,7%).
- ⇒ Perforierte Probekörper (Simulation des Einflusses abgestorbener Wurzeln) zeigen kein abweichendes Setzungsverhalten.



Aktuelle Themen & Forschungsprojekte

- Begutachtung ..., Prof. Niemeier, TU Braunschweig
 - Reaktion feinkörniger Böden auf Wasserentzug, Prof. Düllmann
 - Bewegungsabläufe in Störungsbereichen, Prof. Preuße, RWTH Aachen
 - Analyse von Bodenbewegungen, Prof. Kuhlmann, Universität Bonn
 - Setzungsverhalten von Aueböden, Prof. Herrmann, Universität Siegen
-
- Radarinterferometrie, Prof. Busch, TU Clausthal
 - Gründungsmängel, Prof. Witt, Bauhaus-Universität Weimar
 - Mineralisierung humoser Böden
 - Prof. Schnell, Universität Gießen (Mikrobiologische Zusammenhänge)
 - Prof. Herrmann, Universität Siegen (Bautechnische Bewertung)
 - Schrumpfnegung bindiger Böden, Prof. Ziegler, RWTH Aachen
 - Schwindverhalten bindiger Böden, Prof. Placzek
 - Suffosion, Prof. Witt, Bauhaus-Universität Weimar
 - Kriechen von bindigen Böden, Prof. Düllmann
 - Setzungsschäden durch mächtige Auffüllungen, Prof. Meyer, TU Clausthal

Weitere Themen in Vorbereitung/Untersuchung

Agenda

- 1 Bergschadenssituation und Anrufungsstelle
- 2 Aktuelle wissenschaftliche Untersuchungen
- 3 **Transparenzmaßnahmen und sonstige Neuerungen**

Weiterentwicklung und Transparenzsteigerung bei der Bergschadensbearbeitung

- Berichterstattung von RWE Power bzw. der Anrufungsstelle im Braunkohlenausschuss, im Unterausschuss Bergbausicherheit und in den Kommunen.
- Seit 2014 neu: Vorlage des umfassenden Jahresberichts Bergschäden.
- Qualitätsgesicherte und zuletzt im Mai 2014 zertifizierte Bergschadensbearbeitung bei RWE Power sichert Gleichbehandlung und Transparenz für alle Betroffenen.
- Regelmäßig erweitertes Informationsangebot auf der RWE Homepage unterstützt Betroffene in der individuellen Situation und erleichtert generellen Zugang zum Thema.
- Fortführung des intensiven Austausches mit Wissenschaft und Fachwelt zu Grundsatzfragen durch wissenschaftliche Untersuchungen sowie Fachdiskussionen (z.B. Bergschadensforum, Sachverständigenkolloquium) fördert das gemeinsame Verständnis und unterstützt die Einzelfallbewertung.
- Informationsdienst zu bergbaubedingten Bodenbewegungen und ihren Auswirkungen soll in Kürze starten („Bergschadensmonitoring“).



Zertifiziert nach ISO 9001 für die Analyse und Regulierung von Bergschäden im Rheinischen Braunkohlenrevier

www.rwe.com/bergschaeden

Schwindverhalten bindiger Böden und seine bautechnische Bedeutung

Bei einer Absenkung des Grundwasserspiegels können bekanntlich Geländesenkungen auftreten, die aus geotechnischer Sicht mehrere Ursachen besitzen. Bereits 1938 beschrieb Leussink die Bodenverformungen infolge Auftriebsverlusts. Mit dem Grundwasserentzug ist auch eine Änderung der Feuchtebedingungen im Untergrund verbunden, die bei bindigen Böden zu Schwindverformungen führen können. Diese werden in der Praxis immer noch mit dem Schrumpfversuch im Labor erklärt, obgleich Placzek 1982 darauf hingewiesen hat, dass dies unter Außerachtlassung der natürlichen Randbedingungen, der eine bindige Bodenschicht in der Natur ausgesetzt ist, zu erheblichen Fehldeutungen und unzutreffenden Schlussfolgerungen führen kann. Im Beitrag werden hierzu die verschiedenen Forschungsergebnisse, ergänzt durch neuere Untersuchungen vorgestellt, die belegen, dass nur unter besonderen Randbedingungen bei einer Grundwasserspiegelabsenkung Geländeformungen infolge Schwindens bindiger Bodenschichten möglich sind. Hieraus lassen sich bautechnische Maßnahmen ableiten, die zur Vermeidung derartiger Verformungen ergriffen werden können.

von Prof. Dr. Dietmar Placzek und Ulrich Estermann,

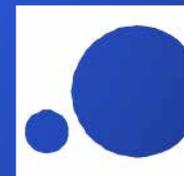
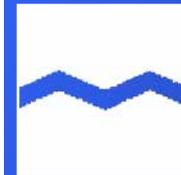
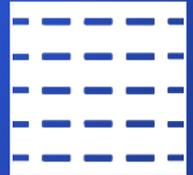
ELE Beratende Ingenieure GmbH



Das Schwindverhalten bindiger Böden und seine bautechnische Bedeutung

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Placzek
Dipl.-Ing. Ulrich Estermann

ELE Beratende Ingenieure GmbH
Erdbaulaboratorium Essen





- 1. Einleitung**
- 2. Die verschiedenen Ursachen für die bei einer Grundwasserabsenkung eintretenden Geländesenkungen**
- 3. Schwindverhalten bindiger Böden**
 - 3.1 Theoretische Grundlagen**
 - 3.2 Schwindverhalten unter verschiedenen Randbedingungen**
- 4. Bautechnische Bedeutung und Maßnahmen zur Sicherung der Bauwerke**

**Gliederung des
Vortrages**



1. Einleitung

Die Frage nach den Ursachen für Geländesenkungen ist von entscheidender bautechnischer wie wirtschaftlicher Bedeutung.

Denn:

Damit können Bauwerksschäden, aber auch Änderungen der Topographie, der Infrastruktur, der Vorflutverhältnisse u.v.a.m. verbunden sein.

Einleitung



Geländesenkungen:

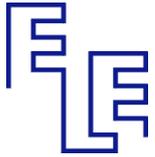
Verformungen an der Geländeoberfläche, ausgelöst durch Einwirkungen aus dem Baugrund (z. B. untertägiger Bergbau, Tunnelbau, natürliche oder künstliche Grundwasserspiegelabsenkung usw.)

Setzungen:

Verformungen (Zusammendrückungen der einzelnen Schichten) des Baugrundes durch direkte Einwirkungen an oder in Nähe der Geländeoberfläche (z. B. Bauwerke, Aufschüttungen, Halden usw.)

1. Einleitung

Definitionen



Geländesenkungen

ausgelöst durch

- Änderung des Grundwasserspiegels
(natürlich oder künstlich bedingt)
- Trocknung (Schwinden)
- chemische und/oder biologische Zersetzung
- Bewuchs

(Geländesenkungen durch untertägigen Bergbau, Tunnelbau u.ä.,
werden hier nicht betrachtet.)

1. Einleitung

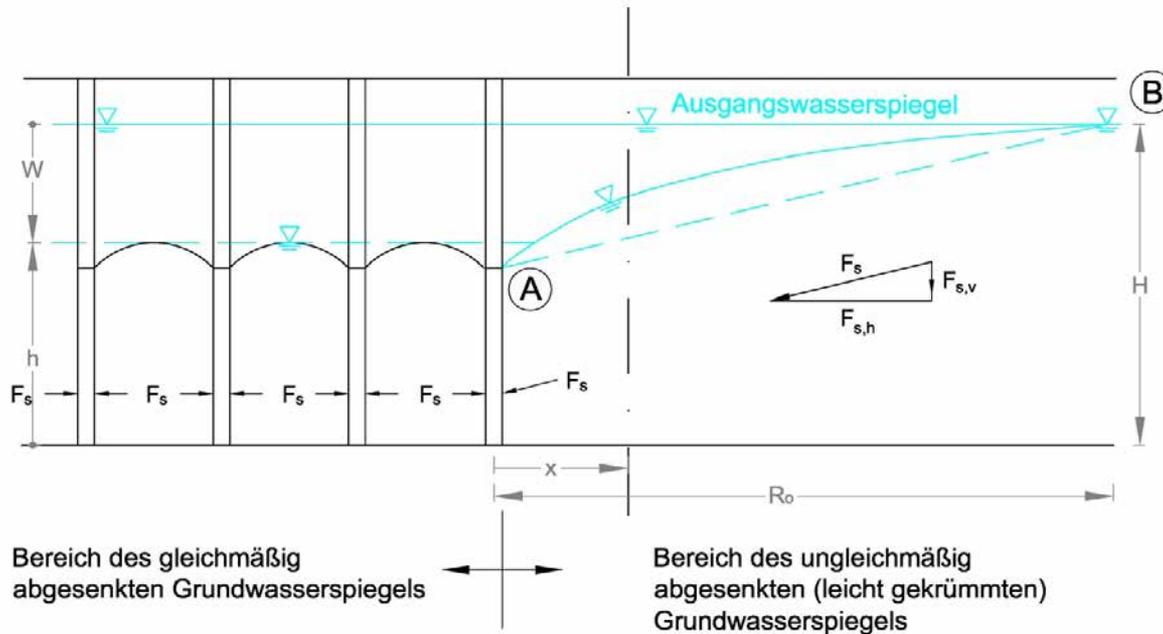


2. Die verschiedenen Ursachen für die bei einer Grundwasserabsenkung eintretenden Geländesenkungen

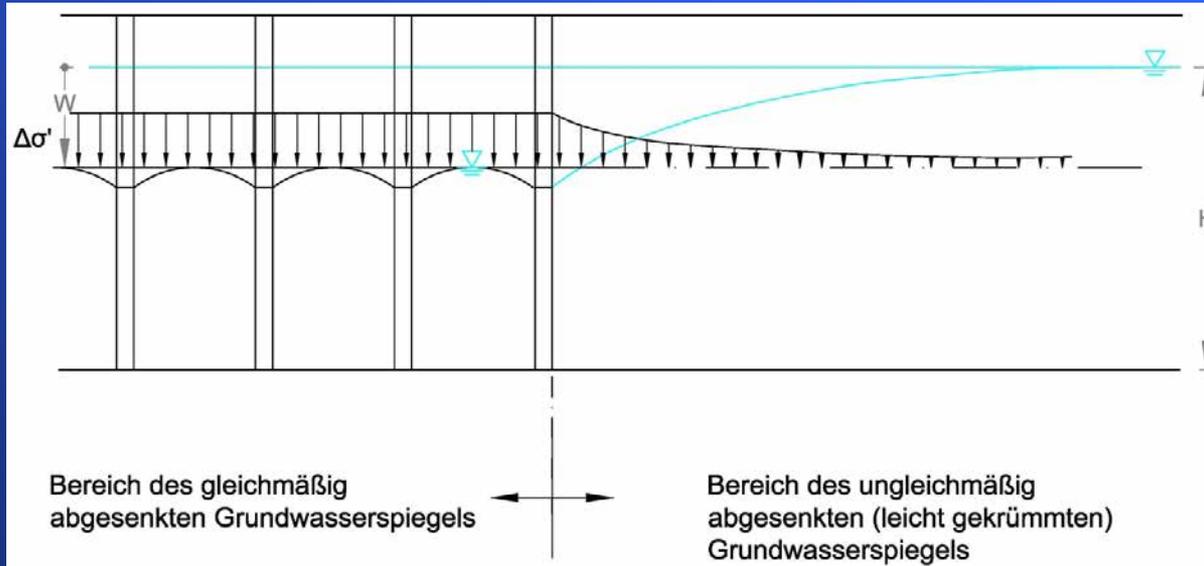


**Geländesenkung durch Spannungsänderung
infolge einer Grundwasserspiegelabsenkung**

**Die verschiedenen
Ursachen und
deren Wirkung**



Wirkung einer Grundwasserspiegel-Absenkung w

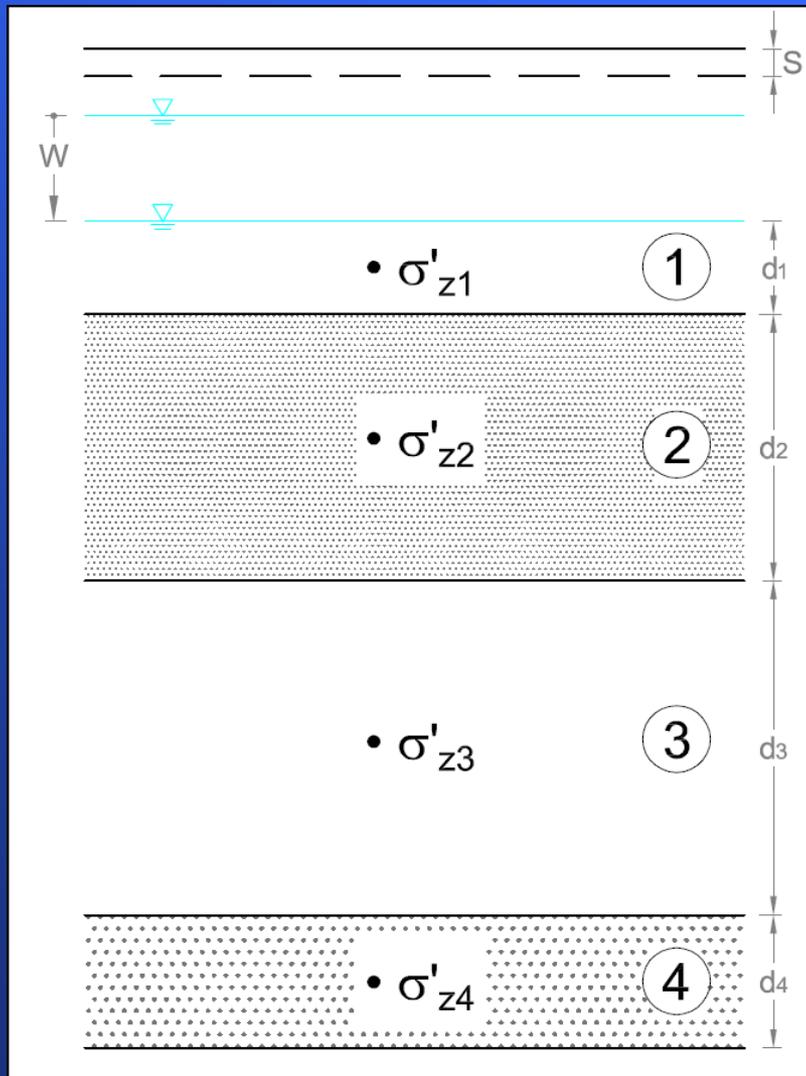


Wirkung einer
Grundwasserspiegel-
Absenkung

Zunahme der
wirksamen Spannungen
um den Betrag

$$\Delta\sigma' = \Delta u \approx w \cdot \gamma_w$$

(bei Vernachlässigung der
Strömungskräfte)



Wirkung einer
Grundwasserspiegel-
Absenkung

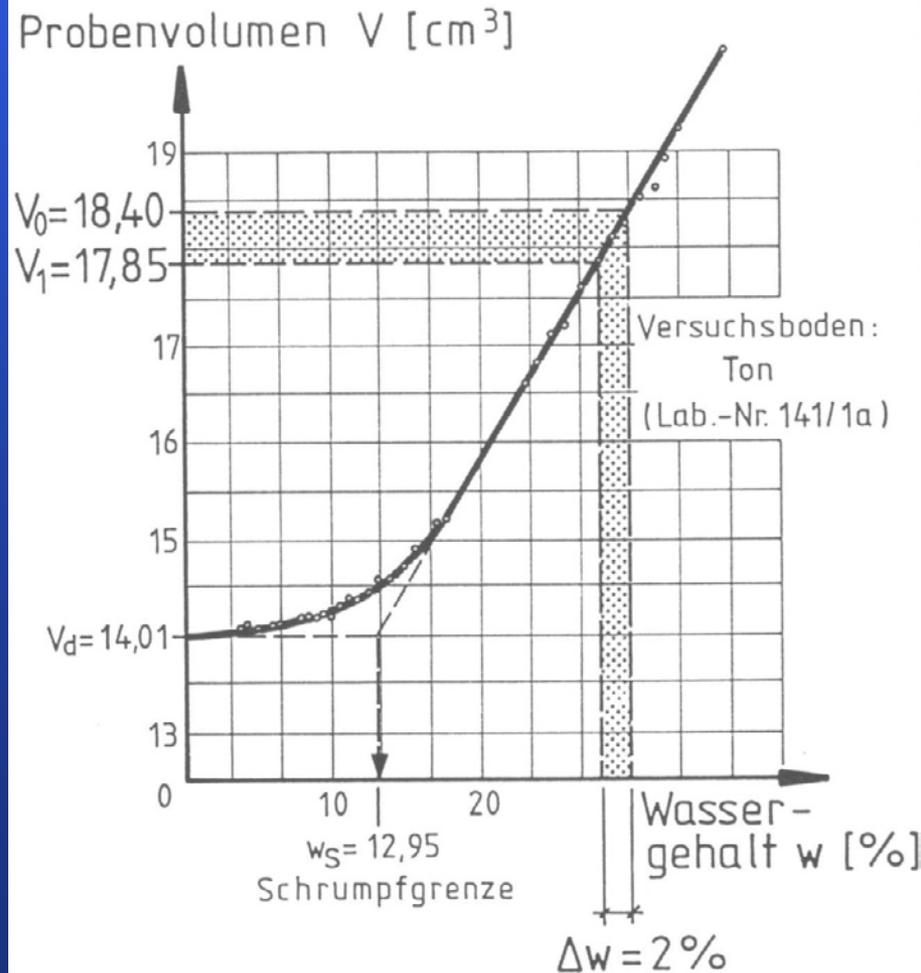
$\Delta\sigma'$ erzeugt
Zusammendrückungen
 s_i und führt zur
Geländesenkung s

$$s = \sum s_i$$



Geländesenkung durch Trocknung (Schwinden)

**Die verschiedenen
Ursachen und
deren Wirkung**



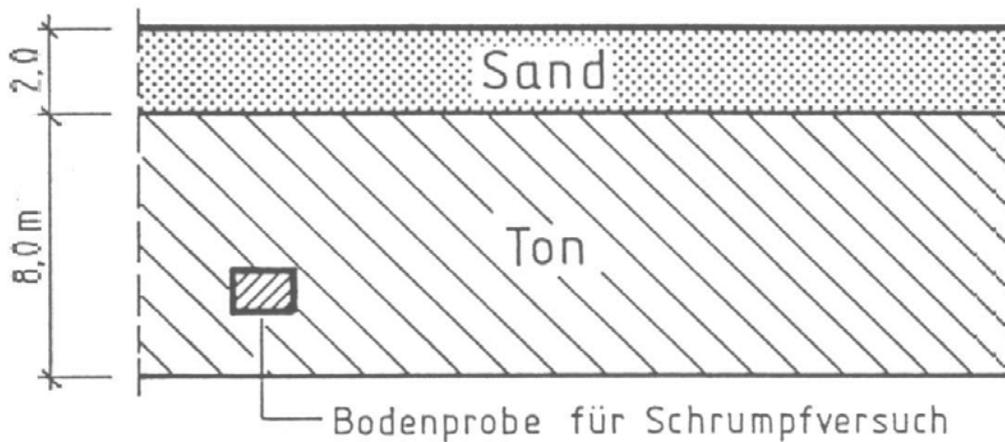
Trocknungsversuch im Labor (Schrumpfversuch)

Wassergehaltsänderung durch Trocknung

$$\Delta w = 2\%$$

$$\Delta V' = \Delta V / V_0 = 3\%$$

Bodenaufbau bei abgesenktem Grundwasser- spiegel



**Trocknungsversuch im
Labor
(Schrumpfversuch) und
Übertragung der
Ergebnisse auf die
Örtlichkeit**

Volumenänderung im Labor:

$$\Delta V' = 3 \%$$

zu erwartende Senkung bei 8 m Ton:

$$s = 24 \text{ cm}$$



**Geländesenkung durch chemische und
biologische Zersetzung organischer Böden**

**Die verschiedenen
Ursachen und
deren Wirkung**

Voraussetzungen

- Chemische Zersetzung (i.A. erst ab $T \geq 85^\circ \text{C}$)
- Biologische Zersetzung* (i.A. bei T von 0° bis 85°)
 - aerobe
 - anaerobe

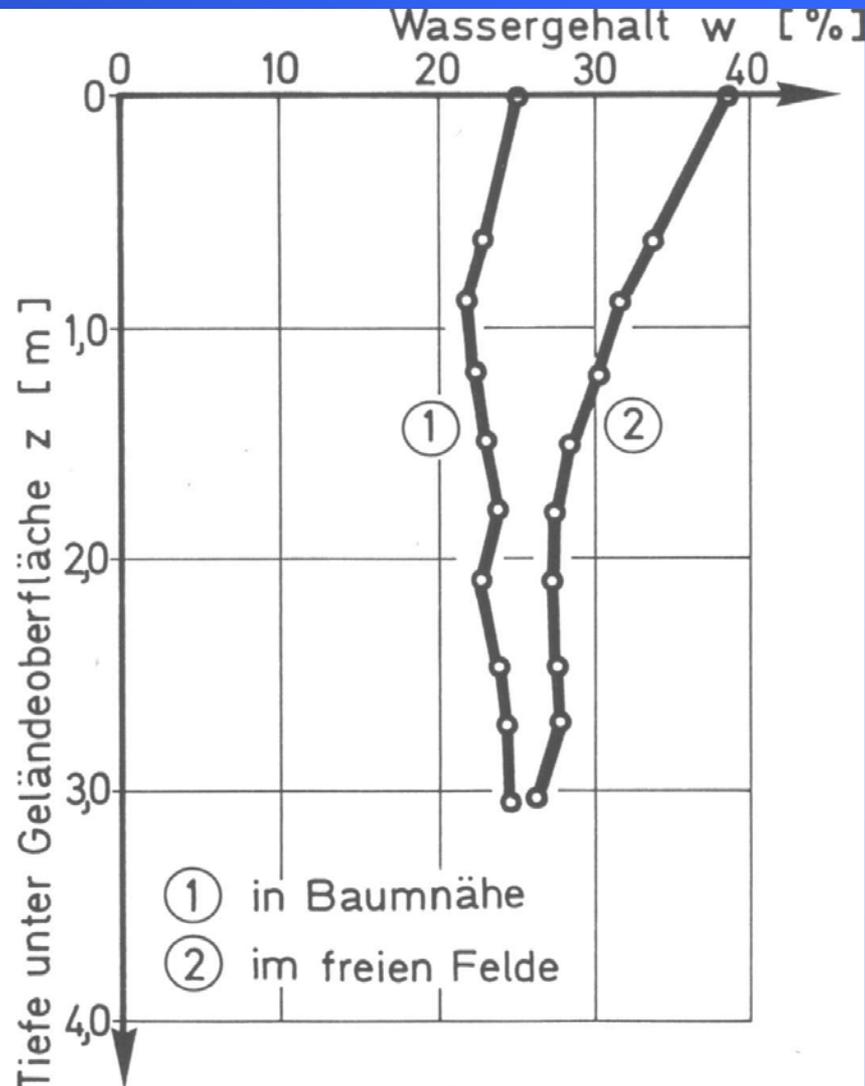
*(Einflussfaktoren: Mikroorganismen, Kohlenstoff-
Nährstoff-Verhältnis, Temperatur, Bodenfeuchte usw.)

Chemische und biologische Zersetzung



Geländesenkung durch Bewuchs

**Die verschiedenen
Ursachen und
deren Wirkung**



Wassergehaltsreduktion Δw
durch Bewuchs

$\Delta w \rightarrow s$ (Senkung)



3. Schwindverhalten bindiger Böden

3.1 Theoretische Grundlagen



Physikalische Voraussetzungen für das Schwinden:

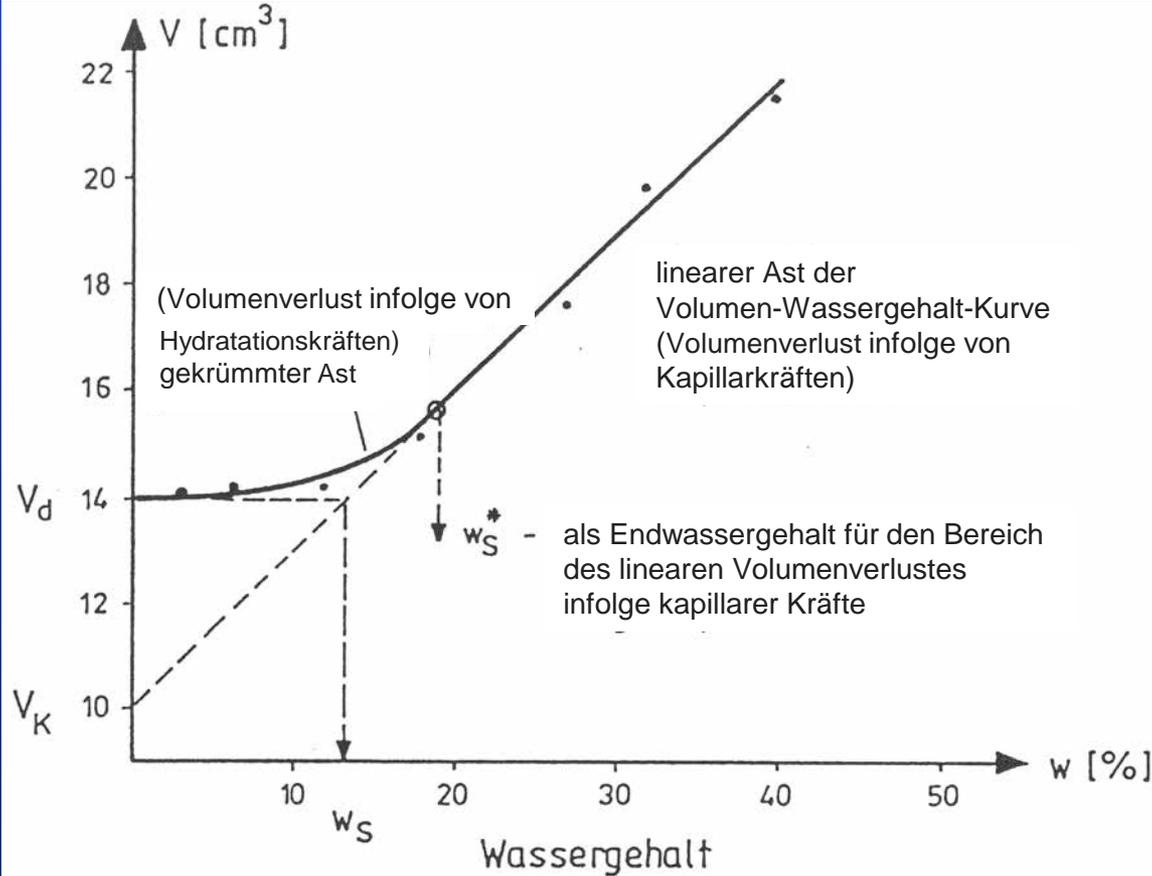
1. Verdunstung des Porenwassers an der Schichtgrenze des bindigen Bodens
2. Verdunstung nur möglich, wenn die relative Feuchte der angrenzenden Porenluft bzw. Umgebungsluft kleiner als 1 ist

3. Schwindverhalten bindiger Böden 3.1 Theoretische Grundlagen

Feuchtebewegung vom Innern des bindigen Bodens zur Verdunstungsfläche, beschreibbar durch:

1. Kapillarwasserbewegung (im wassergesättigten und teilgesättigten Boden; 2-Phasen-System)
2. Kapillarwasserbewegung und Wasserdampfdiffusion (im teilgesättigten, feuchten Boden; 3-Phasen-System)
3. Wasserdampfdiffusion (im relativ trockenen Boden; 2-Phasen-System)

3. Schwindverhalten bindiger Böden 3.1 Theoretische Grundlagen



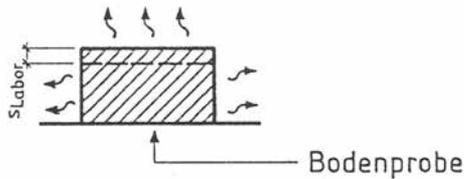
Vereinfachte Darstellung des Trocknungsverlaufes mit Kapillarwassertransport und Wasserdampfdiffusion anhand des Schrumpfversuches im Labor

3. Schwindverhalten bindiger Böden

3.1 Theoretische Grundlagen

Randbedingungen beim Schrumpf-
versuch im Labor :

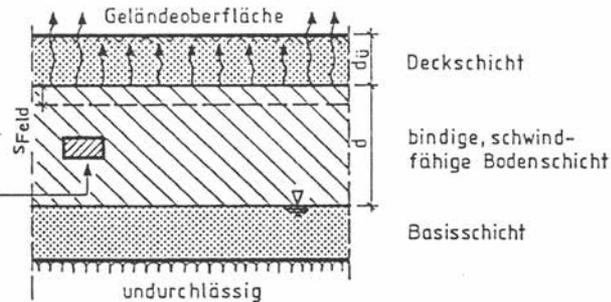
- freie Probenoberfläche
- Umgebungsluft allseitig
- Verdunstungsfläche $\hat{=}$ Probenoberfläche



$$S_{\text{Labor}} = f(\Delta W_{\text{Labor}})$$

Randbedingungen beim Schwind-
vorgang in der Örtlichkeit :

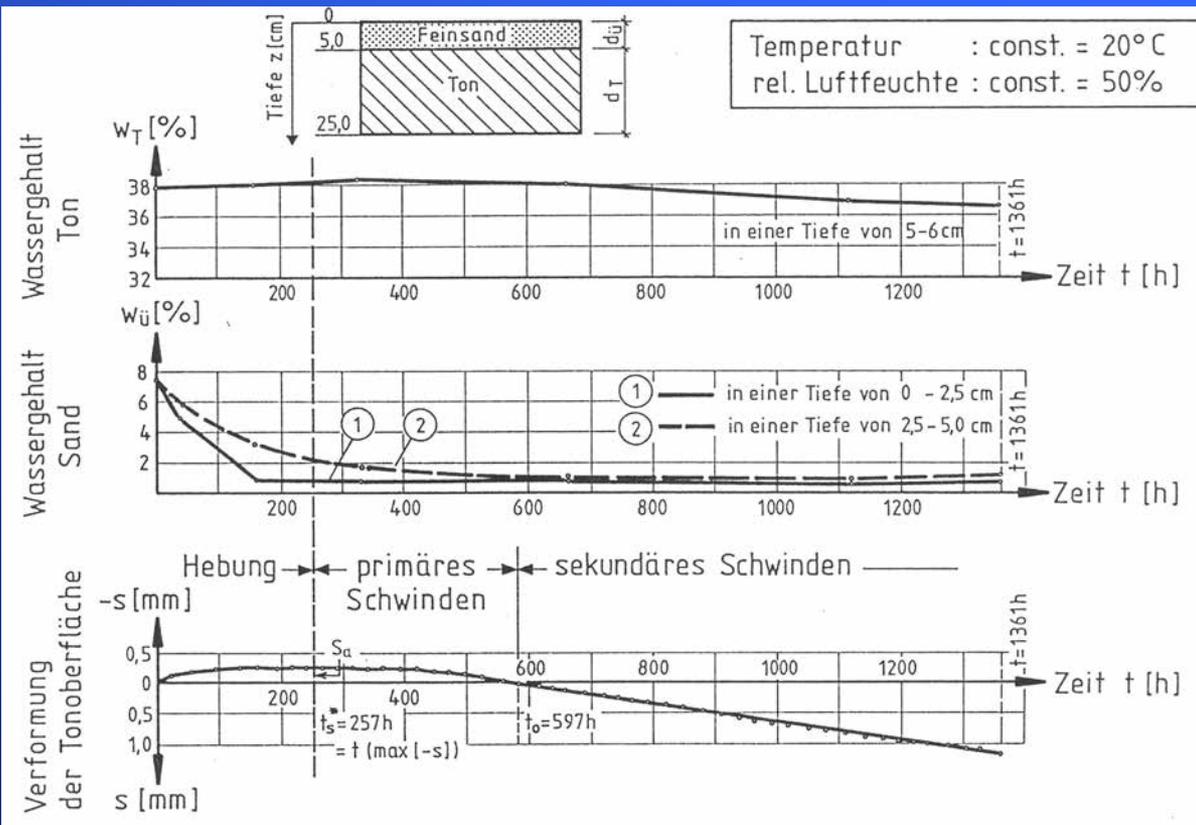
- freie oder bedeckte Schichtoberfläche
- Umgebungsluft einseitig
- Verdunstungsfläche $\hat{=}$ Schichtoberfläche



$$S_{\text{Feld}} = f(\Delta W_{\text{Feld}})$$

3. Schwindverhalten bindiger Böden 3.2 Unter verschiedenen Randbedingungen

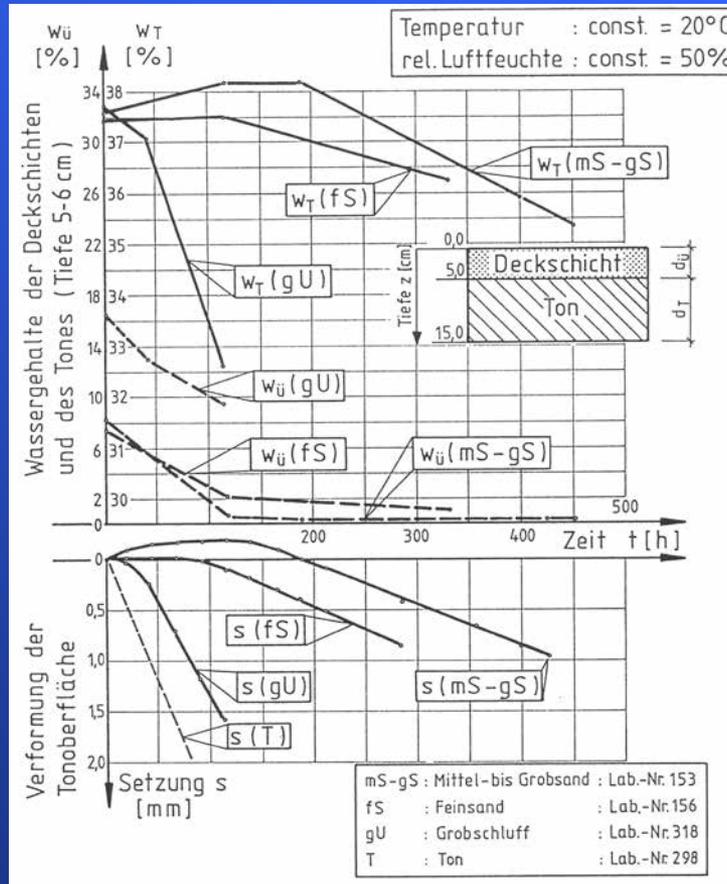
Unterschiedliche Randbedingungen beim
Schrumpfversuch im Labor und in der Örtlichkeit



3. Schwindverhalten bindiger Böden

3.2 Unter verschiedenen Randbedingungen (2-Schichten-System)

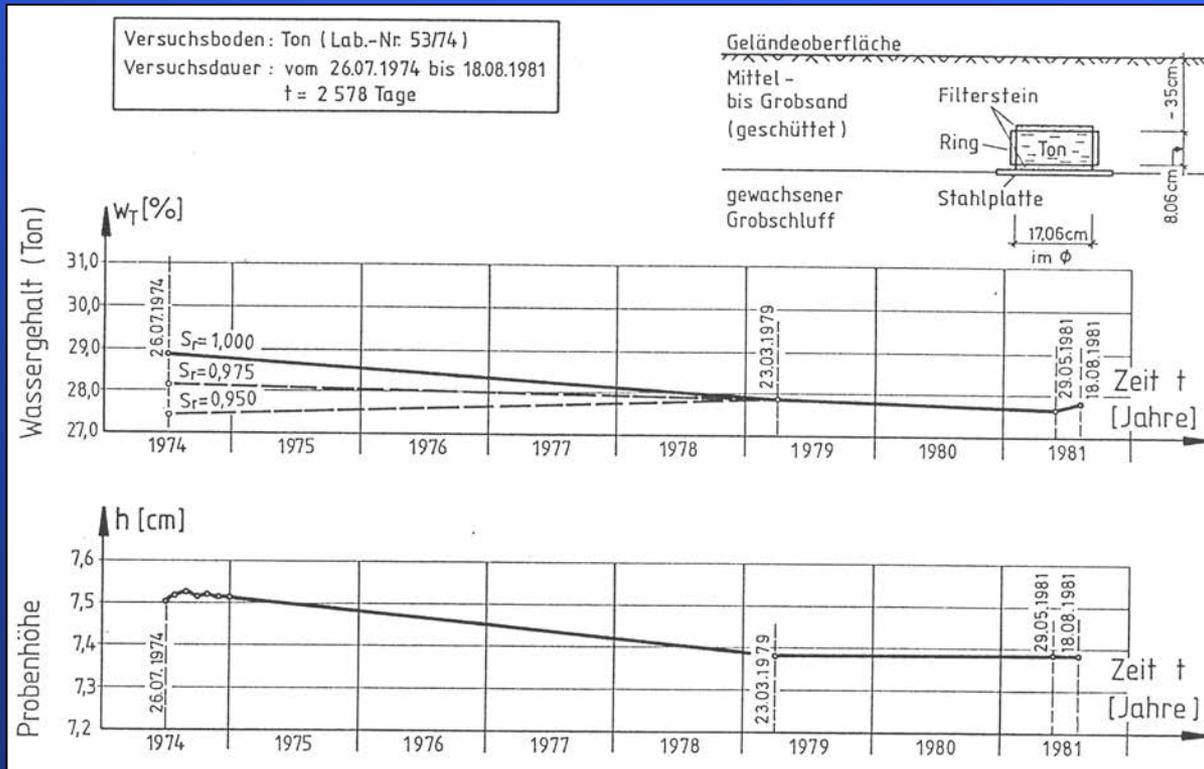
Messergebnisse eines Großversuches mit einer 5 cm dicken Feinsand-Deckschicht



Wassergehalte der Deckschichten und des Tones und Verformungen der Tonoberfläche, dargestellt über die Zeit

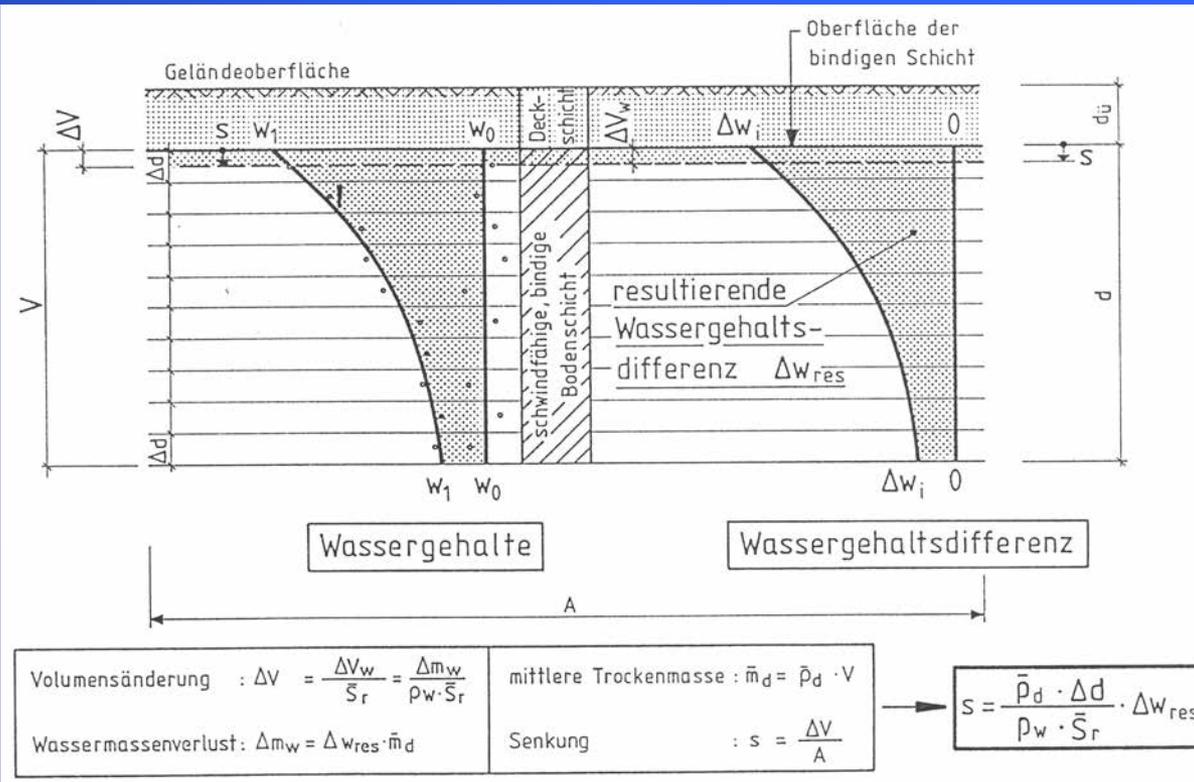
3. Schwindverhalten bindiger Böden

3.2 Unter verschiedenen Randbedingungen (2-Schichten-System)



3. Schwindverhalten bindiger Böden 3.2 Unter verschiedenen Randbedingungen (2-Schichten-System)

Versuchsergebnisse eines Feldversuches unter wechselnden klimatischen Randbedingungen über einen Zeitraum von mehr als 7 Jahren



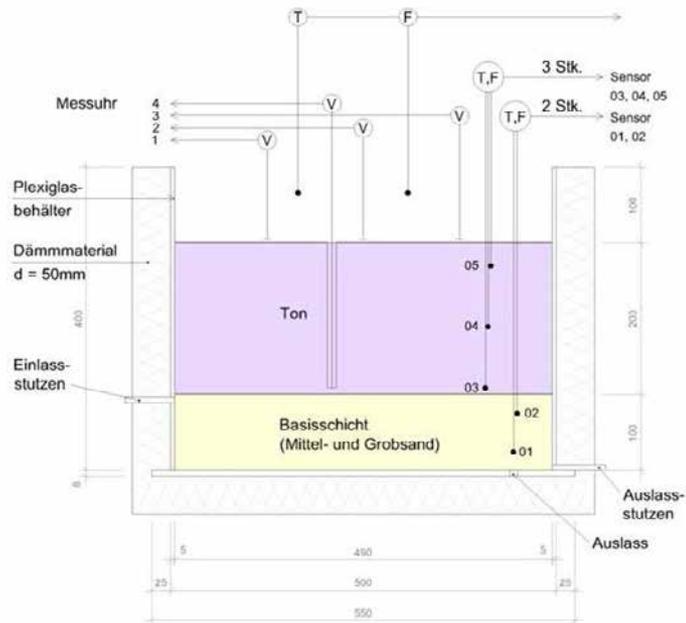
3. Schwindverhalten bindiger Böden 3.2 Unter verschiedenen Randbedingungen (2-Schichten-System)

Ermittlung der Senkungen infolge Schwindens durch
Beobachtung und Erfassung der Wassergehalte im
Schichtensystem

Weiterführende Untersuchungen zum Schwindverhalten

Modellversuch Schwindvorgang

Versuch 1: ohne Deckschicht



- elekt. Temperatur- und Feuchtemessungen (5 Stk. im Boden)
jeweils eine Raummessung
- Verformungsmessungen (4 Stk.)

Maße in mm

Versuch 1

Schematischer Versuchsaufbau:

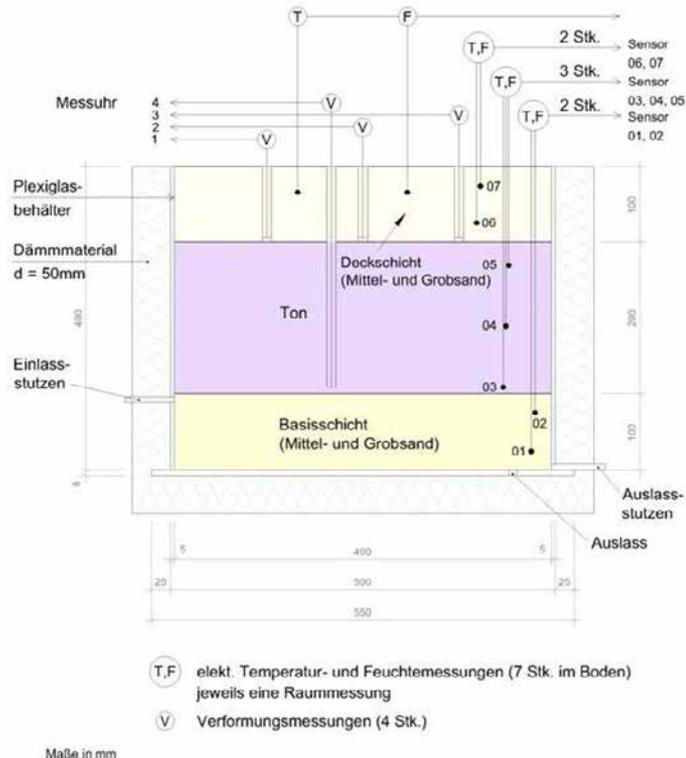
Sensor 05	Ton
Sensor 04	
Sensor 03	
Sensor 02	Sand
Sensor 01	

3. Schwindverhalten bindiger Böden 3.2 Unter verschiedenen Randbedingungen (2-Schichten-System)

Weiterführende Untersuchungen zum Schwindverhalten

Modellversuch Schwindvorgang

Versuch 2: mit Deckschicht aus Sand



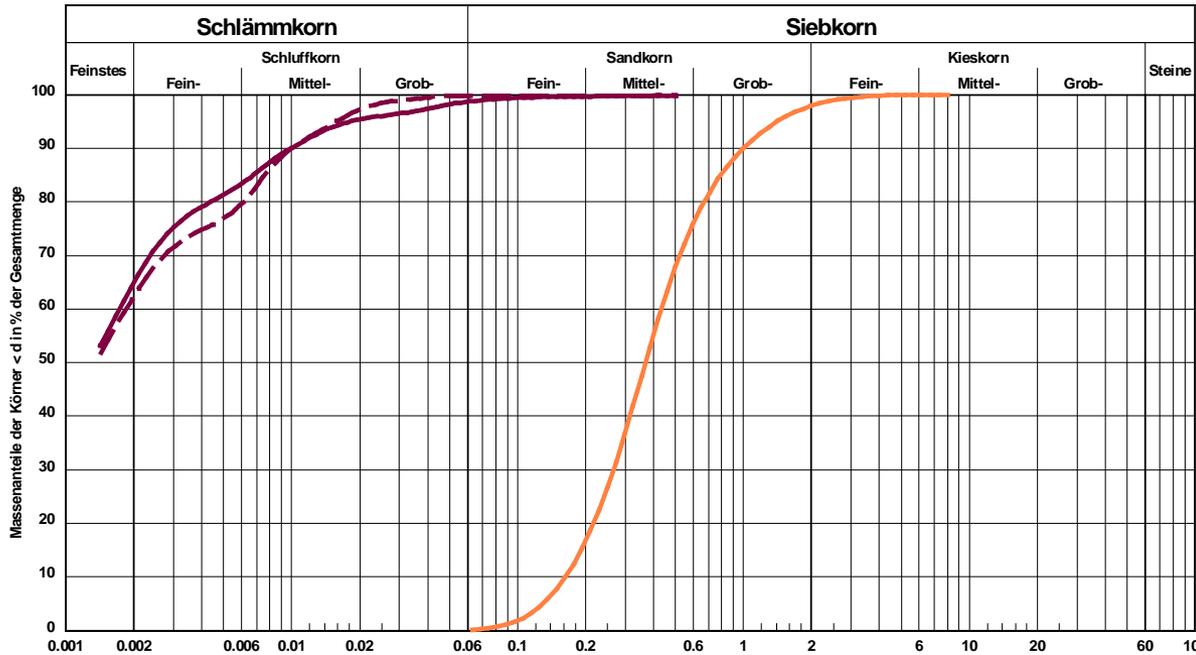
Versuch 2

Schematischer Versuchsaufbau:

Sensor 07	Deckschicht
Sensor 06	(Sand)
Sensor 05	Ton
Sensor 04	
Sensor 03	
Sensor 02	Sand
Sensor 01	

3. Schwindverhalten bindiger Böden 3.2 Unter verschiedenen Randbedingungen (3-Schichten-System)

Verwendete Böden



Einbaukennwerte (Ton):
Wassergehalt 23,0 – 25,8 %
Dichte: 1,55 g/cm³

Einbaukennwerte (Sand):
Wassergehalt 8,0 %
Dichte: 1,65 - 1,69 g/cm³

Ton, stark schluffig,
sehr schwach feinsandig

TA nach DIN 18196

Fließgrenze w_L : 60–63 %
Ausrollgrenze w_P : 22,4%

Proctordichte ρ_{Pr} :
1,57 – 1,60 g/cm³,
bei $w_{Pr} = 23,8 – 24,3 %$

Korndichte: 2,73 g/cm³
Glühverlust: 5 – 6 %
Kalkgehalt: 6,7 – 7,1 %

Mittelsand, grobsandig

SE nach DIN 18169



Aufbau des
Versuchsstandes:

Plexiglasbehältnisse

Sensor mit Messgerät

Einbau von Böden und
Sensoren



Versuchsstand Versuch 1 (ohne Deckschicht)

Einbau:
Anfang Juni 2014

Sättigung des Sandes
und Beginn der
Setzungsmessungen:
12.08.2014

Entwässerung des
Sandes:
03.08.2015





Versuchsstand Versuch 2
(mit Deckschicht)

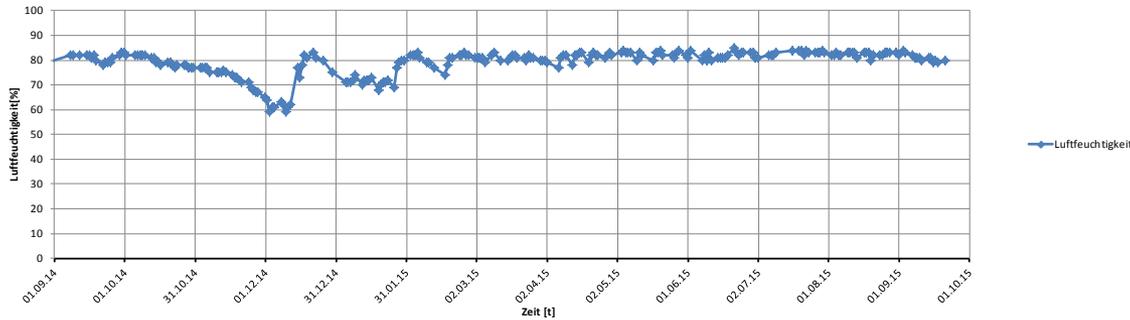
Einbau:
Anfang April 2014

Sättigung des Sandes
und Beginn der
Setzungsmessungen:
08.09.2014

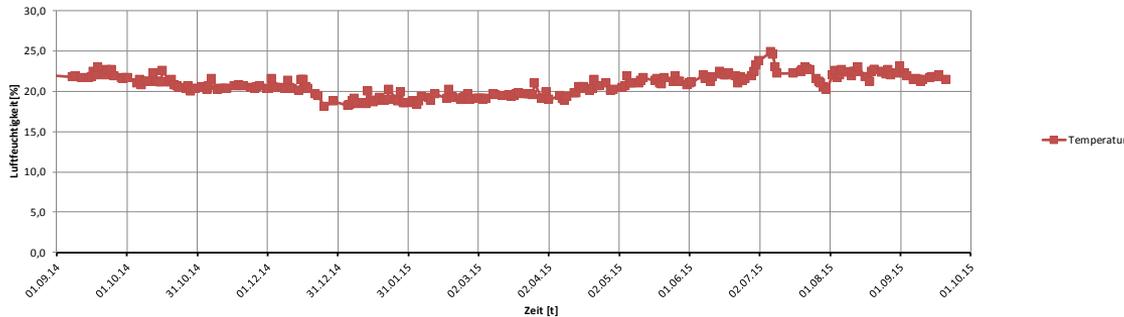
Entwässerung des
Sandes:
03.08.2015



Versuch 1 und 2 - Umgebungs-Luftfeuchtigkeit



Versuch 1 und 2 - Umgebungs-Temperatur



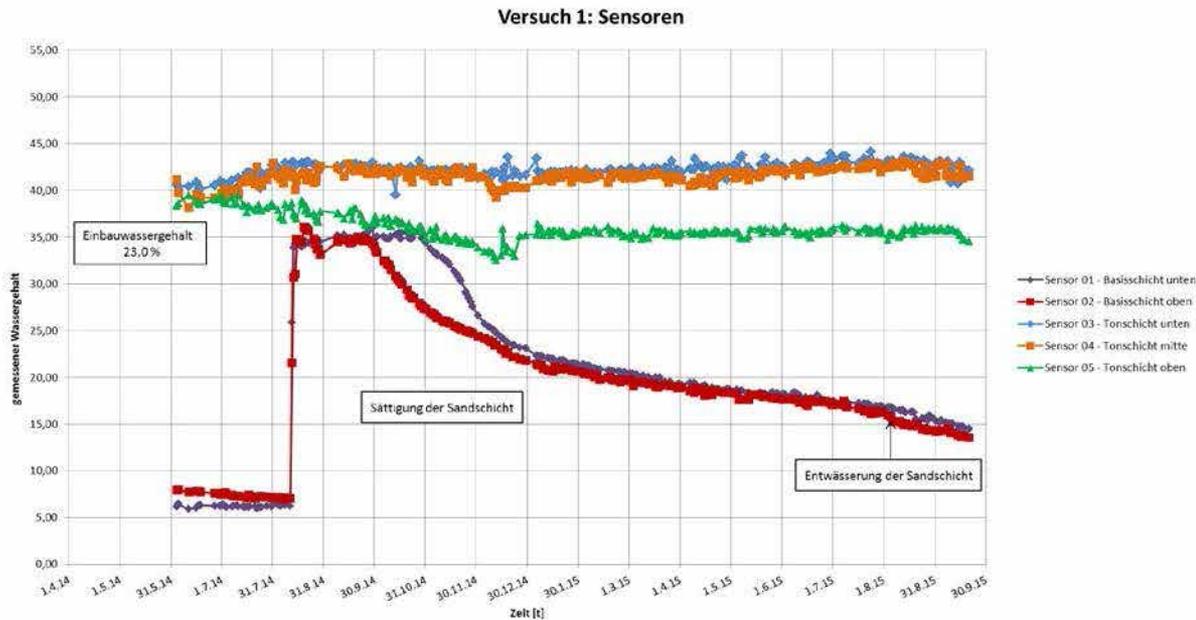
Umgebungsbedingungen
während der
Versuchsdurchführung:

Luftfeuchtigkeit:
i.M. 80 %

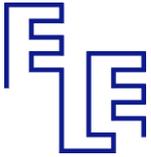
Temperatur:
20 – 22 °

Ergebnisse Versuch 1

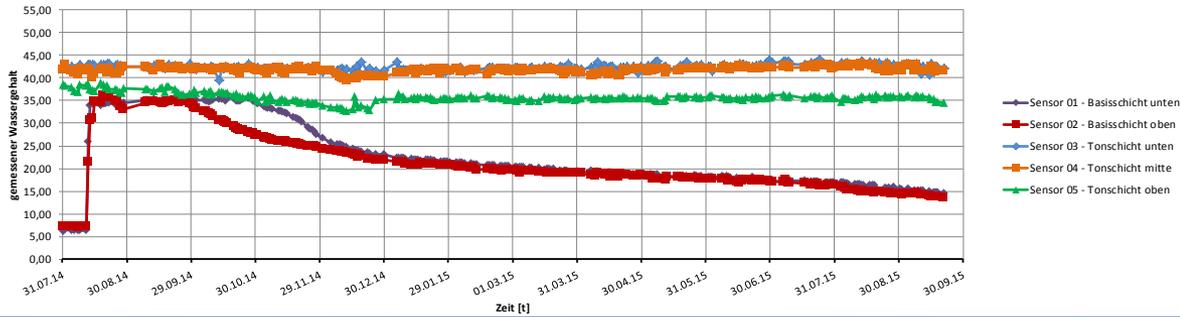
Veränderung des Wassergehaltes über die Zeit



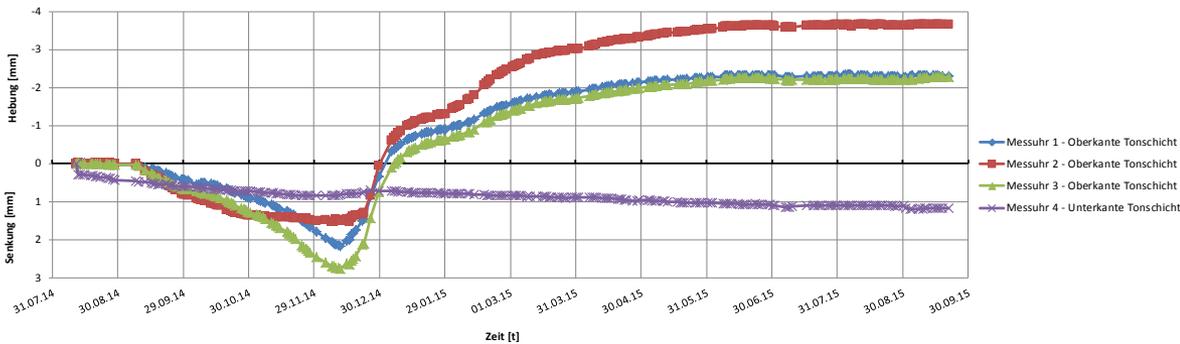
Sensor 05	dunkelgrün	Ton
Sensor 04	braun	
Sensor 03	blau	
Sensor 02	rot	Basisschicht
Sensor 01	violett	Sand



Versuch 1: Wassergehaltsänderung



Versuch 1 - Verformungsverhalten

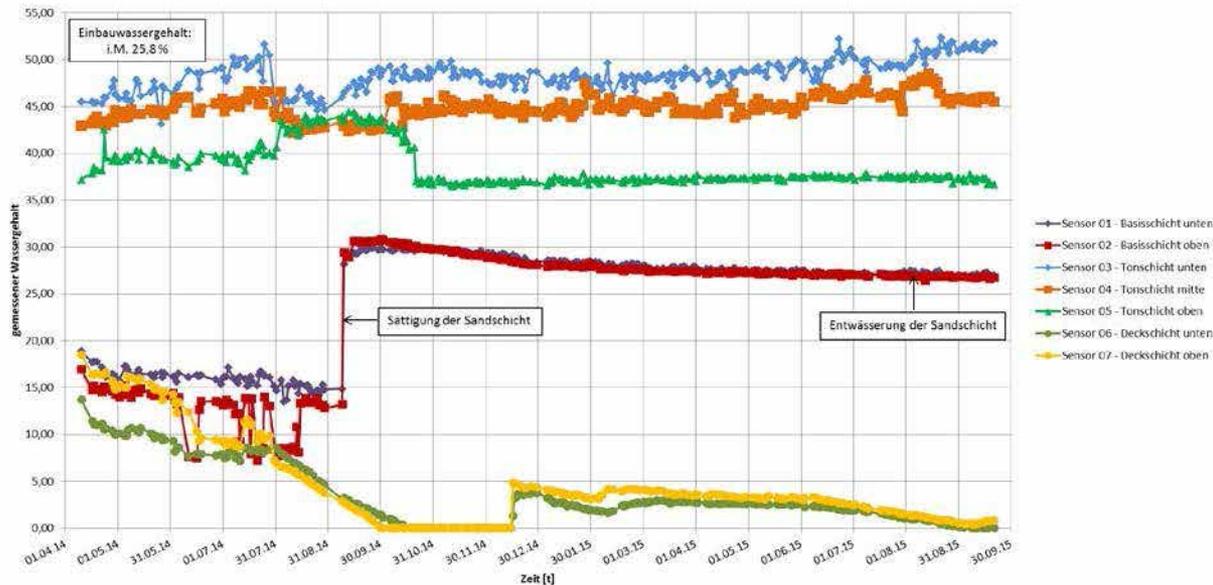


Ergebnisse Versuch 1

Veränderung des Wassergehaltes und des Verformungsverhalten über die Zeit

Sensor 05	dunkelgrün	Ton
Sensor 04	braun	
Sensor 03	blau	
Sensor 02	rot	Basisschicht
Sensor 01	violett	Sand

Versuch 2: Sensoren



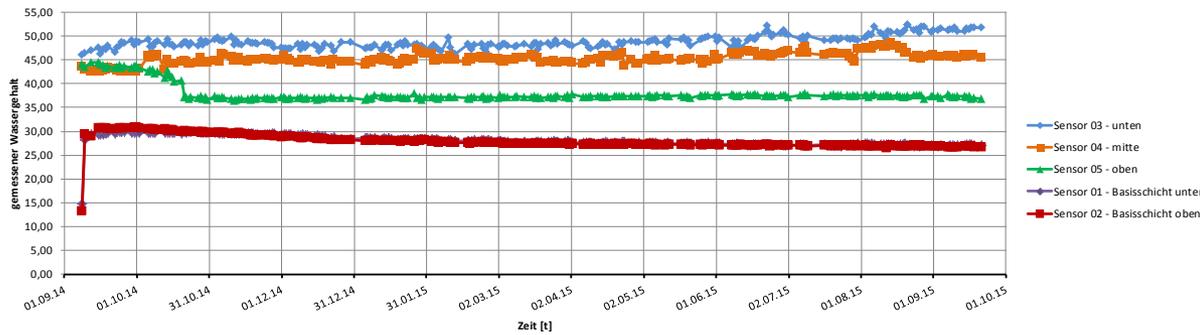
Ergebnisse Versuch 2

Veränderung des Wassergehaltes über die Zeit

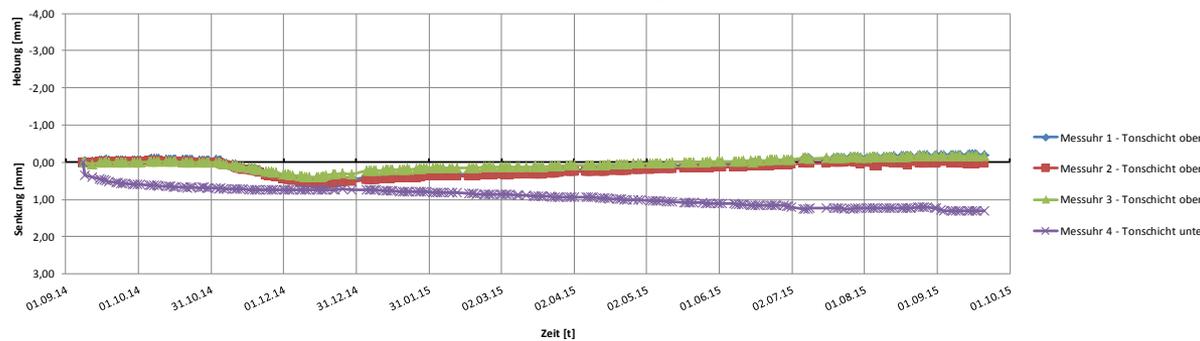
Sensor 07	gelb	Deckschicht
Sensor 06	grün	(Sand)
Sensor 05	dunkelgrün	Ton
Sensor 04	braun	
Sensor 03	blau	Basisschicht
Sensor 02	rot	
Sensor 01	violett	Sand



Versuch 2: Wassergehaltsänderung



Versuch 2 - Verformungsverhalten



Ergebnisse Versuch 2

Veränderung des Wassergehaltes und des Verformungsverhaltens über die Zeit

Sensor 07	gelb	Deckschicht
Sensor 06	grün	(Sand)
Sensor 05	dunkelgrün	Ton
Sensor 04	braun	
Sensor 03	blau	
Sensor 02	rot	Basisschicht
Sensor 01	violett	Sand



Zusammenfassung

1. Nicht in jedem Fall tritt ein Schwinden des bindigen Bodens ein
2. Deckschichten können ein Schwinden des bindigen Bodens verhindern
3. Eine Grundwasserabsenkung unterhalb des bindigen Bodens führt nicht zwangsläufig zu einem Schwinden (nach bisherigem Untersuchungsstand)

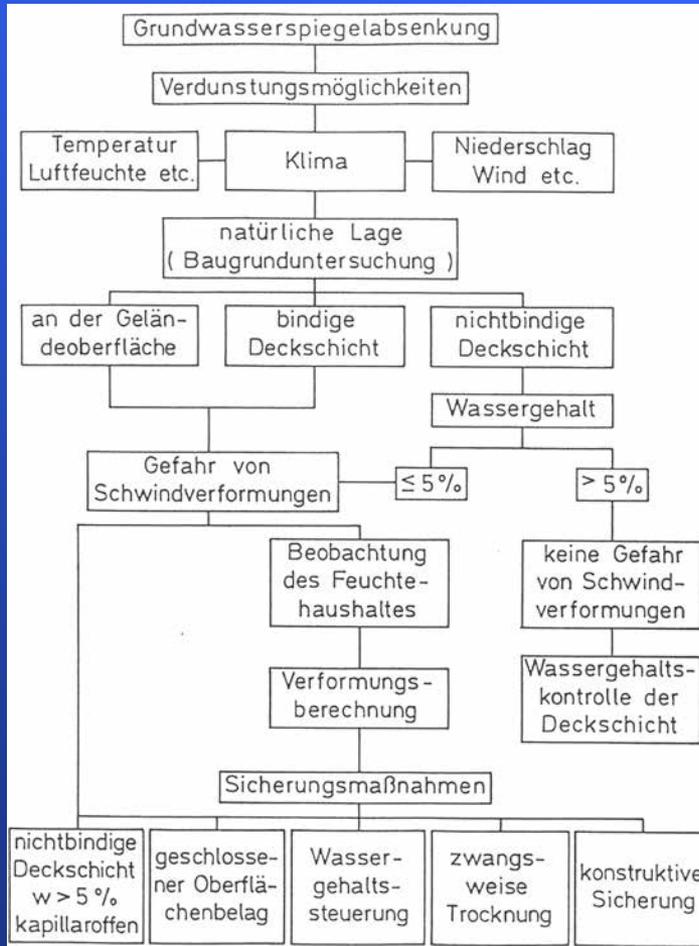
3. Schwindverhalten bindiger Böden

1. Elemente der Bodenbewegung (vertikal)	2. Elemente der Bodenbewegung (horizontal)
<p>1.1 <u>Senkung</u> s [cm]</p>	<p>2.1 <u>Verschiebung</u> u_x, u_y [cm]</p>
<p>1.2 <u>Schiefelage</u> $s' = \frac{s_1 - s_2}{l_0} = \beta \left[\frac{\text{mm}}{\text{m}} \right] = \frac{\delta}{l_0}$</p>	<p>2.2 <u>Verdrehung</u> $\delta_u = \frac{u_1 - u_2}{l_0}; \delta \ll 1$</p>
<p>1.3 <u>Krümmung</u> $s'' = \frac{1}{\rho_z} \text{ [km}^{-1}\text{]}$ $\rho_z = \frac{a_x^2}{s_1 + s_3 - 2s_2} \text{ [km] mit } a_{x1} = a_{x2} = a_x$</p>	<p>2.3 <u>Krümmung</u> $\pm \frac{1}{\rho_u} \text{ [km}^{-1}\text{]}$</p>
<p>1.4 <u>Längenänderung</u> (Streckungen +; Stauchungen -) $\epsilon_s = \frac{s_I - s_{II}}{l_0} \left[\frac{\text{mm}}{\text{m}} \right]$</p>	<p>2.4 <u>Längenänderung</u> (Dehnungen +; Verkürzungen -) $\epsilon_u = \frac{u_I - u_{II}}{l_0} \left[\frac{\text{mm}}{\text{m}} \right]$</p>
<p>1.5 <u>Scherung</u> $\varphi_s = \frac{s_I - s_{II}}{a_x}; \varphi \ll 1$</p>	<p>2.5 <u>Scherung</u> $\varphi_u = \frac{u_I - u_{II}}{a_z}; \varphi \ll 1$</p>

Punkte an der Geländeoberfläche werden während der Ausbildung der Senkungsmulde räumlich bewegt.
Diese Bewegung kann in orientierten Schnittebenen durch die Einzelemente beschrieben werden.
Alle Bewegungen sind auf den Senkungsschwerpunkt gerichtet.

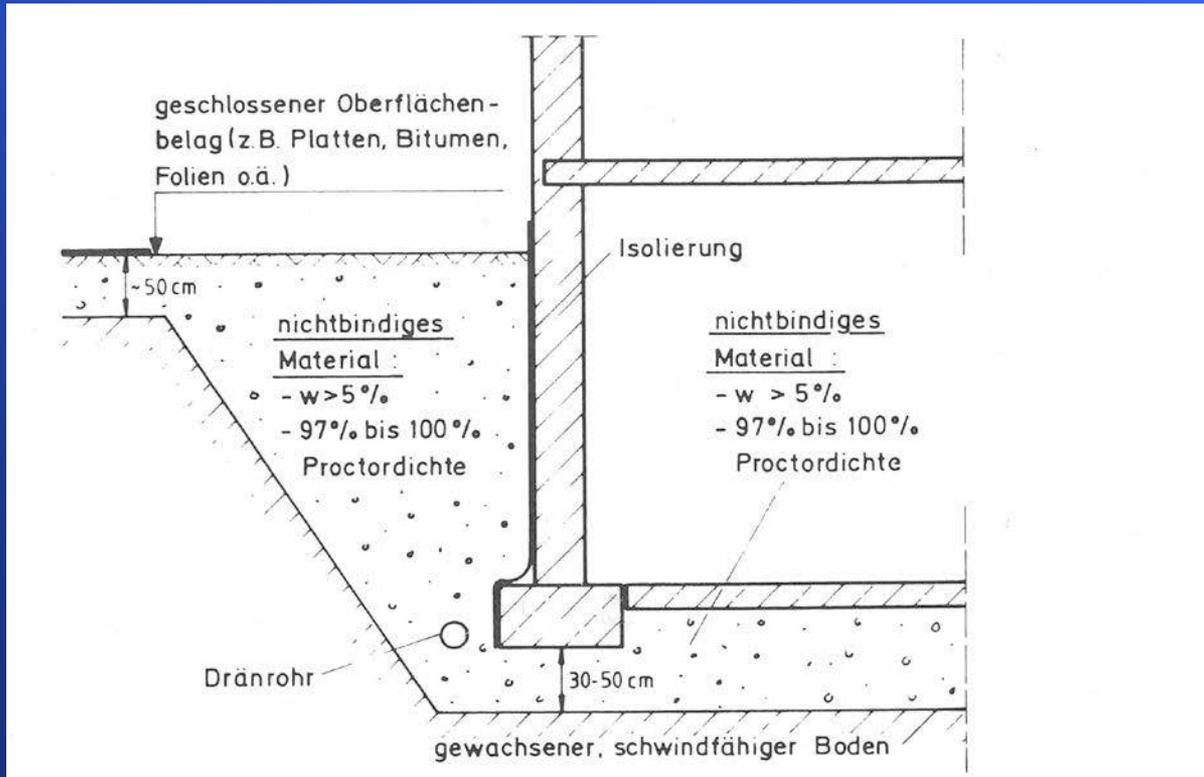
4. Bautechnische Bedeutung und Maßnahmen zur Sicherung der Bauwerke

Verformungselemente der Senkungsmulde



Abschätzung der Gefahr möglicher Geländesenkungen
und geeignete Maßnahmen zur Sicherung der Bauwerke

4. Bautechnische Bedeutung und Maßnahmen zur Sicherung der Bauwerke



Einbau kapillaroffener
Deckschichten als eine
mögliche Maßnahme zur
Vermeidung bauwerks-
unverträglicher Schwind-
verformungen



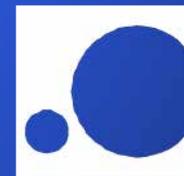
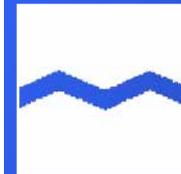
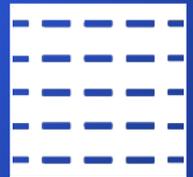
Beratende Ingenieure
Erdbaulaboratorium Essen

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**



Susannastraße 31
45136 Essen
Tel.: 0201 / 89 59 - 6
Fax: 0201 / 89 59 - 899

www.ele-e.de



Sanierung des Erftstollens

Der Erftstollen wurde in den Jahren 1951 bis 1955 gebaut und wird heute dazu genutzt, das anfallende Wasser im Einzugsgebiet des Concordiasees in Richtung der natürlichen Vorflut, der Erft, abzuleiten. Er ist ca. 570 m lang und wurde als Ortbetonprofil, mit einem lichten Querschnitt 2,10/1,50 m, in Stollenbauweise hergestellt. Die Bestandsaufnahme ergab u.a. für die ersten 30 m einen dringenden Handlungsbedarf, um die Betriebssicherheit dieses wichtigen Ableitungsstollens aufrecht zu erhalten. Es zeigten sich massive Querrisse unterschiedlicher Breiten, Längsrisse, Deformationen und starke Versätze, teilweise mit sichtbarem Erdreich.

Der Grund für die massiven Schäden im Anfangsbereich des Stollens ist die Querung des Stollens mit einer bewegungsaktiven tektonischen Störung, dem sogenannten „Erftsprung“. Die aktuelle Absatzbildung von etwa 5 mm/a wird zwar langsam abklingen, sich aber zunächst weiter fortsetzen und somit weiterhin Einfluss auf das Bauwerk nehmen. Da es zu keiner einheitlichen Setzung im Erftstollen kommt, ist neben der Sicherstellung der statischen Tragfähigkeit eine Vielgelenk-Konstruktion herzustellen, die sich den tektonischen Bewegungen variabel anpassen kann.

Dahingehend wurde eine Stahlbetoninnenschale (B/H = 1,05/1,40 m) als statisch tragendes Element zur Wiederherstellung der Lagestabilität im vorhandenen Stollenquerschnitt hergestellt. Um ein „vielgliedriges Ortbetonprofil“ herzustellen, wurde in einem Abstand von 1,50 m eine abgeschaltete Bewegungsfuge ausgeführt und mit einer variablen Fugenbandkonstruktion ausgeführt.

von Michael Hippe und Ralf Puderbach,

Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH

A person wearing a dark hooded jacket is sitting in a small, light-colored aluminum boat on a calm body of water. The background is a dense forest of trees with autumn-colored foliage in shades of yellow, orange, and green. The sky is not visible. The overall scene is peaceful and scenic.

VORWEG GEHEN

Sanierung des Erftstollens - Großprofilreparatur an der Grenze des Machbaren

Reparatur im schwer zugänglichen Bereich unter Bergsenkungseinfluss

Gliederung

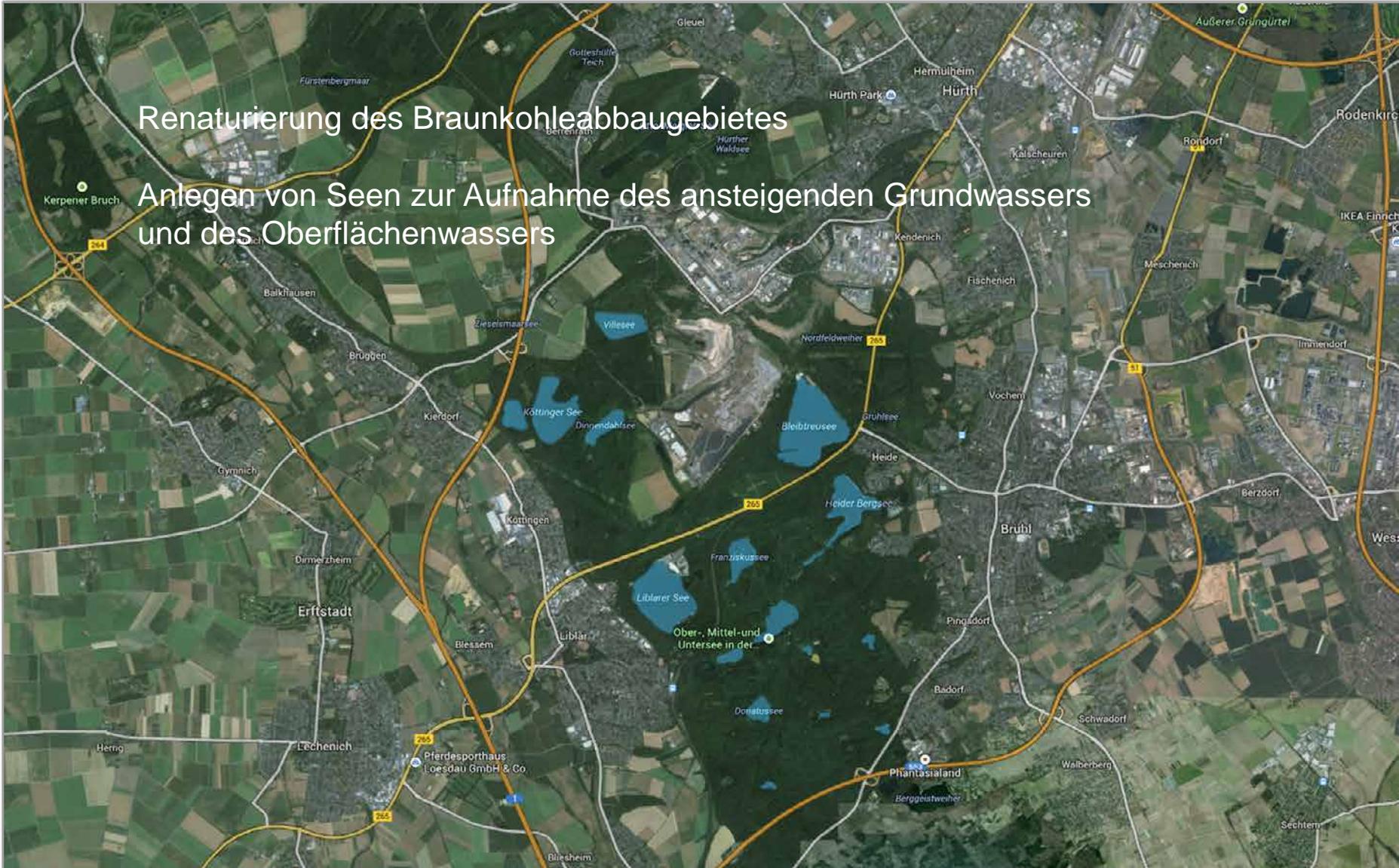
- Einführung
- Bestandsaufnahme / Aufgabenstellung
- Erste Lösungsansätze
- Planerische Umsetzung
- Bauliche Umsetzung
- Schluss







Renaturierung des Braunkohleabbaugebietes
Anlegen von Seen zur Aufnahme des ansteigenden Grundwassers
und des Oberflächenwassers





Gliederung

- Einführung
- Bestandsaufnahme / Aufgabenstellung
- Erste Lösungsansätze
- Planerische Umsetzung
- Bauliche Umsetzung
- Schluss





Querrisse an den Betonierabschnitten der Stollenkonstruktion



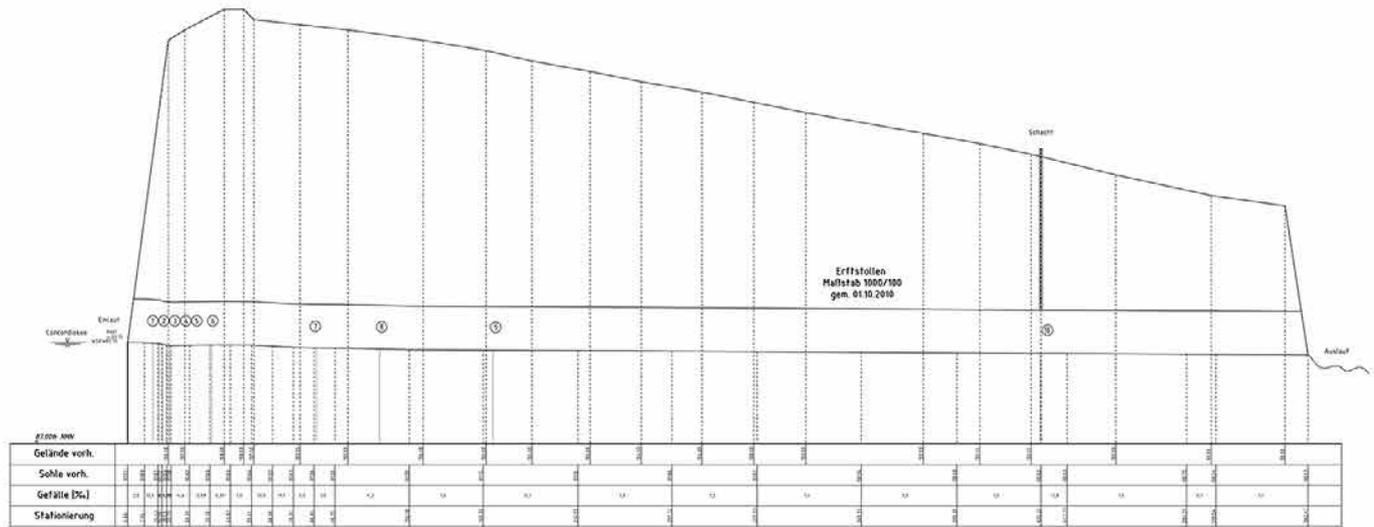
Querrisse an den Betonierabschnitten der Stollenkonstruktion



Längsrisse im Kämpfer- und im Scheitelbereich



Anlegestelle Einlaufbauwerk Beginn Stollen 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10





Massive Scherbenbildung



Massive Scherbenbildung



Querrisse bzw. Querspalten



Deformationen

Starke Versätze



EINSTURZGEFAHR ?



Wie kommt es zu einem so unterschiedlichen Schadensbild im Stollen?

Bergsenkungseinfluss



Bergsenkungseinfluss

„Erftsprung“

Tektonische Störung

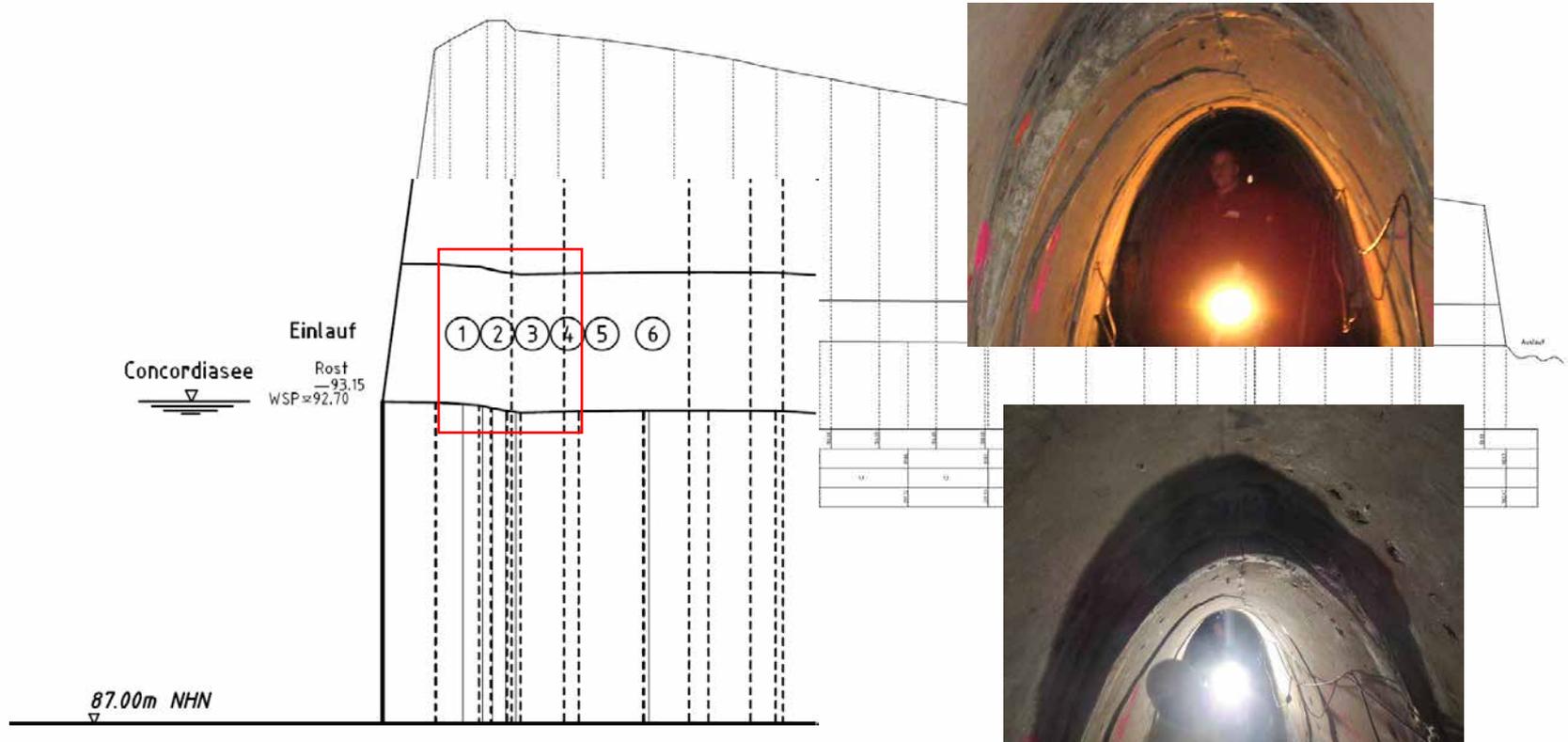
Bewegungsaktiv – 5 mm/a

Starke punktuelle Absatzbildung





Anlegestelle Einlaufbauwerk Beginn Stollen 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



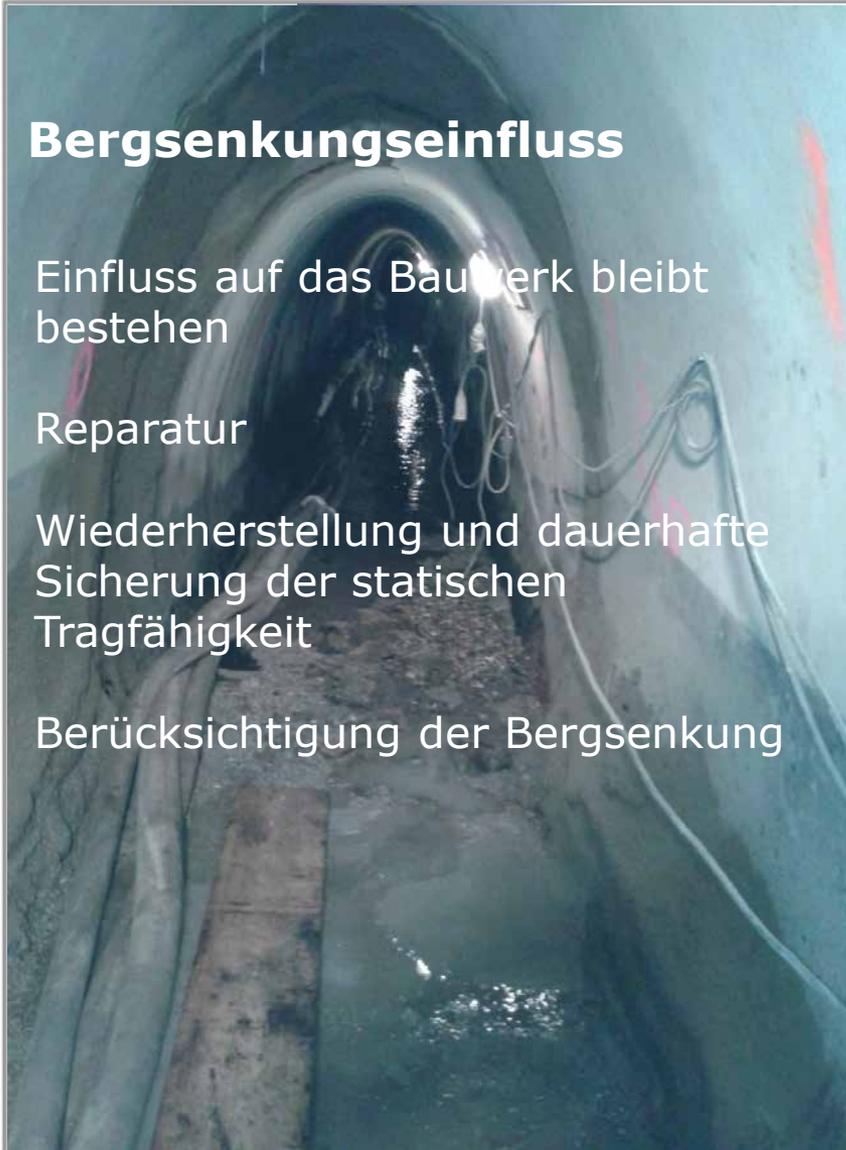
Bergsenkungseinfluss

Einfluss auf das Bauwerk bleibt bestehen

Reparatur

Wiederherstellung und dauerhafte Sicherung der statischen Tragfähigkeit

Berücksichtigung der Bergsenkung



Gliederung

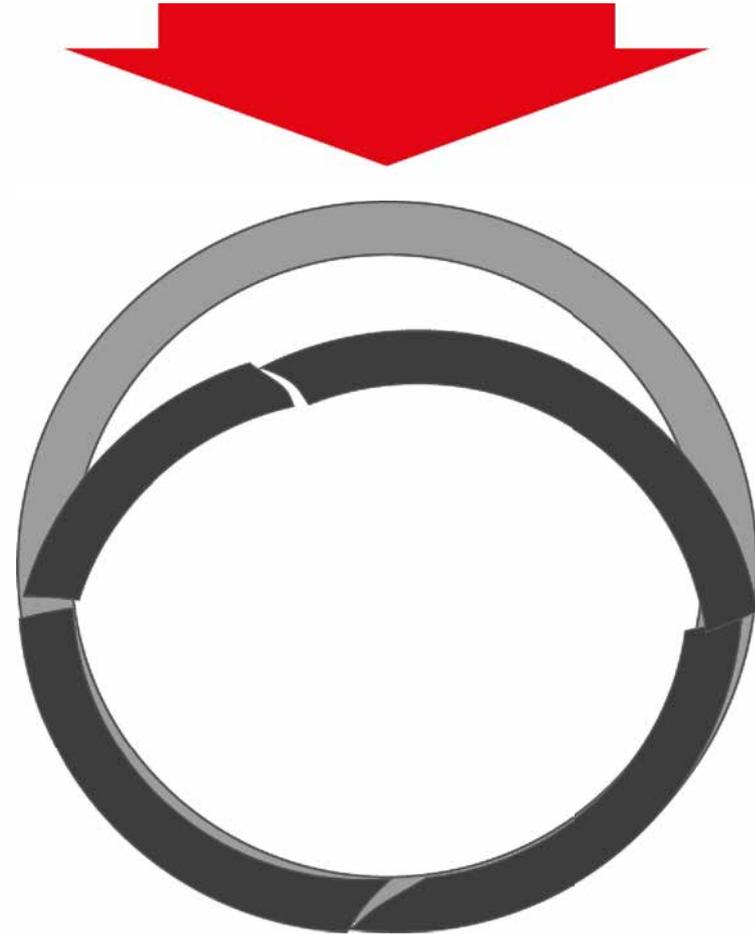
- Einführung
- Bestandsaufnahme / Aufgabenstellung
- Erste Lösungsansätze
- Planerische Umsetzung
- Bauliche Umsetzung
- Schluss



**Einfluss „Erftsprung“
→ keine einheitliche Setzung**

hohe Scherkräfte

Versagen Rohrquerschnitt







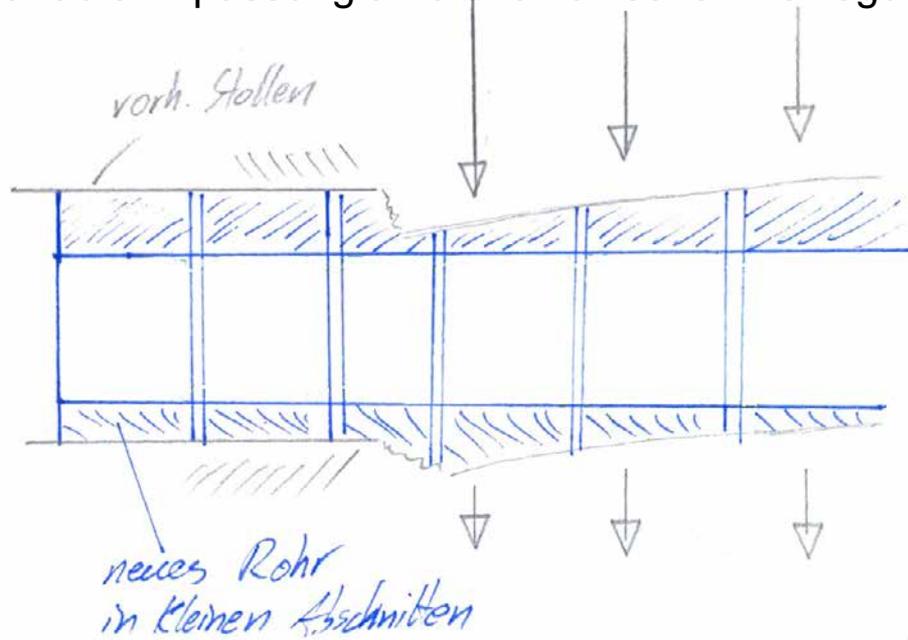
Unterirdischer Rohrvortrieb

Gekrümmte Vortriebe mit
Geringen Radien

Verwendung von Kurzrohre

→ Bildung eines Vielgelenkes

Vielgelenk-Konstruktion
Variable Anpassung an die tektonischen Bewegungen



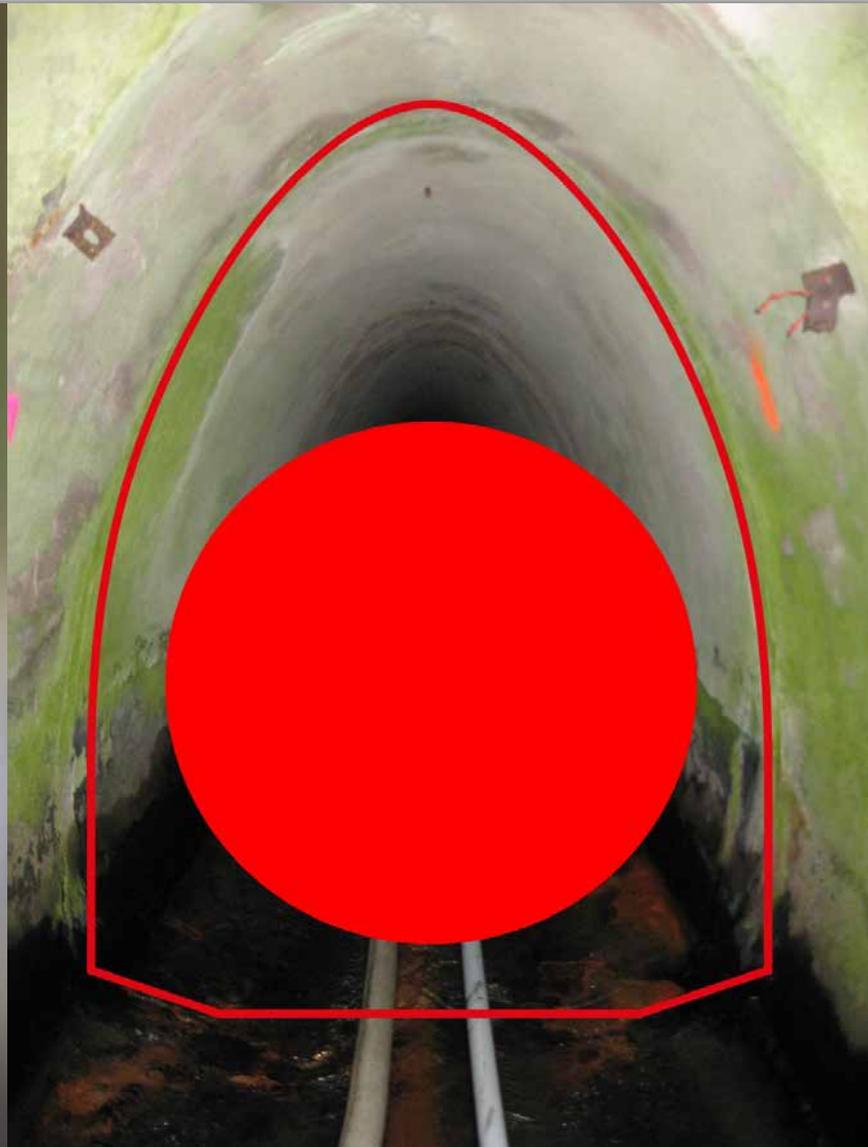
Gliederung

- Einführung
- Bestandsaufnahme / Aufgabenstellung
- Erste Lösungsansätze
- Planerische Umsetzung
- Bauliche Umsetzung
- Schluss



Varianten- untersuchung

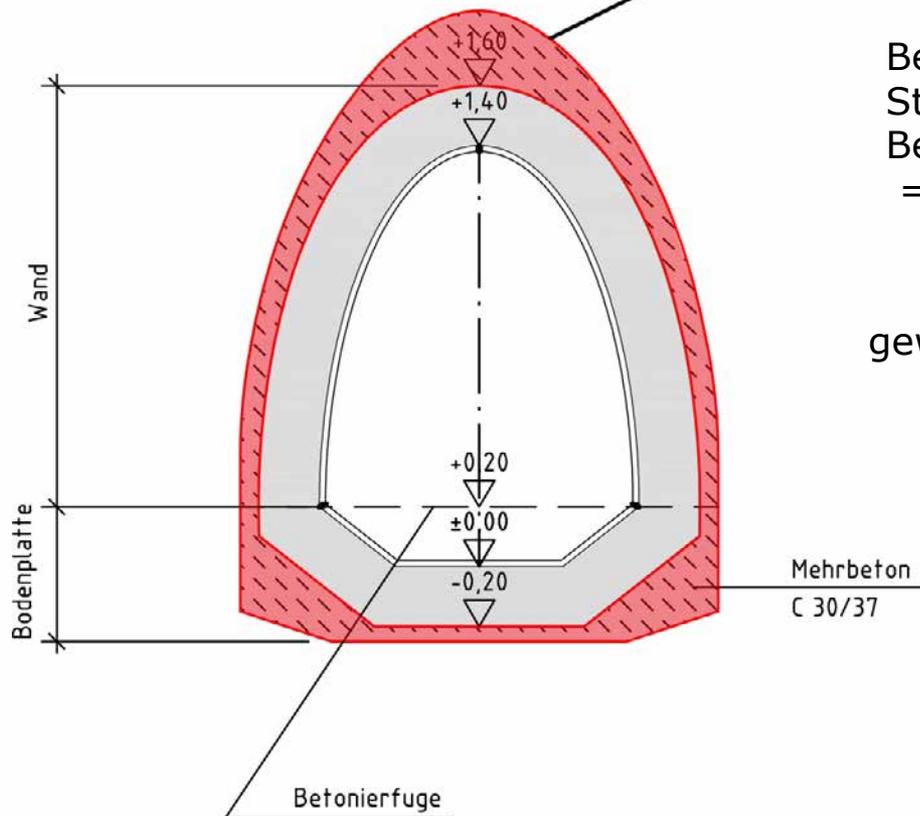
Stahlrohre
Ortbeton-Innenschale
GfK-Rohre
PE-/PP-Rohre
Guss-Rohre
Erneuerung



Hydraulische
Berechnung

Rohrquerschnitt
DN 1200

vorh. Stollenprofil 2,10x1,57



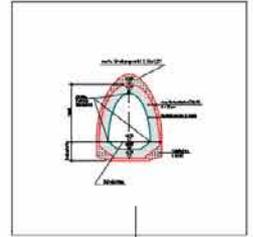
Stahlbeton-Innenschale
als statisch tragendes Element

Beton C 30/37, XC4 XF1 XA1; Körnung 0/16;
Statisch wirksamer Querschnitt 10 cm
Betondeckung 5 cm
= Wandstärke > 20 cm

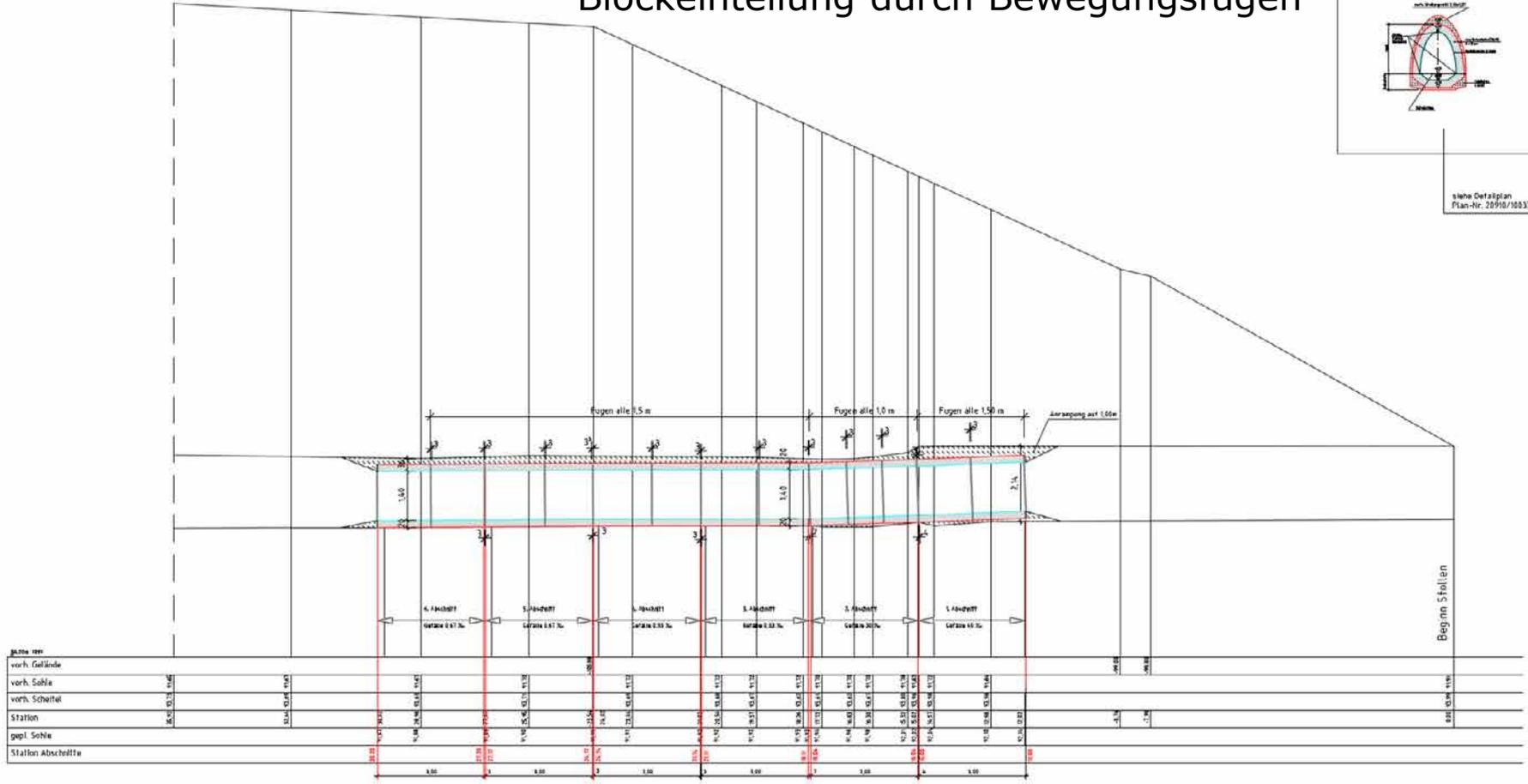
gewählt: liches Profil von B/H = 1,05/1,40 m

vielgliedriges Ort betonprofil

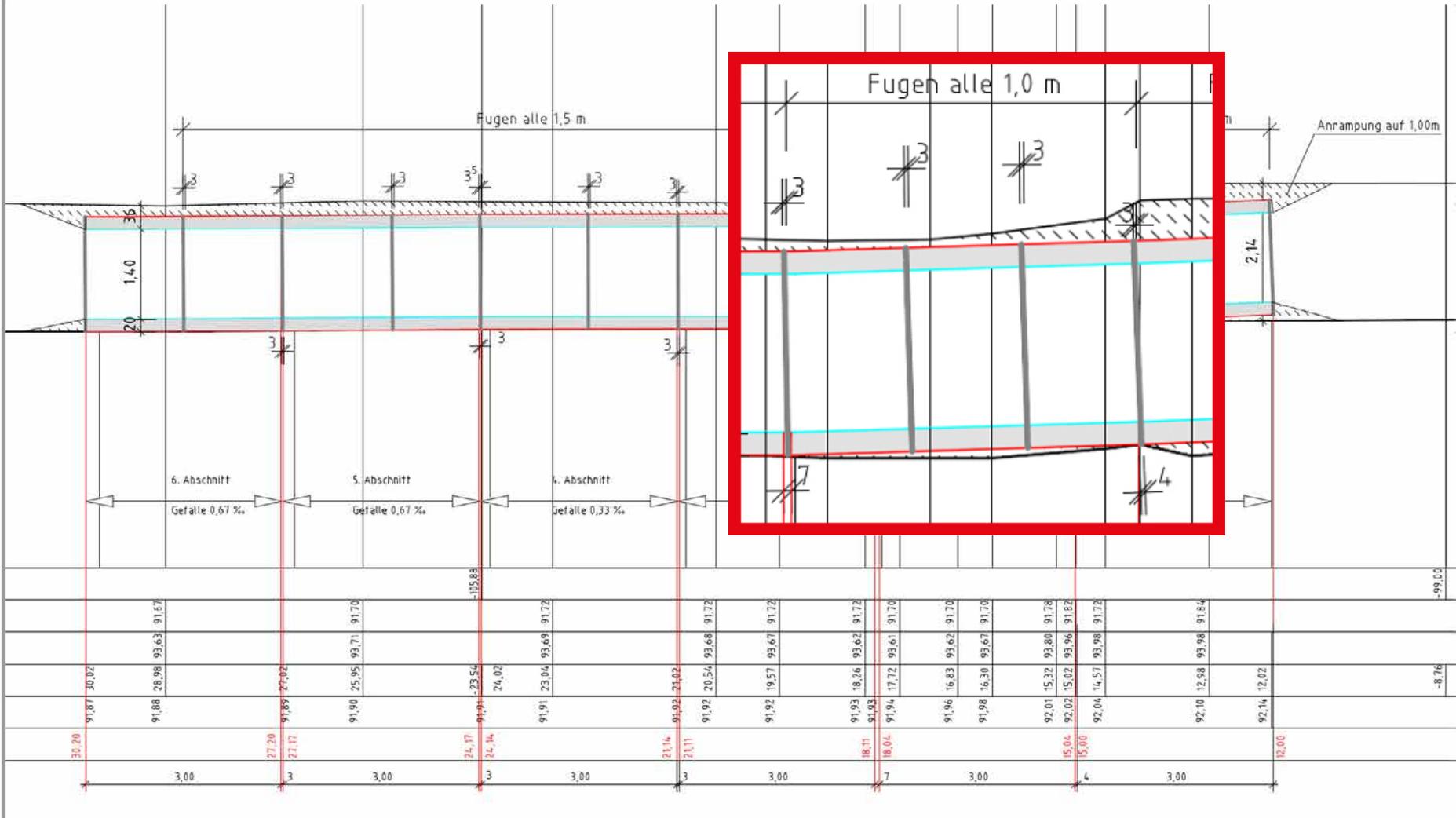
Blockeinteilung durch Bewegungsfugen



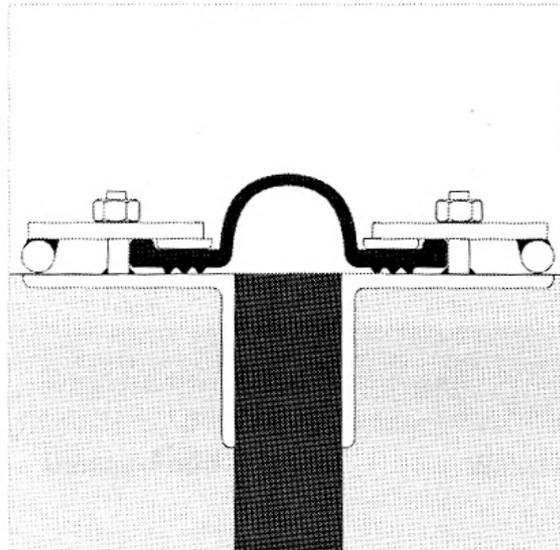
siehe Detailplan
Plan-Nr. 20950/10033726



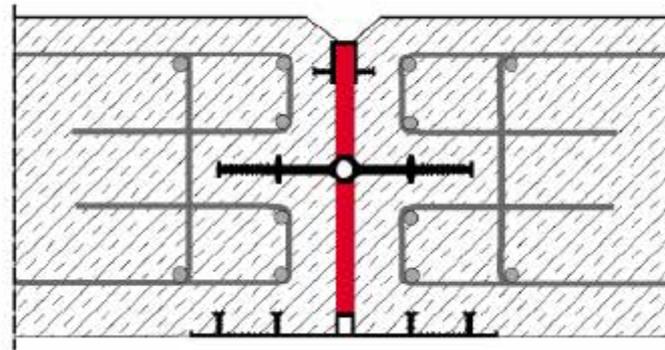
3 Blöcke mit Fugenabstand 1,00 m



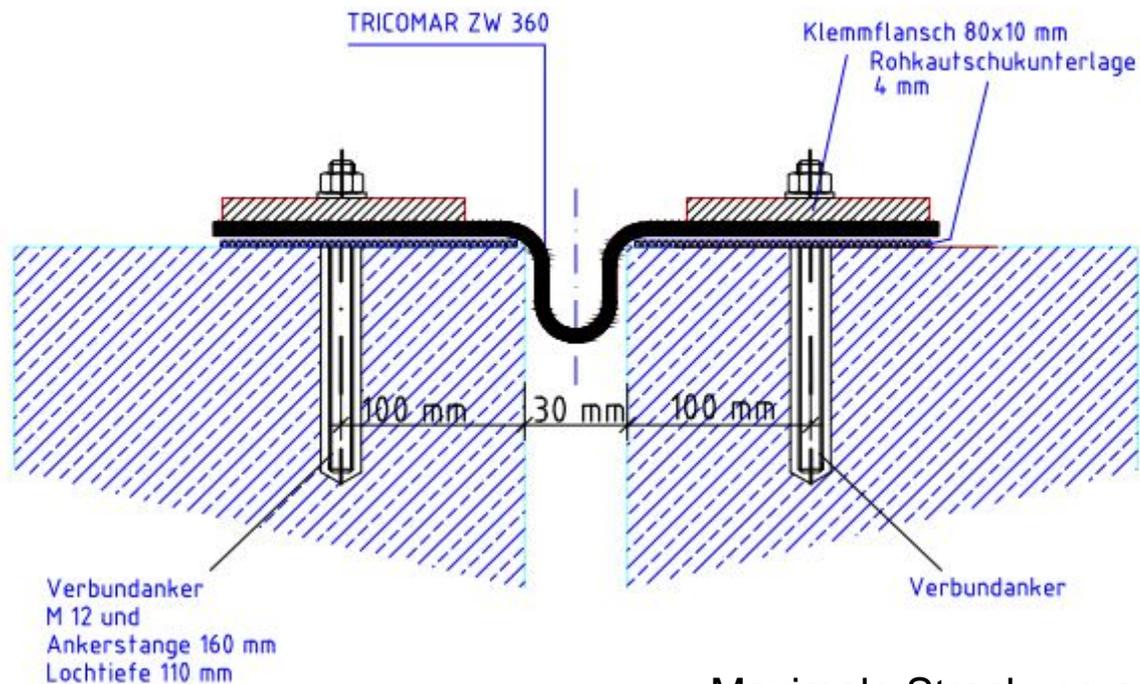
Handelsübliches Klemmfugenband



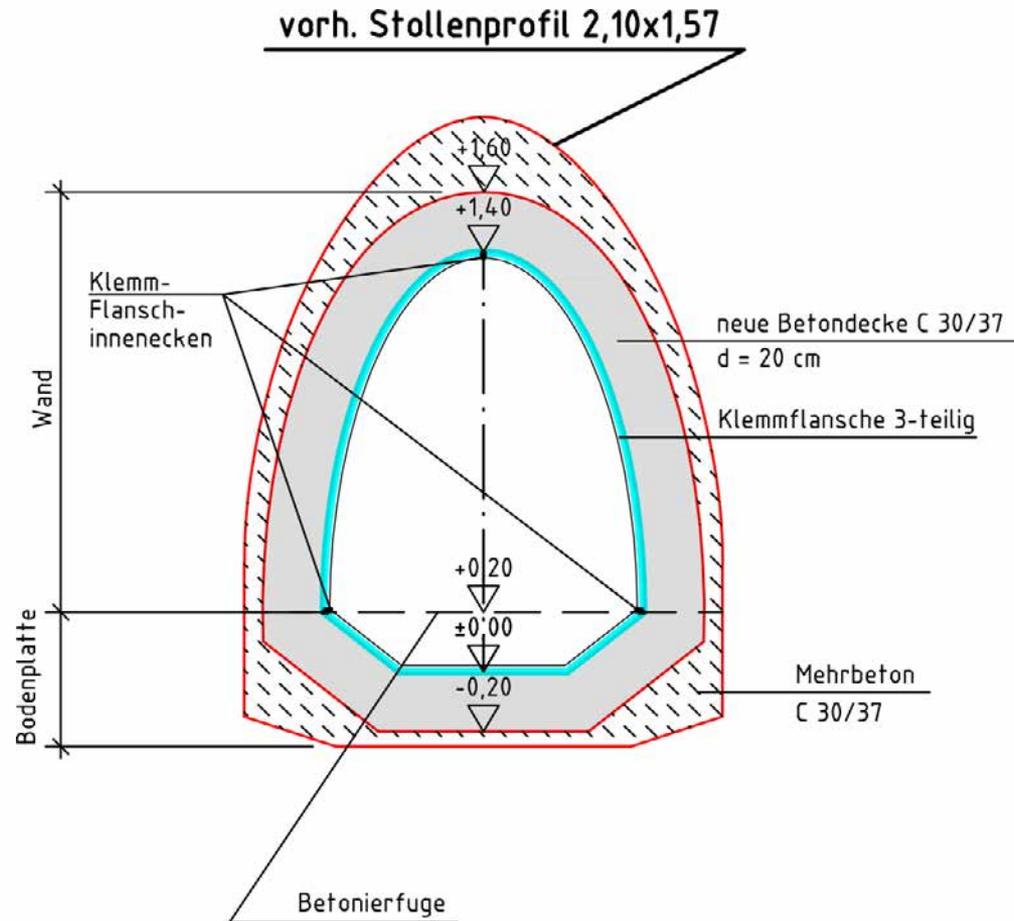
Einbetonierte Dehnungsfugenbänder



„Umgekehrtes“ Klemmfugenband an Flanschkonstruktion



Maximale Streckung erreicht
→ Austausch des Fugenbandes



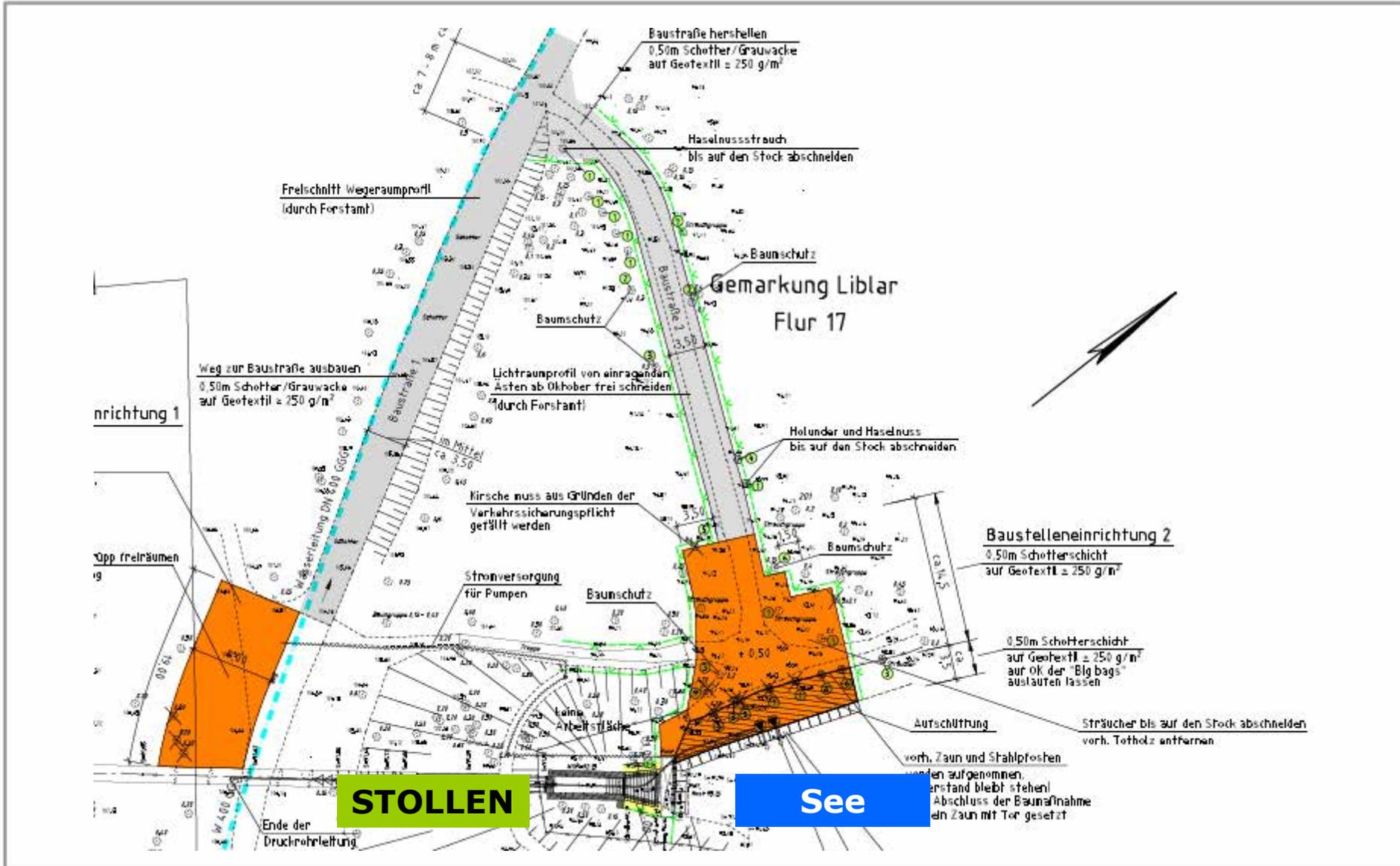
Gliederung

- Einführung
- Bestandsaufnahme / Aufgabenstellung
- Erste Lösungsansätze
- Planerische Umsetzung
- **Bauliche Umsetzung**
- Schluss





Bauliche Umsetzung an der Grenze des Machbaren



Bauststraße 1

Freischliff Wegeraumprofil (durch Forstamt)

Baumschutz

Weg zur Baustraße ausbauen

Lichttraumprofil von einragenden

Baust 0,50m auf G

Baustelleneinrichtung 2

0,50m Schottererschicht auf Geotextil $\approx 250 \text{ g/m}^2$

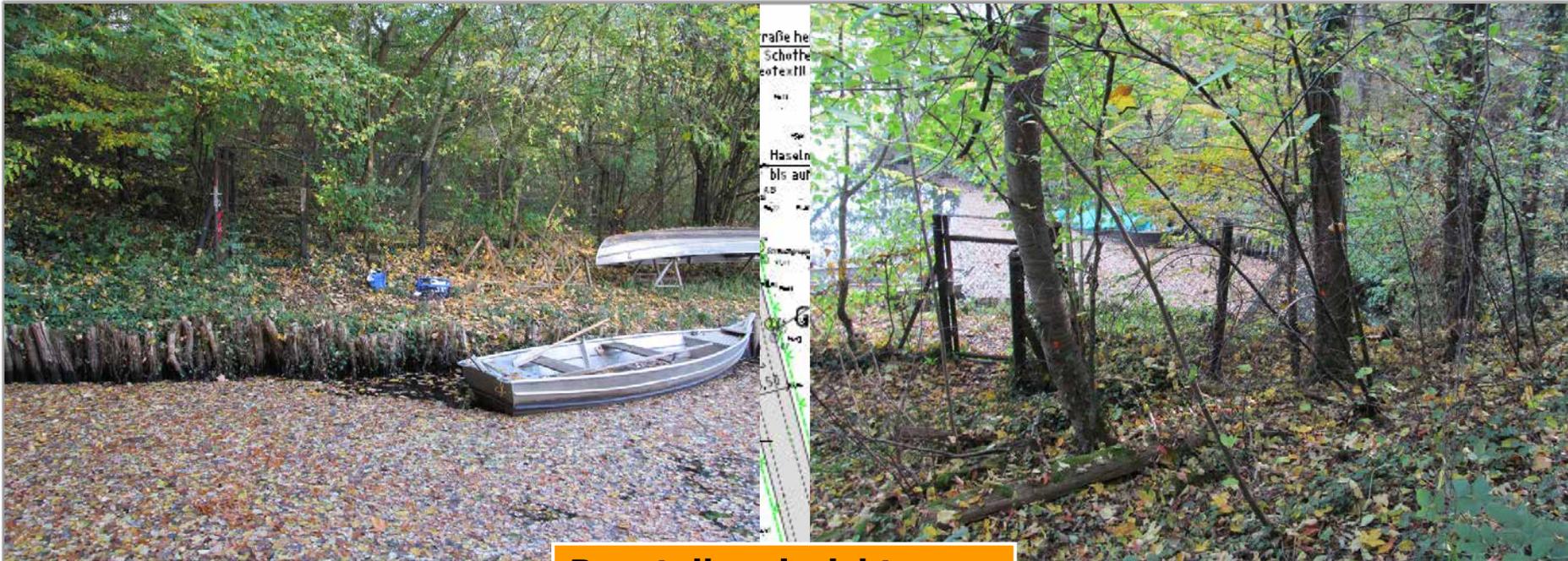
0,50m Schottererschicht auf Geotextil $\approx 250 \text{ g/m}^2$ auf OK der "Big bags" austauschen lassen

Autschliffung

vorh. Zaun und Stahlpfosten werden aufgenommen. Bestand bleibt stehen! Abschluss der Baumaßnahme den Zaun mit Tor gesetzt

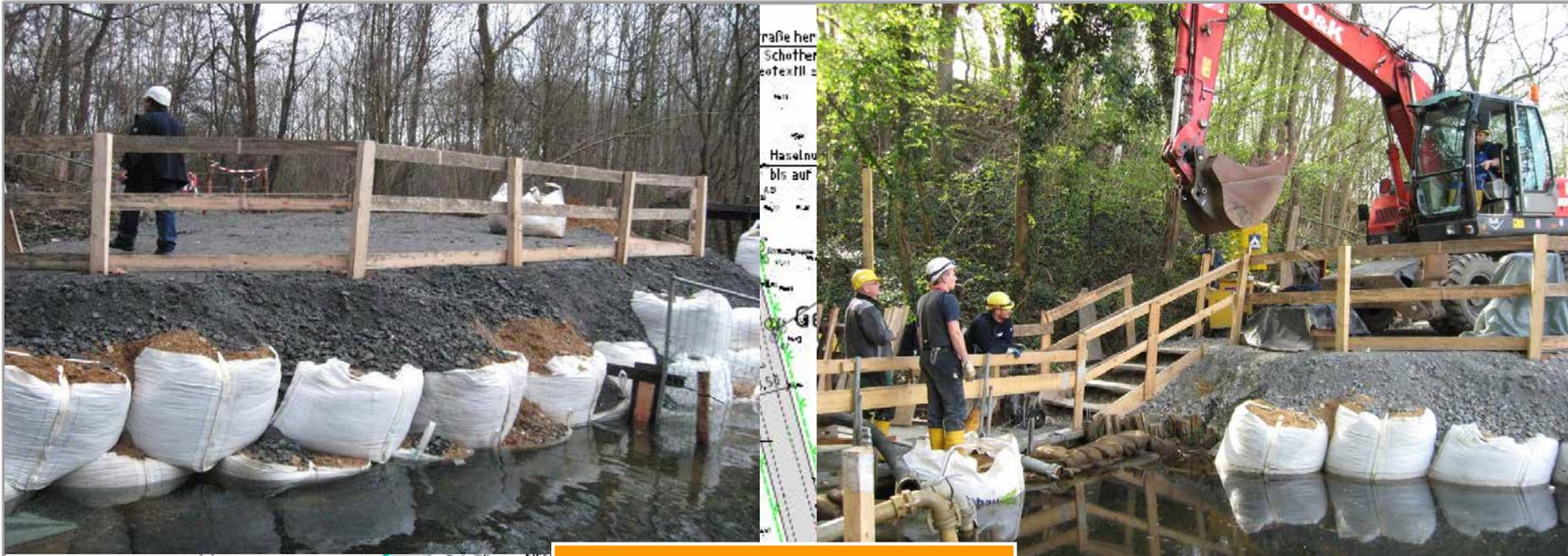
Sträucher bis auf den Stock abschneiden vorh. Totholz entharren

See



Baustelleneinrichtungsfläche Nr. 2

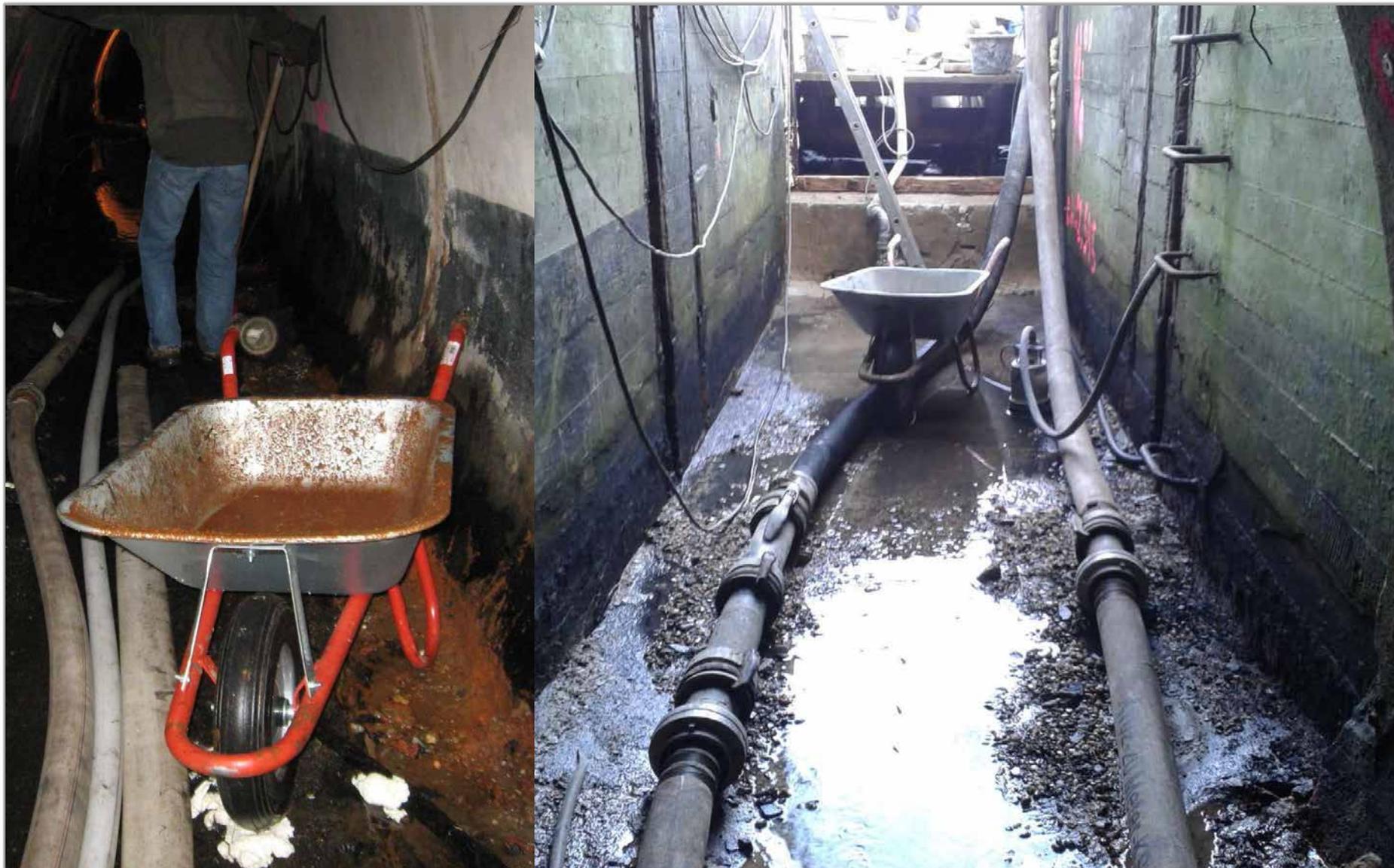




Baustelleneinrichtungsfläche Nr. 2





























12 Dehnungsfugen

47,5 m Fugenband

48 Stück Flansch-Innenecken

48 Stück Flansch-Bögen

665 Stück Gewindebolzen



Reparaturarbeiten im Stollenabschnitt außerhalb des Erftsprunges



Reparaturarbeiten im Stollenabschnitt außerhalb des Erftsprunges



Gliederung

- Einführung
- Bestandsaufnahme / Aufgabenstellung
- Erste Lösungsansätze
- Planerische Umsetzung
- Bauliche Umsetzung
- Schluss

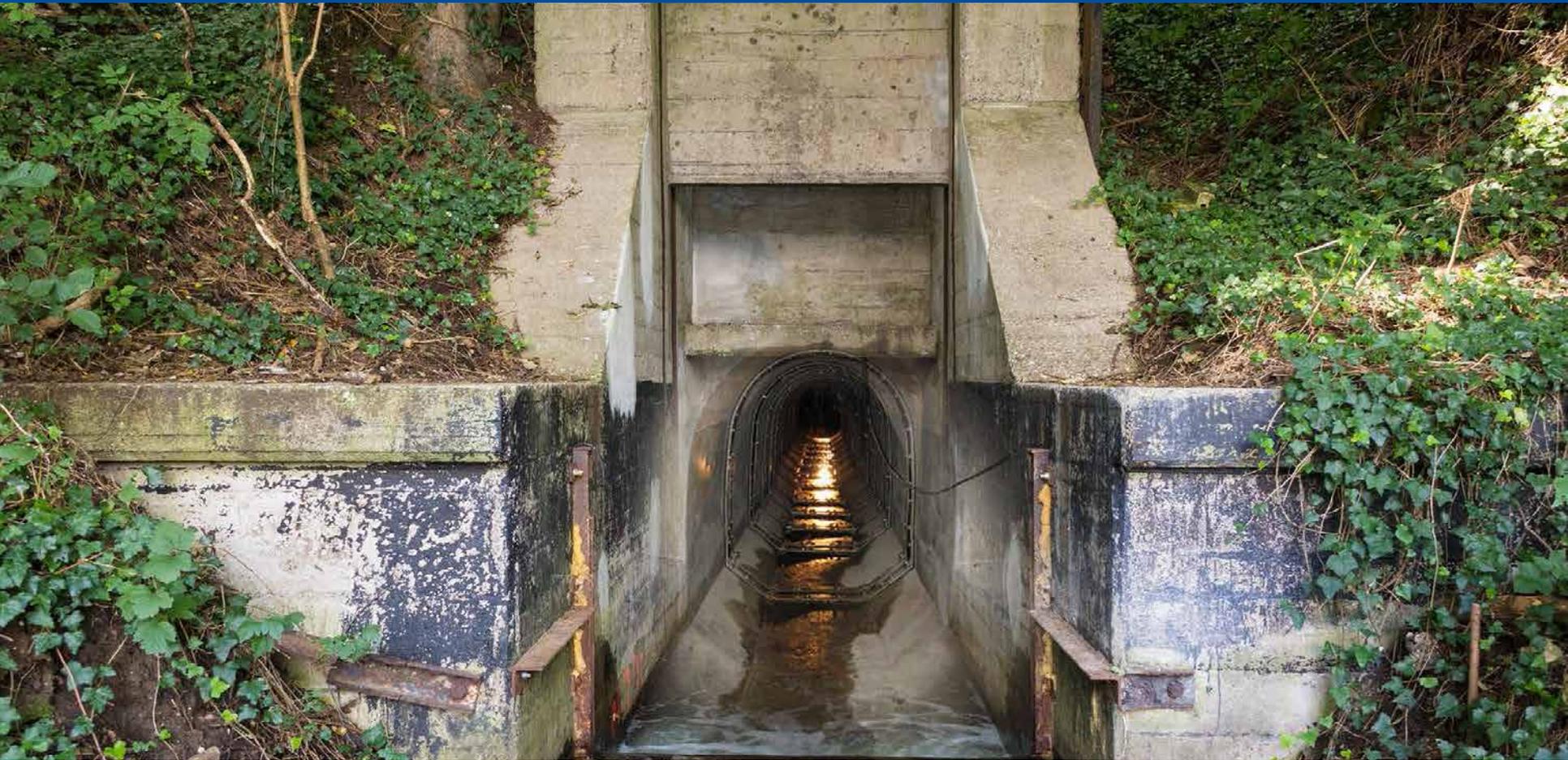


VOB-Abnahme

Genehmigungsrechtliche Abnahmen



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.



Kreative Ingenieurleistungen
für eine intakte Umwelt

**FRANZ
FISCHER**
Ingenieurbüro GmbH

Sachverständigenkolloquium 2015

Untersuchungen zur Mineralisierung humoser Böden

– Projektskizze –

Dr. Philipp Zeimetz

Schloss Paffendorf, 22.09.2015



VORWEG GEHEN

Ausgangssituation und Fragestellung

Ausgangssituation: Böden mit humosen Bestandteilen sind gering tragfähig

→ Bodenmechanische Gutachten sind wesentliche Basis bei der Planung von Bauwerken und bei der Untersuchung von Gebäudeschäden

Frage: Ab welchem Anteil humoser Beimengungen verändern sich Setzungs- und Scherverhalten feinkörniger Böden in relevanter Größenordnung?

Hypothese: Die 5%-Angabe (DIN 1054) gilt auch für den „Rheinischen Schluff“.

Frage: Sind Bodenproben, die nach Eintritt eines Gebäudeschadens durchgeführt werden, für die Beurteilung der Schadensursache geeignet?

Hypothese: Aufgrund des Abbaus der humosen Bestandteile unter Sauerstoffzufuhr von oben nach unten sind die festgestellten Glühverluste trotz des Torfverzehrs repräsentativ.

Prof. Herrmann
Universität Siegen

Untersuchungen und Bewertungen zum Einfluss der Mineralisierung humoser Böden (auf die Baugrundeigenschaften)

Prof. Schnell
Universität Gießen

Mikrobiologische Aktivitäten bei der Mineralisierung humoser Böden

Datengrundlage

- Bodenuntersuchungen werden seit den 1950er Jahren durchgeführt
- Seit Mitte der 1970er Jahre Bestimmung des Glühverlustes im Labor
- Präzisionshöhenmessungen seit den 1950er Jahren

Idee: Beurteilung der Veränderung der Böden

- 1. Schritt: Auswahl geeigneter Versuchsobjekte durch die Hochschulen
- 2. Schritt: Erneute Bodenuntersuchungen an ausgewählten Versuchsobjekten
 - Geotechnische Bodenuntersuchungen (Universität Siegen und RWE)
 - Mikrobiologische Untersuchungen (Universität Gießen)
 - Aktuelle Präzisionshöhenmessungen (RWE)

→ vertiefte Erkenntnisse über den Gesamtprozess des Torfverzehr und den Einfluss humoser Böden auf den Baugrund

Untersuchungen und Bewertungen zum Einfluss der Mineralisierung humoser Böden

In Böden enthaltene organische Bestandteile können das Verhalten eines Bodens maßgeblich beeinflussen. Abhängig vom Zersetzungsgrad der organischen Substanz und einem damit einhergehenden höheren Wassergehalt, ist eine Verringerung der Festigkeit feststellbar. Zusätzlich tritt aber auch eine stabilisierende Wirkung des Bodens durch noch vorhandene Fasern auf. Eine, insbesondere für die Baupraxis, wichtige Eigenschaft von Organik ist der Aspekt der Abbaubarkeit. Die Folge ist, je nach Sauerstoffzufuhr, eine Volumenreduktion der organischen Masse in der jeweiligen Bodenzone, was wiederum infolge des Massenverlustes mit Setzungen im gesamten Erdkörper einhergeht.

In dem Beitrag werden die langjährigen Untersuchungen der Universität Siegen zur Bestimmung und zum Verhalten feinkörniger Böden mit organischen Bestandteilen vorgestellt. Hiermit soll eine genauere Klassifizierung von Böden mit organischen Bestandteilen ermöglicht werden. Zu diesem Zweck wurde ein Flussdiagramm zur Bodenansprache entwickelt [2012], welches vorgestellt wird. Weitere Untersuchungen erfolgten mit der Zielsetzung das Setzungsverhalten sowie die Beeinflussung der Scherfestigkeit, in Abhängigkeit variabler organischer Bestandteile, näher zu beschreiben. Hier wird auch auf den Zusammenhang von differierenden organischen Bestandteilen und Setzungen eingegangen. Vergleichende Betrachtungen von bestehenden Projekten über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten fließen in die Betrachtung mit ein.

von Prof. Dr. Richard A. Herrmann,

Universität Siegen, Department Bauingenieurwesen, Institut für Geotechnik



Untersuchungen und Bewertungen zum Einfluss der Mineralisierung humoser Böden

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. Herrmann
Institut für Geotechnik der Universität Siegen**



Übersicht

1. Einleitung

2. Untersuchungen zur Bestimmung und zum Verhalten feinkörniger Böden mit organischen Bestandteilen

3. Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

4. Ausblick

5. Quellen



Einleitung

Mineralisierung - Definition nach „umweltlexikon-online – 2015“

Mineralisierung ist der Abbau organischer Verbindungen vorwiegend durch Mikroorganismen zu anorganischen Stoffen (Kohlendioxid, Wasser sowie Oxiden, Hybriden oder Mineralsalzen).



Einleitung

In Böden enthaltene organische Bestandteile können das Verhalten eines Bodens maßgeblich beeinflussen. Abhängig vom Zersetzungsgrad der organischen Substanz und dem damit einhergehenden höheren Wassergehalt, ist eine Verringerung der Festigkeit feststellbar. Zusätzlich tritt aber auch eine stabilisierende Wirkung des Bodens durch noch vorhandene Fasern auf.

Eine, insbesondere für die Baupraxis, wichtige Eigenschaft von Organik ist der Aspekt der Abbaubarkeit. Der Abbauprozess bei der aeroben Zersetzung ist stark abhängig von dem vorhandenen Sauerstoffgehalt. Die Folge von intensiver Sauerstoffzufuhr ist eine ausgeprägte Volumenreduktion der organischen Masse in der jeweiligen Bodenzone bis hin zum fast vollständigen Massenverlust, was wiederum infolge des Massenverlustes mit Setzungen im gesamten Erdkörper einhergeht.



Einleitung

Fällt die Sauerstoffzufuhr in der jeweiligen Bodenzone jedoch nur mäßig aus, können die Setzungen hier bspw. so gering ausfallen, dass sie nicht von gewöhnlichen Kriechsetzungen zu unterscheiden sind.

Die Untersuchungen erfolgten mit der Zielsetzung das Setzungsverhalten sowie die Beeinflussung der Scherfestigkeit, in Abhängigkeit variabler organischer Bestandteile, näher zu beschreiben. Zudem sollte eine genauere Klassifizierung von Böden mit organischen Bestandteilen ermöglicht werden.



Untersuchungen zur Bestimmung und zum Verhalten feinkörniger Böden mit organischen Bestandteilen

- *Leitfaden für „Probenentnahme, Bodenansprache und Laboruntersuchungen bei Böden mit organischen Bestandteilen“, 2011*
- *Bestimmung des organischen Anteils in feinkörnigen Böden, 2012*
- *Untersuchungen zum Setzungsverhalten von feinkörnigen Böden mit organischen Bestandteilen und Untersuchungen zur Klassifizierung von feinkörnigen Böden mit organischen Bestandteilen, 2013*
- *Weitergehende Untersuchungen zum Setzungsverhalten von feinkörnigen Böden mit organischen Bestandteilen, 2015*



Untersuchungen zur Bestimmung und zum Verhalten feinkörniger Böden mit organischen Bestandteilen

Leitfaden für „Probenentnahme, Bodenansprache und Laboruntersuchungen bei Böden mit organischen Bestandteilen“, 2011

1. Auf der Grundlage von geotechnischen Erkundungen in Form von Kleinrammbohrungen sind **ausreichend genaue** Erkundungen und Aufnahmen hinsichtlich der organischen Bestandteile eines Bodens möglich.
2. Eine **Fachkraft** ist befähigt mit Hilfe einer visuellen und olfaktometrischen Bodenansprache an den erbohrten Bodenproben organische Bestandteile sicher ausfindig zu machen.



Untersuchungen zur Bestimmung und zum Verhalten feinkörniger Böden mit organischen Bestandteilen

Leitfaden für „Probenentnahme, Bodenansprache und Laboruntersuchungen bei Böden mit organischen Bestandteilen“, 2011

3. Mit der erreichten Probenqualität können weiterreichende Laboruntersuchungen zum organischen Anteil durchgeführt werden.
4. Der **Standardversuch der Bodenmechanik** zur Bestimmung des organischen Anteils eines Bodens (**Glühverlust nach DIN 18128**) , liegt die bautechnische Relevanz betreffend, immer **auf der sicheren Seite** da ein größerer Anteil ermittelt wird, als tatsächlich an organischen Bestandteilen vorliegt.



Untersuchungen zur Bestimmung und zum Verhalten feinkörniger Böden mit organischen Bestandteilen

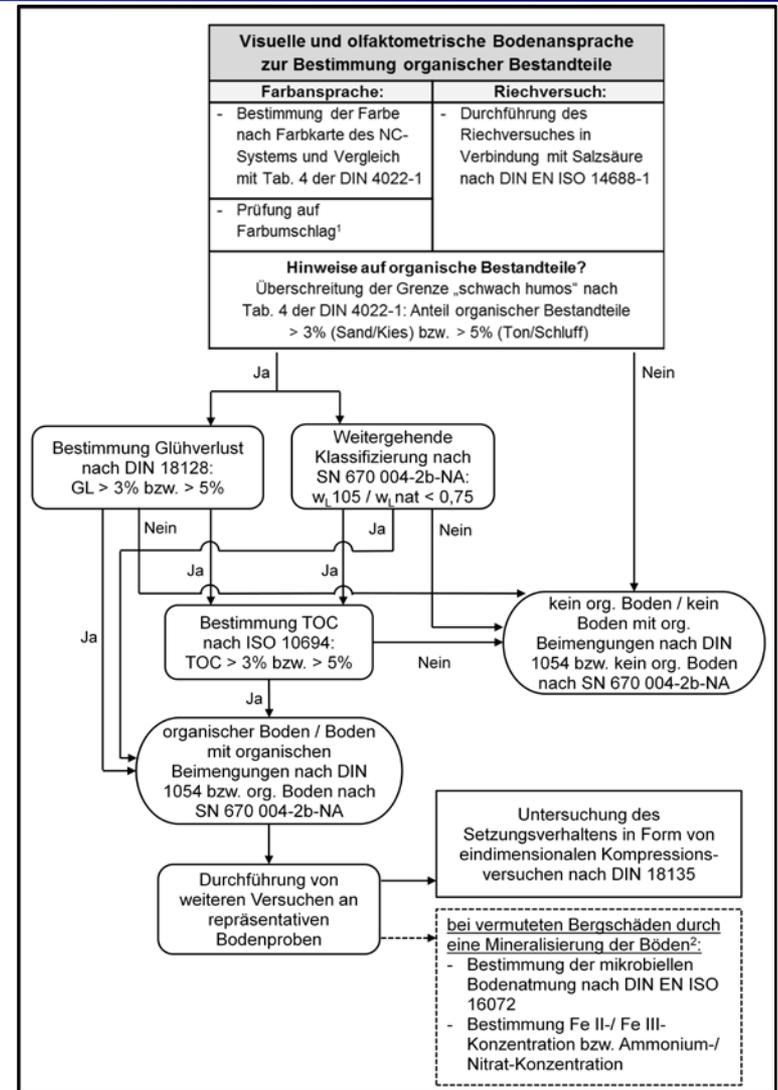
Bestimmung des organischen Anteils in feinkörnigen Böden, 2012

1. Querschnittsstudie
2. Literaturrecherche
3. Erarbeitung eines Flussdiagrammes zur visuellen und olfaktometrischen Bodenansprache zur Bestimmung organischer Bestandteile



Untersuchungen zur Bestimmung und zum Verhalten feinkörniger Böden mit organischen Bestandteilen

Flussdiagramm zur Bodenansprache
Institut für Geotechnik
Universität Siegen, 2012





Untersuchungen zur Bestimmung und zum Verhalten feinkörniger Böden mit organischen Bestandteilen

Untersuchungen zum Setzungsverhalten von feinkörnigen Böden mit organischen Bestandteilen und Untersuchungen zur Klassifizierung von feinkörnigen Böden mit organischen Bestandteilen, 2013

1. Herstellung von Versuchsböden mit unterschiedlichem organischen Anteilen
2. Umfang und Untersuchungsprogramm:
 - Kompressionsversuche nach DIN 18135
 - Scherversuche nach DIN 18137
 - Best. Glühverlust nach DIN 18128
 - Bestimmung des TOC - Total Organic Carbon nach ISO 10694
 - Fließgrenzen und Ausrollversuche nach DIN 18122



Untersuchungen zur Bestimmung und zum Verhalten feinkörniger Böden mit organischen Bestandteilen

Weitergehende Untersuchungen zum Setzungsverhalten von feinkörnigen Böden mit organischen Bestandteilen, 2015

1. Vergleichende Betrachtung von 5 Projekten im Einflussbereich der Grundwasserabsenkung durch RWE Power AG
2. Umfang und Untersuchungsprogramm:
 - Bohrprofile,
 - Schichtenverzeichnisse,
 - Laborversuche – insb. Best. Wassergehalte und Glühverluste,
 - geodätische Untersuchungen
3. Untersuchungszeiträume von 21 Jahren (Projekt 7: 1990-2011 und 8: 1989-2010) bis 44 Jahre (Projekt 2: 1967-2011)



Untersuchungen zur Bestimmung und zum Verhalten feinkörniger Böden mit organischen Bestandteilen

Weitergehende Untersuchungen zum Setzungsverhalten von feinkörnigen Böden mit organischen Bestandteilen, 2015



3,67 [M.-%]

4,83 [M.-%]
(TOC)

9,97 [M.-%]



Proben nach dem Glühen



Untersuchungen zur Bestimmung und zum Verhalten feinkörniger Böden mit organischen Bestandteilen

Weitergehende Untersuchungen zum Setzungsverhalten von feinkörnigen Böden mit organischen Bestandteilen, 2015

Perforierter Probenkörper





Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

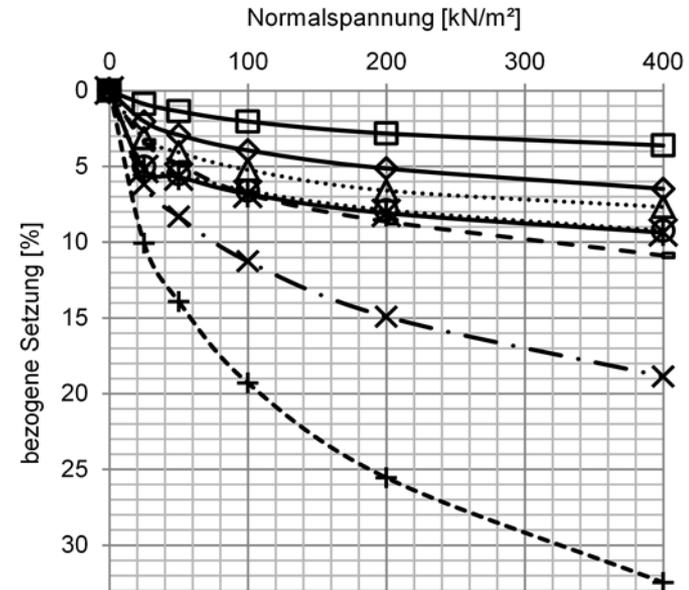
Untersuchungen zum Druck-Setzungsverhalten

Kompressionsversuch nach DIN 18135

Druck-Setzungs-Diagramm

Normalspannungen:

25,0 - 50,0 - 100,0 – 200,0 – 400,0 [kN/m²]



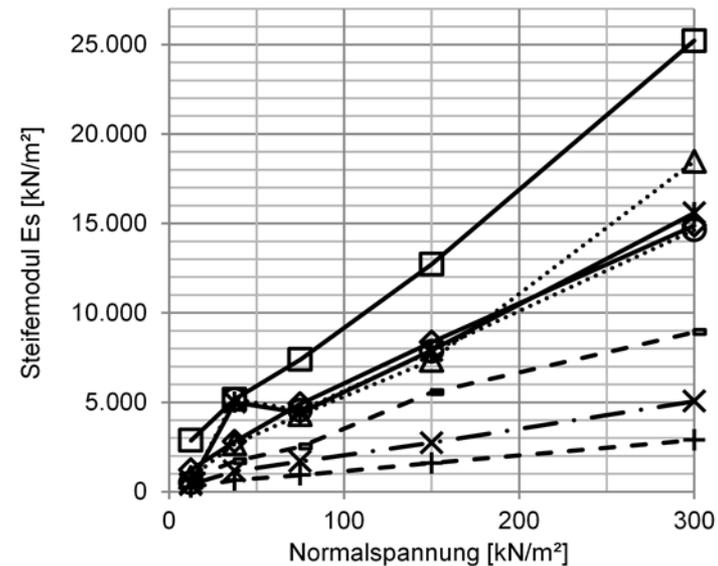
—■—	TOC=0,21% / Vgl=1,47% / w=11,33%
—◆—	TOC=0,21% / Vgl=1,47% / w=17,52%
...▲...	TOC=0,21% / Vgl=1,47% / w=16,91% - perforiert
—■—	TOC=0,21% / Vgl=1,47% / w=20,96%
...●...	TOC=0,21% / Vgl=1,47% / w=21,03% - perforiert
---	TOC=3,67% / Vgl=4,90% / w=27,13%
—x—	TOC=4,83% / Vgl=7,60% / w=40,32%
---+	TOC=9,97% / Vgl=18,62% / w=95,09%



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Untersuchungen zum Druck-Setzungsverhalten

**Steifemodule E_s (Sekantenmodule)
der betrachteten Normalspannungsbereiche
über die Normalspannung**



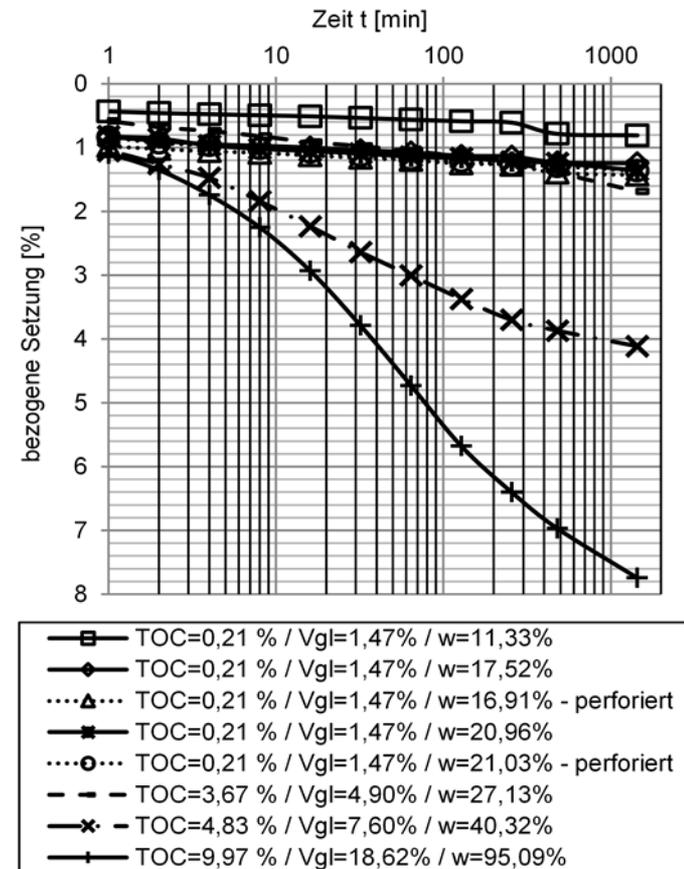
—■—	TOC=0,21% / Vgl=1,47% / w=11,33%
—◆—	TOC=0,21% / Vgl=1,47% / w=17,52%
···▲···	TOC=0,21% / Vgl=1,47% / w=16,91% - perforiert
—✕—	TOC=0,21 % / Vgl=1,47% / w=20,96%
···⊙···	TOC=0,21 % / Vgl=1,47% / w=21,03% - perforiert
- - -	TOC=3,67 % / Vgl=4,90% / w=27,13%
—✕—	TOC=4,83 % / Vgl=7,60% / w=40,32%
- + -	TOC=9,97 % / Vgl=18,62% / w=95,09%



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Untersuchungen zum Druck-Setzungsverhalten

Zeit-Setzungslinien des Rheinischen Schluff
mit unterschiedlichen Wassergehalten
($\sigma = 200 \text{ kN/m}^2$, halblog. Maßstab)





Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Untersuchungen zum Scherverhalten

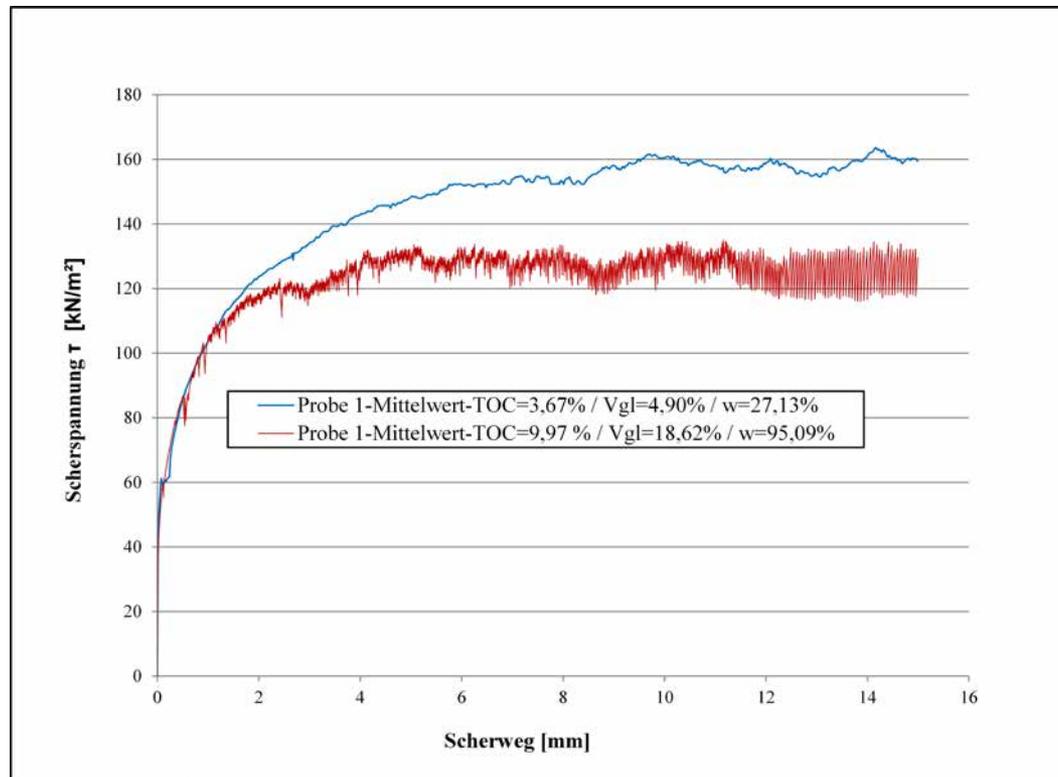
Probenbezeichnung	Mittelwerte TOC = 0,21 %			Mittelwerte TOC = 3,67 %			Mittelwerte TOC = 4,83 %			Mittelwerte TOC = 9,97 %		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Versuch [-]	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Normalsp. [kN/m ²]	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300
Max. Schersp. [kN/m ²]	74,5	136,5	193,1	71,77	123,2	162,3	54,3	98,6	141,2	51,8	99,6	133,5
Schergeschw. [mm/min]	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Einbaudichte [g/cm ³]	1,950	1,960	1,960	1,911	1,908	1,912	1,775	1,771	1,779	1,538	1,539	1,540
Kornrohdichte [g/cm ³]	2,703			2,603			2,547			2,315		
Reibungswinkel [°]	30,66			24,35			23,48			22,21		
Kohäsion [kN/m ²]	16,17			28,57			11,14			13,29		
Korrelation [1]	1,00			0,99			1,00			0,99		

Ergebnisse der Scherversuche nach DIN 18137-3



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Untersuchungen zum Scherverhalten



Spannungs-Weg-Diagramm – Oszillieren der Scherspannung bei TOC = 9,97 %

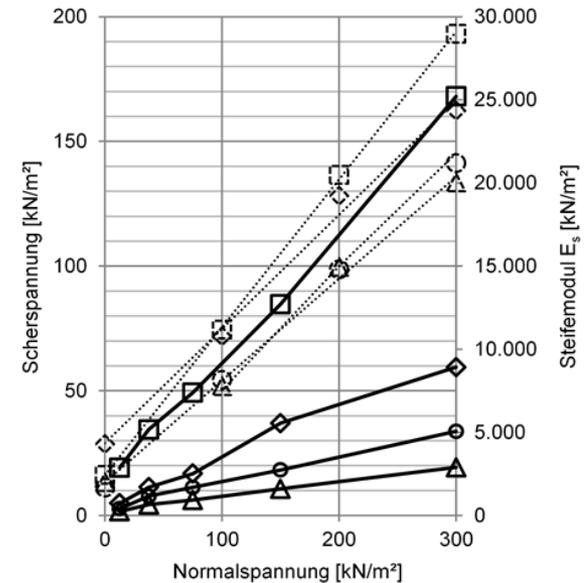


Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Superposition der Steifemodule und der Scherfestigkeiten

Analogien zwischen dem
Scher- und Kompressionsverhalten erkennbar

Diskrepanz wird größer mit zunehmendem
organischen Anteil und Wassergehalt

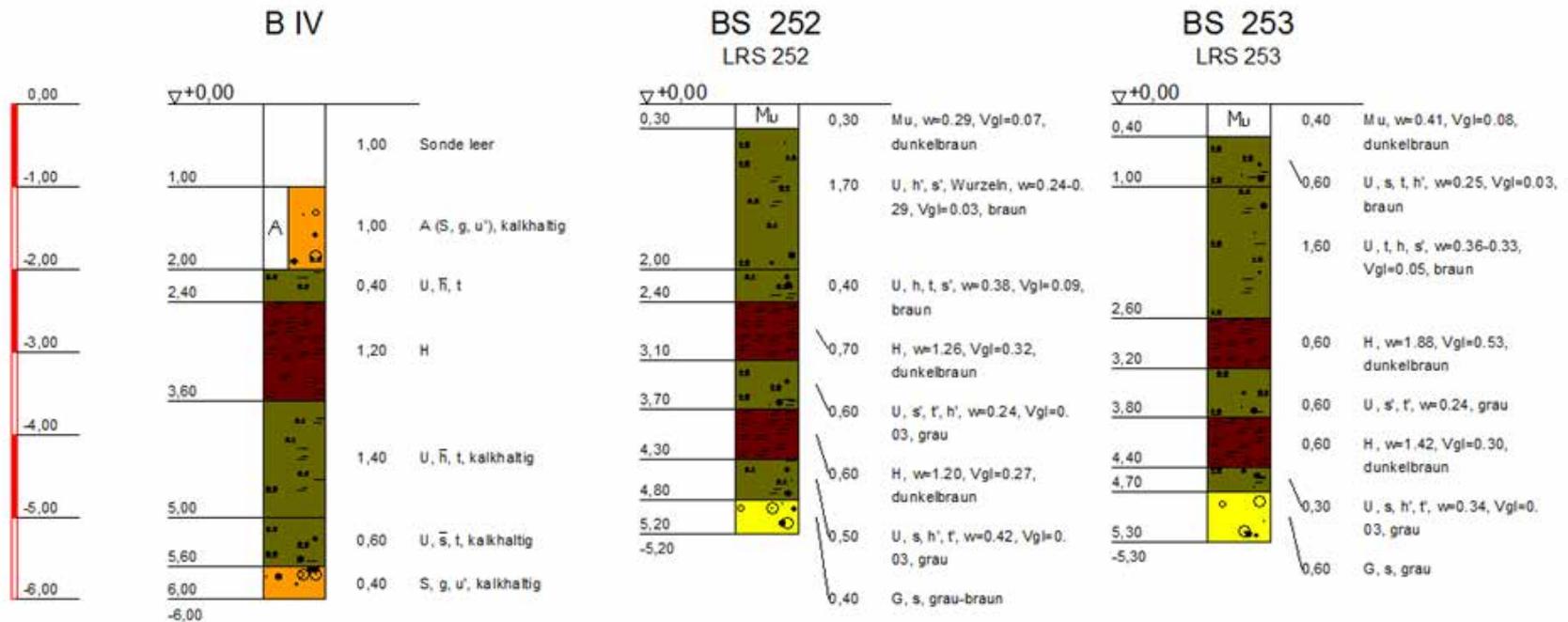


□	Scherspannung TOC=0,21% / Vgl=1,47%
◇	Scherspannung TOC=3,67 % / Vgl=4,90%
○	Scherspannung TOC=4,83 % / Vgl=7,60%
△	Scherspannung TOC=9,97 % / Vgl=18,62%
—□—	Steifemodul TOC=0,21% / Vgl=1,47% / w=11,33%
—◇—	Steifemodul TOC=3,67 % / Vgl=4,90% / w=27,13%
—○—	Steifemodul TOC=4,83 % / Vgl=7,60% / w=40,32%
—△—	Steifemodul TOC=9,97 % / Vgl=18,62% / w=95,09%



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Vergleichende Betrachtung der Baugrundaufschlüsse Projekt 2

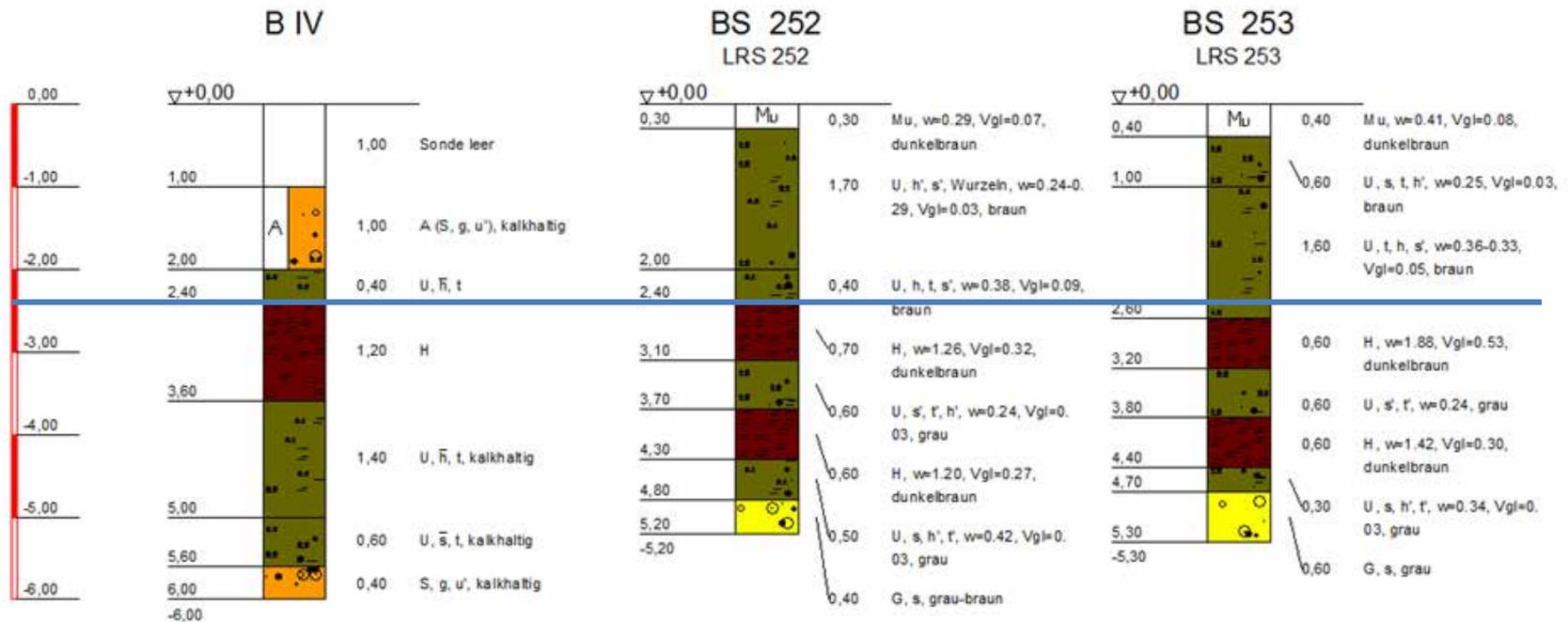


Vergleich der Baugrundaufschlüsse BIV (1967) und BS 252 / 253 (1989) – Projekt 2



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Vergleichende Betrachtung der Baugrundaufschlüsse Projekt 2



Vergleich der Baugrundaufschlüsse BIV (1967) und BS 252 / 253 (1989) – Projekt 2



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Vergleichende Betrachtung der Baugrundaufschlüsse Projekt 2

In allen Aufschlüssen sind Torflagen ausgewiesen, die in den anderen Aufschlüssen aus dem Jahre 1967 nicht erwähnt werden.

Diese haben in B IV eine Mächtigkeit von 1,20 m, in BS 252 und BS 253 werden lediglich 0,70 m und 0,60 m ausgewiesen.

Eindeutig wird die Organik durch Wassergehalte von $w_{BS252} = 126 \% / w_{BS253} = 188 \%$ und Glühverluste mit $V_{gl\ BS252} = 32 \%$ bzw. $V_{gl\ BS253} = 53 \%$ nachgewiesen.



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Vergleichende Betrachtung der Baugrundaufschlüsse Projekt 2

BS 252

Projekt 2

1989

RWE

RKS 252.1

Projekt 2

2015

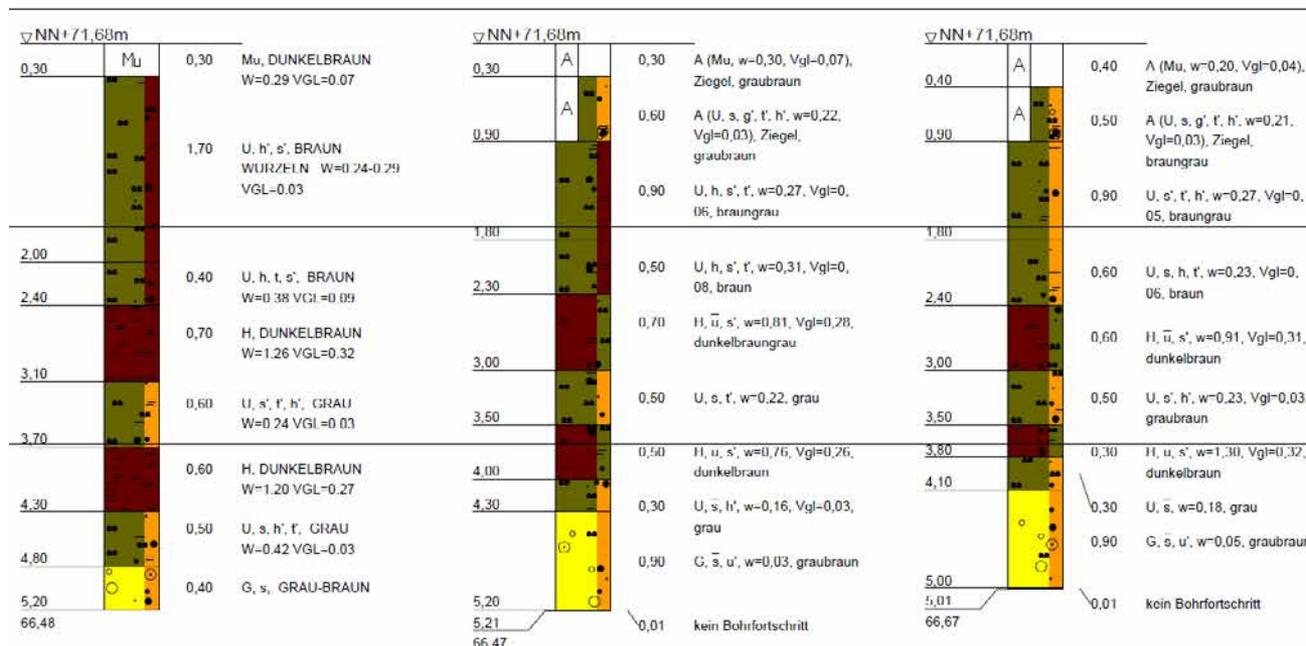
RWE

RKS 252.2

Projekt 2

2015

RWE



Vergleich der Baugrundaufschlüsse BS 252 (1989) und BS 252 (2014) – Projekt 2

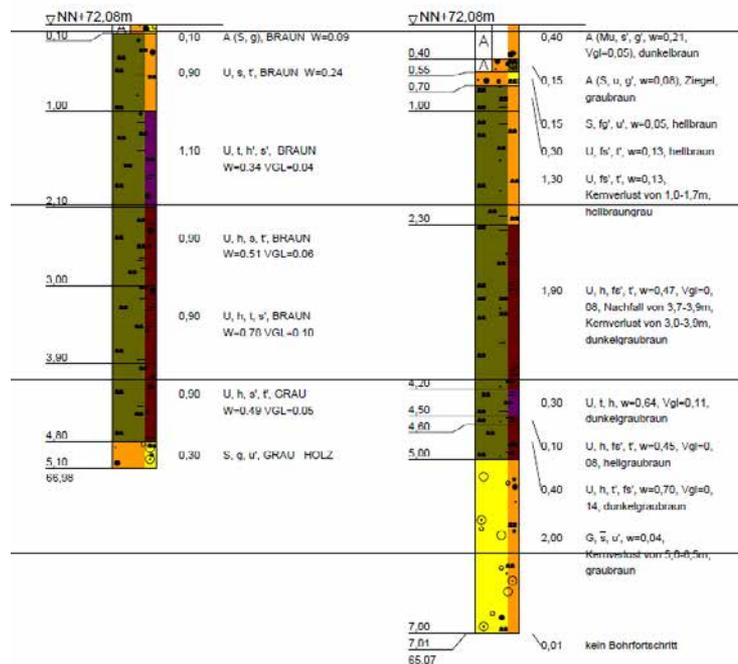


Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Vergleichende Betrachtung der Baugrundaufschlüsse Projekt 2

BS 254
Projekt 2
1989
RWE

RKS 254
Projekt 2
BU2014063
RWE

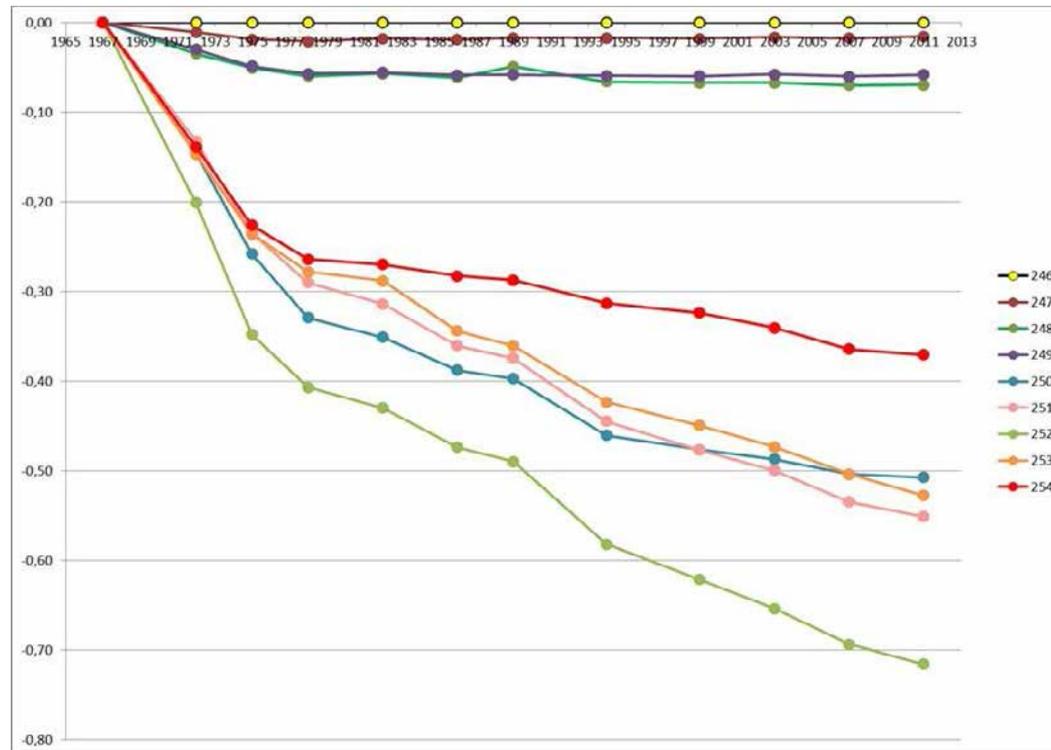


Vergleich der Baugrundaufschlüsse BS 254 (1989) und BS 254 (2014) – Projekt 2



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Zeitlicher Verlauf der Setzungen - Projekt 2



Zeitlicher Verlauf der Setzungen / Hebungen – Projekt 2



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Zeitlicher Verlauf der Setzungen - Projekt 2

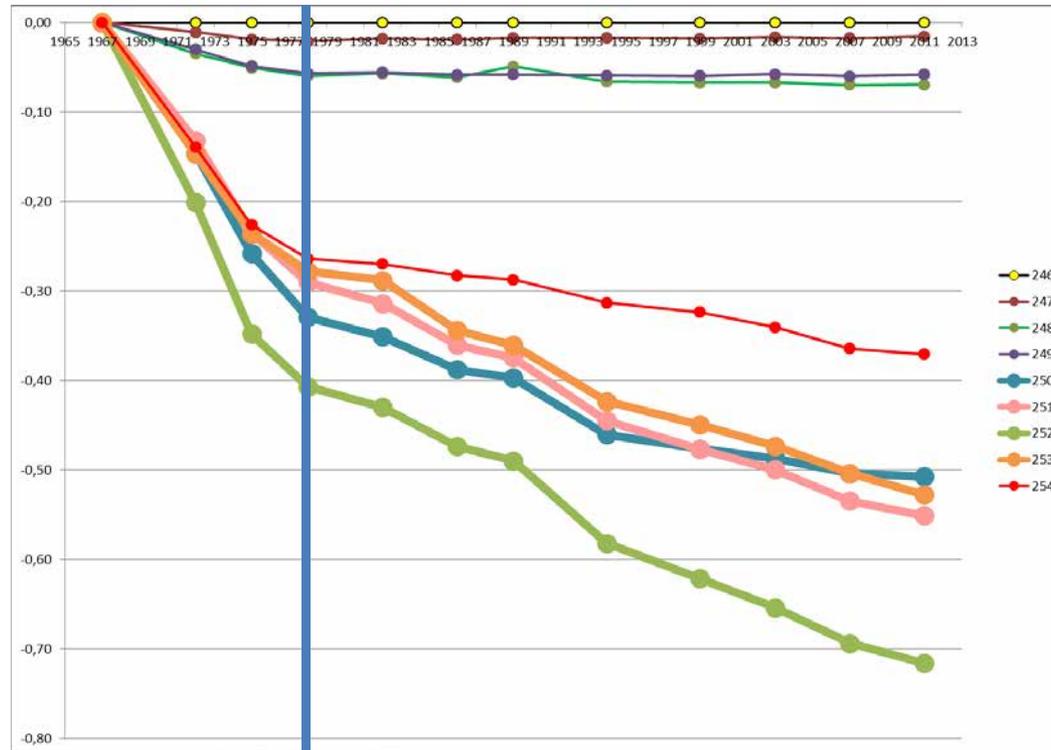
Betrachtet man die Ergebnisse der Nivellementdaten weisen die Messpunkte 247, 248 und 249 **keine nennenswerten Setzungsmaße** auf. Die Werte liegen im Bereich der Messungengenauigkeit. Dies stellen auch die direkten Aufschlüsse, mit **keinen ausgewiesenen organogenen Schichten**, eindeutig dar.

Für die Messpunkte 250 bis 254, welche mit den entsprechenden Bohrungen BS 250 bis 254 aus 1989, bzw. den Bohrungen B III bis B V aus dem Jahre 1967 korrelieren, sind **stark humose und organische Bestandteile mit sehr hohen Wassergehalten und Glühverlusten**, wie zuvor dargestellt, ausgewiesen und weisen entsprechend hohe Setzungsmaße über den Messzeitraum von 44 Jahren mit Werten von **0,37 m** für Pkt. 254 über Werte **von i.M. 0,53 m** für die Punkte 250, 251 und 253 bis zu **0,72 m** in Punkt 252 aus.



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Zeitlicher Verlauf der Setzungen - Projekt 2



Zeitlicher Verlauf der Setzungen vor / nach 1978 – Projekt 2



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Zeitlicher Verlauf der Setzungen - Projekt 2

Für alle Messpunkte lässt sich feststellen, dass nach 1978 eine Abschwächung der Setzungen eingetreten ist, dies weisen die Auswertungen eindeutig aus.

Betrachtet man den Messpunkt MB 252 sowie MB 250, MB 251 und MB 253, als Messpunkte mit den höchsten Setzungsmaßen, ergeben sich im Mittel folgende Werte.

In einem Zeitraum von 11 Jahren - 1967 bis 1978 (also bis ca. 17 Jahre nach der Schwerkraftentwässerung durch RWE) - nimmt die Setzung um **3,73 cm/a** im MB 252 zu, für das Punktepaar MB 250, MB 251 und MB 253 ergibt sich eine durchschnittliche Setzung von **2,73 cm/a**.



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Zeitlicher Verlauf der Setzungen - Projekt 2

Nachfolgend schwächt sich die Setzung deutlich ab. Dies wird an der flacher verlaufenden Setzungskurve deutlich.

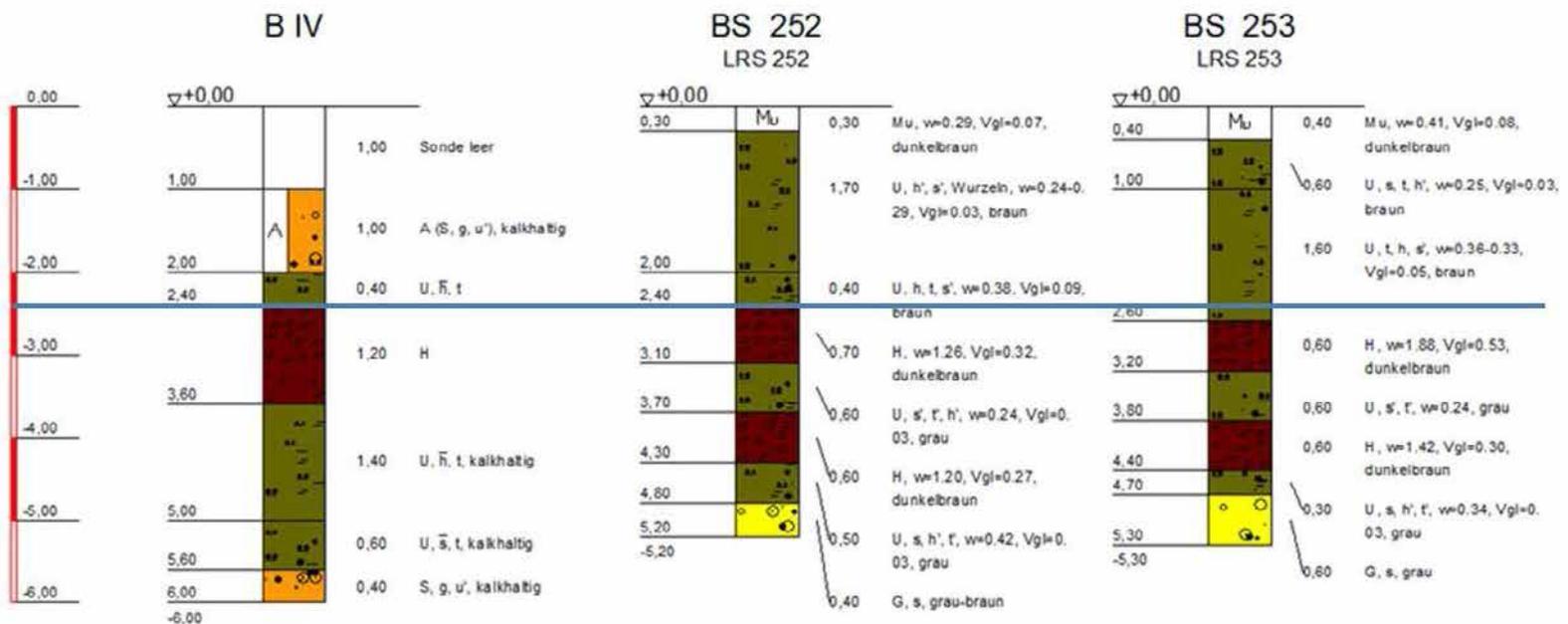
Nimmt man für diesen Zeitraum von 1978 bis 2011 wieder das durchschnittliche Setzungsmaß, so erhält man für den MB 252 lediglich eine Zunahme der Setzungen von **ca. 0,94 cm /a**. Bei den Messpunkten 250, 251 und 253 fällt dieser Wert auf durchschnittlich **ca. 0,69 cm /a** ab.

Hieraus ergibt sich eine Abnahme der Setzungsgeschwindigkeit um **fast 75 %** im Vergleich der beiden Beobachtungszeiträume **vor und nach 1978**.



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

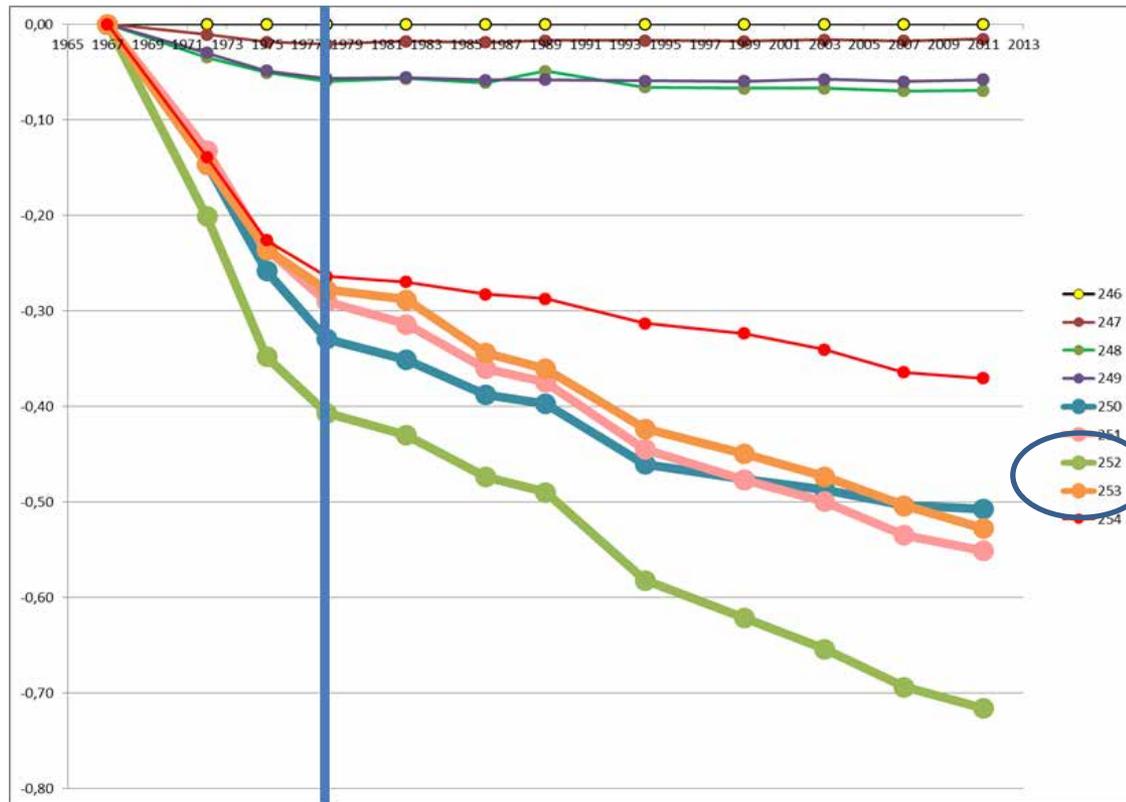
Auswertungen – Projekt 2





Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Auswertungen – Projekt 2





Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Auswertungen – Projekt 2

		B IV	BS 252	BS 253
Erkundete Torfschicht	[m]	1,20	0,70	0,60
Wassergehalt w	[%]	--	126	188
Glühverlust	[%]	--	32	53
Setzungsdifferenz 1967- 2011	[m]	--	0,72	0,53
Setzungsgeschwindigkeit 1967- 1978	[cm/a]	--	3,73	2,73
Setzungsgeschwindigkeit 1967- 2011	[cm/a]	--	1,64	1,21
Setzungsgeschwindigkeit 1978- 2011	[cm/a]	--	0,94	0,69



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Auswertungen – Projekt 2

1. Organische Bodenschicht (Torf) wird bei den Vergleichsuntersuchungen in verringertem Maße angetroffen.
2. Torfverzehr hat stattgefunden.
3. Organik kann durch bodenmechanische Laborversuche auch in den Vergleichsbohrungen eindeutig nachgewiesen werden.
4. Das Setzungsverhalten kann in zwei Zeitabschnitte eingeteilt werden – vgl. Untersuchungen Frau Prof. Schnell.



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Auswertungen – Projekt 2

5. Ein Einfluss der organischen Bestandteile auf das Setzungsverhalten lässt sich erkennen, unterliegt aber keiner eindeutigen Gesetzmäßigkeit.
6. Untersuchungen an anderen Untersuchungspunkten / Projekten lassen keine Zusammenhänge erkennen.

Setzungen lassen sich mit den Untersuchungsergebnissen bisher noch nicht eindeutig korrelieren und allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten lassen sich hieraus nicht herleiten.



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Einflussfaktoren

Folgende Faktoren beeinflussen indirekt oder direkt das Verhalten der organischen Böden oder Böden mit organischen Bestandteilen (Auszug):

1. Art der Aufschlüsse / Probenentnahme
2. Lage der Untersuchungs- bzw. Ansatzpunkte
3. Differenzen in der Bodenansprache
4. Umfang der bodenmechanischen Laborversuchen
5. Einflüsse aus Grundwasserabsenkungen (Wegfall Auftrieb/Ausspülung...)
6. Zusammendrückung/Stauchung der Proben / des Untergrundes (Torf)



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Einflussfaktoren

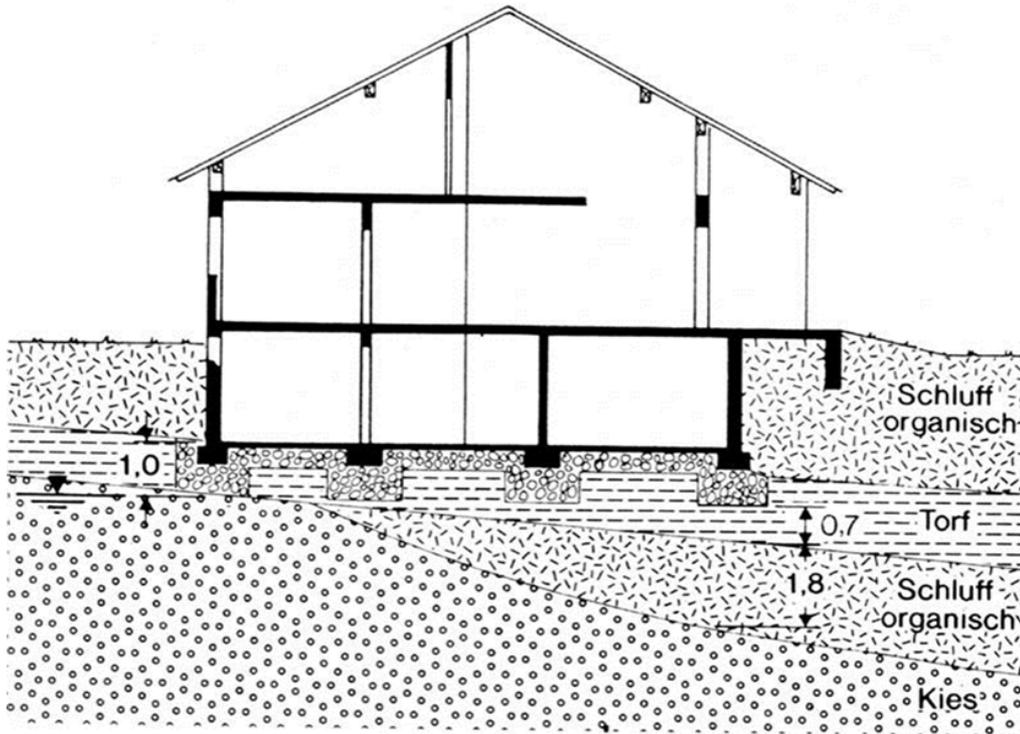
Folgende Faktoren beeinflussen indirekt oder direkt das Verhalten der organischen Böden oder Böden mit organischen Bestandteilen (Auszug):

7. Bebauung – differierende Nutzung über den Betrachtungszeitraum
8. Topographie
9. Klimatische Einflüsse (Starkregen, Trockenperioden)
10. Vegetation (z.B. Wurzeln)
11. Bodenklima
12. Bindige Böden oder Anteile und deren Konsistenzen
13. Anteil organischer Bestandteile

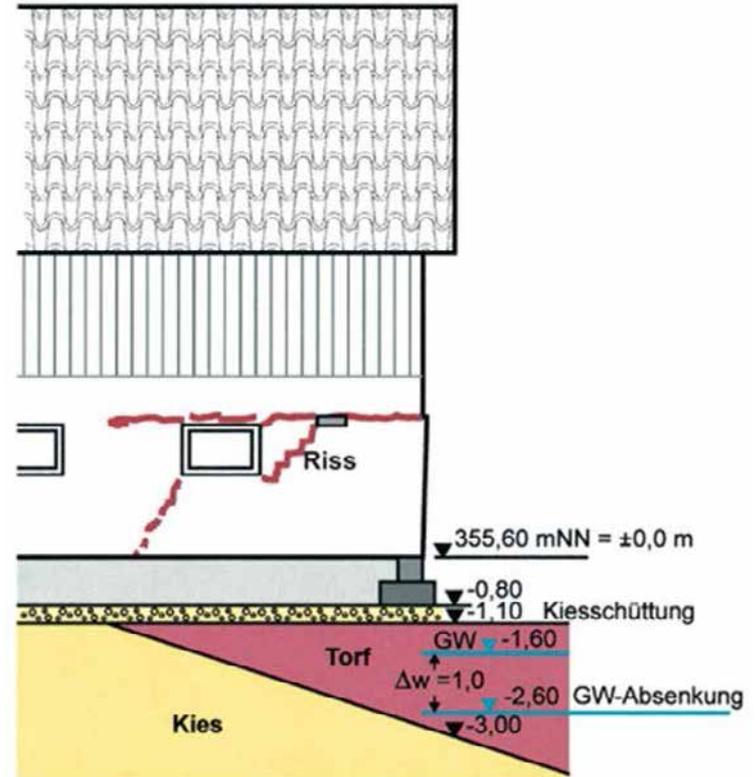


Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Abschätzungen



Hilmer, K. 2005



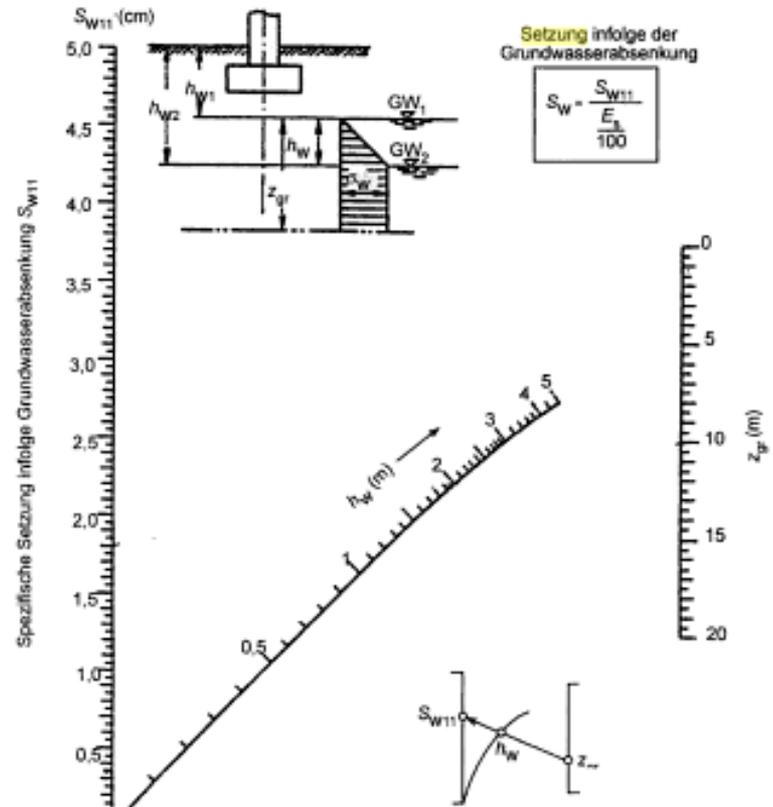
Hilmer, K. 2007



Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

Abschätzungen

Nomogramm zur Ermittlung
der spezifischen Setzung
infolge GW-Absenkung nach
Christow



Simmer, 2013



Résumé und Ausblick

- **Analogien zwischen dem Scher- und Kompressionsverhalten erkennbar**
- **Diskrepanz wird größer mit zunehmendem organischen Anteil und Wassergehalt**
- **Einfluss der organischen Bestandteile auf das Setzungsverhalten lässt sich erkennen, unterliegt aber in den Untersuchungspunkten keiner eindeutigen Gesetzmäßigkeit.**
- **Untersuchungen an anderen Untersuchungspunkten / Projekten lassen z.T. keine direkten Zusammenhänge erkennen.**



Résumé und Ausblick

- **Einheitliche Probenentnahme und Probenansprache gem. Leitfaden und Flussdiagramm**
- **Eindeutige und unverschiebliche Definition der Aufschlusspunkte**
- **Datenpool sollte an Untersuchungspunkten und Messwerten ausgeweitet werden**
- **Insitu-Untersuchungen qualitätssichernd begleiten**
- **Interdisziplinäre Zusammenarbeit (Universität Giessen / Universität Siegen) ist zielführend und sollte ausgebaut werden**
- **Weiterer Forschungsbedarf: Bewertung auf Basis der Forschungsergebnisse**

Frau Prof. Schnell



Quellen - Auszug

- Herrmann, R.A.; Löwen, M.: Leitfaden „Probenentnahme, Bodenansprache und Laboruntersuchungen bei Böden mit organischen Bestandteilen“; Siegen 2011
- Herrmann, R.A.; Löwen, M.: Querschnittsstudie „Bestimmung des organischen Anteils in feinkörnigen Böden“; Siegen 2012
- Herrmann, R.A.; Löwen, M.: Untersuchungen zum Setzungsverhalten von feinkörnigen Böden mit organischen Bestandteilen und zur Klassifizierung von feinkörnigen Böden mit organischen Bestandteilen; Siegen 2013
- Herrmann, R.A.; Löwen, M., Wilden, U.: Untersuchungen zum Setzungs- und Scherverhalten sowie zur Klassifizierung von feinkörnigen Böden mit organischen Bestandteilen; GEOTECHNIK 4/2014; 2014
- Herrmann, R.A.; Löwen, M.: Investigations on the Settlement Behaviour, Shear Strength and Classification of Fine-Grained Soils with Organic Components, XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Edinburgh, September 2015.
- Hilmer, Klaus; Knappe, Manfred: Bauschadensfälle, Band 7, Günter Zimmermann und Ralf Schuhmacher (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2005
- Hilmer, Klaus: Bauschäden im Hoch- und Tiefbau. Band 1: Tiefbau. Standardwerk zur Schadenserkennung und Schadensvermeidung, Institut für Bauforschung, Victor Rizkallah (Hrsg.), Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2007
- Kany, Manfred: Baugrundaufschlüsse, Zirndorf 1997, S. 129
- Krieg, Stefan: Viskoses Bodenverhalten von Mudden, Seeton und Klei, Karlsruhe 2000
- Pietsch, M.; Schneider A. (1982): Zur Frage der Bestimmung organischer Bestandteile in Böden; Organic matter Determination for Soils; Fachzeitschrift für Geotechnik Nr. 2, S. 67-73
- Ratering, S. et al.: Zusammenfassender Bericht der Untersuchungen zum mikrobiellen Abbau von organischen Substanzen im Boden
- Schultze, E. & Muhs, H.: Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten; 1967 Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- Schneider: Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen; Herausgegeben von Alfons Goris; 20. Auflage 2012; Werner Verlag
- Simmer, K.: Grundbau 1, Springer Verlag, 8. Auflage, 2013
- DIN 1054: 2010-12: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1; Ausgabe: 2010; Berlin (Beuth)
- DIN 18121-1: 1998-04: Untersuchung von Bodenproben - Wassergehalt - Teil 1: Bestimmung durch Ofentrocknung; Ausgabe: 1998; Berlin (Beuth)
- DIN 18122-1: 1997-07: Baugrund, Untersuchungen von Bodenproben – Zustandsgrenzen – Teil 1: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze; Ausgabe 1997; Berlin (Beuth)
- DIN 18128: 2002-12: Baugrund; Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Glühverlustes, Ausgabe: 2002; Berlin (Beuth)
- DIN 18135:2012-04: Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Eindimensionaler Kompressionsversuch; Ausgabe: 2012; Berlin (Beuth)
- DIN 18137-3:2002-09: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Scherfestigkeit; Teil 3: Direkter Scherversuch; Ausgabe: 2002; Berlin (Beuth)
- DIN 18196: 2011-05: Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke; Berlin (Beuth)
- DIN ISO 10694:1996-08: Bodenbeschaffenheit – Bestimmung von organischem Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff nach trockener Verbrennung; Berlin (Beuth)
- DIN EN ISO 14688-2: 2011-06: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen (ISO 14688-2:2004); Deutsche Fassung EN ISO 14688-2:2004; Ausgabe 2011; Berlin (Beuth)
- SN 670 004-2b-NA: 2008.06; EN ISO 14688-2:2004: Geotechnische Erkundung und Untersuchung Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 2: Grundlagen von Bodenklassifizierung; Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (Zürich)
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Humus: Leben aus dem Boden, LfL Merkblatt, März 2011
- Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz, LABO, Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden, 3. überarbeitete und ergänzte Auflage, 2003 u.a.



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Mikrobiologische Aktivitäten bei der Mineralisierung humoser Böden

Humose Bodenbereiche in tieferen Schichten des Bodens (> 0,5 m) sind durch ihren hohen Anteil organischer Substanzen dicht mit Mikroorganismen besiedelt. Die komplexe torfähnliche organische Bodensubstanz kann von Mikroorganismen abgebaut werden, insbesondere wenn die physikalisch chemischen Bedingungen im Boden dafür günstig sind. Die Verfügbarkeit von Sauerstoff in diesen Bodenschichten mit hohem Anteil von organischer Substanz ist ein wichtiger Parameter, der einen beschleunigten Abbau der torfähnlichen organischen Substanz in diesen Bodenschichten durch aerobe Mikroorganismen ermöglicht, was durch Bodensenken an der Bodenoberfläche sichtbar wird.

Ziel der Untersuchungen war es, Bodenparameter in diesen humosen Bodenschichten zu identifizieren, die vergangene Bodensenkungen erklären und zukünftige Senkungen prognostizieren können. Hierzu wurden Bodenprofile hinsichtlich ihrer mikrobiologischen Aktivität und derjenigen physikalisch chemischen Bodenparameter analysiert, welche damit in Zusammenhang stehen. Zur Überprüfung der Hypothese, dass bestimmte physikalisch chemische Parameter einen mikrobiologischen Abbau von humosen Bodenschichten begünstigen, wurden Bodenprofile analysiert, die bereits vor 20-40 Jahren mit klassischen bodenkundlichen Methoden untersucht wurden und deren Oberflächensenkungen durch Präzisionshöhenmessungen gut dokumentiert sind. Dadurch kann die zeitliche Veränderung der Bodenprofile insbesondere hinsichtlich der humosen Bodenschichten dargestellt werden. Das Zusammenspiel von organischer Substanz, Sauerstoff, mikrobieller Aktivität und anderer physikalisch chemischer Parameter beeinflusst den vertikalen Abbau der humosen Bodenbestandteile maßgeblich.

von Prof. Dr. Sylvia Schnell und Dr. Stefan Ratering,

Universität Gießen, Institut für Angewandte Mikrobiologie

Mikrobiologische Aktivitäten bei der Mineralisierung humoser Böden

Prof. Dr. Sylvia Schnell
Institut für Angewandte Mikrobiologie
Justus-Liebig Universität Giessen

Ziel der Untersuchung

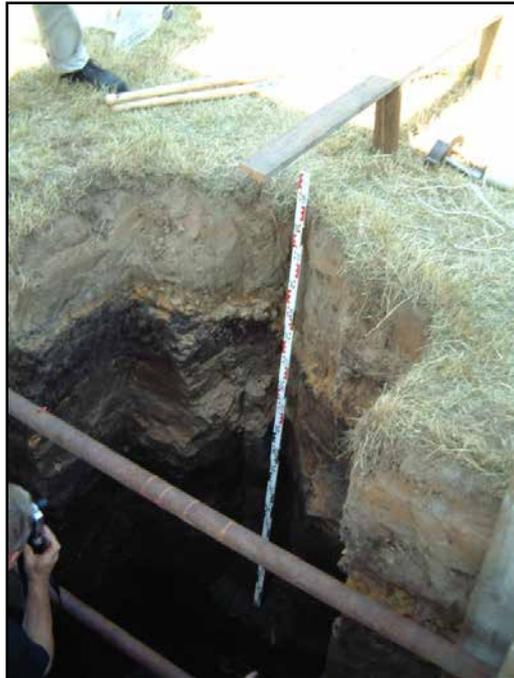
Kann man mikrobiologische oder bodenkundliche Parameter finden,

- a) die mit der Stärke der Bodensenkungen korrelieren?
- b) die zur Vorhersage von weiteren Bodensenkungen geeignet sind?

Probennahmen in Bedburg

↪ Grundwasserabsenkung > 40 Jahren

Standort B im Juni 2002



Einführung: Mikrobiologische Prozesse

Organisches Material → Kohlendioxid + Wasser + Ammonium + Humus

unter Mitwirkung von vielen Mikroorganismen und kleinen Bodentieren

Beispiel Kompost: ein Gramm Kompost enthält Milliarden von Bakterien

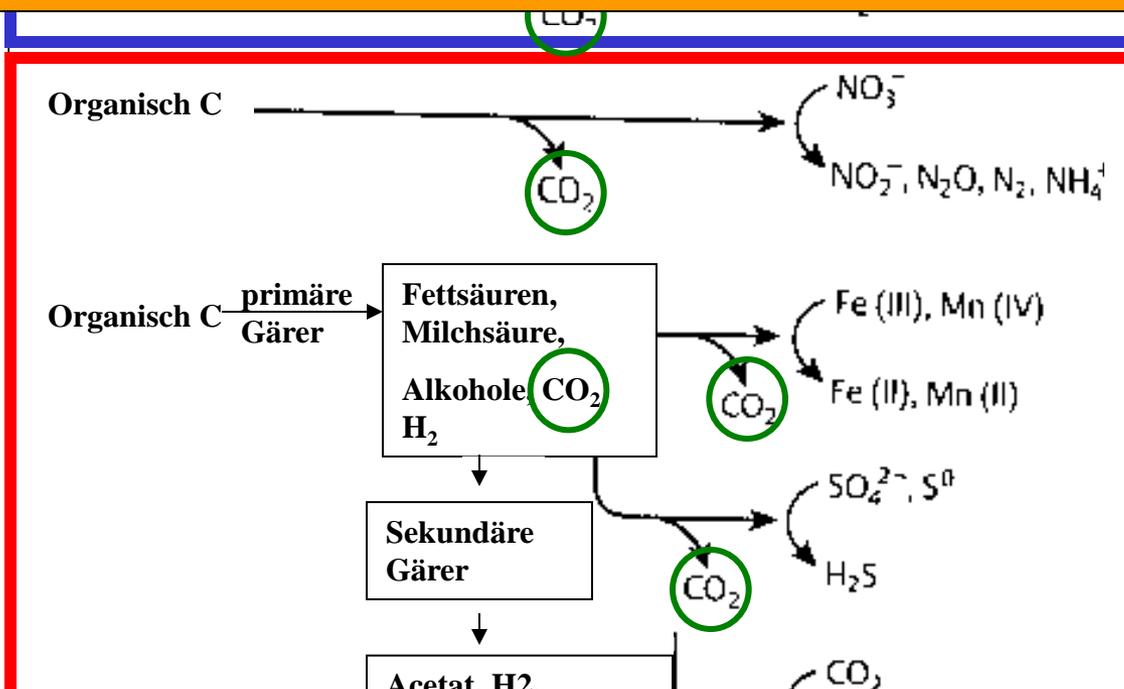


Beschleunigter Abbau durch Wenden des organischen Materials, damit Versorgung mit Sauerstoff.

Mikrobiologische Prozesse

Mit Sauerstoff

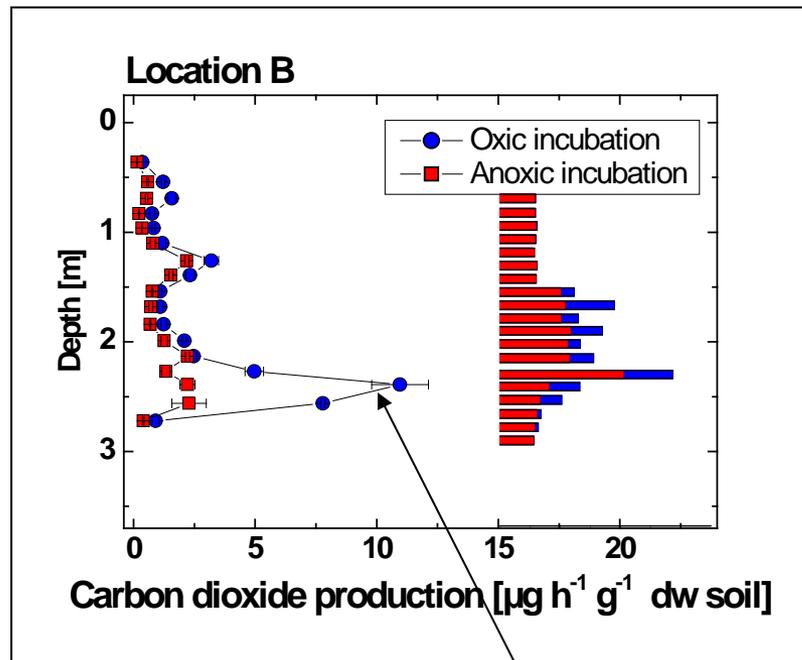
Hauptprozeß nach der Grundwassersenkung



Hauptprozesse vor der Grundwassersenkung

Ohne Sauerstoff

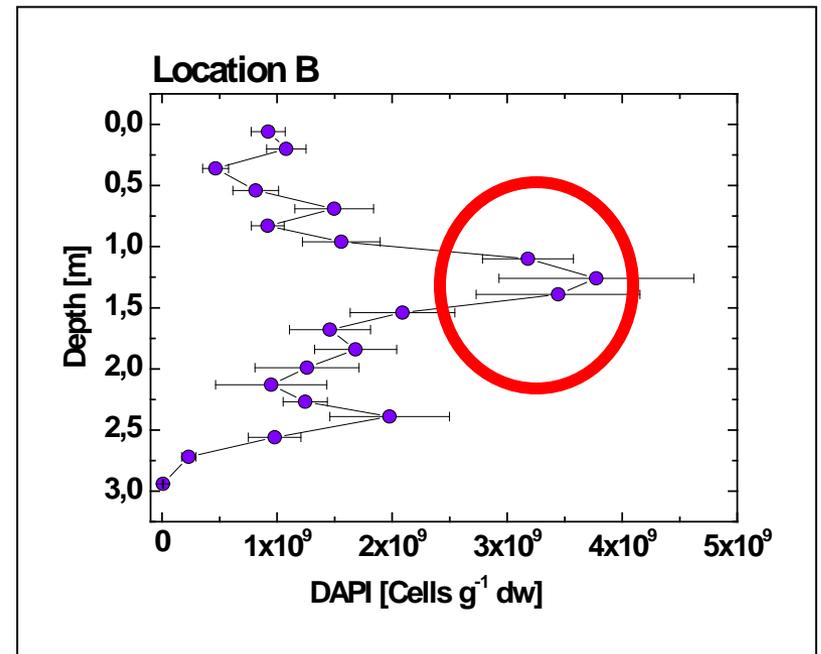
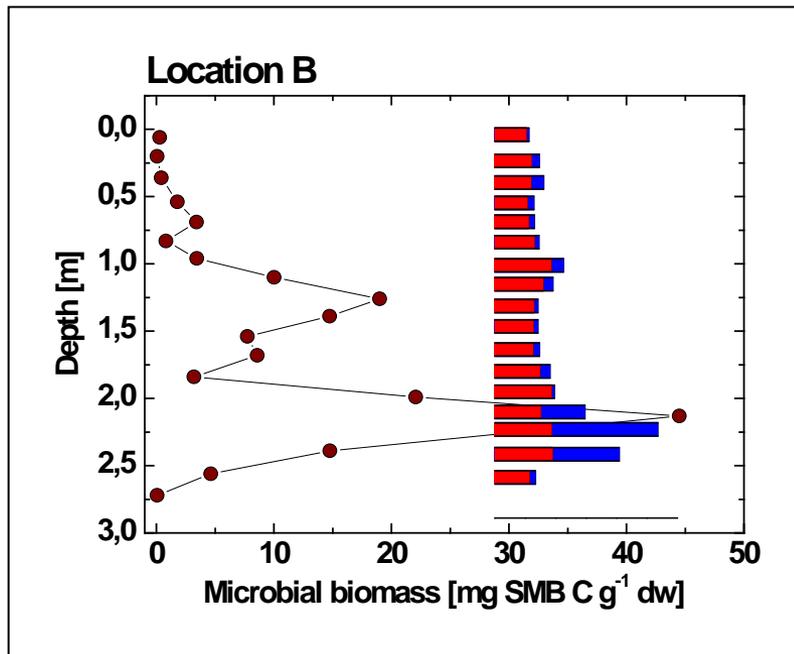
Respirationsrate (25°C)



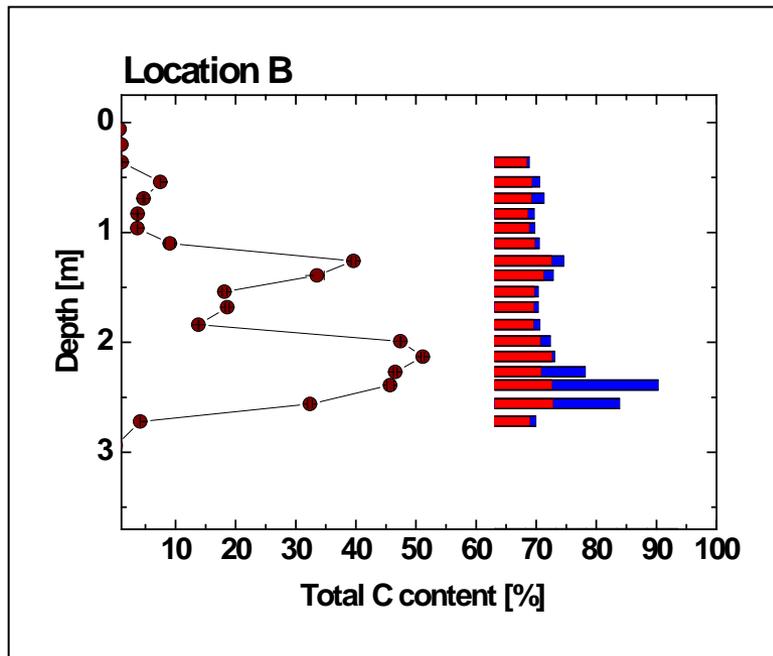
Bodentiefe mit erhöhter Aktivität:
1,2 bis 1,5 m
2,2 bis 2,8 m

Stimulierung um
Faktor 4,9

Mikrobielle Biomasse und DAPI Zellzahlen

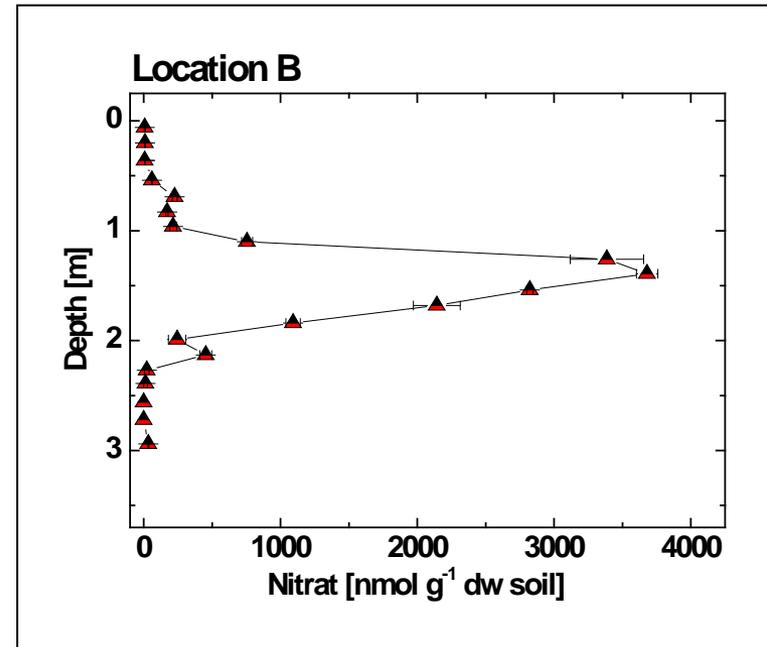
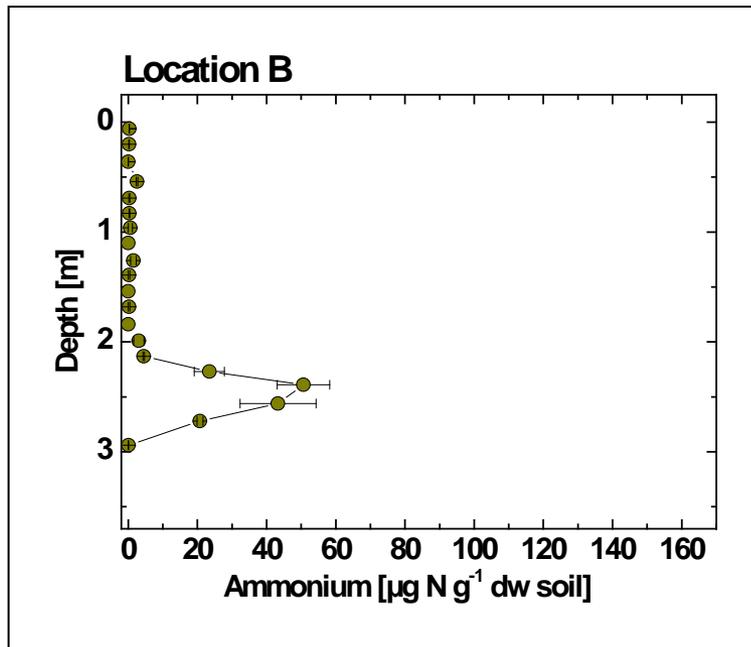


Kohlenstoffgehalt



Sehr ähnliche Profile des Stickstoff- und Schwefelgehalts

Ammonium- und Nitratkonzentration



Exkurs Mikrobiologie

Ammoniumoxidation durch Mikroorganismen:

Nitrifikation



Ammoniumoxidation benötigt Sauerstoff

Nitratreduktion durch Mikroorganismen

Denitrifikation



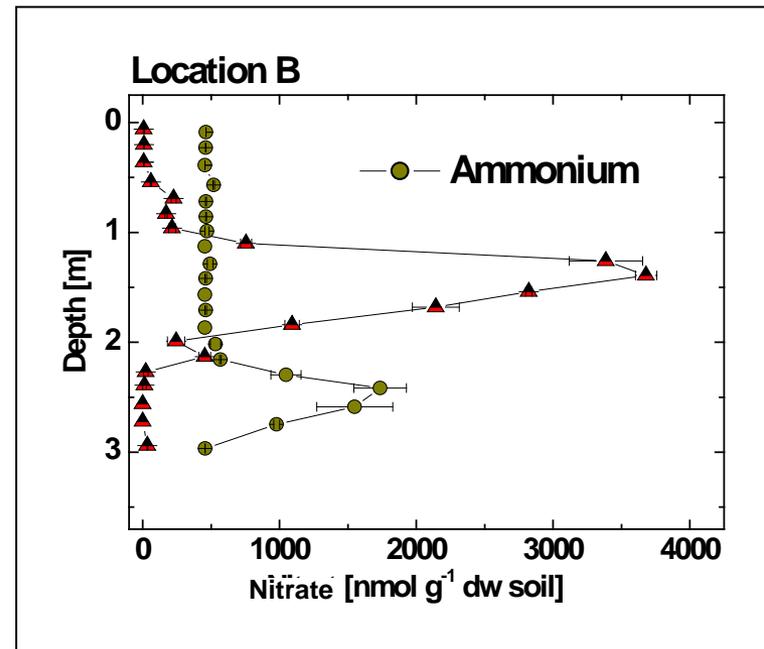
Ammonifikation



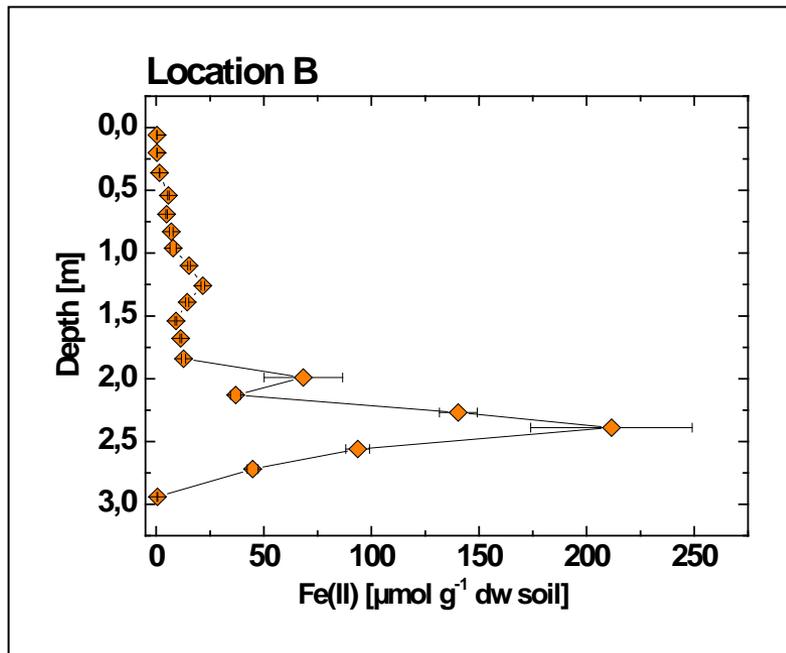
Nitratreduktion nur in Abwesenheit von Sauerstoff

Ammonium und Nitratkonzentration

Erhöhte **Nitrat**konzentrationen
→ Sauerstoff vorhanden
Erhöhte **Ammonium**-
konzentrationen
→ Sauerstoff nicht vorhanden



Eisen(II)-Konzentration



Exkurs Mikrobiologie

Eisen(III) Reduktion durch Mikroorganismen

Nur in Abwesenheit von Sauerstoff



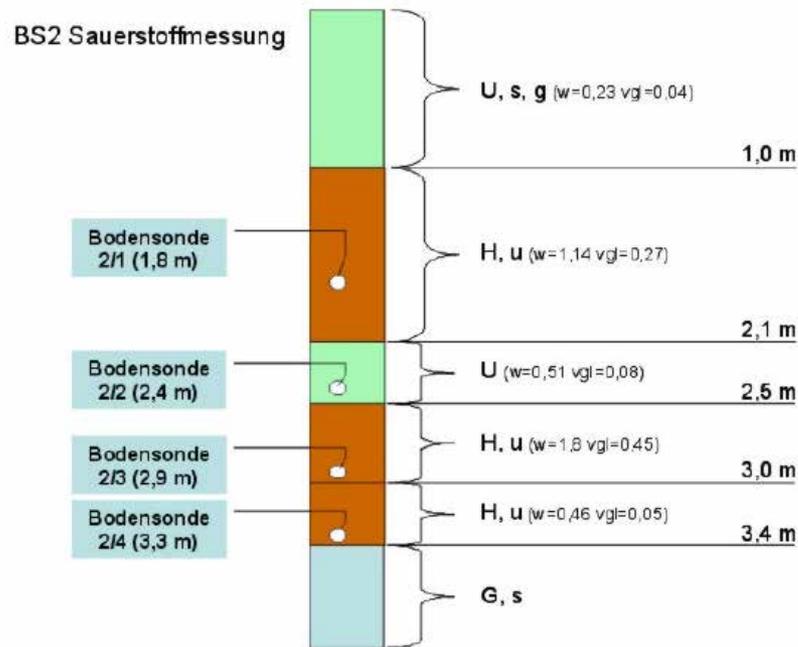
Eisen(II) Oxidation durch Mikroorganismen/chemische Reaktion

Nur in Anwesenheit von Sauerstoff



Überprüfung der Verfügbarkeit von Sauerstoff in verschiedenen Bodentiefen mittels Bodensonden

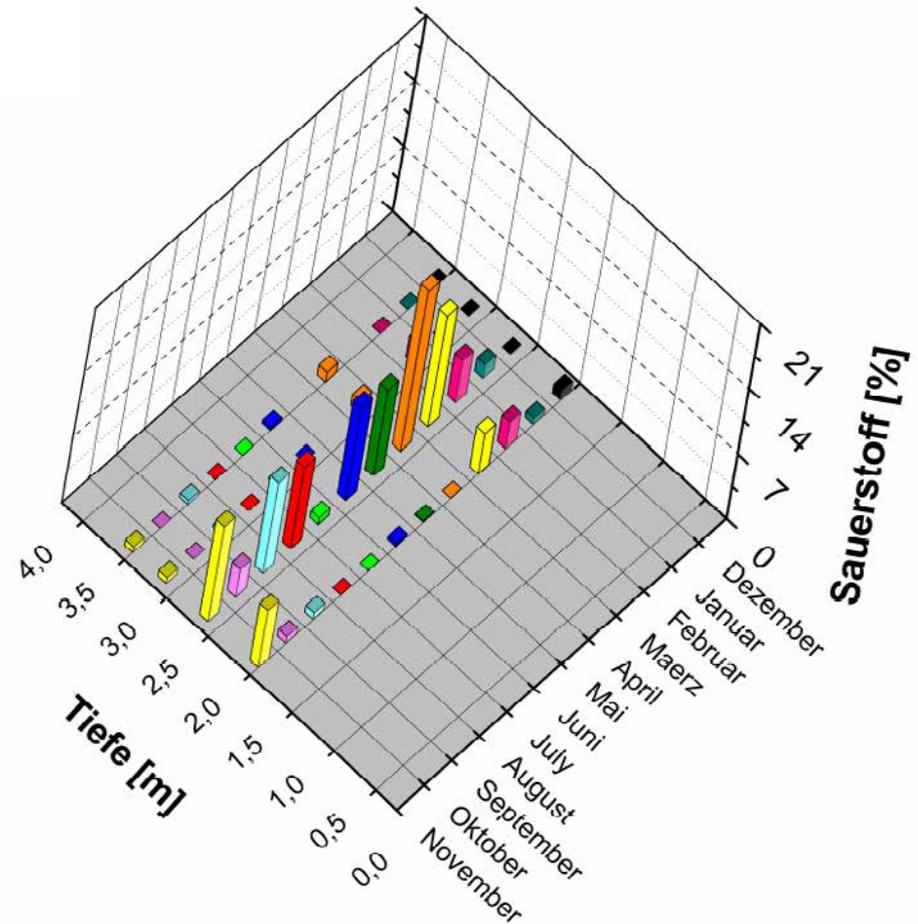
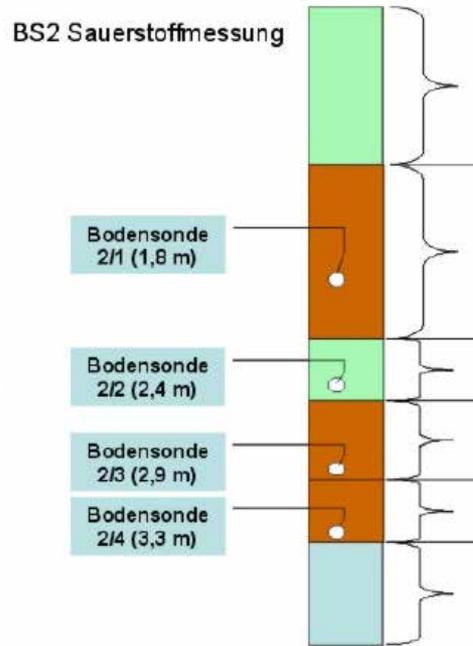
Nahe von Standort B



Torfschicht in Bodentiefe
von 1,0 - 2,1 m
und 2,5 - 3,4 m

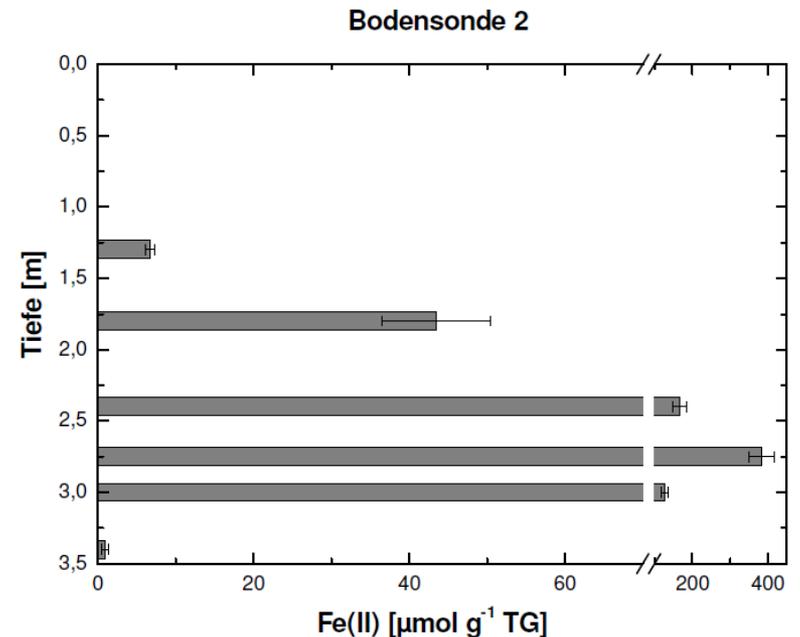
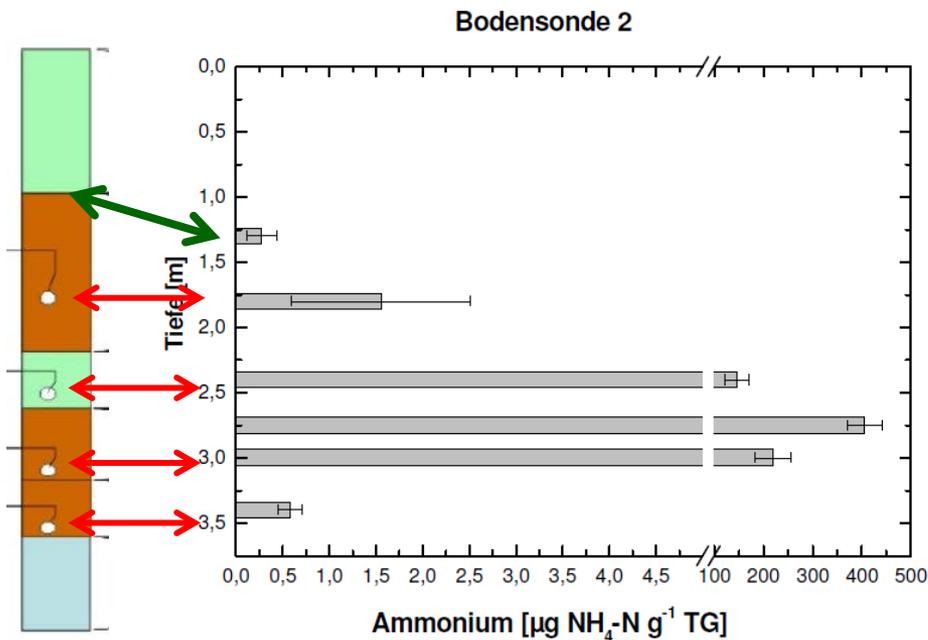
Sauerstoffkonzentrationen in verschiedenen Tiefen der Bodensonde 2 von Dez. 04 bis Nov. 05

Nahe von Standort B



Niedrige Sauerstoffkonzentrationen in den Torfschichten mit hoher Wasserhaltekapazität, nur im Febr., März und Nov. etwas erhöhte Werte in 1,8 m Bodentiefe.

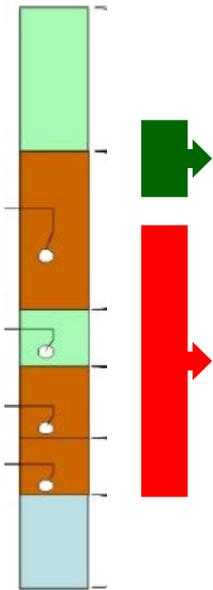
Kontrollmessungen der Ammonium- und Eisen(II)-Konzentrationen in den Tiefen von Bodensonde 2 nach Ausgrabung der Sonden



Unterhalb von 1,8 m erhöhte Ammonium und Fe(II) Konzentrationen
→ Gute Übereinstimmung mit Sauerstoffmessungen

Obere Torfschicht jedoch niedrige Ammonium und Fe(II) Konzentration
→ Anwesenheit von Sauerstoff

Prognose zum mikrobiellen Abbau



Obere Torfschicht wird mit Sauerstoff
relativ schnell abgebaut → **Bodensenkung**

Untere Torfschichten werden ohne Sauerstoff
sehr langsam abgebaut

Hypothese

Abbau von humosen Bodenschichten ist korreliert mit:
Anwesenheit von Sauerstoff, Nitrat, erhöhte Respirationrate
Abwesenheit von Fe(II), Ammonium

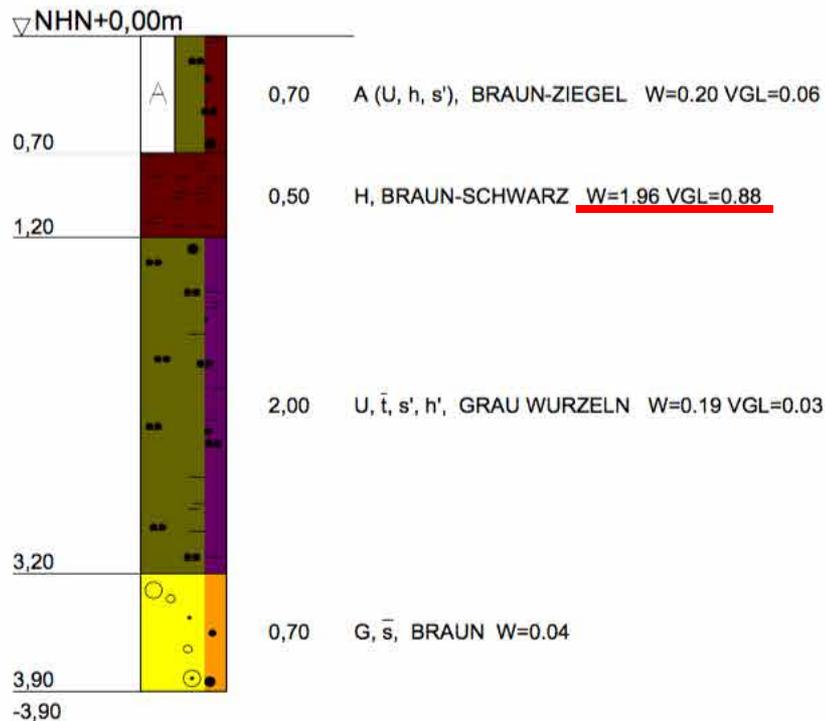
Überprüfung der Hypothese

Analyse von Bodenprofile, die bereits vor 20-44 Jahren mit klassischen bodenkundlichen Messungen untersucht wurden und deren Oberflächensenkungen durch Präzisionshöhenmessungen gut dokumentiert sind.
Drei von fünf Projekte sollen aufgezeigt werden.

Projekt 9, Profil 2290

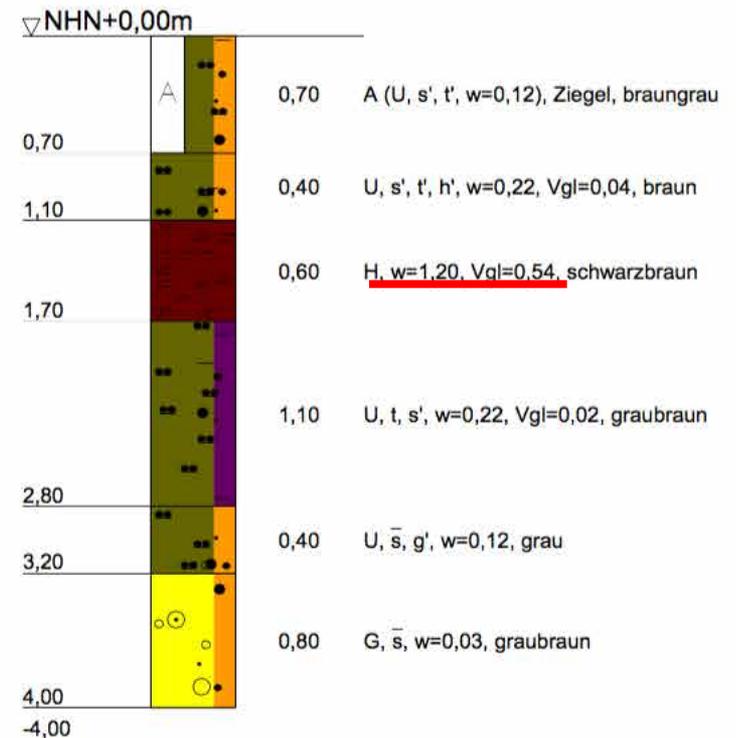
BS 2290

Projekt 9
1989
RWE



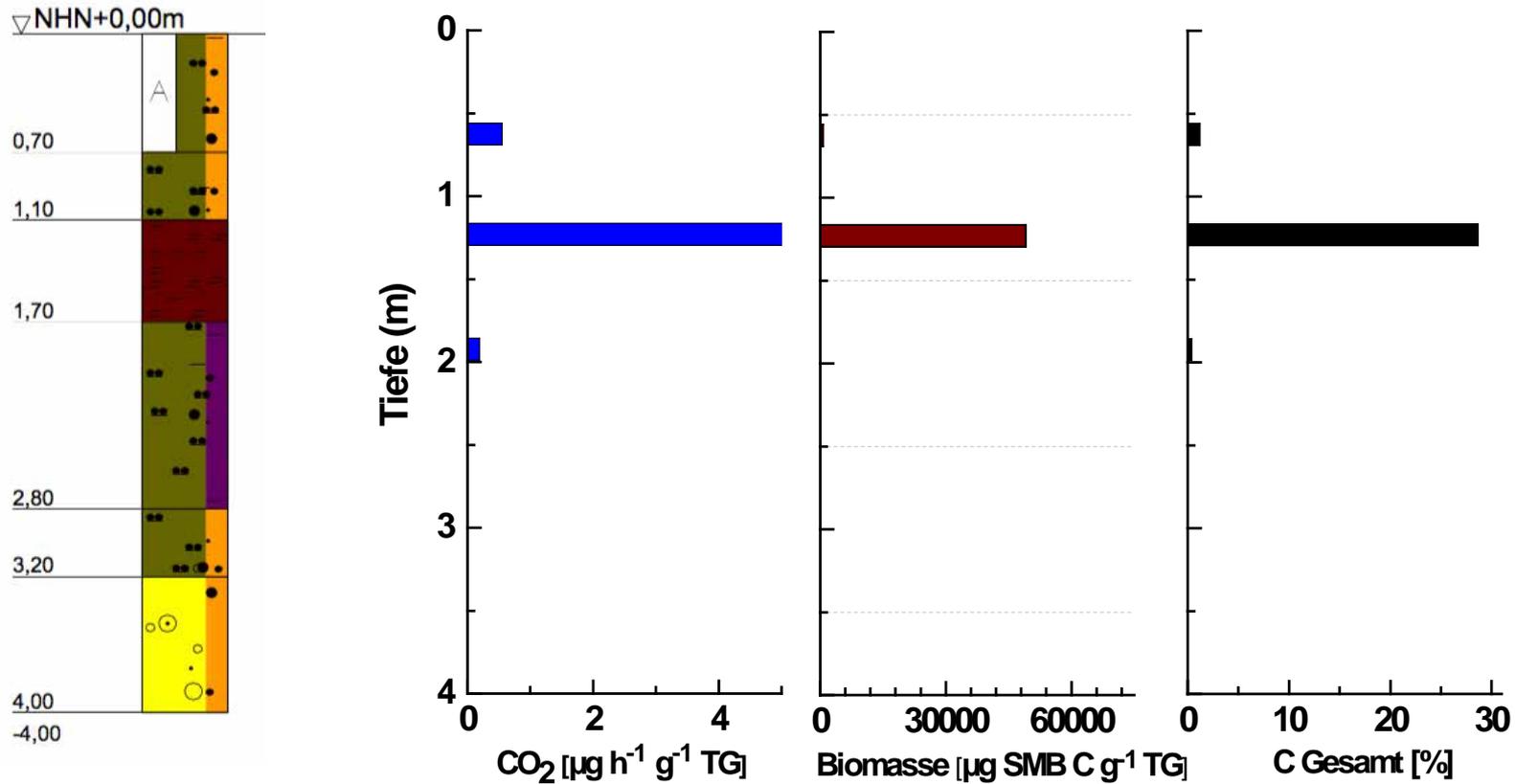
RKS 2290

Projekt 9
09.09.2014
RWE



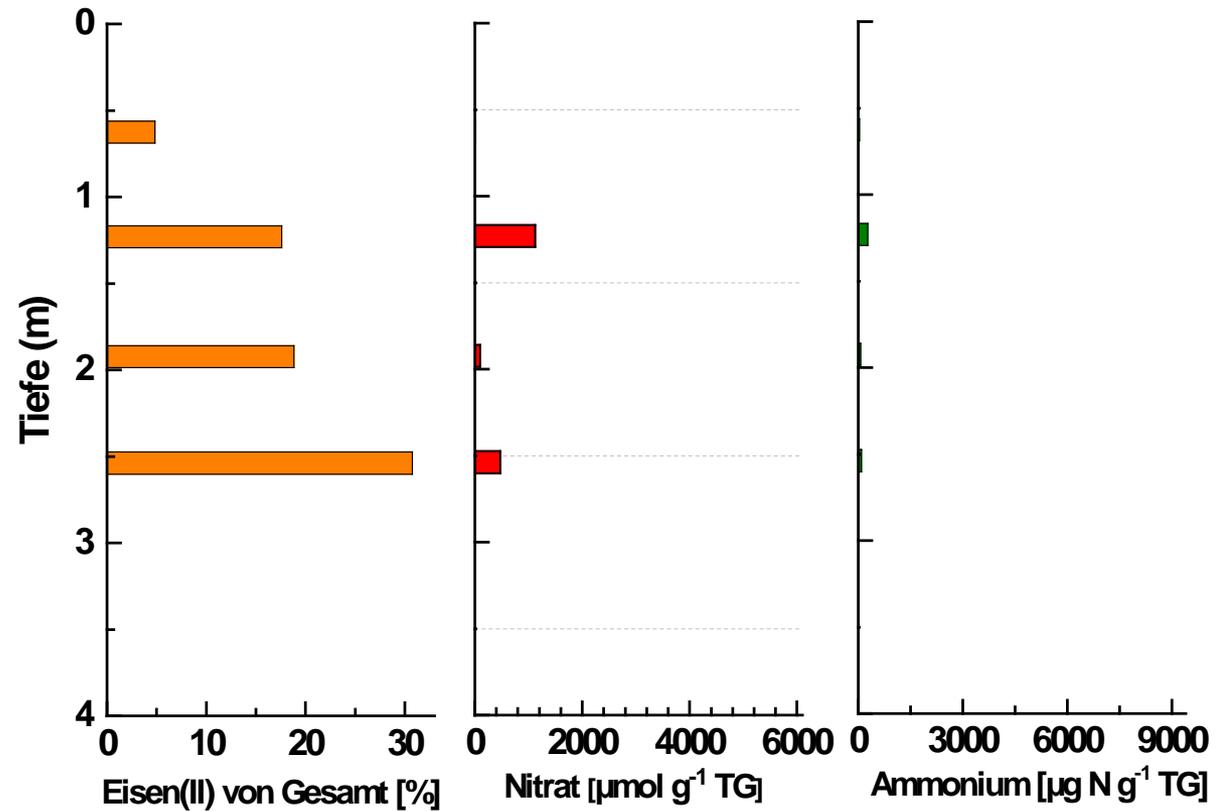
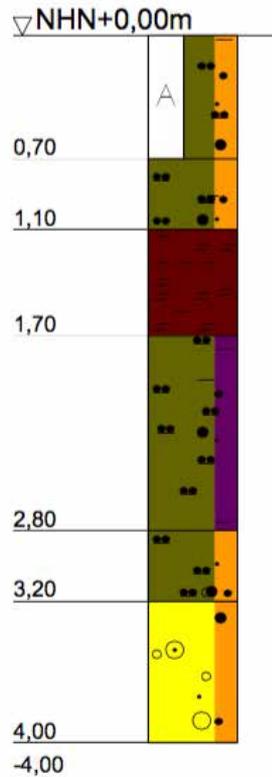
Projekt 9, Profil 2290

Höhenänderung: **-171 mm** in 23 Jahren, aktuelle Rate: **-2,3 mm yr⁻¹**



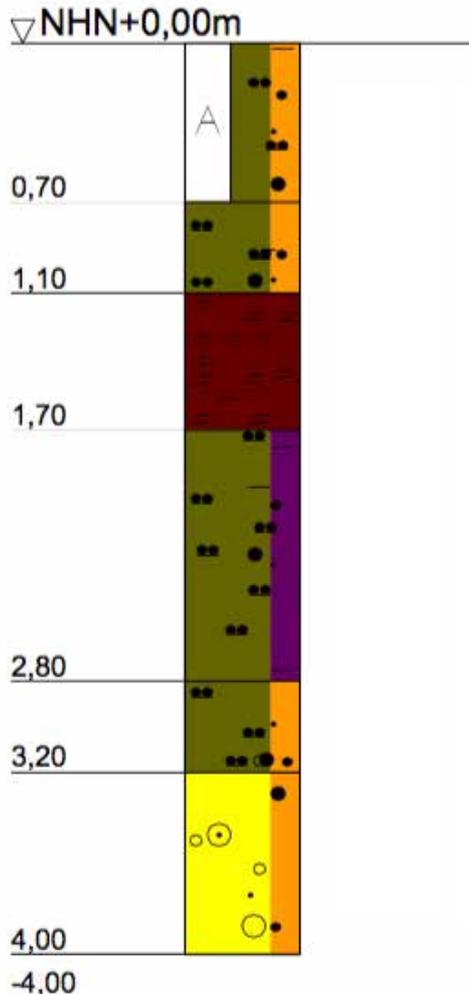
Projekt 9, Profil 2290

Höhenänderung: **-171 mm** in 23 Jahren, aktuelle Rate: **-2,3 mm yr⁻¹**



Projekt 9, Profil 2290

Höhenänderung: **-171 mm** in 23 Jahren, aktuelle Rate: **-2,3 mm yr⁻¹**



Obere Torfschicht wird mit Sauerstoff relativ schnell abgebaut → **Bodensenkung**

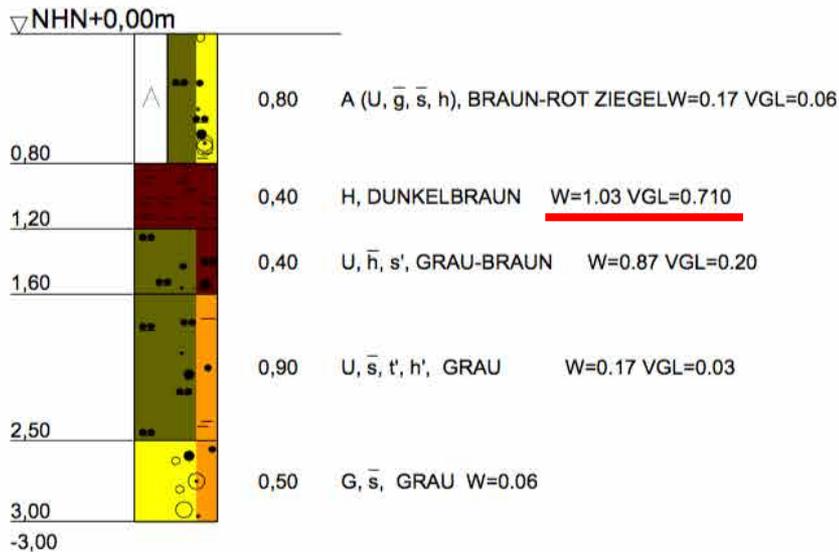


Untere Torfschichten werden ohne Sauerstoff langsam abgebaut

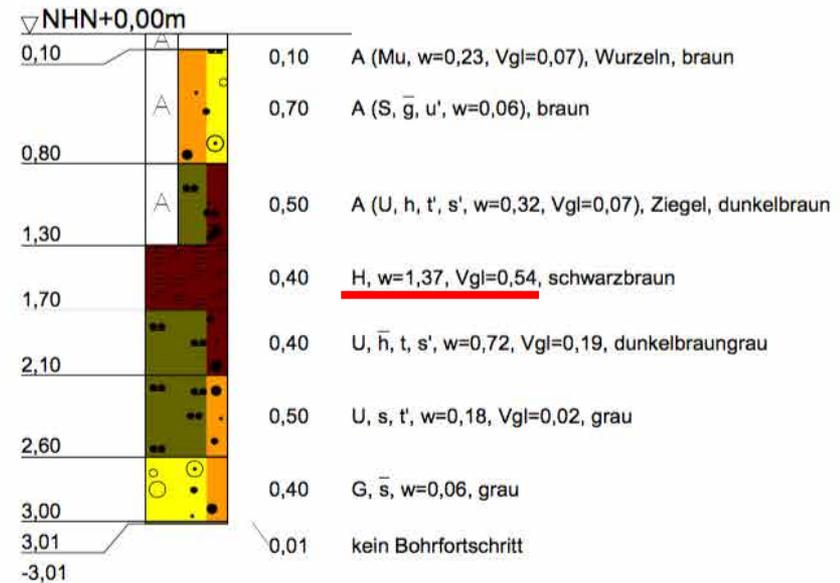
Profilmessungen stellen momentane Situation dar. Sauerstoffverfügbarkeit in den Torfschichten kann im Jahresverlauf schwanken.

Projekt 9, Profil 2292

BS 2292
Projekt 9
1989
RWE

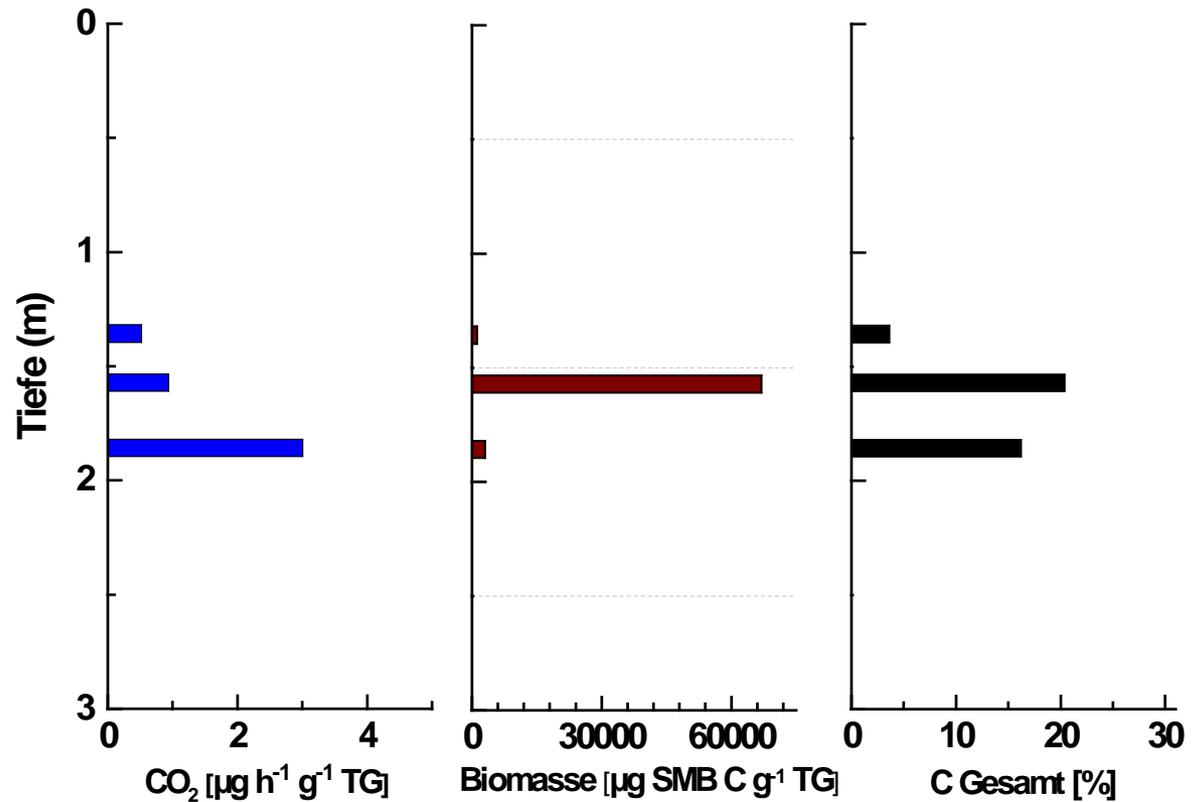
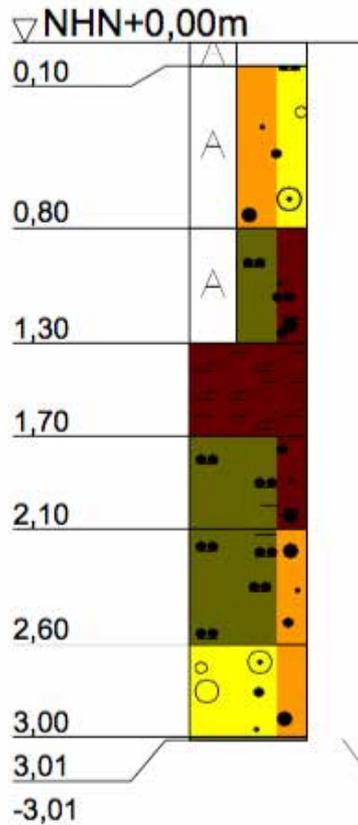


RKS 2292
Projekt 9
09.09.2014
RWE



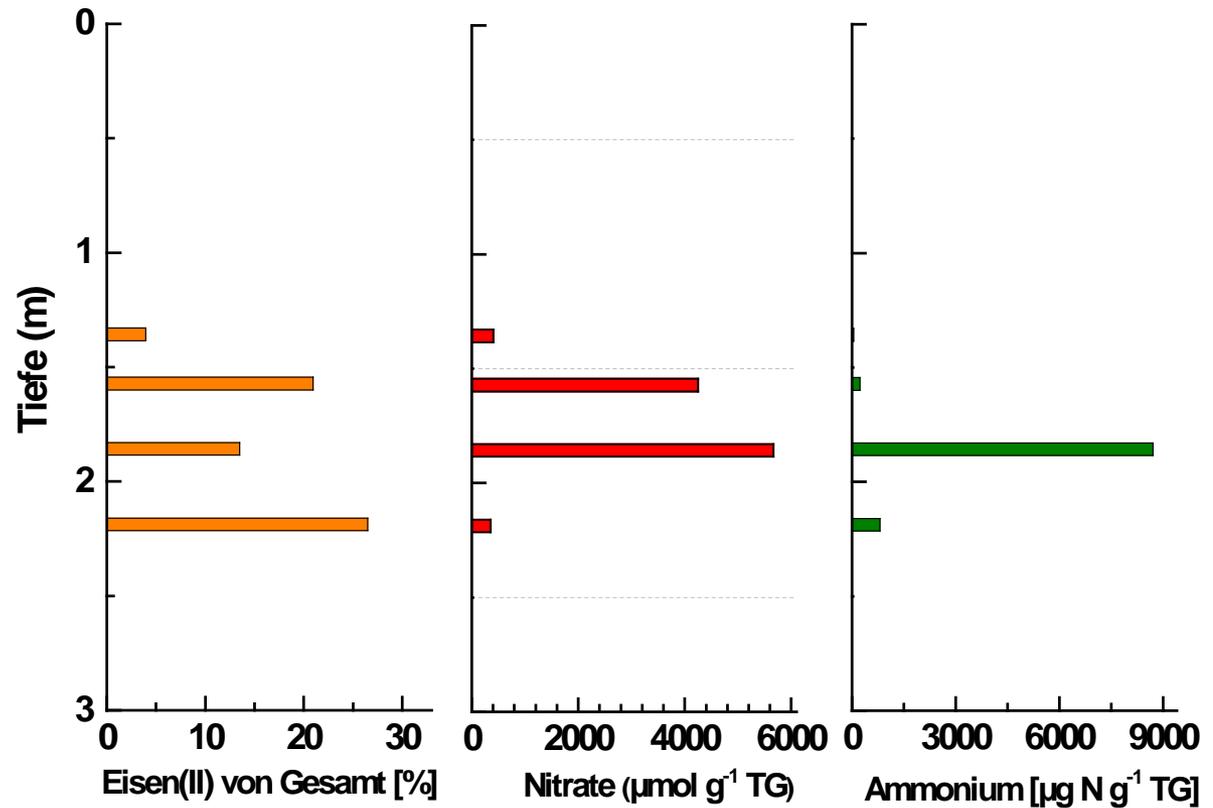
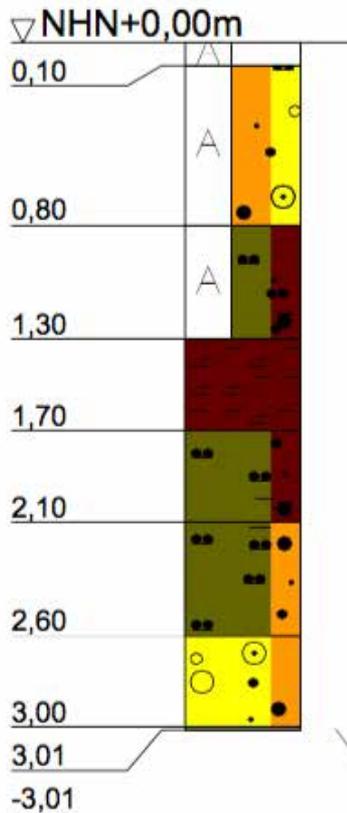
Projekt 9, Profil 2292

Höhenänderung: **-73 mm** in 23 Jahren, aktuelle Rate: **-3,9 mm yr⁻¹**



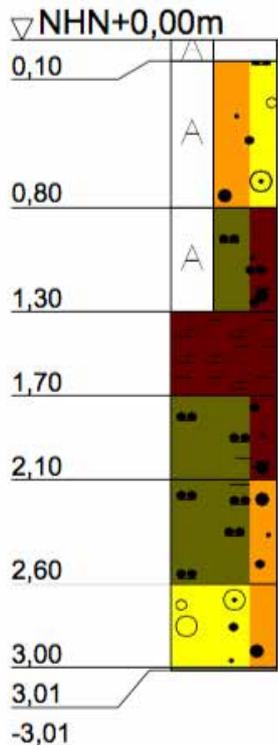
Projekt 9, Profil 2292

Höhenänderung: **-73 mm** in 23 Jahren, aktuelle Rate: **-3,9 mm yr⁻¹**



Projekt 9, Profil 2292

Höhenänderung: **-73 mm** in 23 Jahren, aktuelle Rate: **-3,9 mm yr⁻¹**

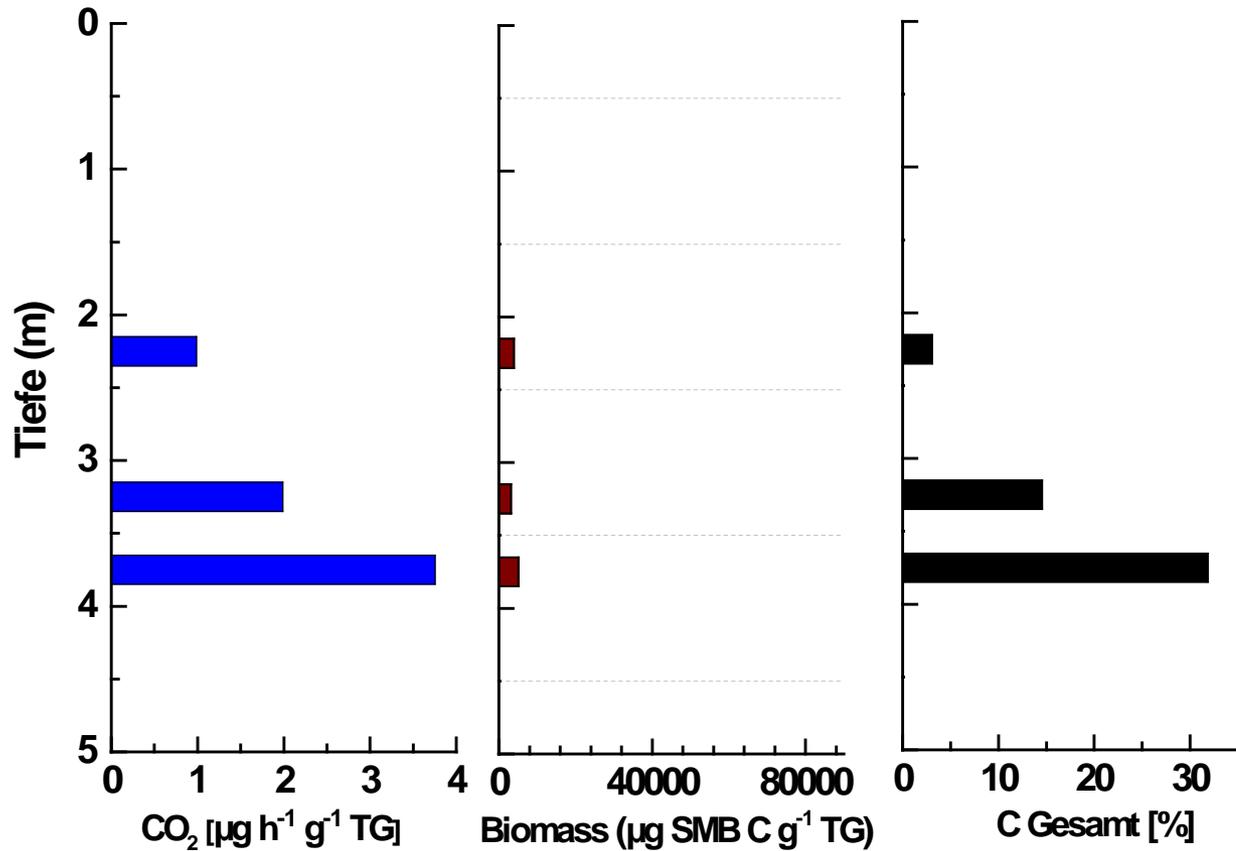
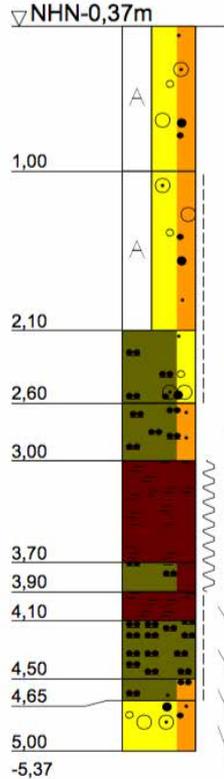


Obere Torfschicht wird mit Sauerstoff relativ schnell abgebaut → **Bodensenkung**

Torfschichten ohne Sauerstoff, jedoch hohe Nitratkonzentrationen (landwirtschaftlicher Einfluß?) begünstigt Abbau

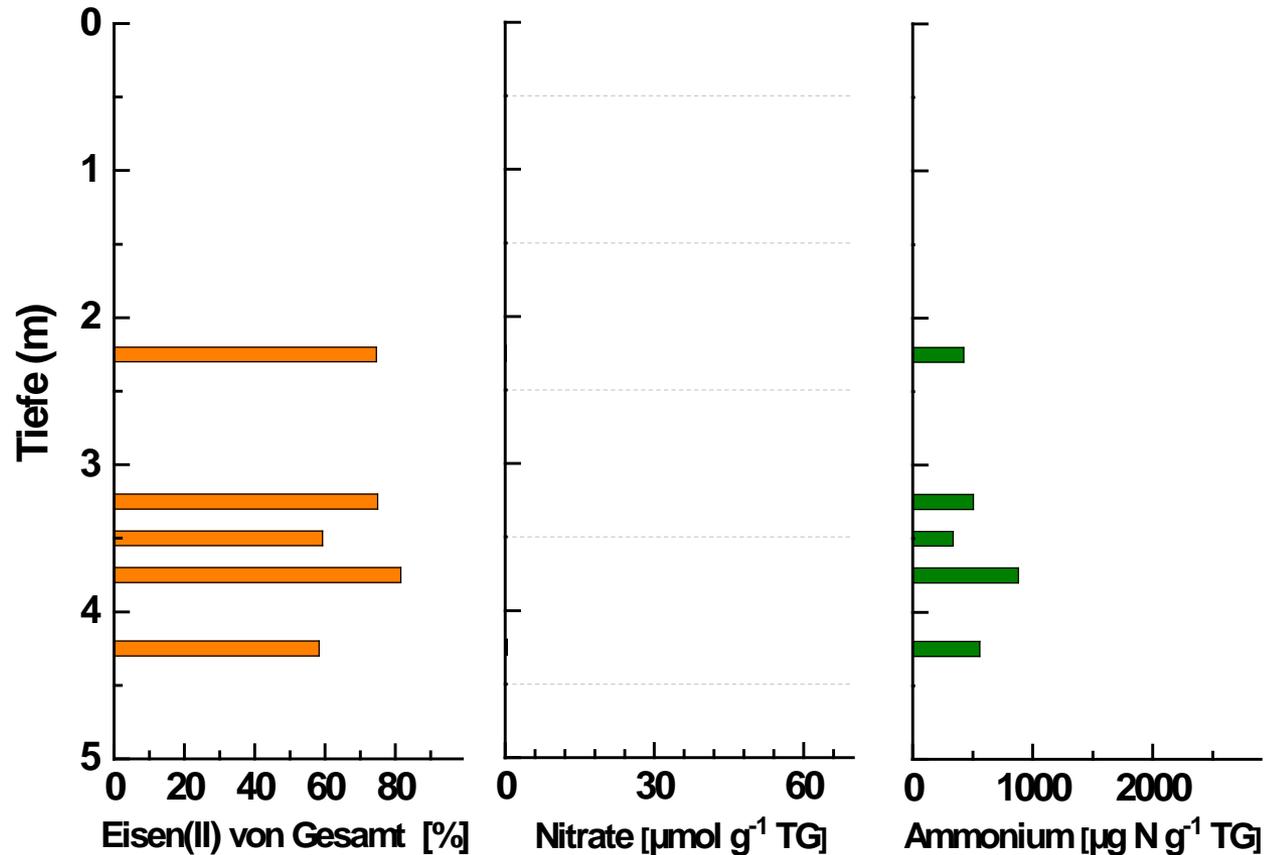
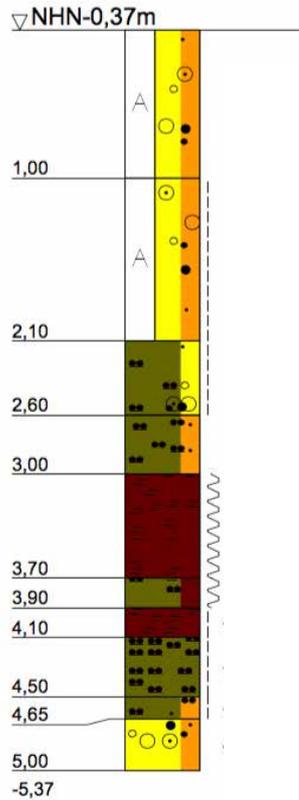
Projekt 5, Profil 1

Höhenänderung gering in 20 Jahren, Gebäudepunkte nicht repräsentativ



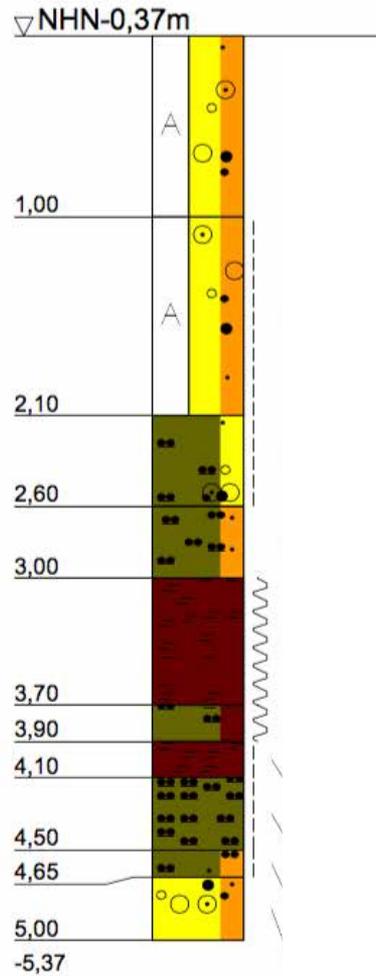
Projekt 5, Profil 1

Höhenänderung gering in 20 Jahren, Gebäudepunkte nicht repräsentativ



Projekt 5, Profil 1

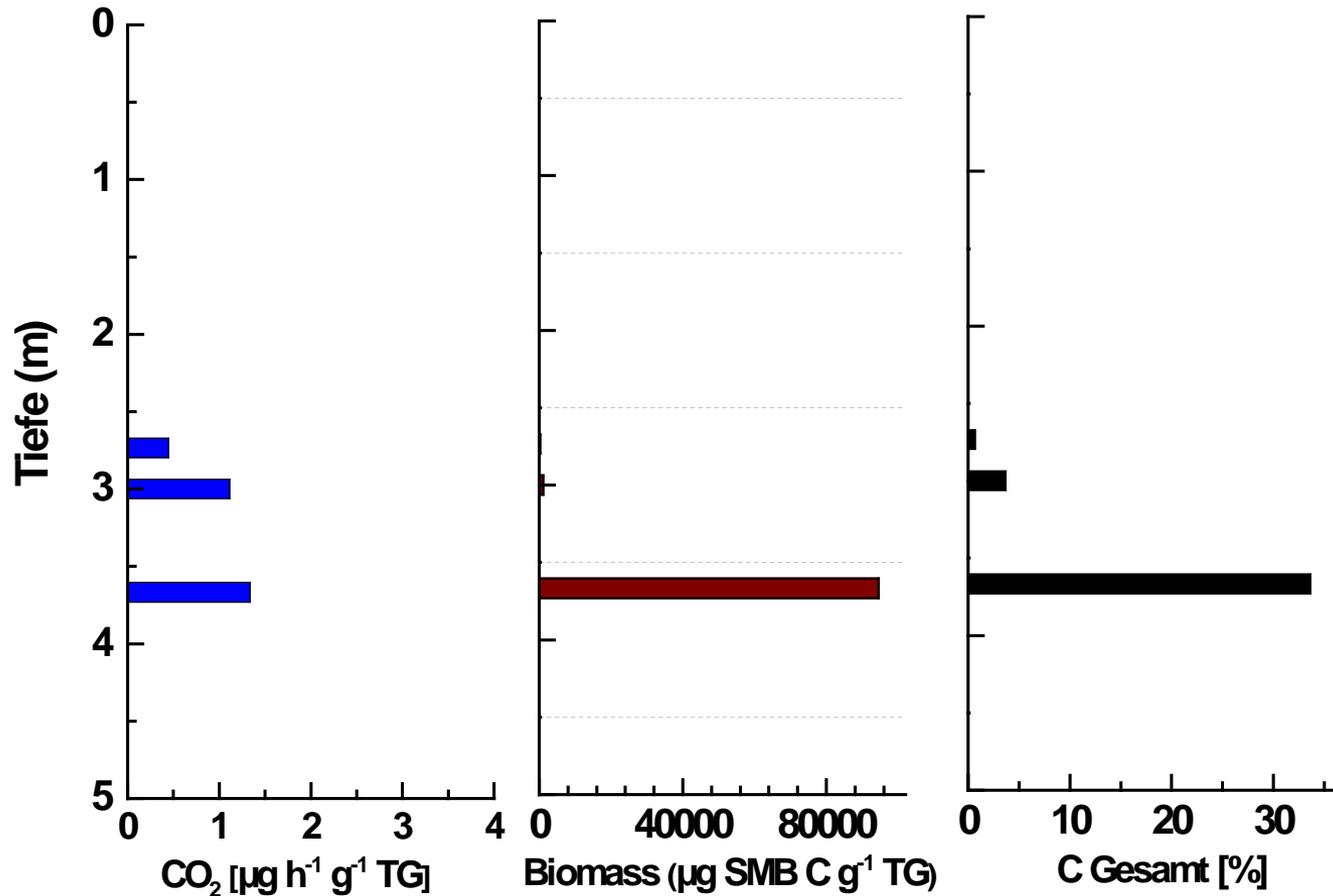
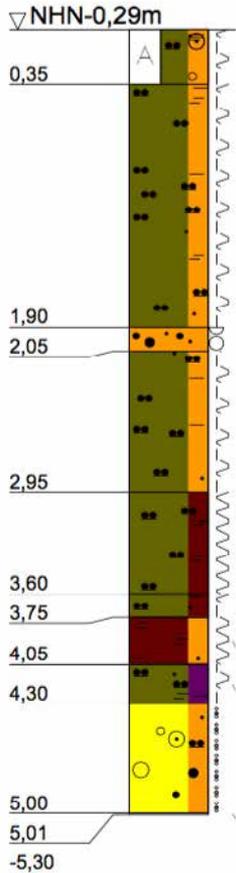
Höhenänderung gering in 20 Jahren, Gebäudepunkte nicht repräsentativ



Torfschichten ohne Sauerstoff
Kaum Abbau → keine Senkung

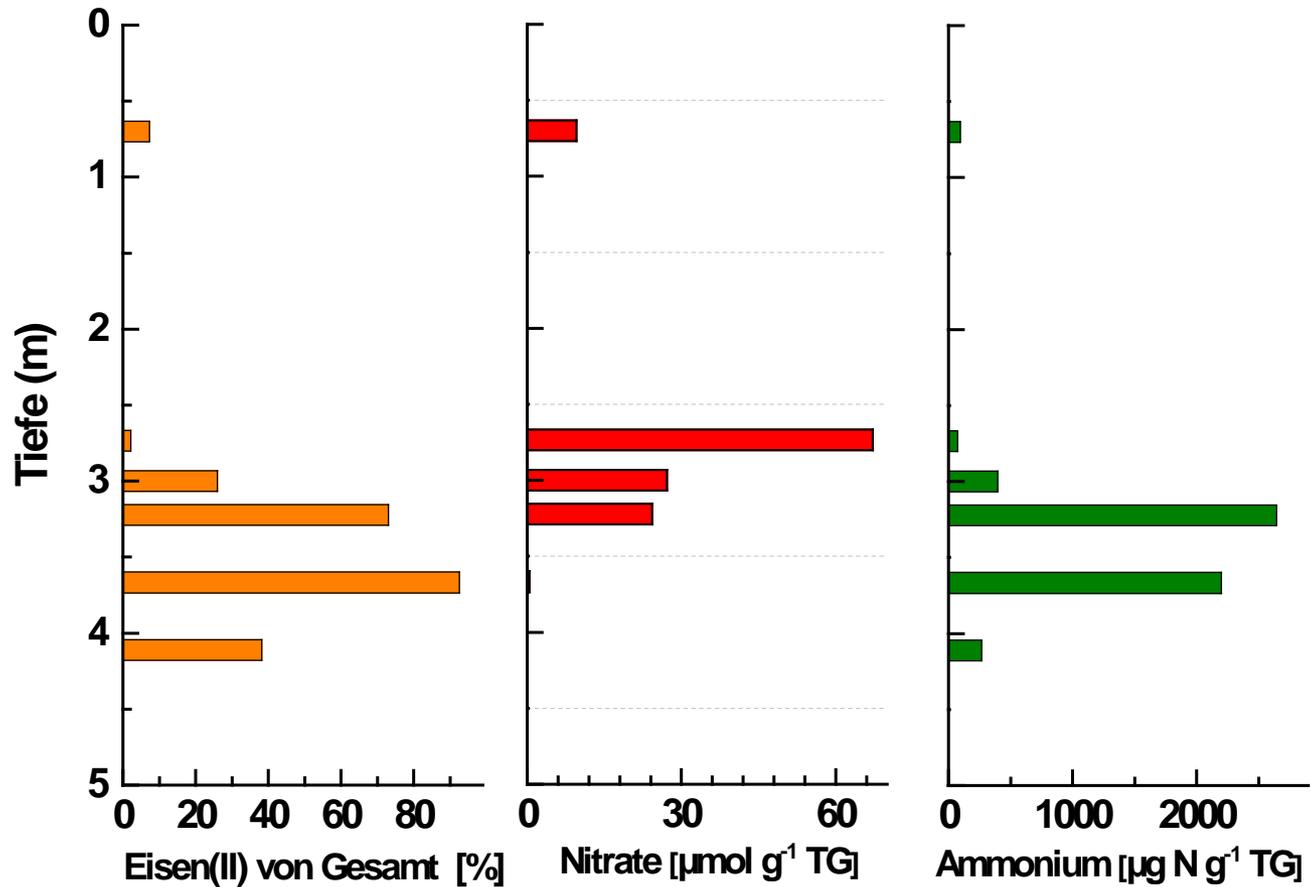
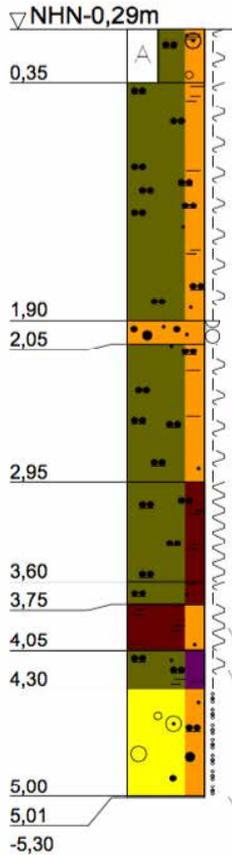
Projekt 5, Profil 9

Höhenänderung gering in 20 Jahren, Gebäudepunkte nicht repräsentativ



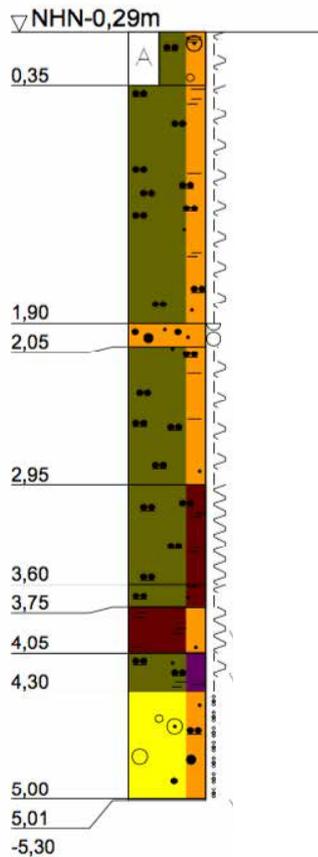
Projekt 5, Profil 9

Höhenänderung gering in 20 Jahren, Gebäudepunkte nicht repräsentativ



Projekt 5, Profil 9

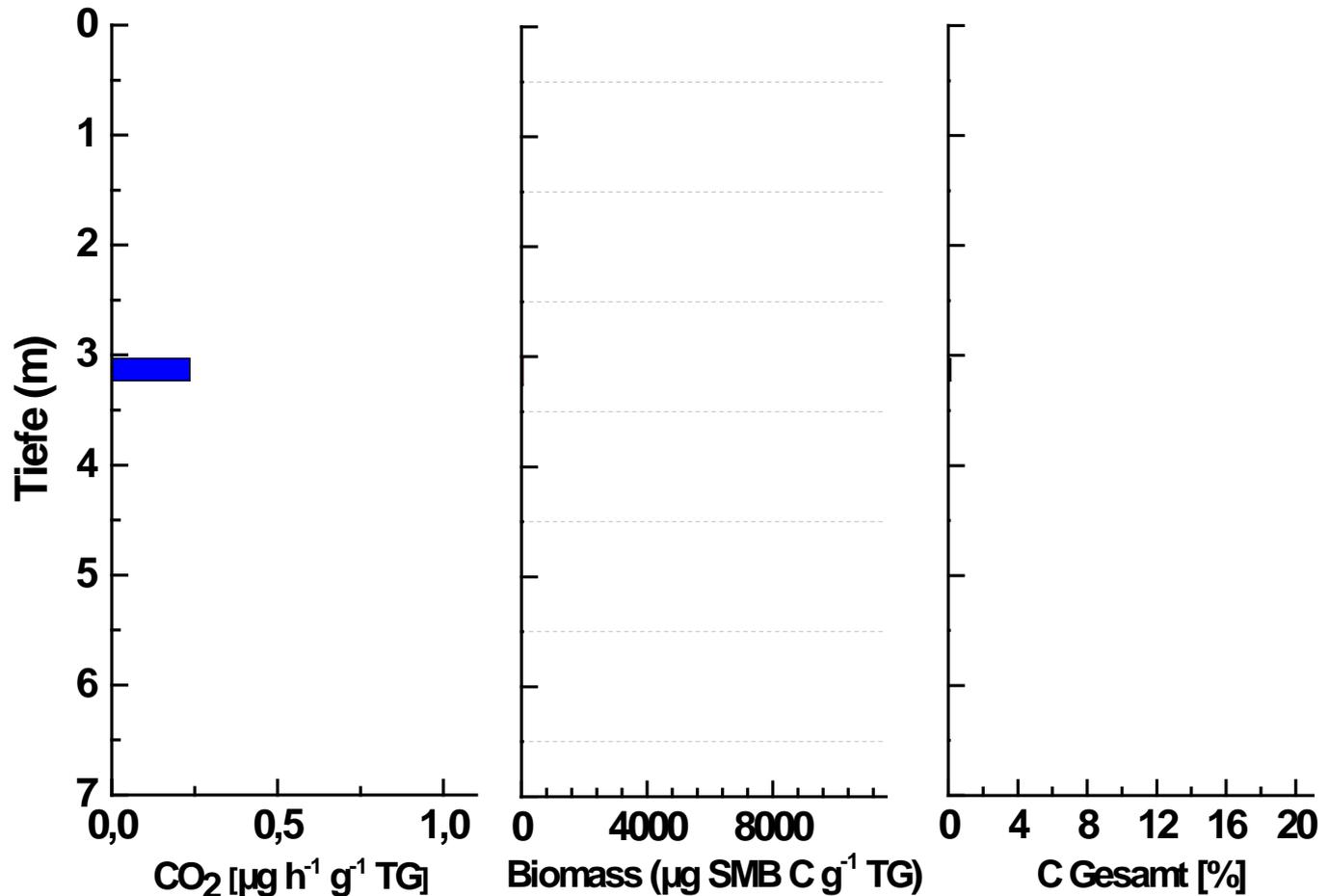
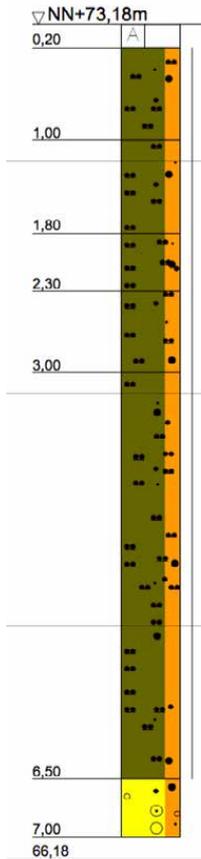
Höhenänderung gering in 20 Jahren, Gebäudepunkte nicht repräsentativ



Torfschichten ohne Sauerstoff
Kaum Abbau → keine Senkung

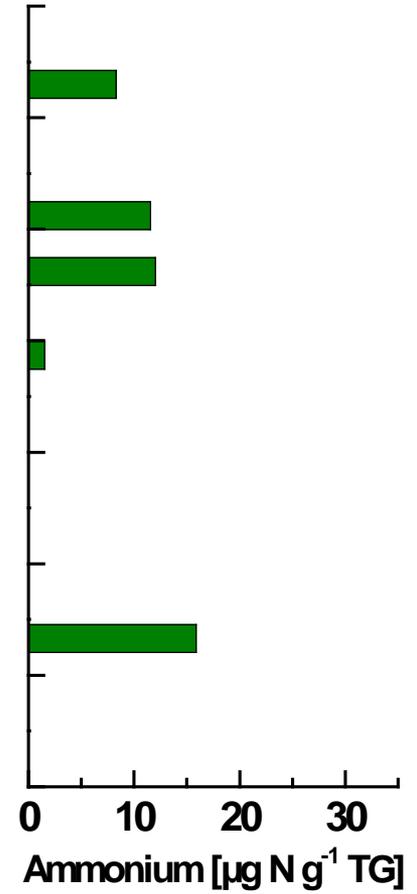
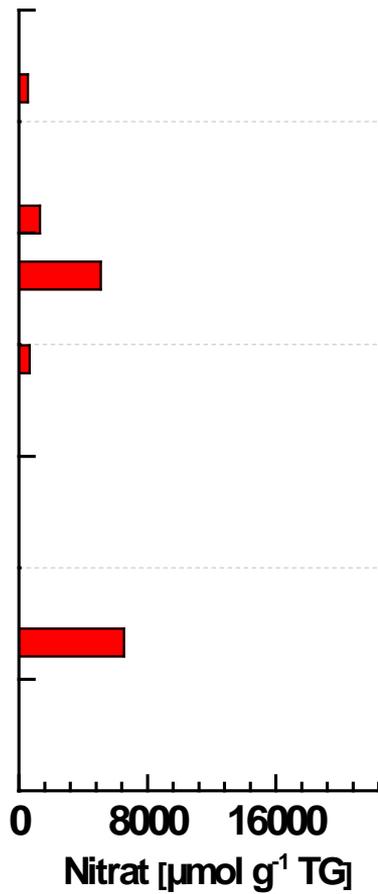
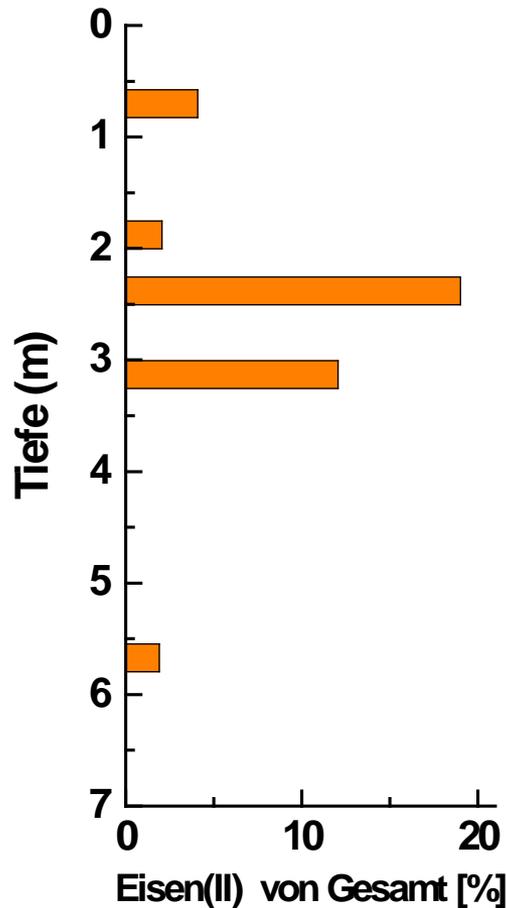
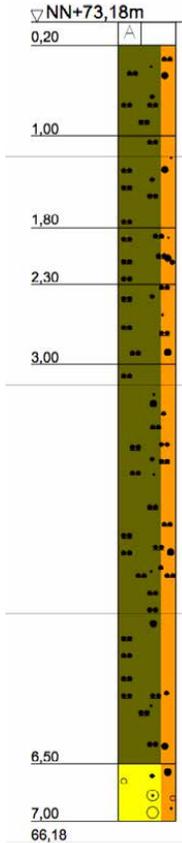
Projekt 2, Profil 248

Höhenänderung **-69 mm** in 44 Jahren, aktuelle Rate **-0,1 mm yr⁻¹**



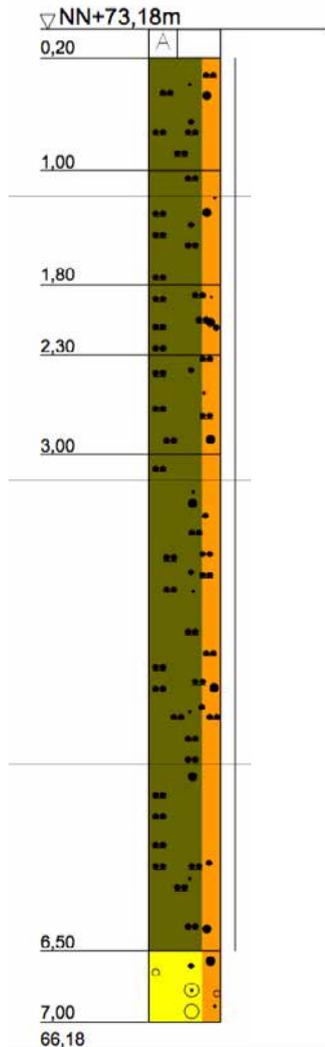
Projekt 2, Profil 248

Höhenänderung **-69 mm** in 44 Jahren, aktuelle Rate **-0,1 mm yr⁻¹**



Projekt 2, Profil 248

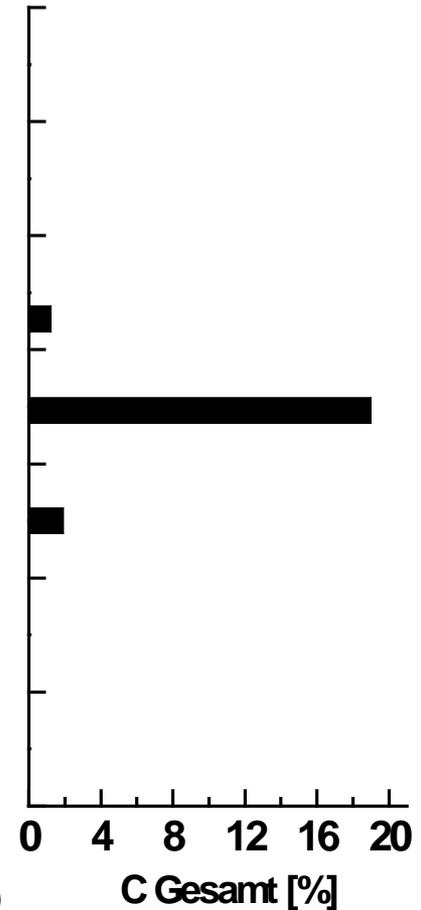
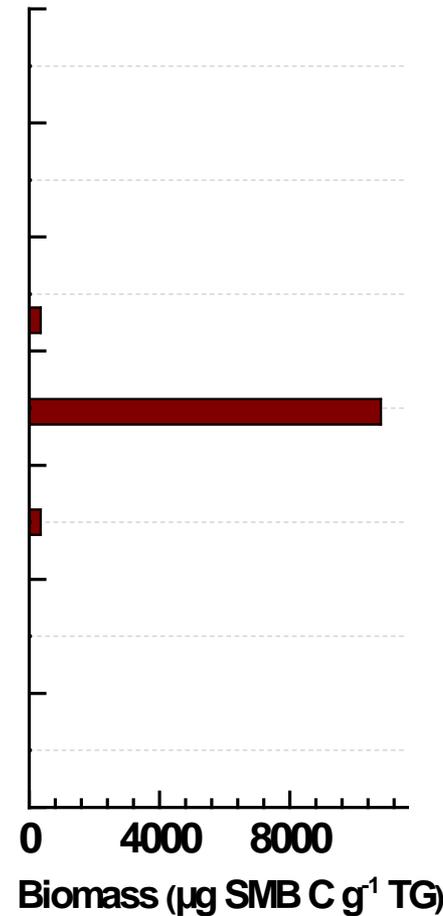
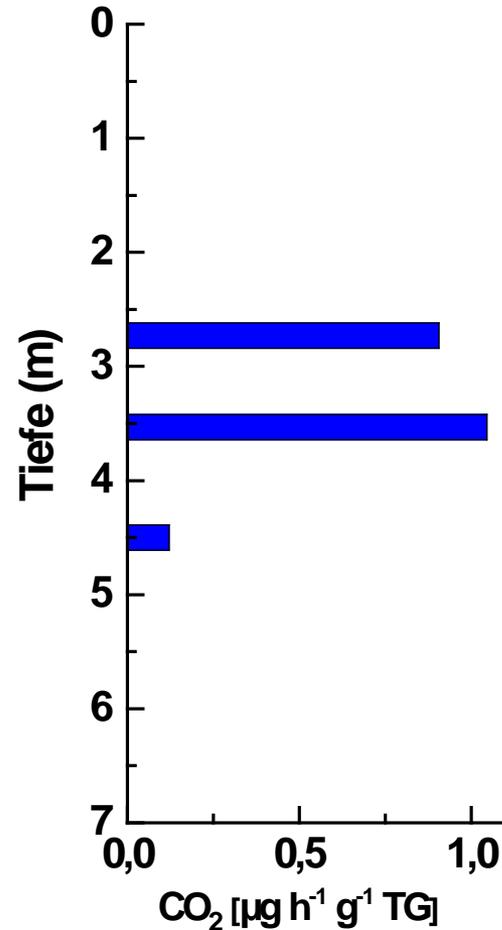
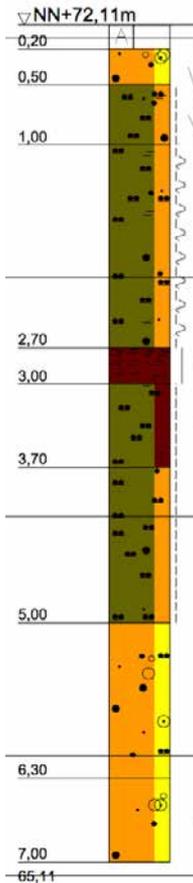
Höhenänderung **-69 mm** in 44 Jahren, aktuelle Rate **-0,1 mm yr⁻¹**



Bodensäule komplett mit Sauerstoff
Sehr wenig organischer Kohlenstoff
→ kaum Bodensenkung

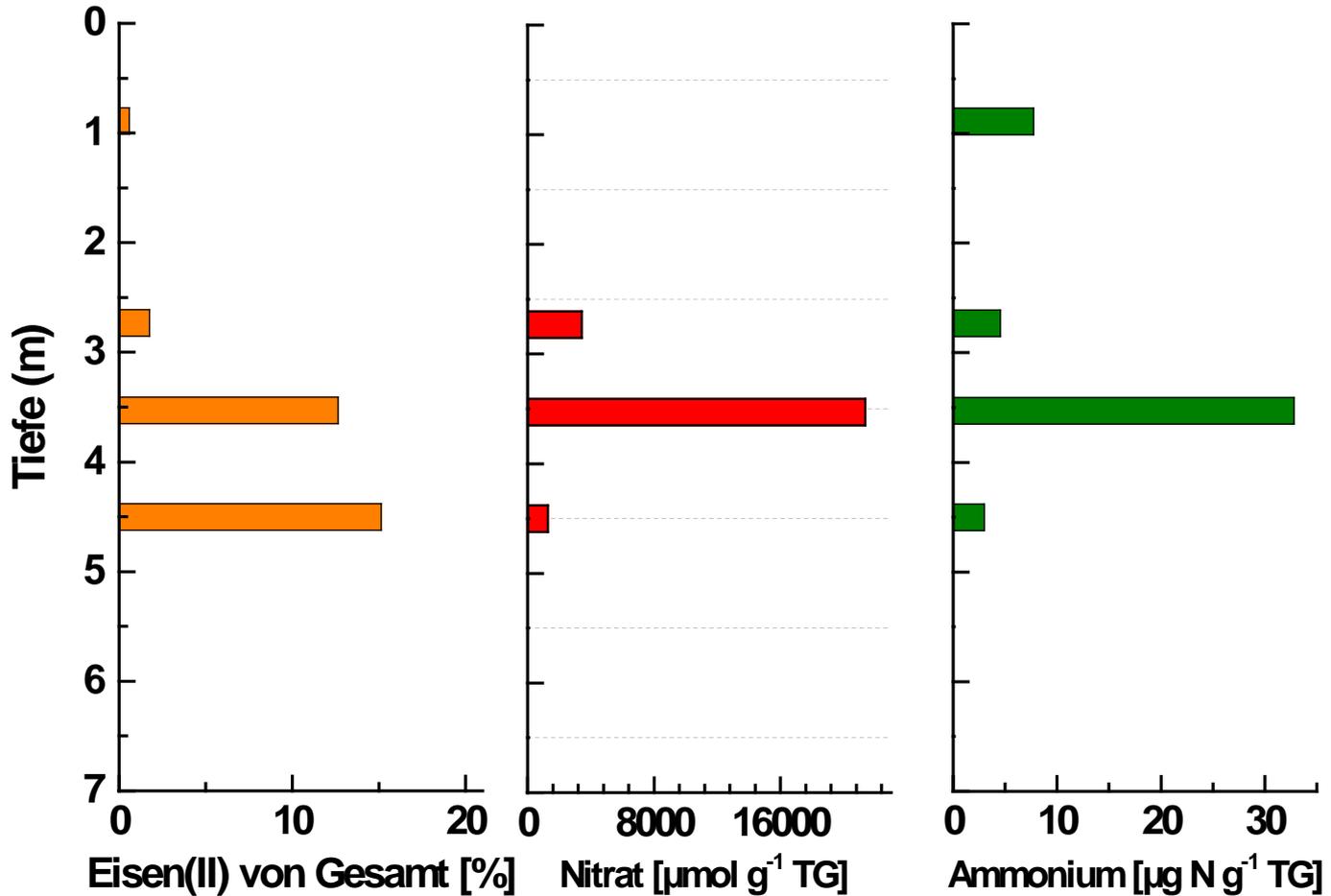
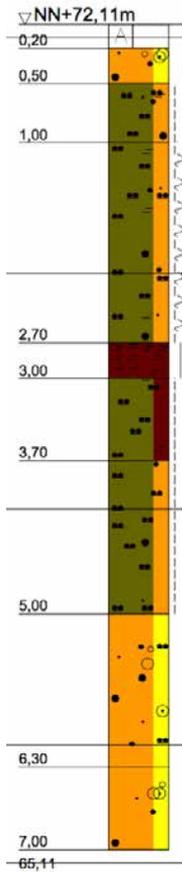
Projekt 2, Profil 251

Höhenänderung: **-551 mm** in 44 Jahren, aktuelle Rate: **-4,0 mm yr⁻¹**



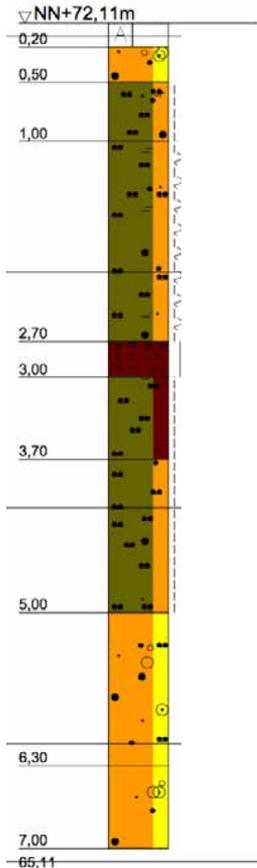
Projekt 2, Profil 251

Höhenänderung: **-551 mm** in 44 Jahren, aktuelle Rate: **-4,0 mm yr⁻¹**



Projekt 2, Profil 251

Höhenänderung: **-551 mm** in 44 Jahren, aktuelle Rate: **-4,0 mm yr⁻¹**

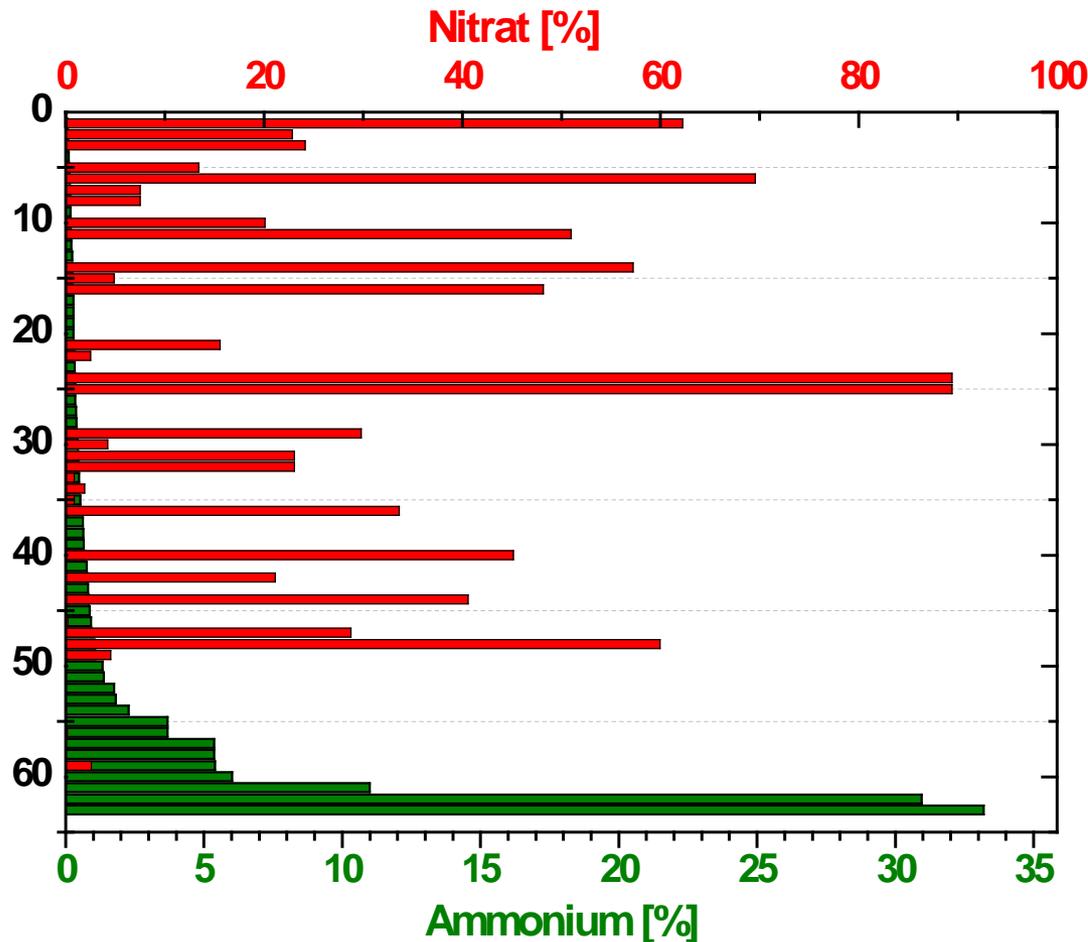


Torfschicht mit Sauerstoff
Abbau von organischer Kohlenstoff läuft
weiterhin ab

→ **weiterhin Bodensenkungen**

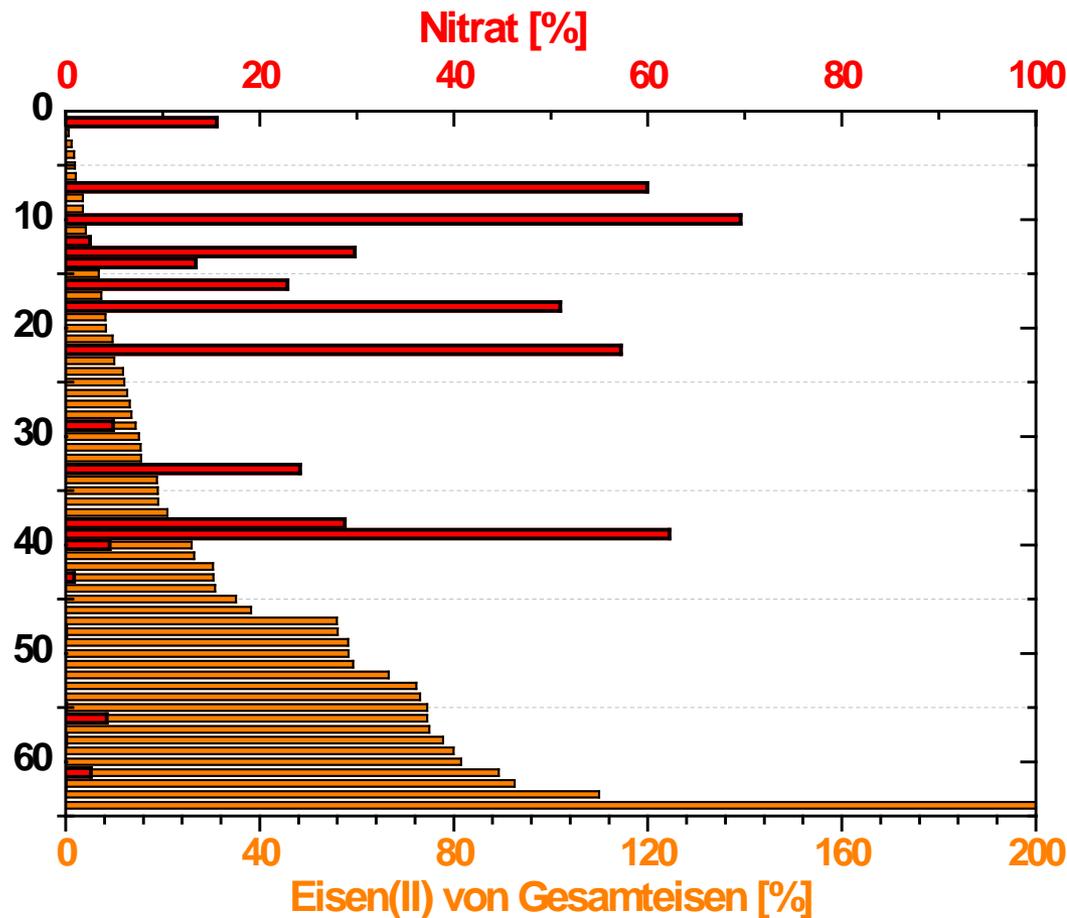
Besonderheit: **hohe Nitratkonzentrationen** in
der Torfschicht (Grundwassereintrag?)
begünstigen zusätzlich den Abbau unter
anoxischen Bedingungen.

Darstellung der analysierter Schichten (65) mit den entsprechenden **Nitrat-** und **Ammonium**konzentrationen geordnet nach aufsteigenden Ammoniumkonzentrationen



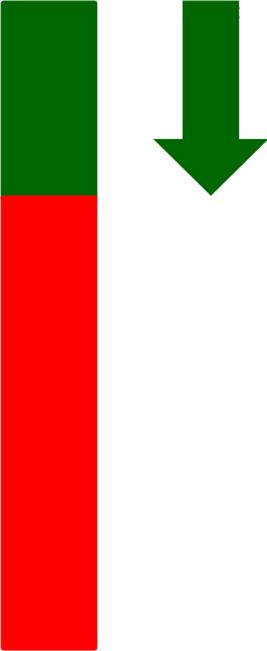
Schichten mit hohen Nitratkonzentrationen haben niedrige Ammoniumkonzentrationen und umgekehrt.

Darstellung der analysierter Schichten (65) mit den entsprechenden **Nitrat** und **Eisen(II)** Konzentrationen geordnet nach aufsteigenden Eisenkonzentrationen



Schichten mit hohen Nitratkonzentrationen haben niedrige Eisen(II) Konzentrationen und umgekehrt.

Fazit

- 
- Ist Sauerstoff in humosen Bodenschichten vorhanden, werden die organische Bestandteile schneller abgebaut (Mineralisierung).
 - Die Mineralisierung kann Jahrzehnte andauern.
 - Ammonium- und Nitratkonzentrationen verlaufen gegenläufig; ebenso Nitrat- und Eisen(II) Konzentrationen
 - Die Konzentrationen von Ammonium, Nitrat und Eisen(II) erlauben Rückschlüsse auf die Anwesenheit von Sauerstoff und ermöglichen Prognosen über zukünftige Senkungen.

- Die organische Bodenschicht mineralisiert von oben nach unten.
- Tieferliegende Schichten bleiben unverändert. Die organischen Bestandteile bleiben erhalten, bis Sauerstoff eindringt.

DANKE

Dr. Stefan Ratering
Rita Geißler-Plaum

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit und Ihr Interesse!!!