



- |       |   |       |  |
|-------|---|-------|--|
| 9:00  | <b>Begrüßung und Einleitung</b><br><i>Michael Eyll-Vetter, RWE Power, Leiter Sparte Tagebauentwicklung</i>  | 12:15 | <b>Mittagessen</b>   |
|       | <b>Grußwort</b><br><i>Volker Mießeler, Bürgermeister der Stadt Bergheim</i>   | 13:30 | <b>Identifikation von kritischen Bodenparametern für die Risikoabschätzung von Bodensenkungen durch mikrobiellen Abbau von organischen Substanzen</b><br><i>Prof. Dr. Sylvia Schnell, Justus-Liebig-Universität Gießen</i> |
| 9:20  | <b>Bericht der Schlichtungsstelle</b><br><i>Marcus Temburg, Leiter Planungsamt Rhein-Kreis Neuss</i>  | 14:00 | <b>Experimentelle Untersuchungen zum Verformungsverhalten von Torfen</b><br><i>Prof. Dr. Richard A. Herrmann, Universität Siegen</i>   |
| 9:50  | <b>Bergschadensbearbeitung aus der Sicht einer Kommune</b><br><i>Georg Gelhausen, Bürgermeister Gemeinde Merzenich</i>  | 14:30 | <b>Kaffeepause</b>   |
| 10:20 | <b>Schlichtungsverfahren aus Sicht der Betroffenen</b><br><i>Ulrich Behrens, Landesverband der Bergbaubetroffenen NRW</i>   | 15:00 | <b>Das Schwindverhalten bindiger Böden und seine bautechnische Bedeutung – Neue Erkenntnisse</b><br><i>Prof. Dr. Dietmar Placzek, Erdbaulaboratorium Essen</i>   |
| 10:50 | <b>Pause</b>  | 15:30 | <b>Modellierung sumpfungsbedingter Bodenbewegungen im Rheinischen Braunkohlenrevier</b><br><i>Dr. Benjamin Aulbach, ZAI Ingenieure</i>   |
| 11:15 | <b>Bodenbewegungskataster NRW – wie Satelliten Bewegungen künftig dokumentieren können</b><br><i>Dr. Jens Riecken, Bezirksregierung Köln, Geobasis NRW</i>          | 16:00 | <b>Abschluss und Ende der Veranstaltung</b>  |
| 11:45 | <b>Bodenbewegungsverhalten an sumpfungsbeeinflussten Störungen im Rheinischen Revier bei Grundwasser-Wiederanstieg</b><br><i>Prof. Dr. Axel Preuße, RWTH Aachen</i> |       |  |

# Geschäftsbericht der Schlichtungsstelle Braunkohle NRW am 19.09.2018

Bergschadensforum im MEDIO-RHEIN-ERFT, Konrad-Adenauer-Platz 1,  
in 50126 Bergheim



# I. Statistische Auswertung

## Gesamtübersicht 2010 bis 2018

Eingänge Gesamt	Positiv abgeschlossene Verfahren	Negativ Abgeschlossene Verfahren	Zurückgezogene Anträge	Offene Verfahren
213	81	57	41	34

# Gesamtübersicht

Jahr	Gesamt	Abgeschlossen Positiv	Abgeschlossen Negativ	Offene Verfahren	Aufgelaufene Zahlungen
2010	6	4	2	0	74.500€
2011	43	19	19	5	620.237€
2012	38	20	17	1	114.111€
2013	53	20	31	2	165.650€
2014	19	3	12	4	29.250€
2015	8	3	3	2	2.500€
2016	16	4	9	3	21.400€
2017	21	8	4	9	19.510€
2018	9	-	1	8	0€
Gesamt	213	81	98	34	1.047.158€

# Verfahrensabschlüsse im Jahr 2016

**2016 wurden 25 Verfahren abgeschlossen, und zwar**

- *5 Verfahren aus 2011*
- 6 Verfahren aus 2012
- 2 Verfahren aus 2013
- 3 Verfahren aus 2014
- 4 Verfahren aus 2015
- 5 Verfahren aus 2016

***25 Verfahren insgesamt***

# Verfahrensabschlüsse im Jahr 2017

*2017 wurden 22 Verfahren abgeschlossen, und zwar*

- *1 Verfahren aus 2011*
- *1 Verfahren aus 2012*
- *5 Verfahren aus 2013*
- *1 Verfahren aus 2014*
- *2 Verfahren aus 2015*
- *7 Verfahren aus 2016*
- *5 Verfahren aus 2017*

*22 Verfahren insgesamt*

# Verfahrensabschlüsse im Jahr 2018

*2018 wurden 11 Verfahren abgeschlossen, und zwar*

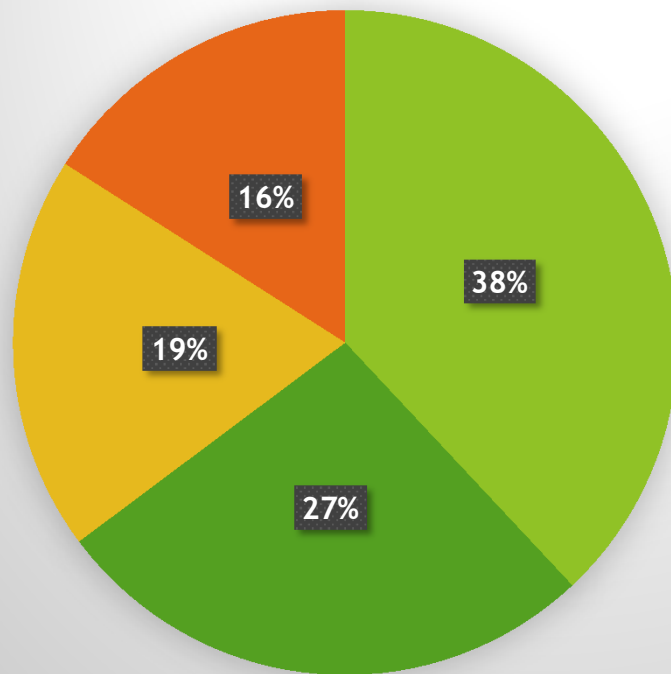
- 1 Verfahren aus 2014
- 1 Verfahren aus 2016
- 8 Verfahren aus 2017
- 1 Verfahren aus 2018

*11 Verfahren insgesamt*

# Schlichtungsstelle Braunkohle NRW

## Gesamtübersicht 2010 bis 2018

### 213 Anträge gesamt - Diagramm



- 81 Positive Anträge
- 57 Negative Anträge
- 41 zurückgezogene Anträge
- 34 offene Anträge



# Ich bedanke mich für Ihre Aufmerksamkeit

## ▶ Marcus Temburg

- ▶ Geschäftsstellenleiter der
- ▶ Schlichtungsstelle Braunkohle NRW
  - ▶ Schloßstraße 20
  - ▶ 41515 Grevenbroich



# Bergschadenssituation aus Sicht der Gemeinde Merzenich

5. Bergschadensforum am 19. September 2018



[www.gemeinde-merzenich.de](http://www.gemeinde-merzenich.de)

# Schon lange Zeit ein Thema in unserer Gemeinde (Beispiele)

Haus Dienslage



Valdersweg



Römerhof



Poolplatz



## Agenda

- Bodensenkungen 2001 bis 2017
- Bodenbewegungen
- Statistik
- Vorsorge durch Beteiligung
- Planungsvorhaben
- Bergschadenssituation Gebäude
- Bergschadenssituation Straßen und Kanäle
- Aus der Not eine Tugend machen!
- Was kann die Kommune weiter tun?
- Was läuft gut? Was kann verbessert werden?

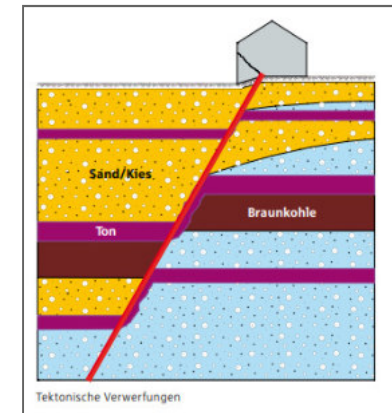
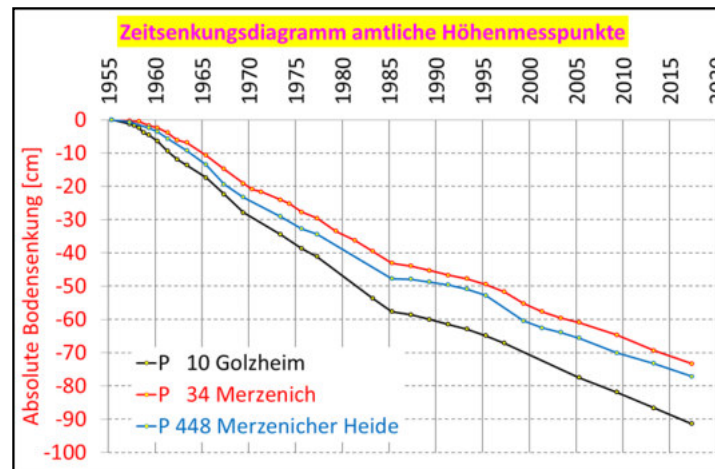
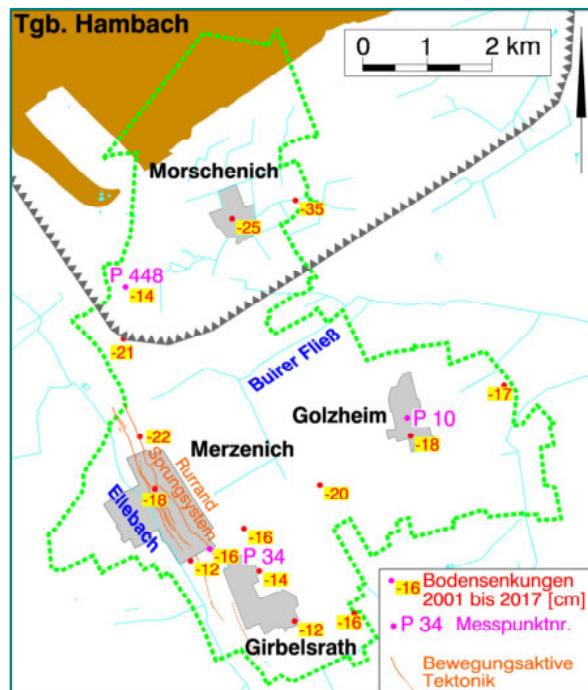


19.09.2018, Folie 3



[www.gemeinde-merzenich.de](http://www.gemeinde-merzenich.de)

# Bodensenkungen 2001 bis 2017



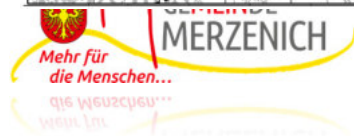
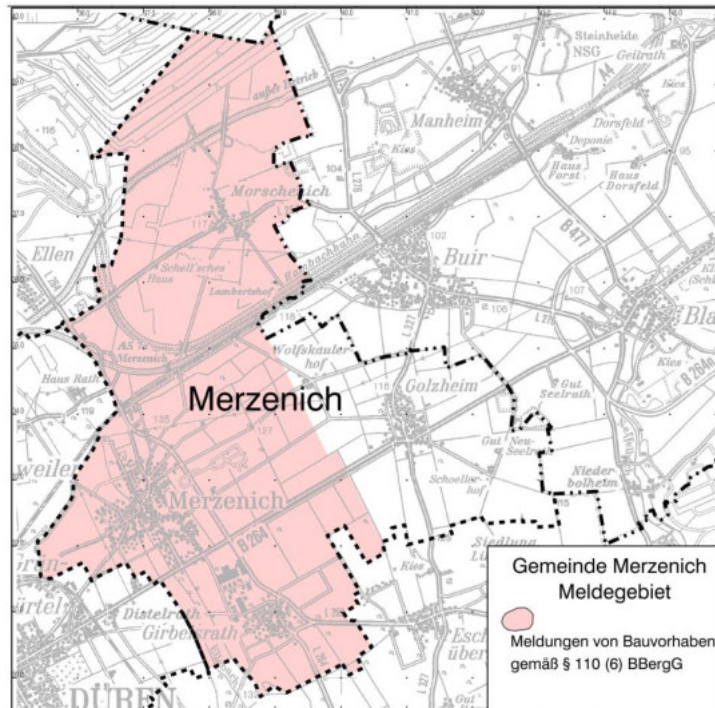
Die Bodenbewegungen werden durch turnusmäßige Höhenmessungen an einer Vielzahl von Messpunkten dokumentiert (insgesamt rund **4.900 Messpunkte** in der Gemeinde Merzenich).

## Statistik

Gebäude	2013	2014	2015	2016	2017
Erstmeldungen	14	7	7	15	13
Neue Bergschäden	5	3	1	5	2
Wiederholungsmeldungen	63	47	56	52	46
Schlichtungsfälle	1	0	0	0	0



## Vorsorge durch Beteiligung



- Regelmäßige Meldung von Planungs- und Bauvorhaben an RWE Power zur Prüfung, ob bergbauliche Belange (Tagebaubetrieb, Vorfeld, Umsiedlung, Bergschäden, etc.) zu berücksichtigen sind.
- In den letzten Jahren wurden durchschnittlich:
  - 40-50 Anfragen zu Bauvorhaben und Grundstücken sowie
  - 2-3 Anfragen zu Flächennutzungs- und Bebauungsplänen

aus dem Gemeindegebiet Merzenich bearbeitet und von RWE Power beantwortet.

## Vorsorge bei Planungsvorhaben

- Vermeidung zukünftiger Bergschäden, Betroffenheiten und Regulierungsaufwand und durch rechtzeitige Einbindung bei:
  - Landes- und Umsiedlungsplanungen
  - Bauleitplänen
  - Bauvorhaben, Grundstücksverkäufen
- Vorsorgemaßnahmen erfolgen im engen Kommunen und Bauherren:
  - Freihaltung von Störzonen in B-Plänen
  - Anpassung / Verschieben von Baukörpern
  - Entschädigung der Wertminderung bei Bergschadensverzicht und Bauverbot
  - Einbau von baulichen Sicherungsmaßnahmen
  - In besonders gelagerten Einzelfällen Grunderwerb als ultima ratio



Gemeinde Merzenich Bebauungsplan Nr. C 19b





## Bergschadenssituation Gebäude

- Die Bergschadenssituation in Merzenich ist geprägt durch Schadensmeldungen im Bereich bewegungsaktiver Tektonik.
- Die Schlichtungsstelle wurde nur in geringem Umfang von Merzenicher Bürgern in Anspruch genommen.
- Alle Grundwasser-Leiter sind bereits erfasst, sodass auch künftig keine deutlich veränderte Bergschadenssituation zu erwarten ist.
- In den Ortsteilen Morschenich, Golzheim und Girkelsrath sind keine Bergschäden zu verzeichnen.



## Bergschadenssituation Straßen und Kanäle

- Im öffentlichen (Verkehrs-)Bereich wurden in Merzenich in den vergangenen fünf Jahren insgesamt 22 Bergschäden an Straßen und Kanälen durch RWE reguliert.
- Wenn möglich, werden Synergien für die Gemeinde genutzt. Beispiel: Straßen-/ Kanalsanierung in Merzenich, Bergstraße (s. Foto oben). Im Zuge der 2016 durchgeführten Maßnahme hat die Gemeinde einige Meter straßenaufwärts zum störungsbedingten Sanierungsbereich noch weitere Straßenschäden durch das von RWE beauftragte Tiefbauunternehmen sanieren lassen (s. Foto unten). Dabei sind für die Gemeinde die Kosten für die Baustelleneinrichtung und die Bauüberwachung entfallen.



19.09.2018, Folie 9



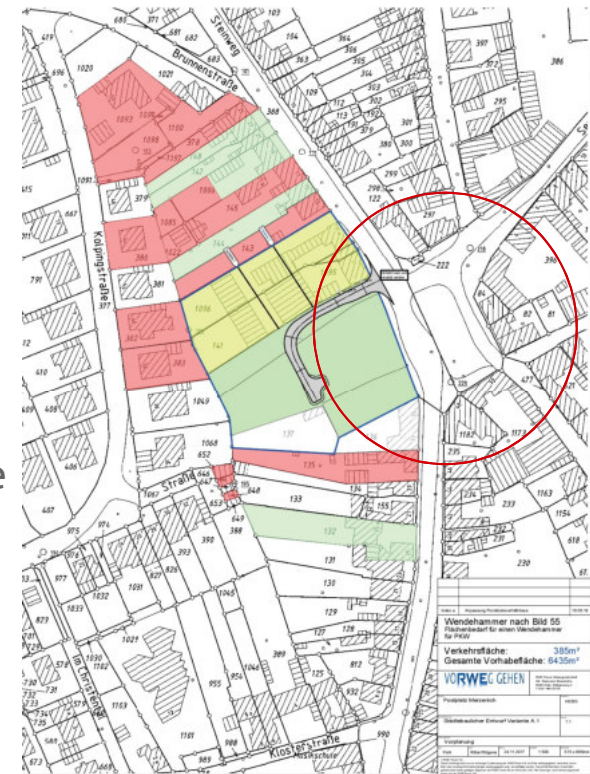
[www.gemeinde-merzenich.de](http://www.gemeinde-merzenich.de)

## Aus der Not eine Tugend machen! (Planungen Poolplatz)

- Aufgrund von bergbaubedingten Schäden mussten die Anwesen am Steinweg 1,3,5,7 und 9 im Jahr 2017 zurückgebaut werden.
- Durch die Beteiligung der Anlieger kann der Bereich gegebenenfalls erweitert werden.
- Die Bedeutung des Poolplatzes für die Merzenicher Bevölkerung wurde bei der Erstellung des Dorffinnenentwicklungskonzepts deutlich.
- Es soll nun im Rahmen eines Architektenwettbewerbs eine ganzheitliche Betrachtung des Poolplatzes erfolgen und aus dem Poolplatz wieder ein ortsbildprägender und lebendiger Platz mit Aufenthaltsqualitäten entstehen.



19.09.2018, Folie 10



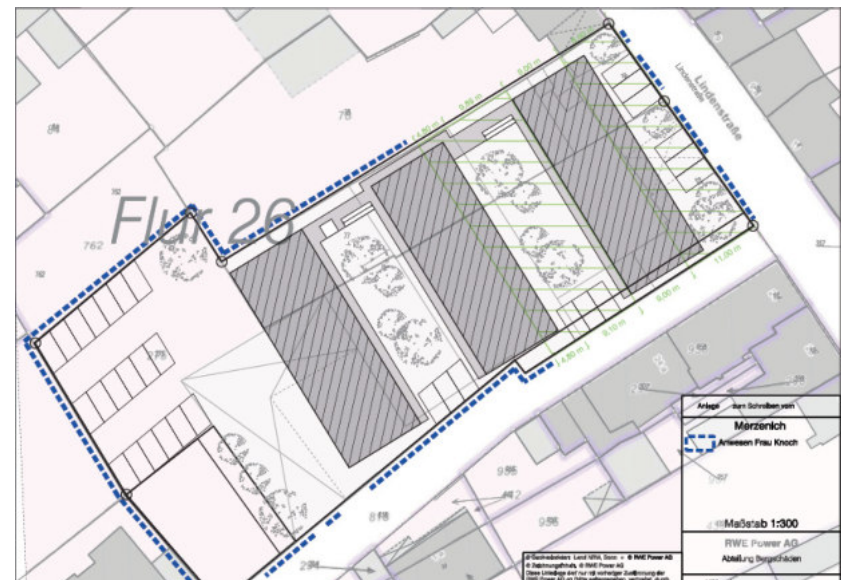
[www.gemeinde-merzenich.de](http://www.gemeinde-merzenich.de)

# Aus der Not eine Tugend machen! (Planungen Hofanlage Knoch)

Heute



Planung



## Was kann die Kommune weiter tun?

- Die Gemeinde informiert und leistet Hilfestellung
- Mitgliedschaft im Verband bergbaugeschädigter Haus- und Grundeigentümer (VBHG) (kostenlose Vorprüfung auf Bergschäden für alle Bürger); Gemeinde sieht sich als Vermittler und Bindeglied
- Regelmäßiger Informationsaustausch mit RWE Power und VBHG in Verwaltung und politischen Gremien



## Was läuft gut? Was kann verbessert werden?



- Seit 2010 Einrichtung der neutralen Schlichtungsstelle Braunkohle (ehem. Anrufungsstelle) für Betroffene
- Guter Informationsfluss zwischen Gemeinde-RWE bzw. Gemeinde-VBHG
- Fachliche Zusammenarbeit bei Bergschadensvorsorge und Schadensbeseitigung an kommunaler Infrastruktur



- Mehr Datentransparenz für Bürger (Grundwasserspiegel, Bodenbewegungen)
- Forderung zur Umkehr der Beweislast?
- ...

## Kontaktdaten

Gemeinde Merzenich  
Georg Gelhausen  
Bürgermeister  
Valdersweg 1  
52399 Merzenich  
Tel.: 02421 /399-130  
ggelhausen@gemeinde-merzenich.de  
www.gemeinde-merzenich.de



19.09.2018, Folie 14



[www.gemeinde-merzenich.de](http://www.gemeinde-merzenich.de)

# Schlichtung – Bergschadensbearbeitung

Bergschadensforum 2018

Ulrich Behrens, Geschäftsführender Vorstandssprecher



# Kohlebergbau in NRW



# Bergschadensursachen

- ▶ Unstetigkeiten
- ▶ Humöse Böden („Torflinsen“)

# Schadensursache Bergbau??



# Bergschaden – ja oder nein?



# Bergschaden – ja oder nein



# Bergschaden oder nicht?



# Rechtsmittel



© Von Maarten van Heemskerck, Wikipedia

# Schlichtungsstelle Braunkohle NRW



# Schlichtungsverfahren

- ▶ Geologie
- ▶ Erftverb
- ▶ Gutacht



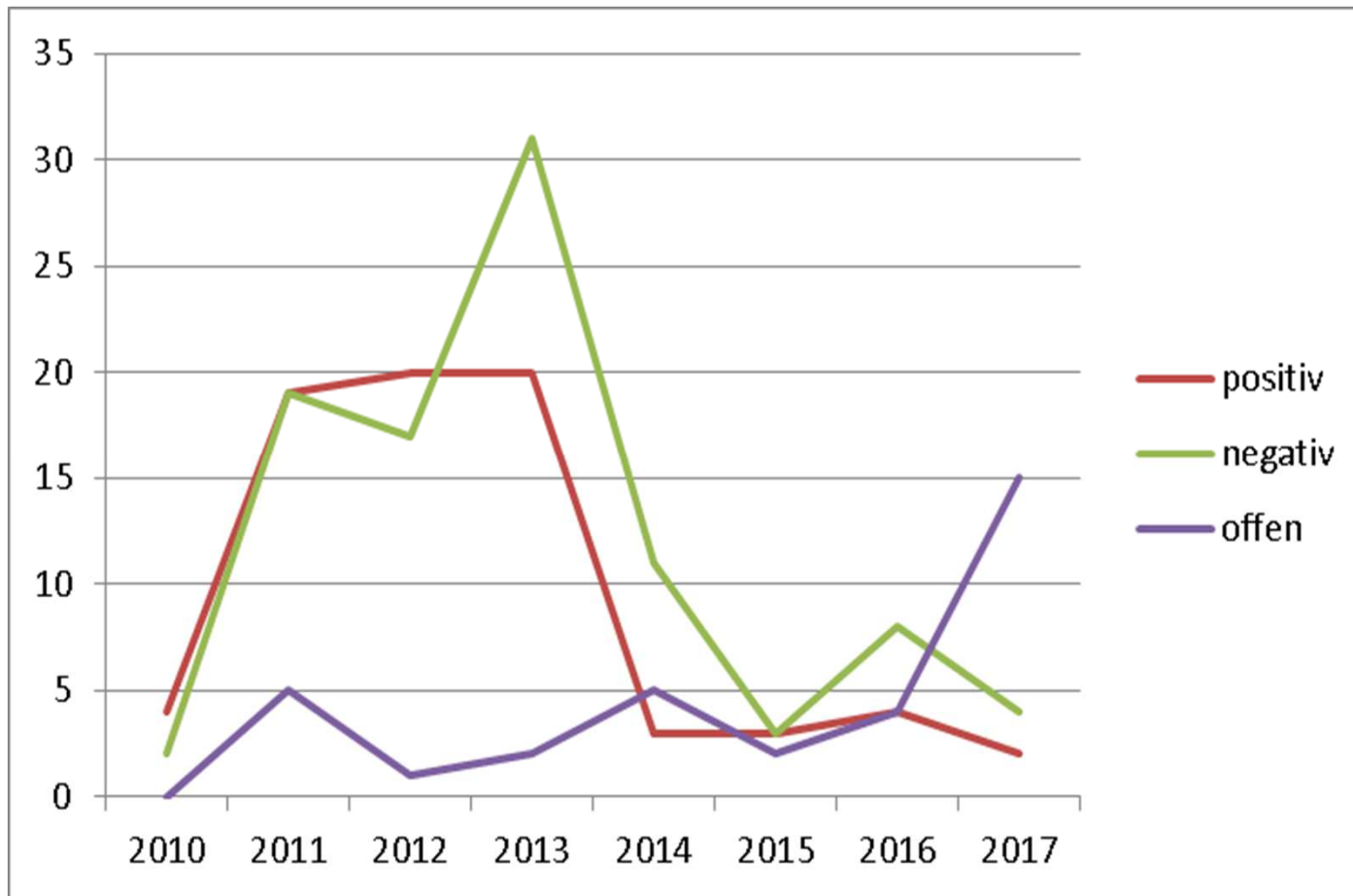
ienst NRW

erband

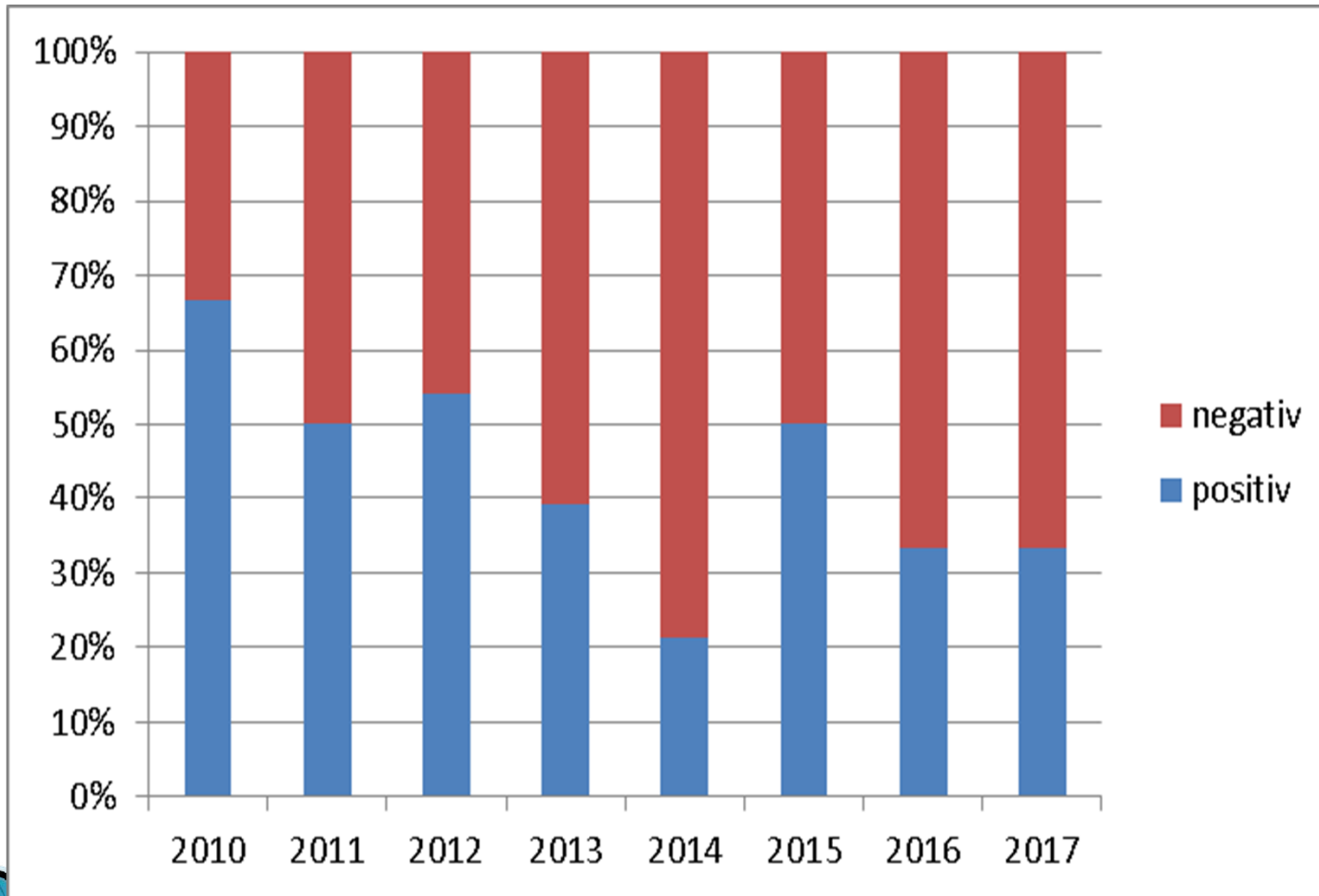
# Schlichtungsverfahren

	<b>Gesamt</b>	<b>Abgeschlossen (+)</b>	<b>Abgeschlossen (-)</b>	<b>aufgelaufene Zahlungen</b>
<b>2010</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>74.500,-€</b>
<b>2011</b>	<b>43</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>620.237,-€</b>
<b>2012</b>	<b>38</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>114.111,-€</b>
<b>2013</b>	<b>53</b>	<b>20</b>	<b>31</b>	<b>165.650,-€</b>
<b>2014</b>	<b>19</b>	<b>3</b>	<b>11</b>	<b>29.250,-€</b>
<b>2015</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2.500,- €</b>
<b>2016</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>21.400,- €</b>
<b>2017</b>	<b>21</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>19.510,- €</b>
<b>Gesamt</b>	<b>204</b>	<b>75</b>	<b>95</b>	<b>1.047.158,-€</b>

# Verfahrensdauer



# Ergebnisse der Schlichtung



# Ergebnisse in 2018

## ▶ Abgeschlossen

- 1 Verfahren aus 2014
- 1 Verfahren aus 2016
- 7 Verfahren aus 2017
- 1 Verfahren aus 2018

## ▶ Ergebnisse

- 6 positiv u.a. mit Messbeobachtungen
- 3 negativ
- 1 Verfahren wurde keine Zustimmung seitens RWE erteilt – da keine Zuständigkeit

# Zuständigkeitskarte

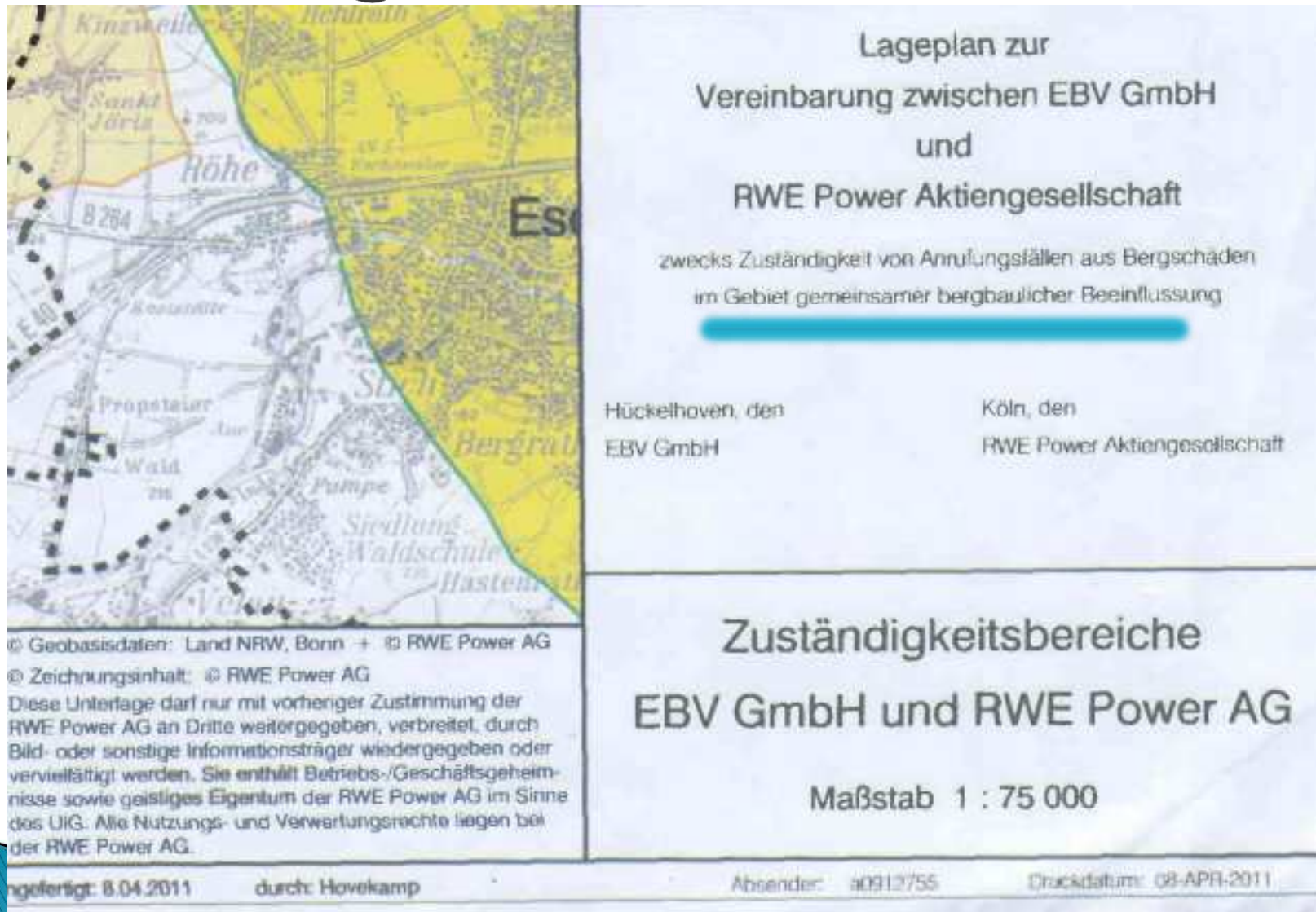
- ▶ Schlichtungsordnung NRW von 2017, S. 2
  - „Die sich aus den Einwirkungsbereichen des Steinkohlenbergbaus bzw. Auswirkungs-bereichen der Sümpfungsmaßnahmen des Braunkohlenbergbaus ergebende räumliche Abgrenzung der Zuständigkeit für die jeweilige Schlichtungsstelle wird zwischen den Bergwerksunternehmen abgestimmt und der jeweiligen Schlichtungsstelle mitgeteilt.“

# Zuständigkeitskarte

„auf Grundlage von bergrechtlich überprüfbaren Einwirkungsbereichen“

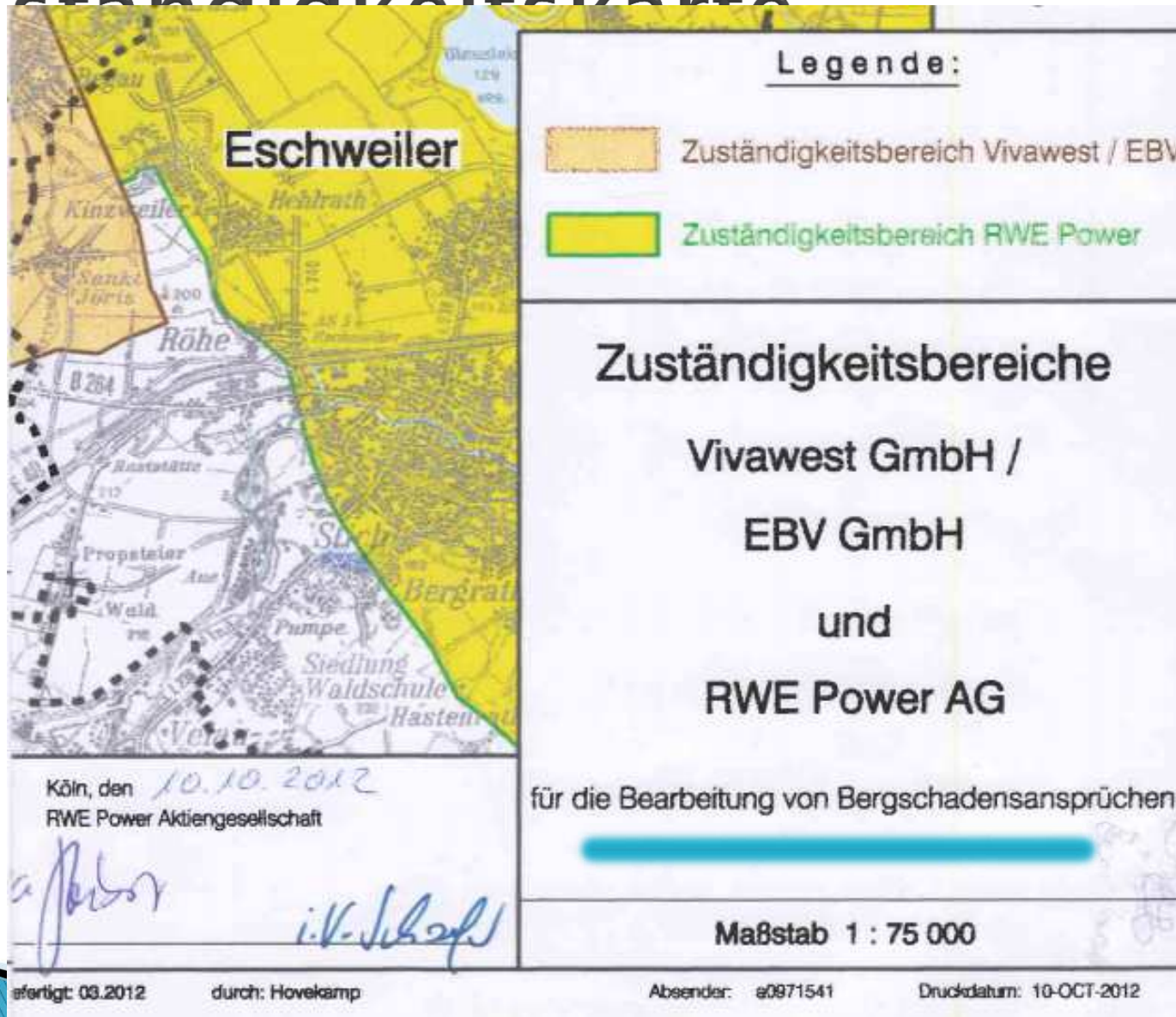


# Zuständigkeitskarte

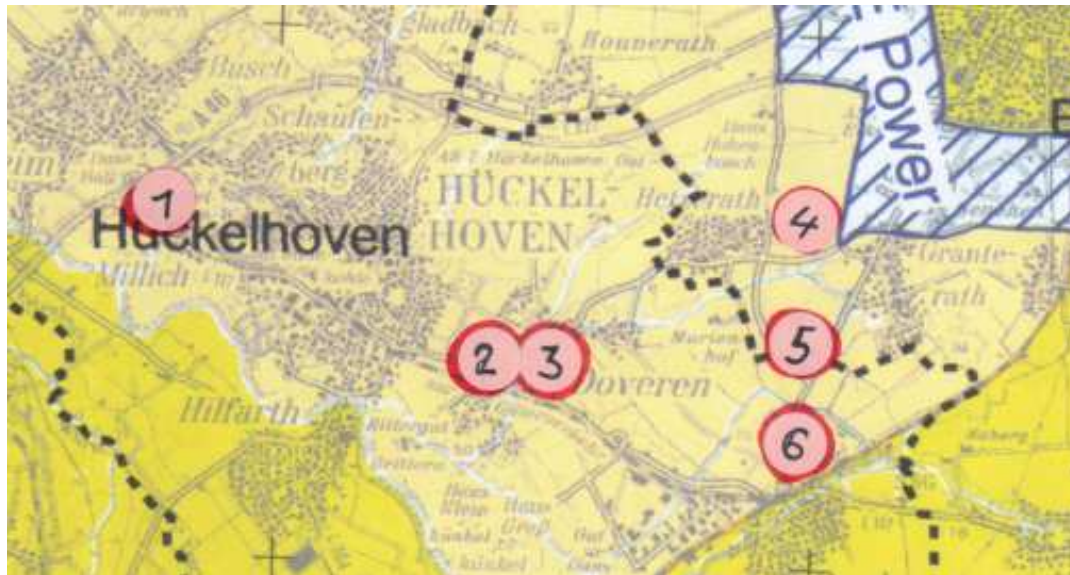




# Zuständigkeitskarte

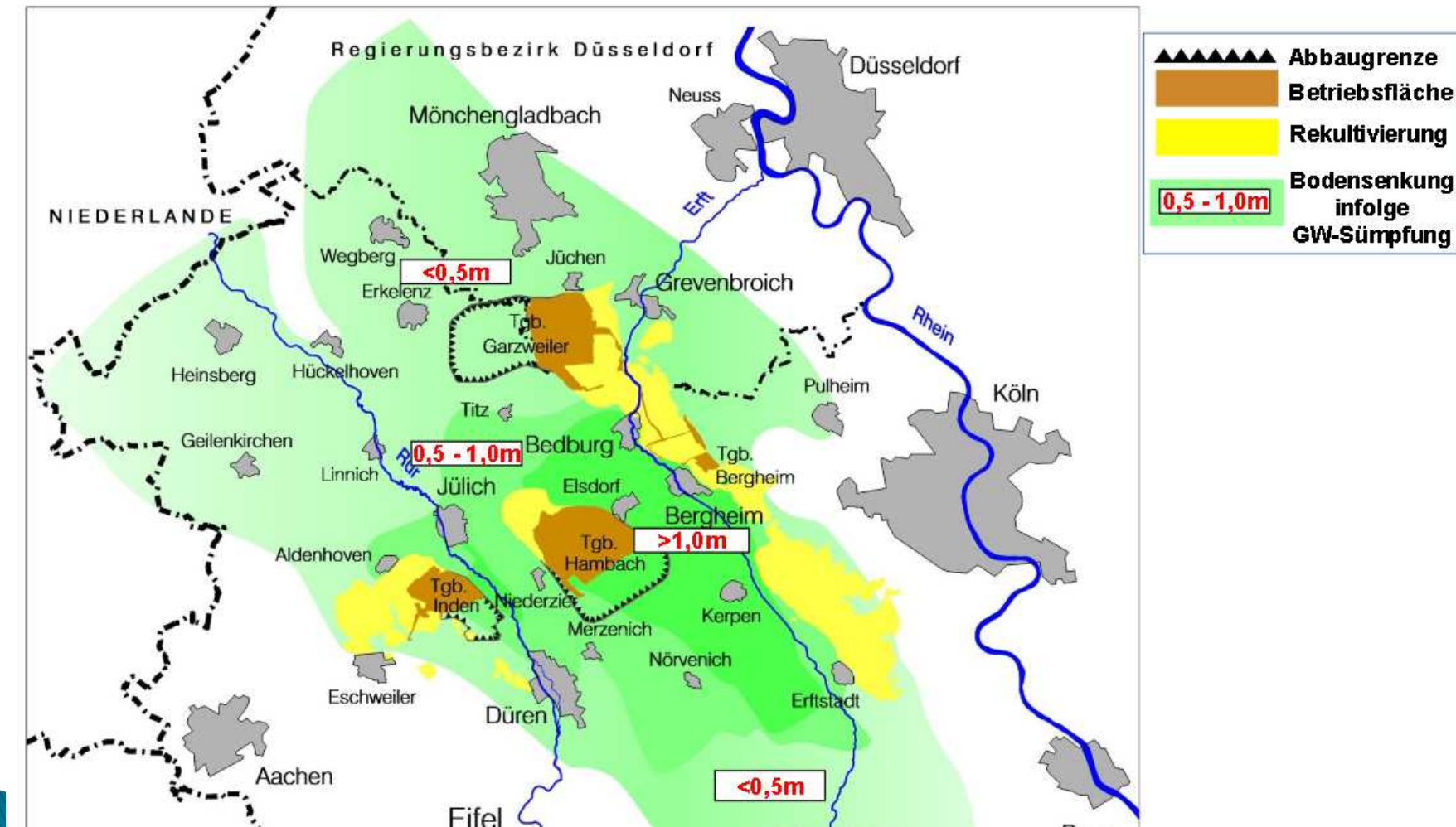


# Verfahren im „Bereich EBV“



1. Ablehnung RWE => EBV
2. Verfahren RWE
3. Ablehnung RWE => EBV
4. Ablehnung RWE
5. Verfahren RWE
6. RWE und EBV teilen sich Regulierung

# Bodensenkungen 1955 bis heute



© RWE POWER, 2015

# Hebungen an der Erdoberfläche

- ▶ Grundwasseranstieg (Ende der Sümpfung)
- ▶ Grubenwasseranstieg (weit über den ehemaligen Einwirkungsbereich hinaus)
  - Emil Mayrisch Schacht I      $-767\text{m} \Rightarrow -9,19\text{m}$
  - Eduard Schacht Anna      $-732\text{m} \Rightarrow -7,74\text{m}$
  - Carl Alexander Schacht II    $-753\text{m} \Rightarrow -8,17\text{m}$

# Zuständigkeit

- ▶ Bergschäden
  - EBV und RWE zuständig
  - Bürgerinnen und Bürger entscheiden über Schadensmeldung selbst
- ▶ Schlichtungsstelle
  - Karte nur für Erstmeldung
  - Ablehnung durch eine Schlichtung => Meldung an andere Schlichtungsstelle möglich
  - Verfahren berücksichtigt alle Schadensursachen

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



## **Bodenbewegungskataster NRW – wie Satelliten Bewegungen künftig dokumentieren können - ein Werkstattbericht**

Dr.-Ing. Jens Riecken



gefördert durch:



Bundesministerium  
für Verkehr und  
digitale Infrastruktur



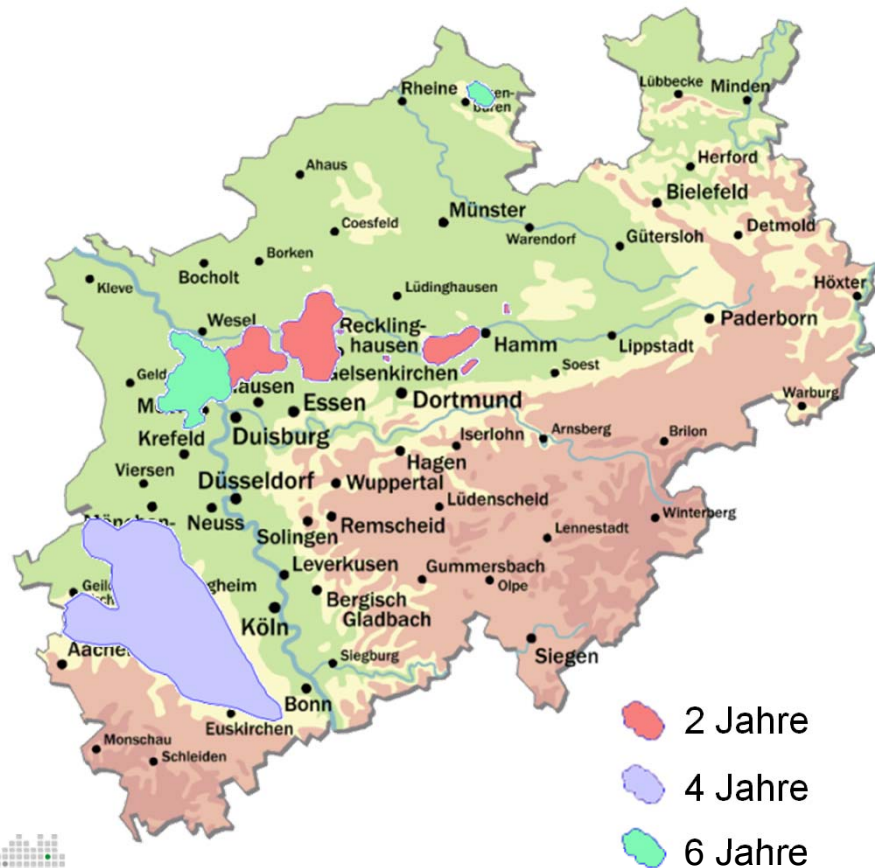
## Agenda

1. Nordrhein-Westfalen und Bodenbewegung
2. Beobachtungsmethoden
3. Bodenbewegungskataster NRW
  - 3.1 Informationsgewinnung
  - 3.2 Aufbereitung
  - 3.3 Qualitätssicherung
  - 3.4 Bereitstellung
4. Methodenvergleich und Ausblick



# 1 Nordrhein-Westfalen und Bodenbewegungen

Bezirksregierung Köln



- ❖ NRW ist durch Bodenbewegungen erheblichen Beeinträchtigungen ausgesetzt
- ❖ turnusmäßige Wiederholungsmessungen in Abhängigkeit der Bewegungsraten
- ❖ liefern auch in Bodenbewegungsgebieten einen aktuellen Raumbezug (aktuelle Höhen)
- ❖ Grundlage für wissenschaftliche Analysen und Modelle
- ❖ Nutzung bei der Bergschadensbewertung

## 2 Beobachtungsmethoden

Bezirksregierung Köln



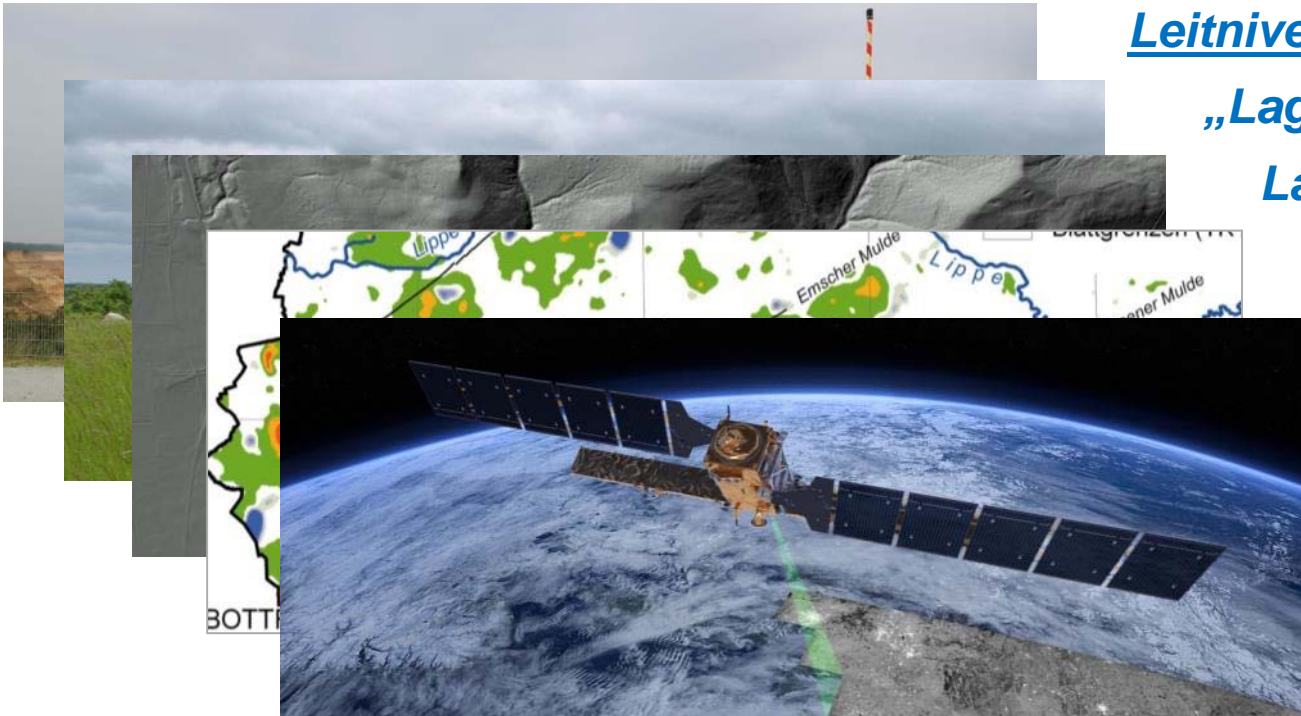
Leitnivellement

„Lage“-Deformationsnetze

Laserscanning

Modelle aus Höhenlinien  
historischer Karten

Radarinterferometrie



## 2 Beobachtungsmethoden

Bezirksregierung Köln



*Leitnivellement*

*GNSS-Deformationsnetze*

*Laserscanning*

*DGM aus Höhenlinien  
historischer Karten*

*Radarinterferometrie*



## 2 Beobachtungsmethoden



### *Leitnivellement*

- ❖ 5 Gebiete, beobachtet mit individuellem Wiederholungszyklus zwischen 2 und 6 Jahren
- ❖ bis zu 1.400 km Nivellementsweg (Doppelnivellement) mit bis zu 5.000 neu zu bestimmende Höhenfestpunkte je Kampagne
- ❖ bis zu 35 Messtrupps gleichzeitig im Einsatz bei ca. 6 Wochen Messdauer

## 2 Beobachtungsmethoden

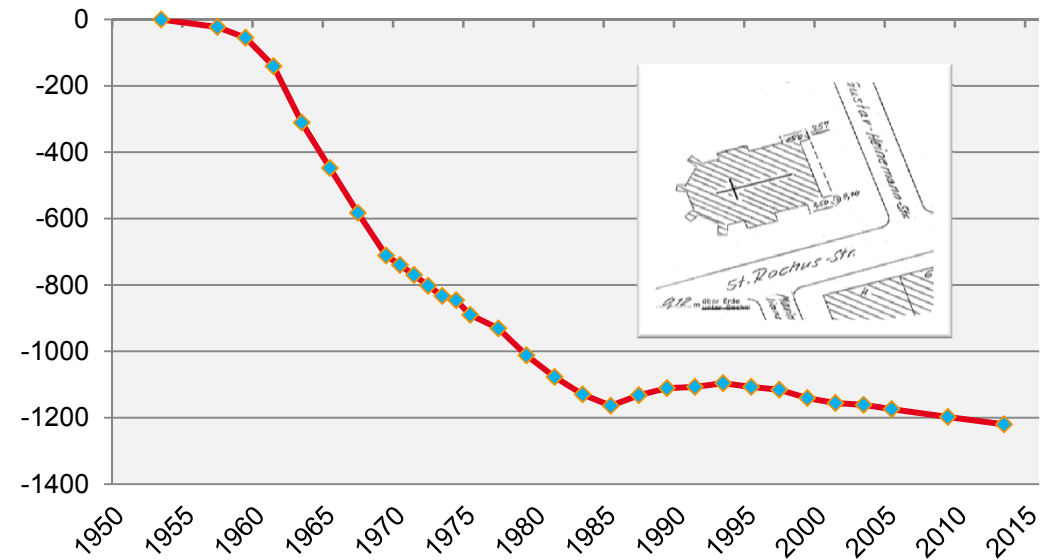


### Ergebnisse:

- ❖ Zielgröße: aktualisierte präzise NHN-Höhen der HFP im amtlichen Raumbezug 2016
- ❖ Aufbau von Zeitreihen
- ❖ Modellierung der vertikalen Bodenbewegung

### Beispiel:

- ❖ Höhenwertänderung [mm] des HFP 4905900115 (Bedburg, Rochuskapelle)



## 2 Beobachtungsmethoden

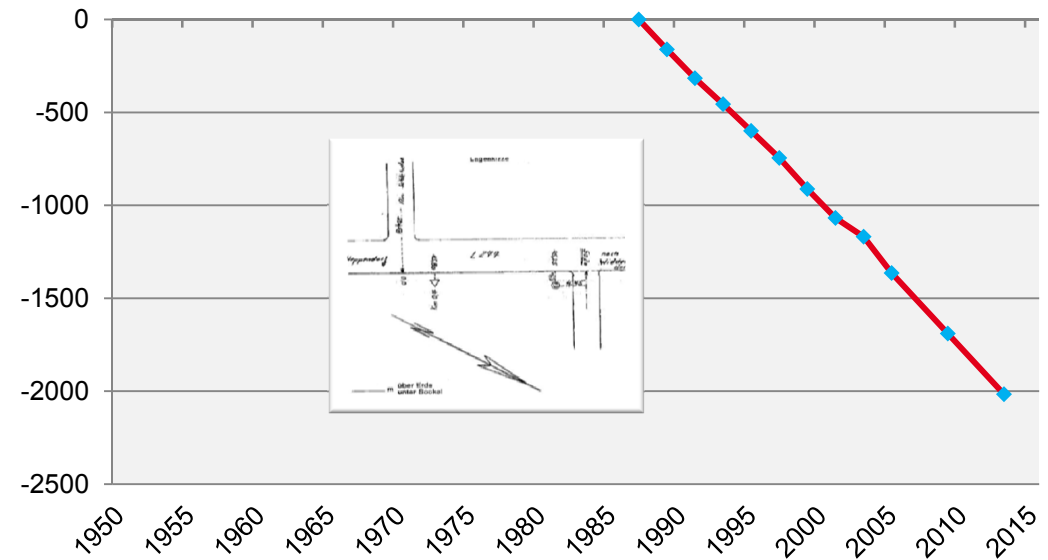


### Ergebnisse:

- ❖ Zielgröße: aktualisierte präzise NHN-Höhen der HFP im amtlichen Raumbezug 2016
- ❖ Aufbau von Zeitreihen
- ❖ Modellierung der vertikalen Bodenbewegung

### Beispiel:

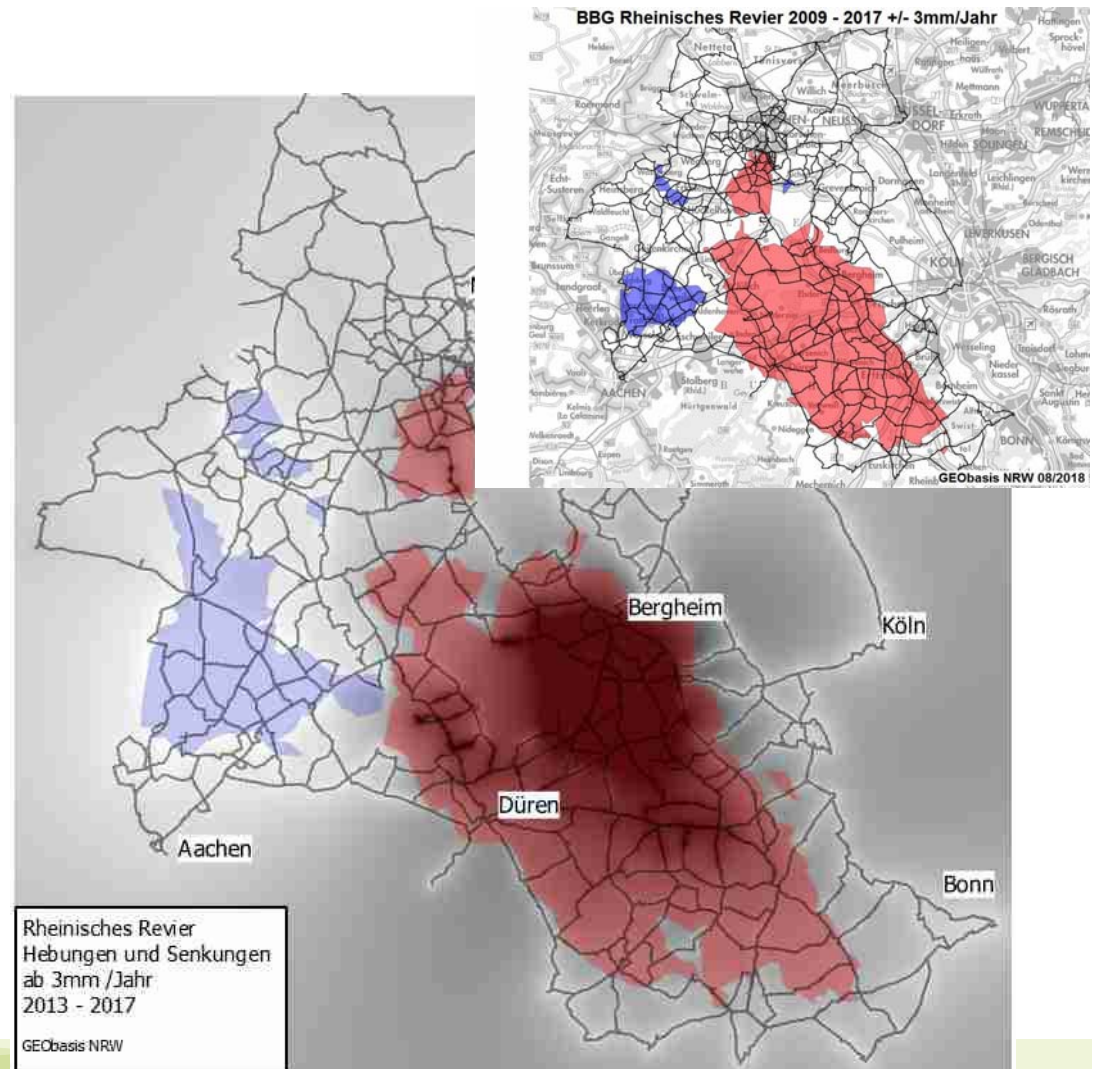
- ❖ Höhenwertänderung [mm] des HFP 5005900420 (Heppendorf, L277)



## 2 Beobachtungsmethoden

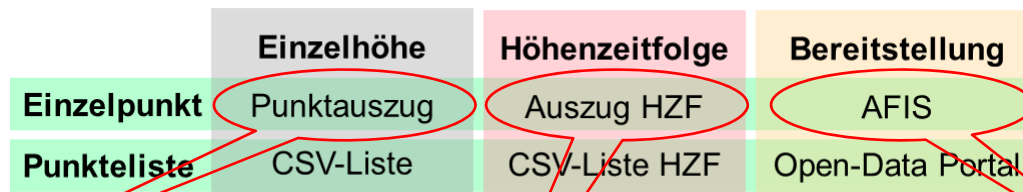
### Ergebnisse:

- ❖ Zielgröße: aktualisierte präzise NHN-Höhen der HFP im amtlichen Raumbezug 2016
- ❖ Aufbau von Zeitreihen
- ❖ **Modellierung der vertikalen Bodenbewegung**
  
- ❖ **Abgrenzung von amtlichen Bodenbewegungsgebieten**



## 2 Beobachtungsmethoden

## Bereitstellung Höheninformationen (Neu: Open Data):



**Kartei und Beschreibung des HFP**

5005 9 00420

Heppendorf, L277, Km0.42995

Ordnung: 3  
Ausdrucksdatum: 28.09.2017  
Bezugszeitraum: 01.01.1800 - 13.08.2018

TM-Koordinaten: Ostwert: 32333710.526, Nordwert: 5643254.104

Genauigkeit: 1100

Einzelhöhe: Punktauszug

**Höhenzeitfolge**

5005 9 00420

Ordnung: 3

festlegung: (234) FB senkrecht Beton

Bez. li. Dienst: 2013/00

Herkunft: RHEINBRAUN

Genauigkeit: 1100

Einzelhöhe: CSV-Liste

Verm. Stelle	Zeitpunkt	Bez. im inn. Dienst	CRS	Höhe in m	Differ. Vorm. mm	Differ. Bez. M. mm	Genauigkeit	Bemerkung
EY	05.1987	1987/07.314103	DE_DHM2016_NH	76,118	-	-	1	
RBW	04.1989	1989/07.314103	DE_DHM2016_NH	75,957	-161	-161	1	
RBAG	04.1991	1991/10.314103	DE_DHM2016_NH	75,802	-155	-316	0	
RBAG	04.1993	1993/07.314103	DE_DHM2016_NH	75,662	-140	-456	1	
RBAG	04.1995	1995/07.314103	DE_DHM2016_NH	75,518	-144	-600	1	
RBW	04.1997	1997/07.314103	DE_DHM2016_NH	75,373	-145	-745	1	
RBW	04.1999	1999/07.314103	DE_DHM2016_NH	75,206	-167	-912	2	
RBW	04.2001	2001/07.314103	DE_DHM2016_NH	75,050	-156	-1068	1	
RBW	04.2005	2005/07.314103	DE_DHM2016_NH	74,753	-297	-1365	1	
RBW	05.2009	2009/07.314103	DE_DHM2016_NH	74,128	-325	-1690	1	Einfechmessung
RBW	04.2013	2013/07.314103	DE_DHM2016_NH	74,101	-327	-2017	1	Einfechmessung
RBW	05.2017	2017/07.314203	DE_DHM2016_NH	73,822	-279	-2296	1100	Einfechmessung

**444 470 4200 NRW.**

Status: Gast (p. 93.184.128.34)  
Registrierung: Anmelden

Willkommen bei der **AFIS-Festpunktauskunft NRW** der Bezirksregierung Köln - GEObasis.nrw

**AFIS-NRW - Startseite**

- News (22.04.2013)
- LFP-Auskunft
- HFP-Auskunft
- SFP-Auskunft
- Übersicht TM-Online
- Web-Map-Service (WMS)
- Auskunft (Diverses)
- Veränderungsmeldung
- StM (Erfassung)
- KOETRA (NN - NH)
- Benutzer
- Hilfe - FAQ - Vorschriften
- Kontakt
- Beenden

14 aktive Benutzer  
davon 3 angemeldet

[www.afis.nrw.de](http://www.afis.nrw.de)



## 2 Beobachtungsmethoden

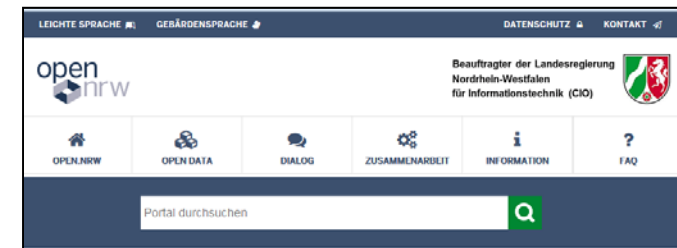


	Einzelhöhe	Höhenzeitfolge	Bereitstellung
Einzelpunkt	Punktauszug	Auszug HZF	AFIS
Punktliste	CSV-Liste	CSV-Liste HZF	Open-Data Portal

A71300				
A	B	C	D	E
5005900418	Berrendorf, Heinrich-Doll-Str.	32330944,2	5644216	75,398
5005900419	Widdendorf, L277, Km0.9524	32331850,5	5643976,7	73,003
5005900420	Heppendorf, L277, Km0.42995	32333710,5	5643254,1	73,822
5005900421	Heppendorf, Sindorfer Str.32	32334262,7	5642630	75,368
5005900422	Heppendorf, Sindorfer Str.58	32334574,5	5642594,4	74,908

A193797		
A	B	C
5005900419	06.05.2017	73,003
5005900420	01.05.1987	76,118
5005900420	01.04.1989	75,957
5005900420	01.04.1991	75,802
5005900420	01.04.1993	75,662
5005900420	01.04.1995	75,518
5005900420	30.04.1997	75,373
5005900420	20.04.1999	75,206
5005900420	24.04.2001	75,05
5005900420	14.04.2005	74,753
5005900420	04.05.2009	74,428
5005900420	23.04.2013	74,101
5005900420	15.05.2017	73,822
5005900421	01.05.1987	77,895

Open Data-Portal  
der Landesverwaltung



www.open.nrw

## 2 Beobachtungsmethoden

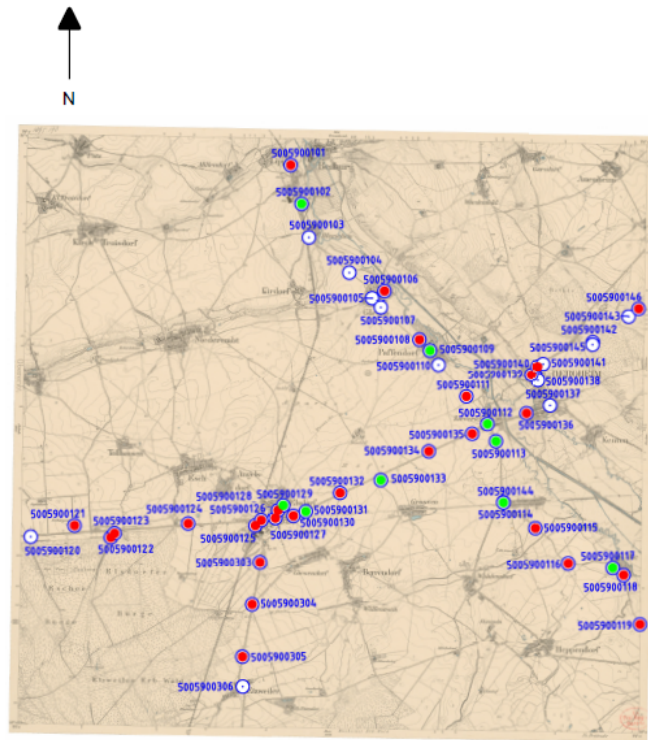
### Bereitstellung der Höheninformationen (Open Data):

- ❖ „Beipackzettel“ mit wichtigen Informationen zum Gebrauch
- ❖ qualifizierter Auszug weiterhin kostenpflichtig (Zeitgebühr)

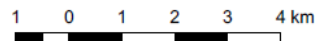
#### Merkzettel zum Gebrauch der Daten aus der Höhenzeitfolgekartei

- Die Höhenwerte zu den einzelnen Messpunkten basieren auf unterschiedlich genau durchgeführten Messverfahren. Messwerte zu verschiedenen Punkten und/oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten können nur bedingt vergleichbar sein.
- Die Messwerte können durch Besonderheiten der jeweiligen Punktvermarkung beeinflusst sein.
- Zwischen benachbarten Messwerten kann nicht von einem räumlich wie zeitlich kontinuierlichem Bodenbewegungsverhalten ausgegangen werden.
- Kenntnis vermessungstechnischer Besonderheiten und Hinzuziehung bergbaulicher/geologischer Gutachten für gutachterliche Tätigkeiten erforderlich.

## 2 Beobachtungsmethoden



Maßstab 1 : 60.000



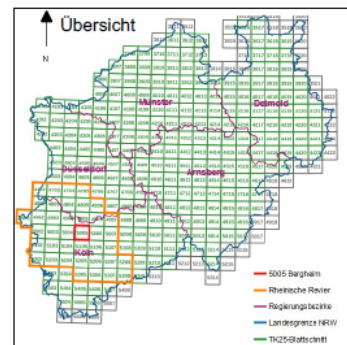
Anlage 4: „Historische TK25“ der preußischen Neuaufnahme mit Übersicht der Höhenfestpunkte

### „Historische TK25“ der preußischen Neuaufnahme mit Übersicht der Höhenfestpunkte

#### 5005 Bergheim

##### Legende

- nicht zu verwenden
- nutzbarer HFP, zerstört
- nutzbarer HFP, noch vorhanden



Erstellt von Sarah Beulig am 15.07.2018

Lagebezugssystem: UTM 32.Zone (ETRS89)

**Modelle (DGM)  
aus Höhenlinien  
historischer  
Karten  
(der Preußischen  
Landesaufnahme,  
ca. 1890)**

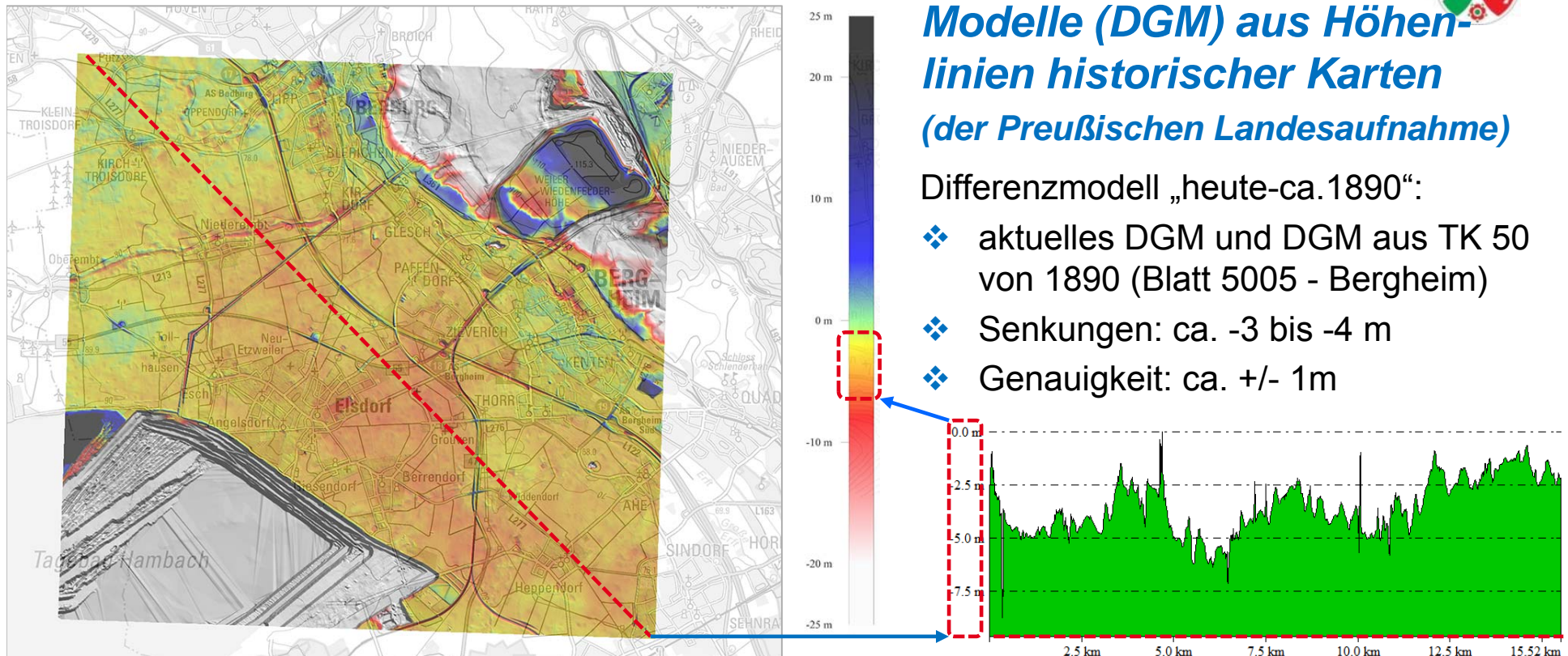
## 2 Beobachtungsmethoden



### Modelle (DGM) aus Höhenlinien historischer Karten (der Preußischen Landesaufnahme)

Differenzmodell „heute-ca.1890“:

- ❖ aktuelles DGM und DGM aus TK 50 von 1890 (Blatt 5005 - Bergheim)
- ❖ Senkungen: ca. -3 bis -4 m
- ❖ Genauigkeit: ca. +/- 1m



## 2 Beobachtungsmethoden



### *Radarinterferometrie*

- ❖ Radarsatelliten Sentinel 1A und 1B als Teil des Copernicus-Programms
- ❖ Überflug alle 6 Tage (je Satellit 12 Tage)
- ❖ C-Band-SAR mit 6 cm Wellenlänge, Auflösung bei Wide-Swath-Mode von ca. 5 x 20 Meter bei 250 km Streifenbreite
- ❖ Ableitung von relativen Höhenänderungen möglich
- ❖ Daten frei verfügbar, Verwendung für Bodenbewegungskataster NRW

### 3 Bodenbewegungskataster NRW



Ziele:

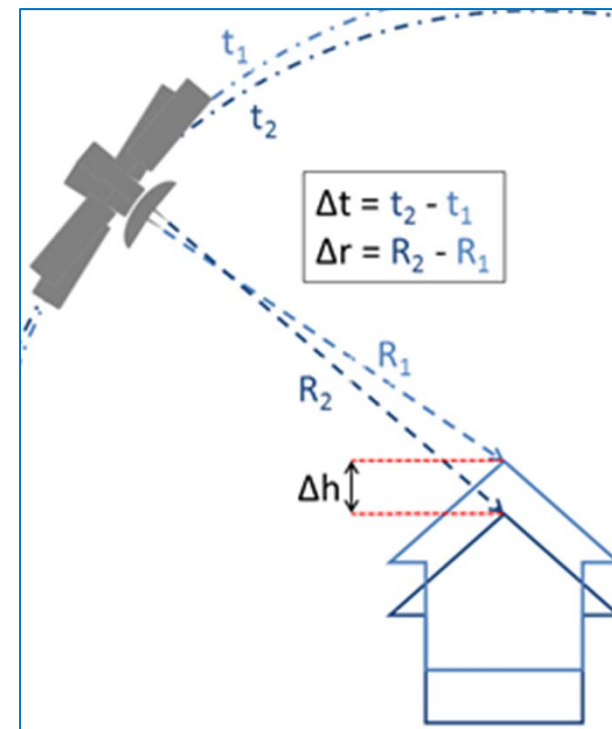
- ❖ Darstellung vertikaler Bodenbewegungen als Web-Dienst (WMS) im Internet
- ❖ räumliche Zusammenfassung in Kacheln von 250 m x 250 m
- ❖ zeitliche Zusammenfassung für 1 Jahr
- ❖ Bewegungsrate in der Einheit mm/a für signifikante und qualitätsgesicherte Kacheln
- ❖ Metadaten zu jeder Kachel

**Informationsgewinnung**  
**Aufbereitung**  
**Qualitätssicherung**  
**Bereitstellung**



### 3.1 Informationsgewinnung

- ❖ Persistent Scatter Interferometry (PSI)
- ❖ Differenz der Phasenlage aus zwei Überflügen als Phasendifferenz
- ❖  $\Delta r = R_1 - R_2$  in LOF (Line Of Sight)
- ❖ Überführung der Phasendifferenz  $\Delta r$  in eine Höhenänderung  $\Delta h$  unter der Prämisse, dass keine signifikante Lageverschiebung vorliegt
- ❖ Zielgröße: relative Höhenänderung  $\Delta h$  des einzelnen PSI



### 3.1 Informationsgewinnung



Bezugsepoche

	A	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS
1	NR	D_20120513	D_20120606	D_20120724	D_20120817	D_20120910	D_20121004	D_20121028	D_20121121	D_20121215	D_20130108
2											
2016	38700	0,467	-1,637	2,344	0,206	-1,303	4,06	0	1,332	1,449	0,281
2017	38701	-0,159	-0,867	1,199	0,366	-0,664	-0,664	2,72	0	2,091	0,769
2018	38712	-0,837	2,178	0,126	-3,856	0,112	-0,797	0	1,291	-0,122	2,616
2019	38713	-1,152	3,16	-0,891	1,35	1,329	0,504	0	1,239	-1,395	0,769
2020	38715	0,857	0,381	1,633	-1,38	-3,152	-0,832	0	2,835	1,998	-1,453
2021	38716	-3,658	-2,793	-5,807	-0,9	-5,802	-11,421	0	-0,344	0,893	-4,23
2022	38717	-0,116	0,662	2,897	3,612	1,758	3,45	0	0,78	2,39	-1,2
2023	38718	-0,377	2,224	3,088	3,412	2,655	2,489	0	-0,237	1,451	-0,975
2024	38727	-3,524	1,651	1,853	-5,134	-0,645	-0,964	0	-0,84	2,405	5,641
2025	38728	0,41	3,125	-1,024	2,491	-2,826	-0,346	0	-0,848	3,887	2,269
2026	38729	-3,204	-1,694	0,595	-1,765	-2,58	2,935	0	-2,146	1,661	1,403
2027	38730	-1,498	1,804	2,655	-0,94	-1,299	-0,15	0	1,874	4,234	3,709
2028	38731	-0,082	-1,869	-0,96	1,179	3,698	-3,152	0	1,035	1,97	0,902
2029	38732	-1,419	-0,341	0,887	-0,647	4,187	5,455	0	-2,387	1,38	-3,343
2030	38743	-0,988	-0,398	-0,157	-0,429	1,572	3,294	0	-0,448	3,754	1,485
2031	38769	-1,85	1,445	0,067	-3,116	-2,134	-1,756	0	0,01	1,975	1,131
2032	38770	1,664	2,557	-4,084	-8,622	-2,829	0,338	0	5,012	3,676	0,768
2033	38771	-0,913	-0,237	-0,202	-1,672	-2,096	-3,245	0	0,316	1,651	0,648
2034	38773	-0,812	3,884	-0,331	-1,308	1,587	6,48	0	1,033	-0,633	2,617
2035	38774	0,142	1,27	-2,95	0,601	0,428	4,31	0	0,413	1,771	1,76
2036	38789	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2037	38790	-0,515	2,395	4	0,449	3,408	-0,339	0	-0,592	2,689	-1,298
2038	38791	-1,164	5,644	1,885	0,305	1,138	-1,64	0	2,397	0,922	0,048
2039	38794	1,938	2,447	0,63	0,411	2,559	3,982	0	-0,184	2,47	0,653
2040	38795	1,87	2,557	-0,023	2,243	1,8	3,128	0	0,453	1,858	0,073
2041	38807	0,192	2,73	-0,12	1,038	1,474	-4,192	0	1,309	-1,401	-1,488
2042	38808	-1,533	2,103	1,252	-1,701	2,137	-4,421	0	-0,146	-2,079	1,12
2043	38809	3,226	1,752	1,54	1,266	0,708	-0,248	0	-0,157	2,224	-2,29
2044	38810	-0,378	1,397	-0,177	-3,745	3,475	2,61	0	-2,086	1,95	-1,282
2045	38812	1,319	4,16	1,897	1,629	4,028	3,159	0	-1,684	3,703	-1,493
2046	38822	1,602	1,397	2,102	0,409	0,27	-1,615	0	1,516	1,139	-0,448
2047	38823	-0,737	0,163	-0,347	-3,589	4,772	-4,149	0	-0,201	-2,015	1,713

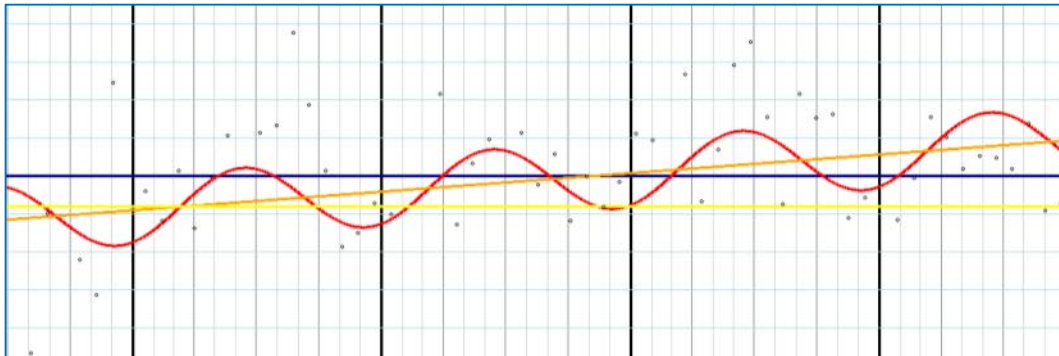
Referenzpunkt



## 3.2 Aufbereitung



### Bewegungsgleichung für jeden einzelnen PSI:



●	Messwert
—	konstanter Anteil
—	linearer Anteil
—	zyklisch/periodischer Anteil

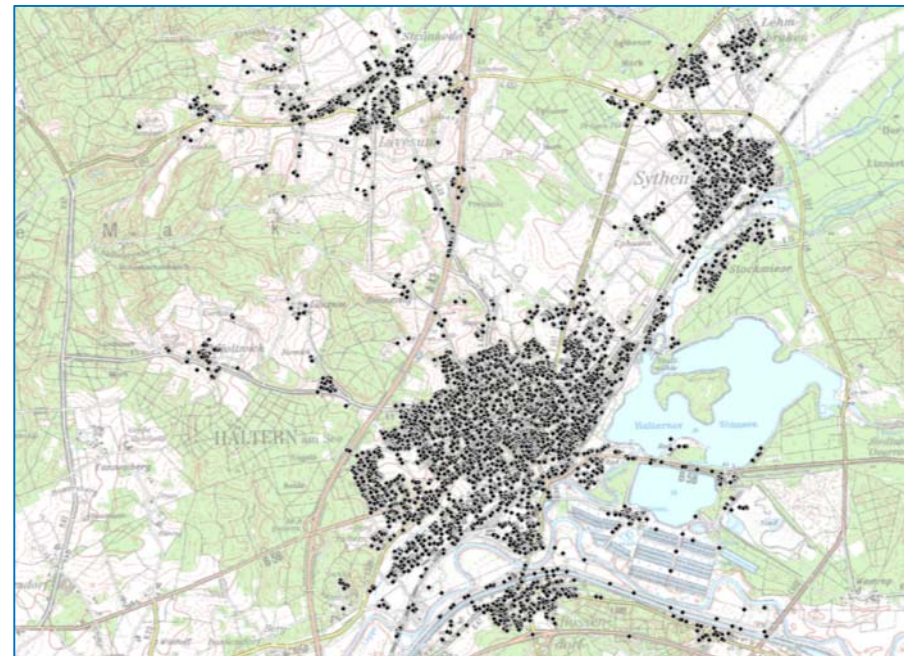
- ❖ Zielgröße: linearer Anteil [mm/a] als Maß der Bodenbewegung

## 3.2 Aufbereitung



### Ableitung der Höhenänderung:

- ❖ Bildung von Zeitreihen für große Punktmengen (PSI-Punkte)
- ❖ hohe Punktdichte in bebauten Gebieten, jedoch keine konkret anmessbaren Punkte
- ❖ geringe Punktdichte in ländlichen Gebieten
- ❖ Zusammenfassung von PSI in Kacheln von 250m x 250m inkl. Ausreißerdetektion

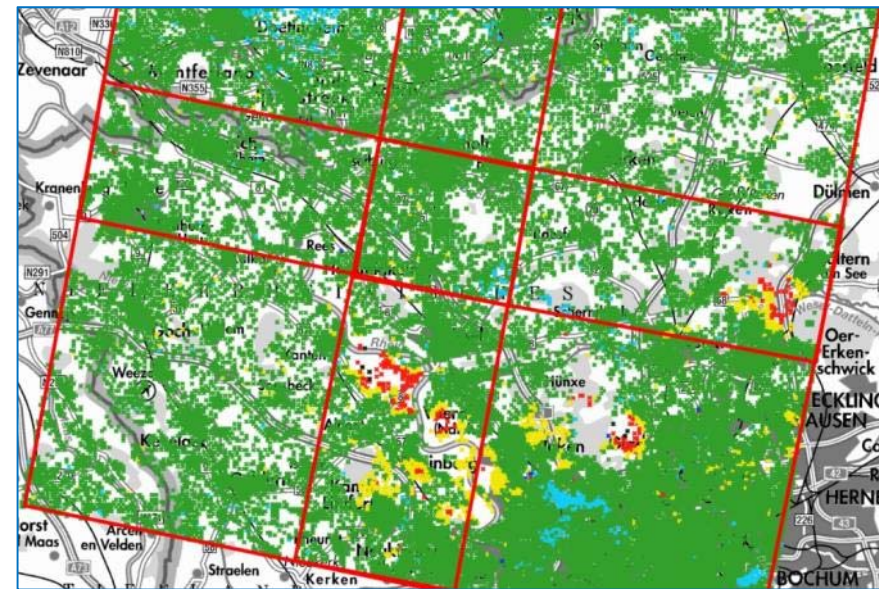


## 3.2 Aufbereitung



### Bodenbewegung (Qualitätssicherung)

- ❖ Neulagerung der Segmente zur Homogenisierung der Übergänge incl. Matching der Segmente unter Nutzung der HFP zur Lagerung
- ❖ Folge: Lagerung im amtlichen Raumbezug



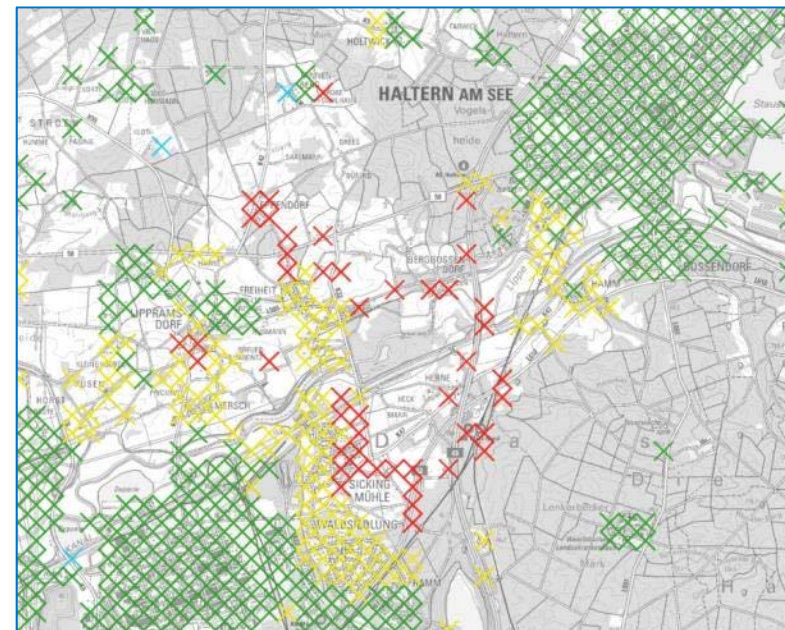
Bodenbewegung [mm/a]: ■ <-50 ■ -50...-10 ■ -10...-3 ■ -3...3 ■ 3...10 ■ >10

## 3.2 Aufbereitung



### Ergebnisdarstellung in Kacheln:

- ❖ Angabe des Maßes der Bodenbewegung für jede Kachel pro Kalenderjahr
- ❖ Für ca. 1/3 der Kacheln liegen Ergebnisse vor
- ❖ Zuweisung in Bewegungsklassen mit farblicher Abstufung



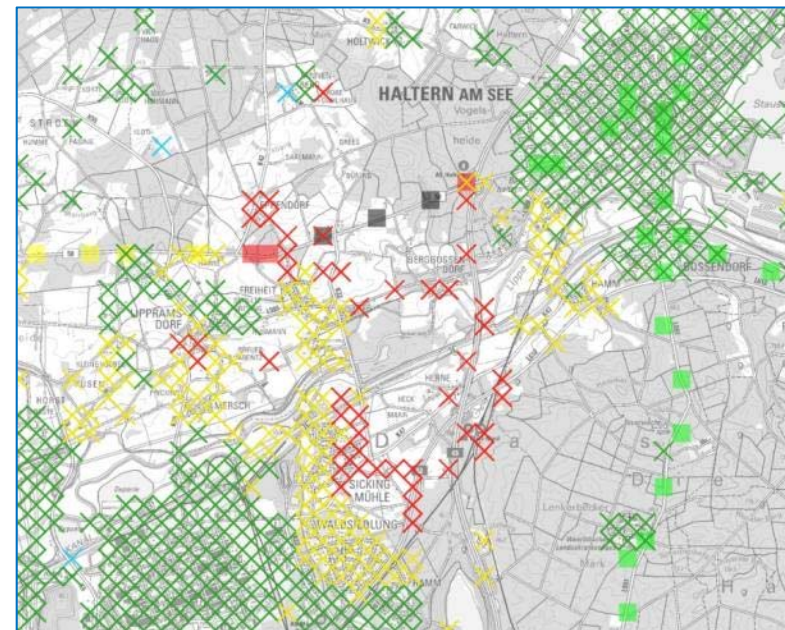
Bodenbewegung PSI-Kachel [mm/a]: X <-50    X -50...-10    X -10...-3    X -3...3    X 3...10    X >10

### 3.3 Qualitätssicherung



#### Vergleich mit Leitnivellement:

- ❖ Zeitraum Höhenänderungen des Leitnivellements:  
15.05.2014-20.04.2016
- ❖ Zeitraum Höhenänderungen des Bodenbewegungskatasters:  
01.04.2015-01.04.2016



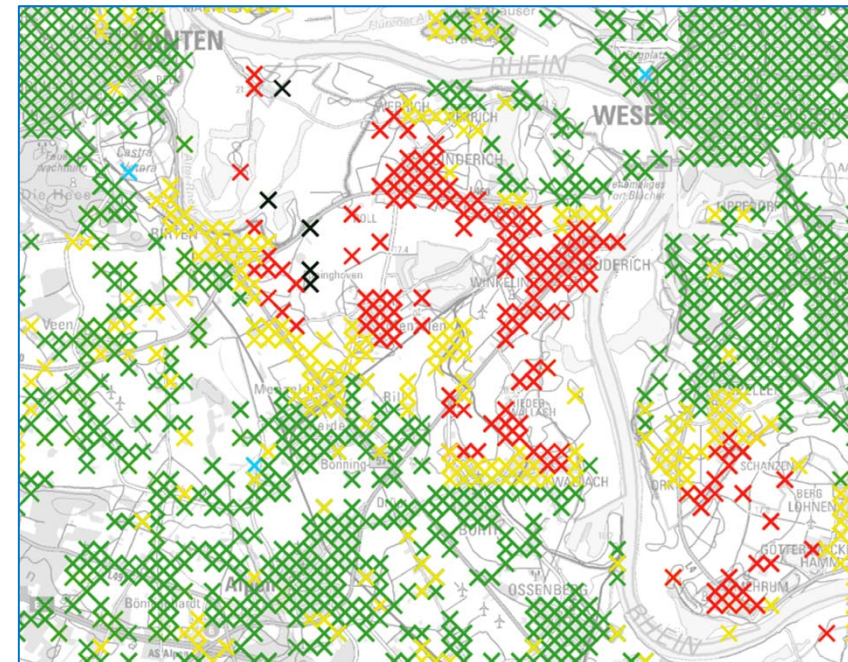
Bodenbewegung PSI-Kachel [mm/a]:	X <-50	X -50...-10	X -10...-3	X -3...3	X 3...10	X >10
Bodenbewegung HFP/Niv [mm/a]:	■ <-50	■ -50...-10	■ -10...-3	■ -3...3	■ 3...10	■ >10

## 3.4 Bereitstellung



### Beispiel Niederrhein

- ❖ großräumige Senkung



Bodenbewegung PSI-Kachel [mm/a]: **X** <-50   **X** -50...-10   **Y** -10...-3   **X** -3...3   **X** 3...10   **X** >10

## 3.4 Bereitstellung



### Präsentation und Nutzung:

- ❖ Information von Bürgern, Bergbaubetreibenden und Wasserwirtschaft
- ❖ Nutzung im Nachbergbau (z.B. „Flurabstandsprognose“)
- ❖ Unterstützung von Überwachungsmaßnahmen von (Rohr-) Leitungsbetreibern
- ❖ Planung zukünftiger Nivellements-kampagnen der Landesvermessung (Ausdehnung, Turnus)
- ❖ Integrative Nutzung mehrerer Beobachtungsverfahren



## 4 Methodenvergleich und Ausblick



Kriterien	Methode					
	Leit-nivellement	GNSS-Netz	Laser-scanning	Höhenlinien hist. Karten	Radarinter-ferometrie (allgemein)	Radarinter-ferometrie (BBK NRW)
Flächenabdeckung	punktuell ca. 30% NRW	punktuell ca. 10% NRW	100%	100%	partiell > 30%	gekachelt ca. 30 %
Epochenlänge	2-5 Jahre	2-4 Jahre	5-6 Jahre	ca. 120 Jahre	6 Tage	1 Jahr
absolute Höhen	●	●	●	●	-	-
Genauigkeit (absolut)	1-10 mm	1-10 mm	5-10 cm	2-5 m	-	-
relative Höhenänderungen	○	○	○	○	●	●
Genauigkeit (relativ)	ca. 3 mm/a	3 mm/a	5 cm/a	ca. 5 cm/a*	?? mm/a	3 mm/a
Bezugspunkt oder Bezugsfläche	Punkt	Punkt	< 1 x 1 m	> 5 m	ca. 5 x 20 m	250 x 250 m
Kosten	hoch	hoch	mittel	mittel	niedrig	niedrig





## 4 Methodenvergleich und Ausblick

- ❖ Raumbezug 2016 bietet aktuelle hochgenaue Basis für Vermessungstätigkeiten
- ❖ in NRW muss der anthropogenen Einflüsse besonders Rechnung getragen werden
- ❖ bisherige Messmethoden werden um neue Verfahren der satellitengestützten Radarinterferometrie ergänzt: Integrative Nutzung mehrerer Beobachtungsverfahren
- ❖ es werden detailliertere, genauere und aktuellere Aussagen über Bodenbewegungen (Höhenänderungen) möglich sein
- ❖ Qualitätssicherungsmaßnahmen liefern verifizierte Angaben für räumliche Kacheln
- ❖ das Bodenbewegungskataster hat das Potential, eine Vielzahl von Nutzern über Bereiche mit vertikalen Bodenbewegungen zu informieren



## Räumlich denken. Praktisch entscheiden.

Bezirksregierung Köln  
Dezernat 71 – Datenstandards, Raumbezug  
50606 Köln

Dienstgebäude: Muffendorfer Str. 19-21, 53177 Bonn

Telefon: 0221 / 147 - 4200

Telefax: 0221 / 147 - 4182

E-Mail: [bernd.krickel@bezreg-koeln.nrw.de](mailto:bernd.krickel@bezreg-koeln.nrw.de)

Internet: [www.bezreg-koeln.nrw.de](http://www.bezreg-koeln.nrw.de)



  
DIE REGIERUNGSPRÄSIDENTIN

**Identifikation von kritischen  
Bodenparametern für die Risikoabschätzung  
von Bodensenkungen durch mikrobiellen  
Abbau von organischen Substanzen**

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?

# Probenahmen in Bedburg

↪ Grundwasserabsenkung seit 1957

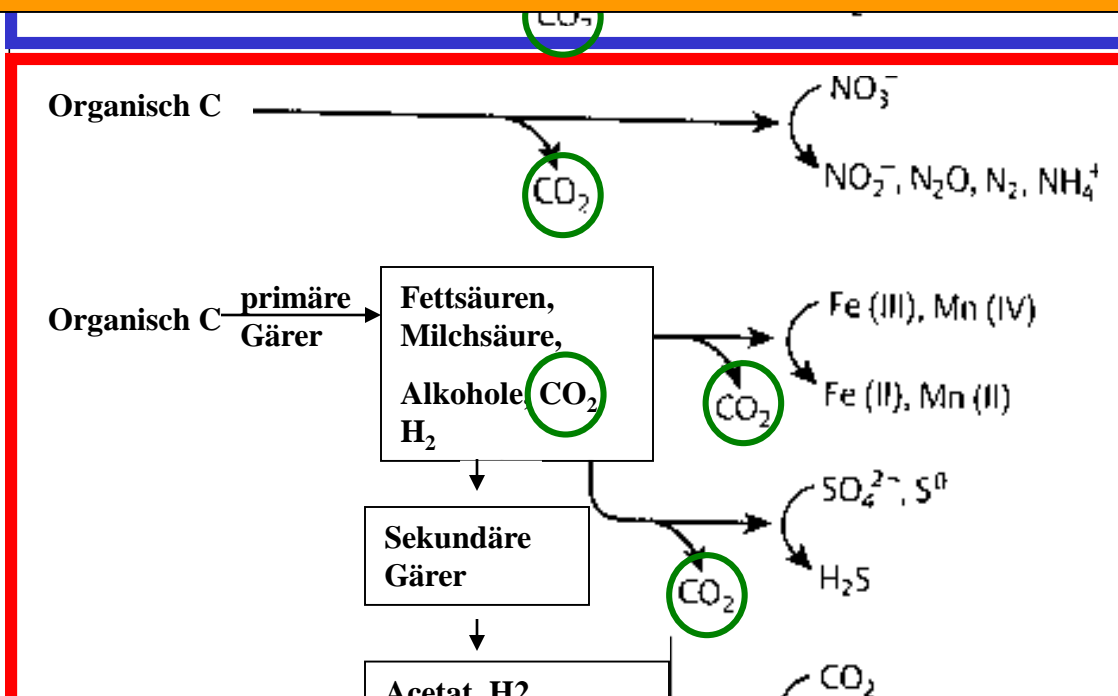
Standort B im Juni 2002



# Mikrobiologische Prozesse

## Mit Sauerstoff

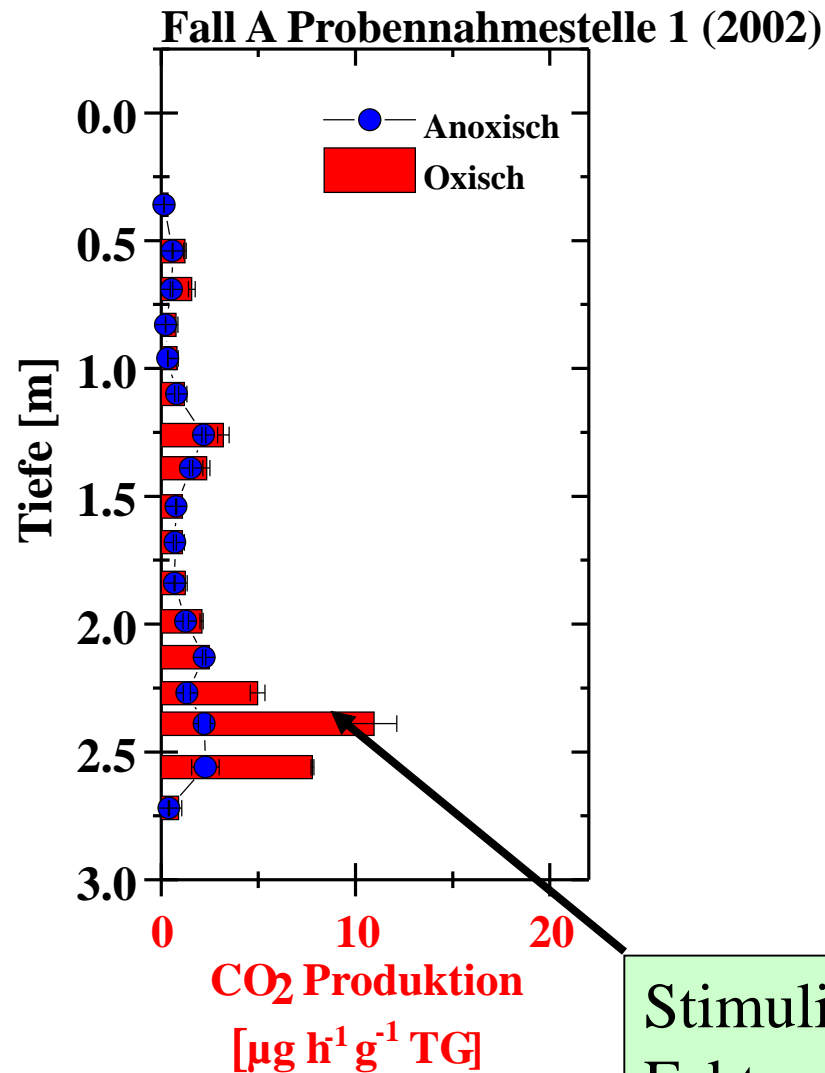
Hauptprozeß nach der Grundwassersenkung



Hauptprozesse vor der Grundwassersenkung

## Ohne Sauerstoff

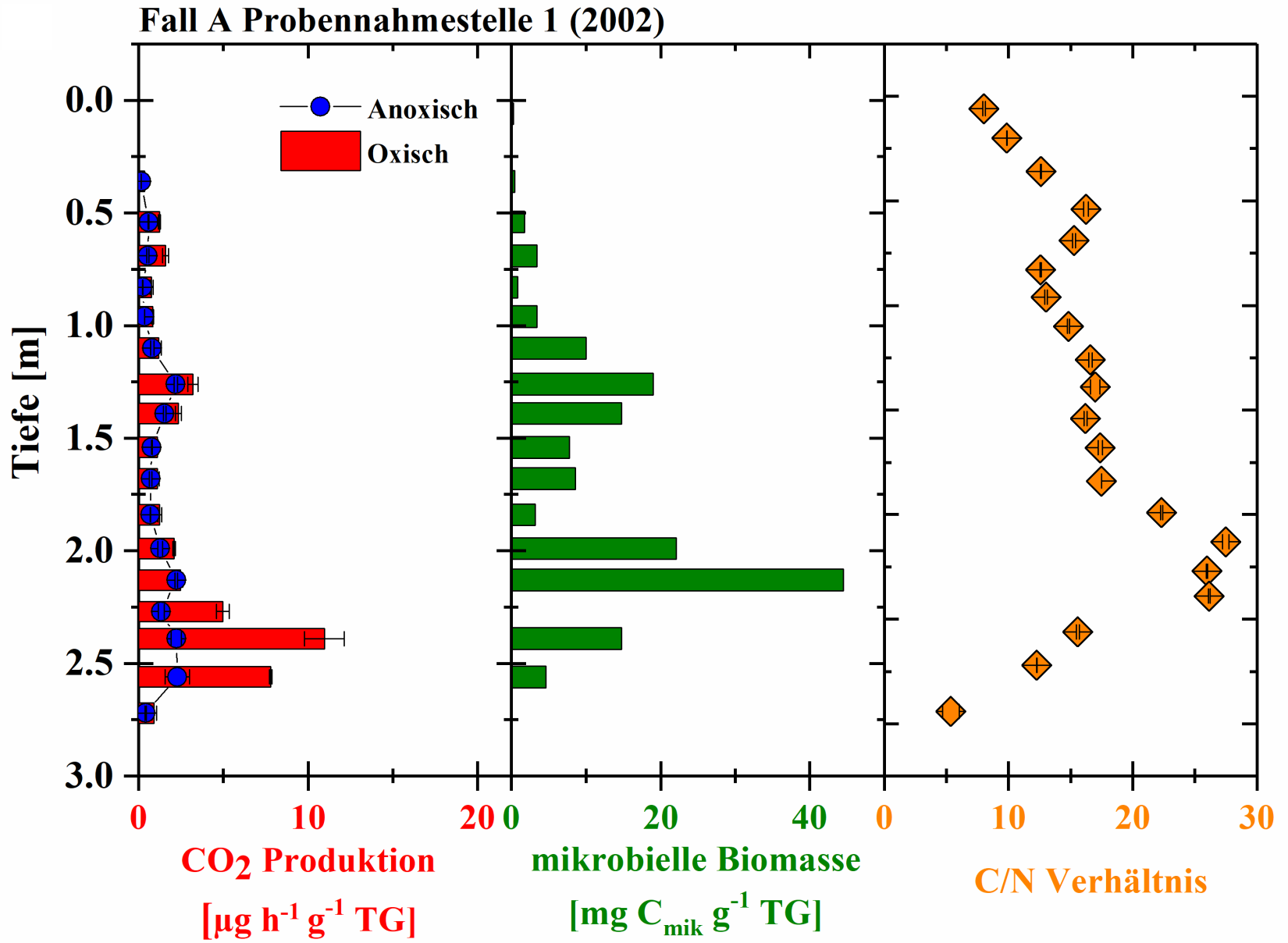
# Respirationsrate (25°C)



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

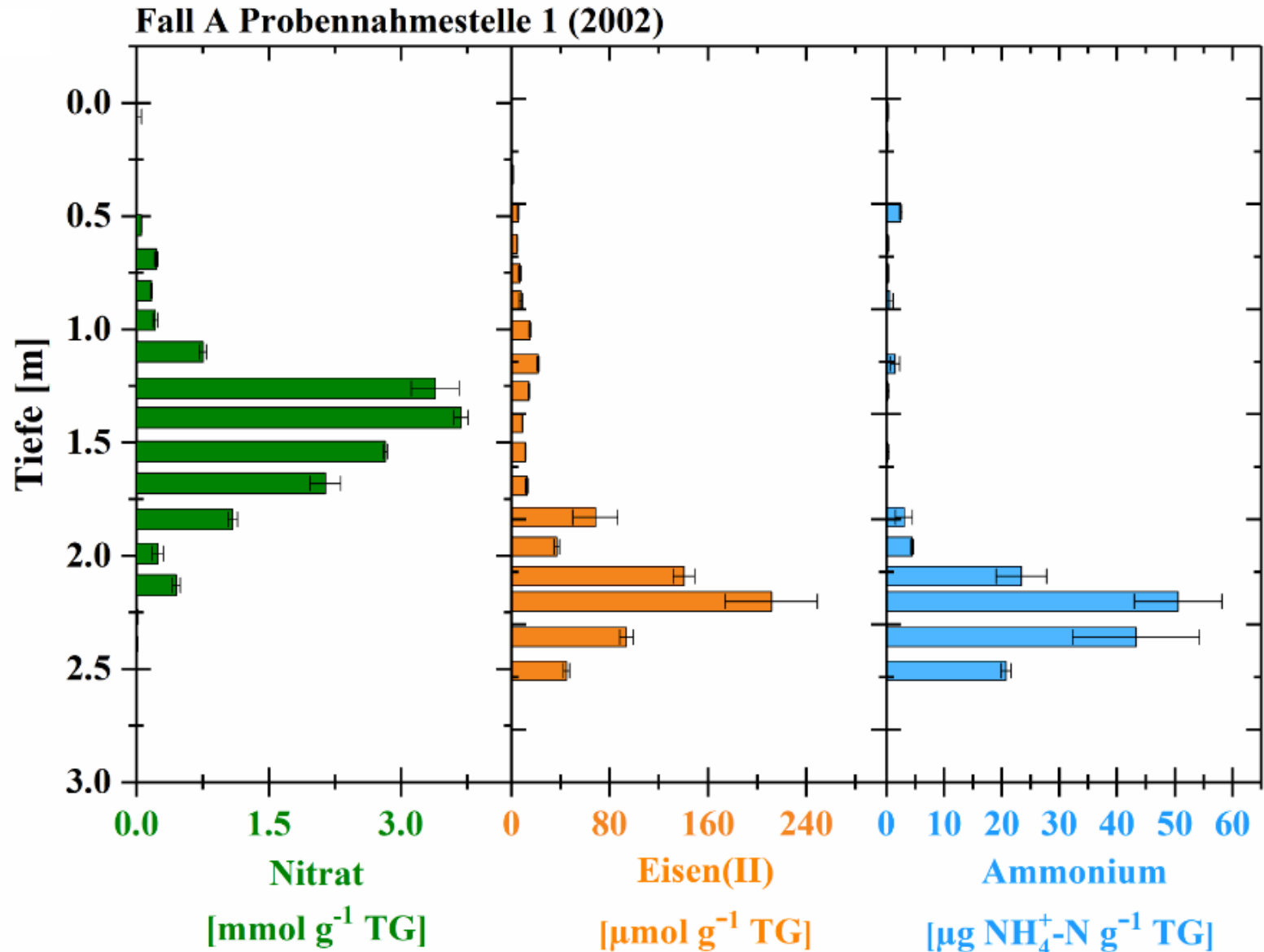
Stimulierung um  
Faktor 4,9

# Respirationsrate, mikrobielle Biomasse und C/N Verhältnis





# Nitrat-, Eisen(II) und Ammoniumkonzentration



# Exkurs Mikrobiologie

Ammoniumoxidation durch Mikroorganismen:

## **Nitrifikation**



Ammoniumoxidation benötigt Sauerstoff

Nitratreduktion durch Mikroorganismen

## **Denitrifikation**



## **Ammonifikation**



Nitratreduktion nur in Abwesenheit von Sauerstoff

# Exkurs Mikrobiologie

## Eisen(III) Reduktion durch Mikroorganismen

Nur in Abwesenheit von Sauerstoff



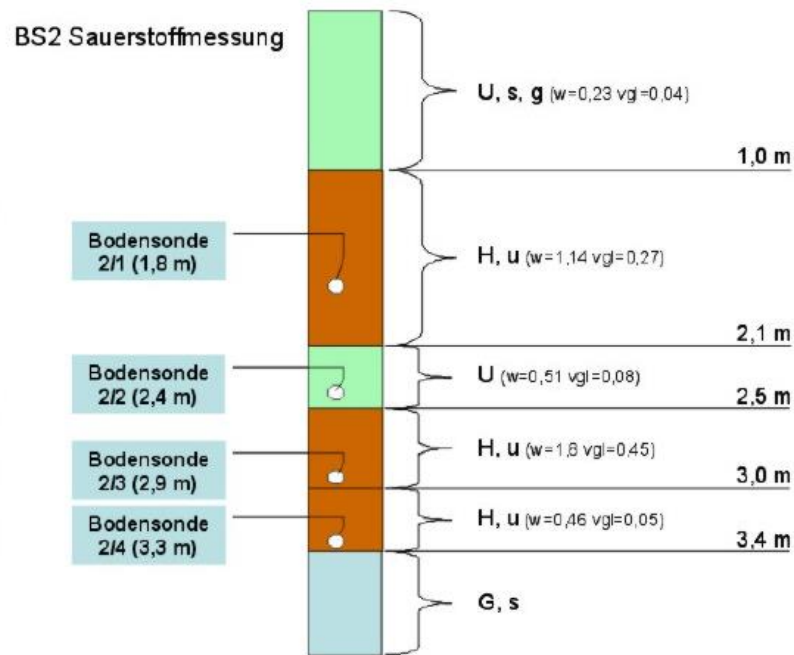
## Eisen(II) Oxidation durch Mikroorganismen/chemische Reaktion

Nur in Anwesenheit von Sauerstoff



# Überprüfung der Verfügbarkeit von Sauerstoff in verschiedenen Bodentiefen mittels Bodensonden

Standort B, in unmittelbarer Nähe zum Schurf

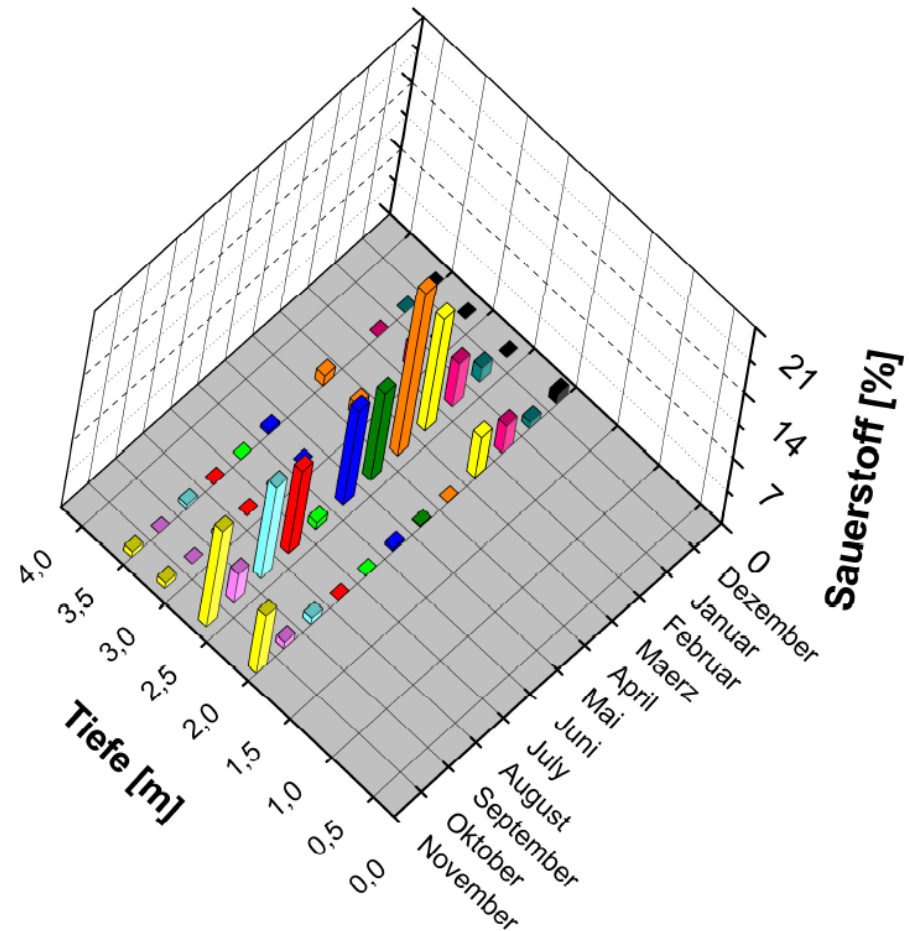
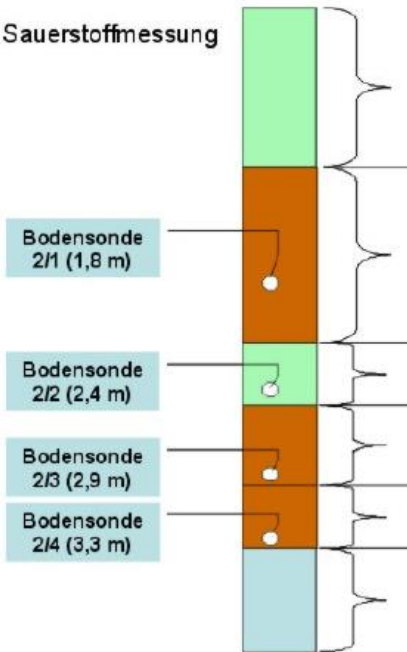


Torfschicht in Bodentiefe  
von 1,0 - 2,1 m  
und 2,5 - 3,4 m

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

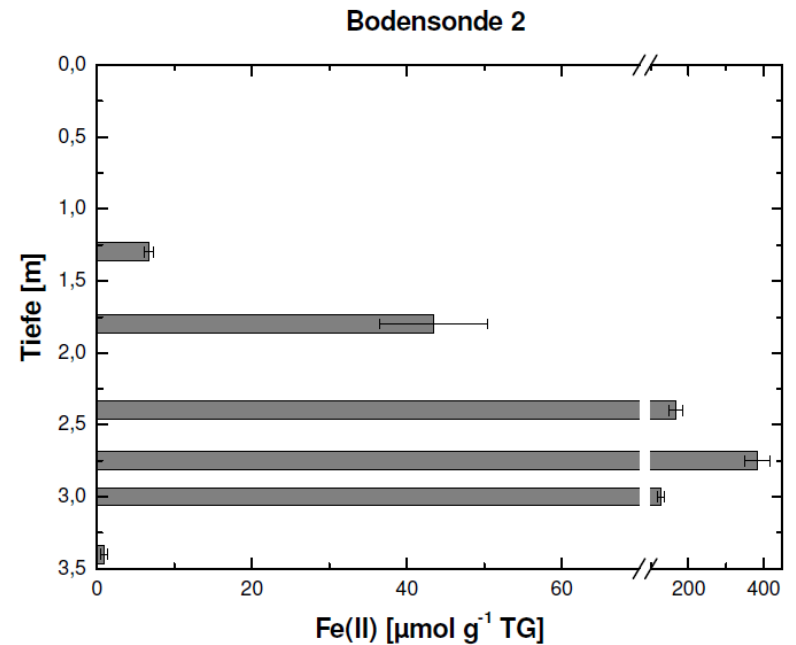
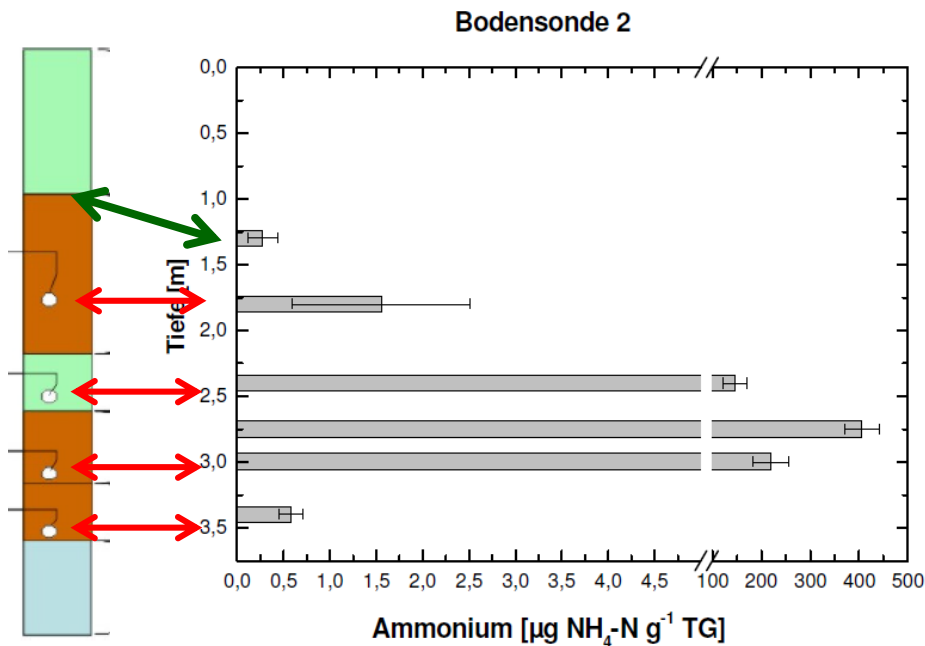
## Standort B

BS2 Sauerstoffmessung



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

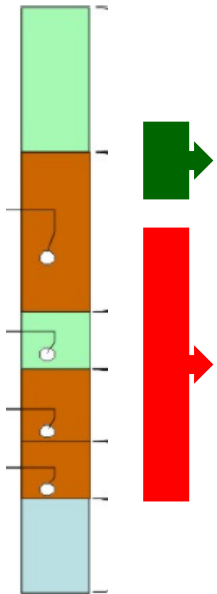
# Kontrollmessungen der Ammonium- und Eisen(II)-Konzentrationen in den Tiefen von Bodensonde 2 nach Ausgrabung der Sonden



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

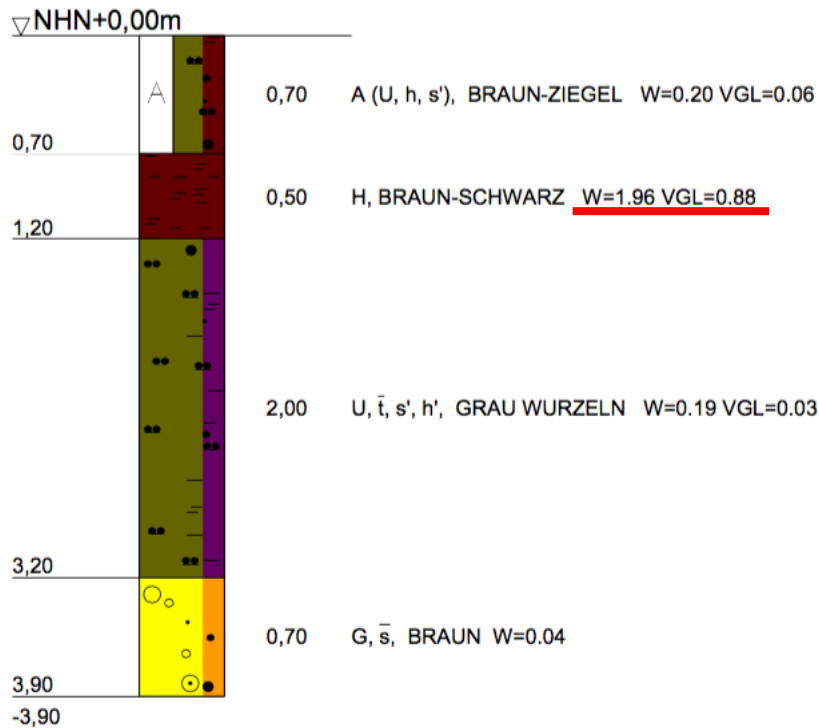
## Überprüfung der Hypothese

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 zwölf Projekte sollen aufgezeigt werden.

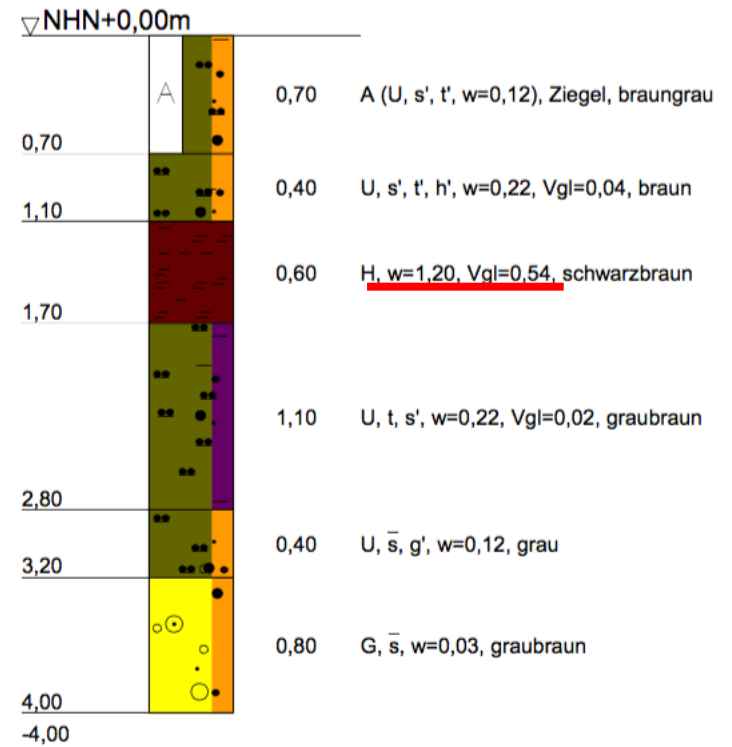


# Projekt 9, Profil 2290

BS 2290  
Projekt 9  
1989  
RWE

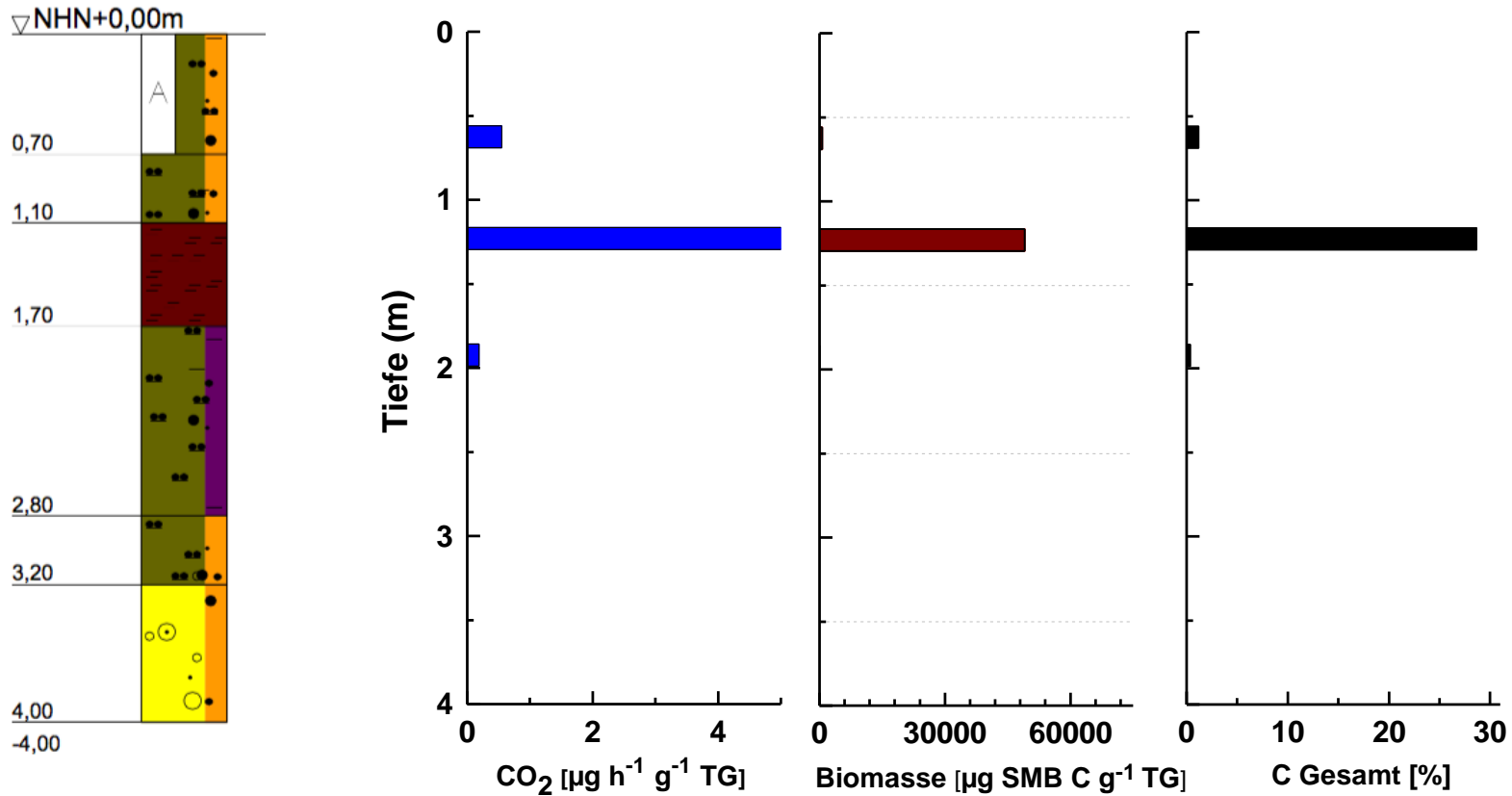


RKS 2290  
Projekt 9  
09.09.2014  
RWE



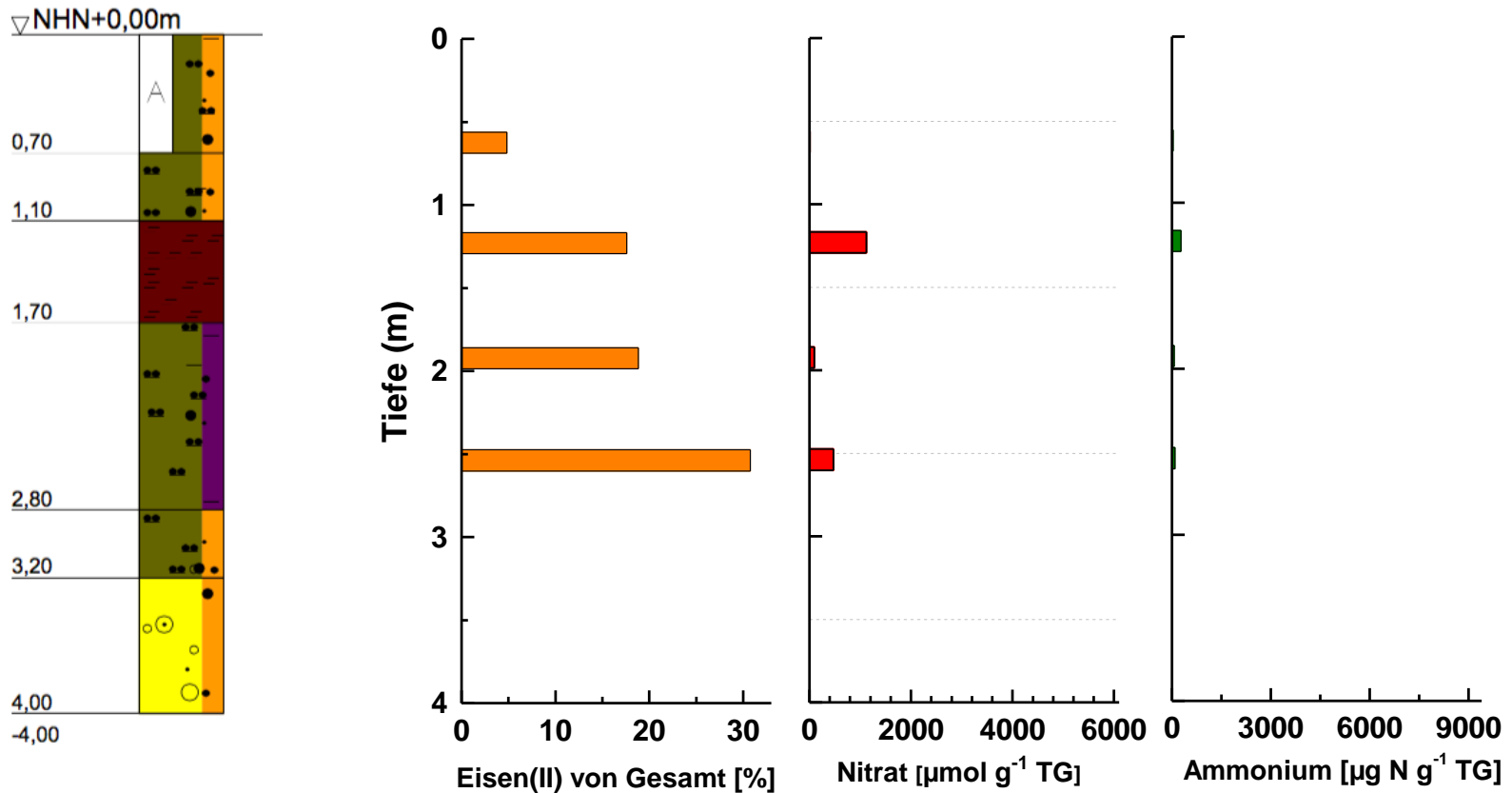
# Projekt 9, Profil 2290

Höhenänderung: **-171 mm** in 23 Jahren, aktuelle Rate: **-2,3 mm yr<sup>-1</sup>**



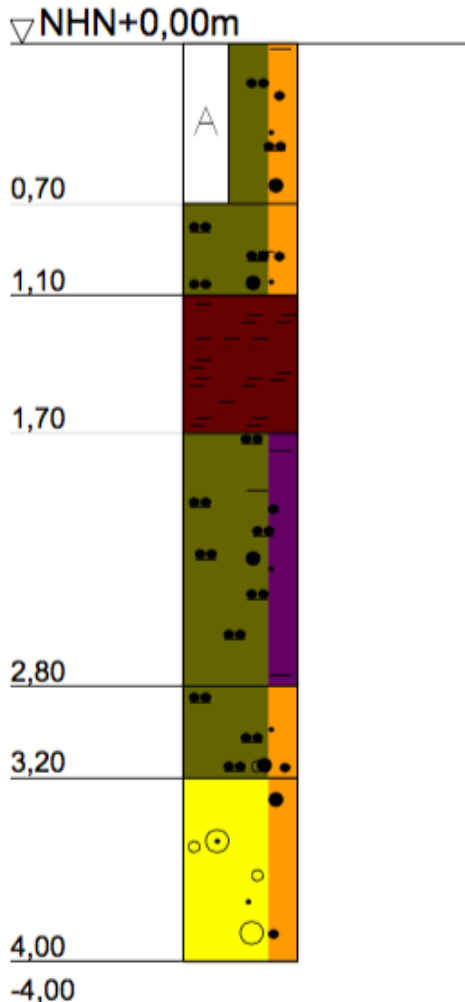
# Projekt 9, Profil 2290

Höhenänderung: **-171 mm** in 23 Jahren, aktuelle Rate: **-2,3 mm yr<sup>-1</sup>**



# Projekt 9, Profil 2290

Höhenänderung: **-171 mm** in 23 Jahren, aktuelle Rate: **-2,3 mm yr<sup>-1</sup>**



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

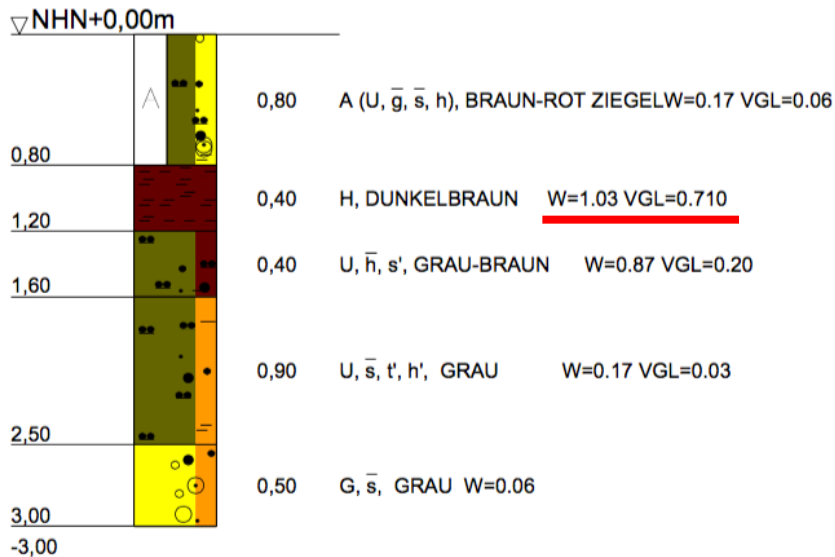


Untere Torfschichten werden ohne Sauerstoff langsam abgebaut

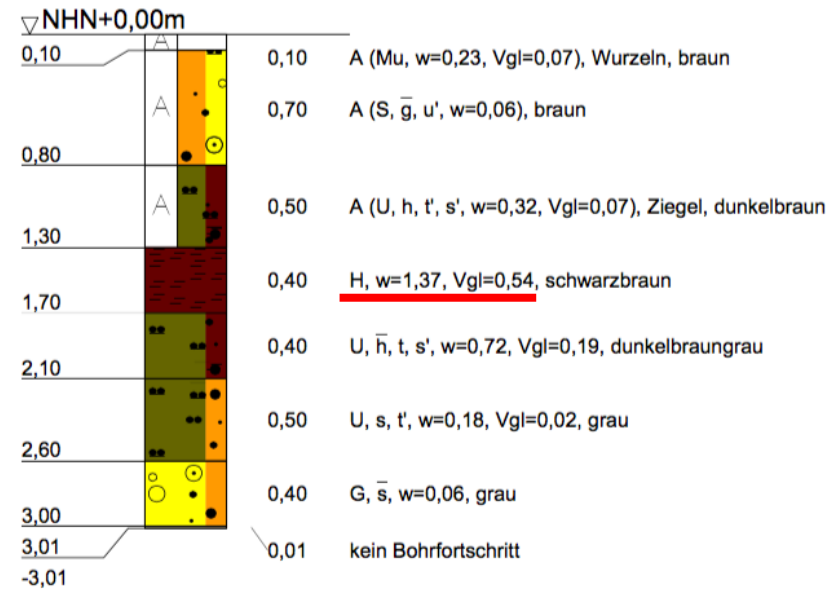
Profilmessungen stellen momentane Situation dar. Sauerstoffverfügbarkeit in den Torfschichten kann im Jahresverlauf schwanken.

# Projekt 9, Profil 2292

BS 2292  
Projekt 9  
1989  
RWE

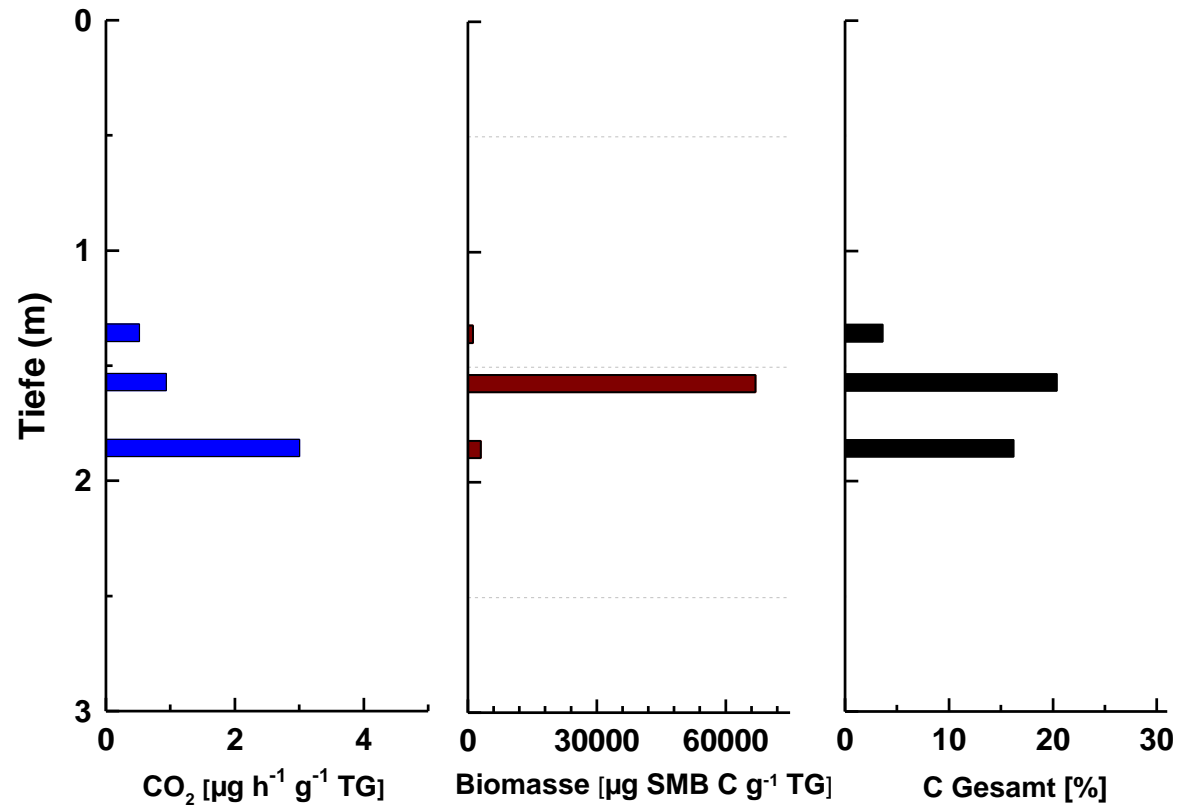
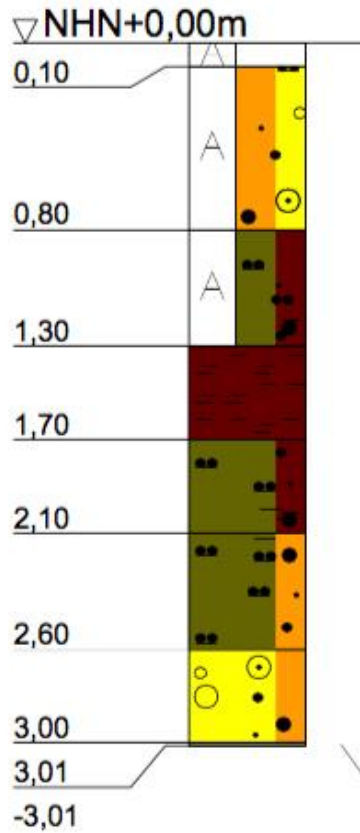


RKS 2292  
Projekt 9  
09.09.2014  
RWE



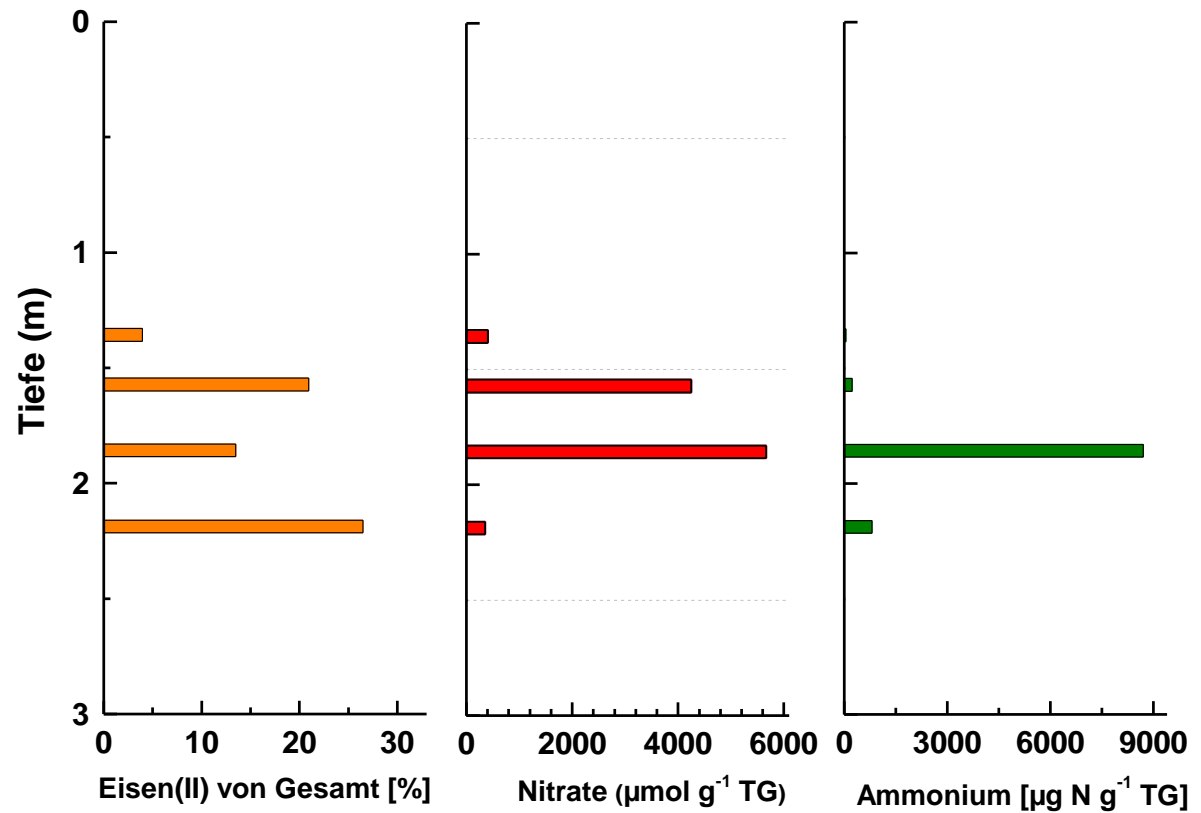
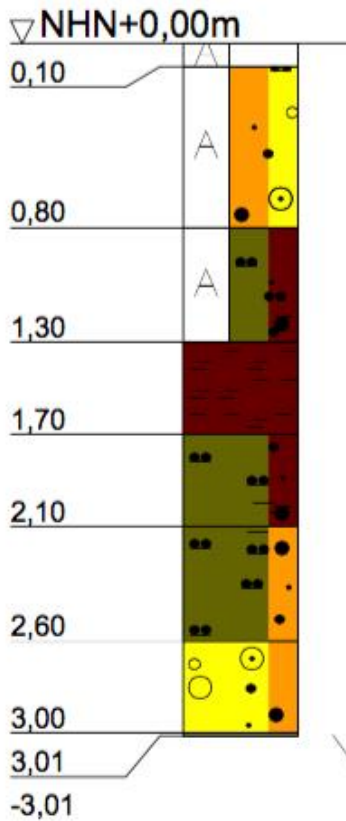
# Projekt 9, Profil 2292

Höhenänderung: **-73 mm** in 23 Jahren, aktuelle Rate: **-3,9 mm yr<sup>-1</sup>**



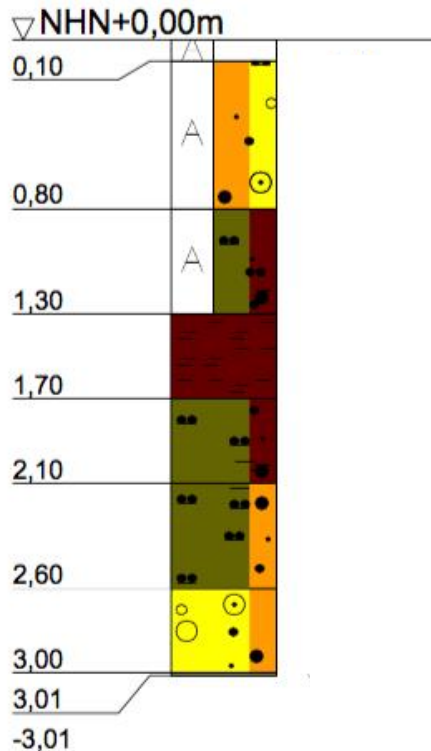
# Projekt 9, Profil 2292

Höhenänderung: **-73 mm** in 23 Jahren, aktuelle Rate: **-3,9 mm yr<sup>-1</sup>**



# Projekt 9, Profil 2292

Höhenänderung: **-73 mm** in 23 Jahren, aktuelle Rate: **-3,9 mm yr<sup>-1</sup>**



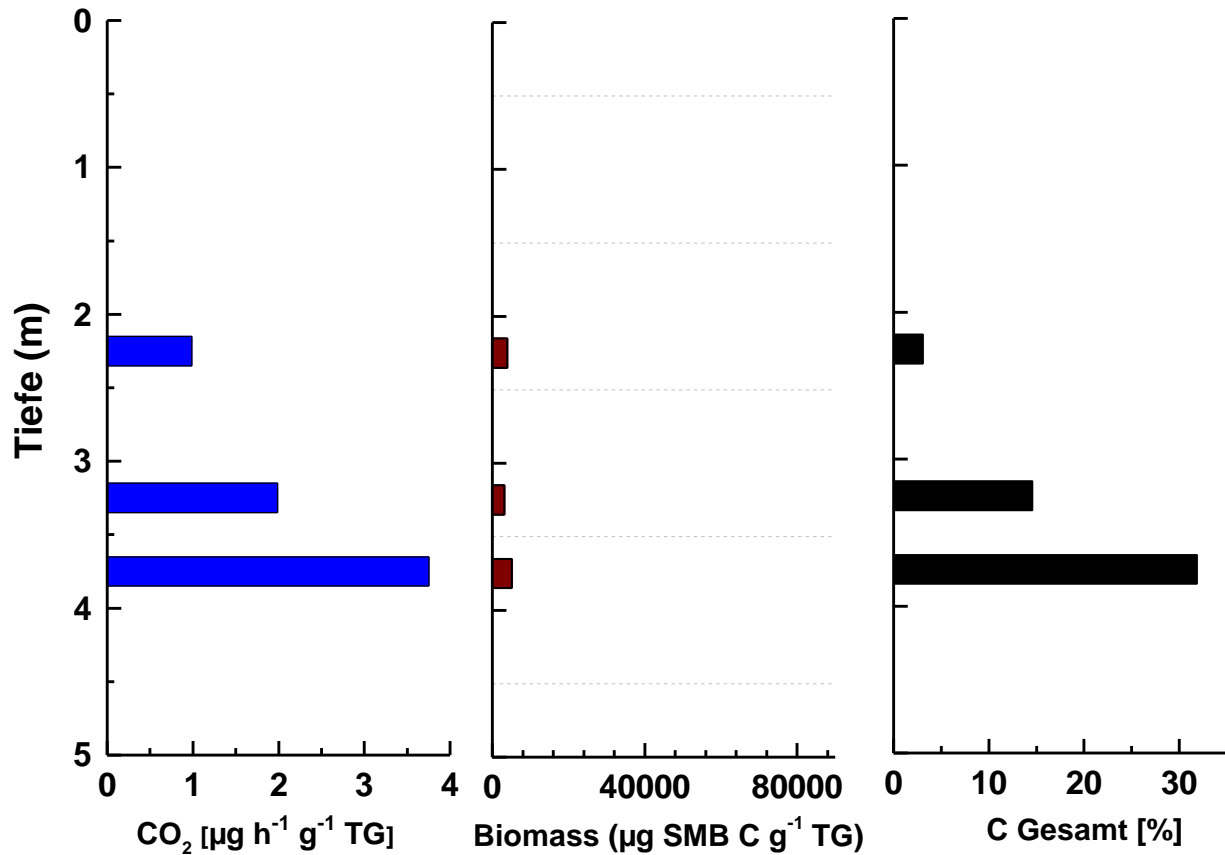
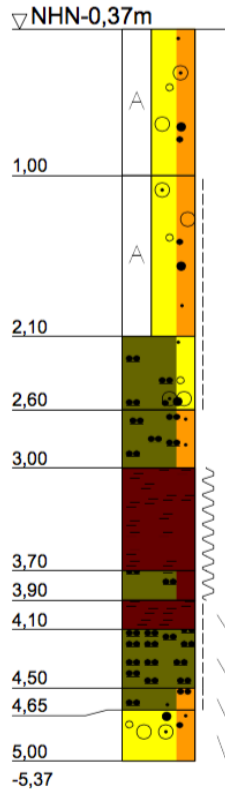
Obere Torfschicht wird mit Sauerstoff relativ schnell abgebaut → **Bodensenkung**

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



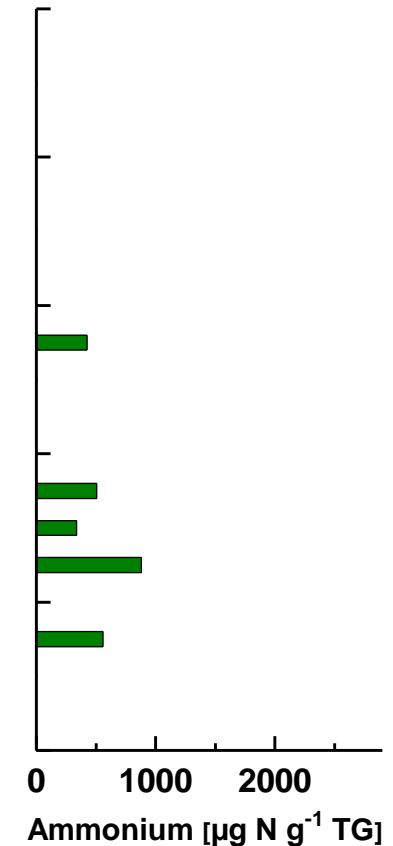
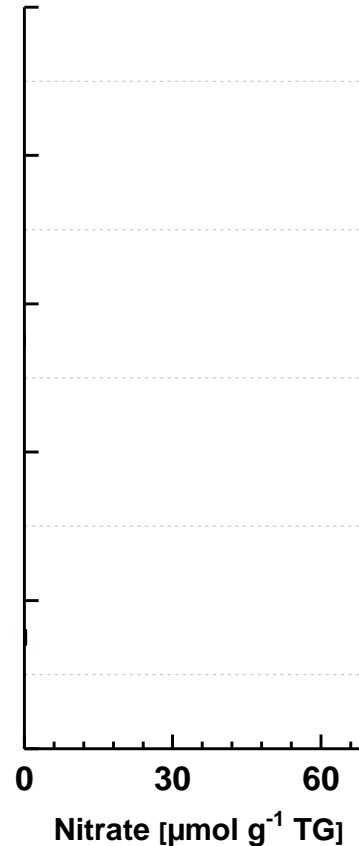
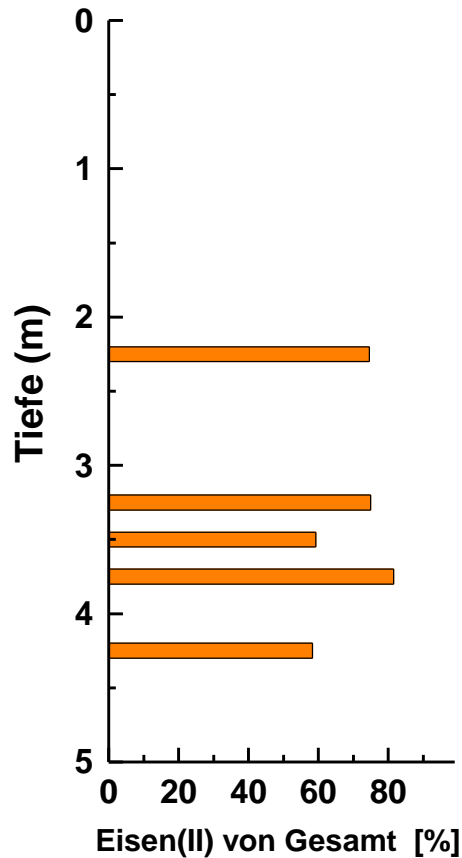
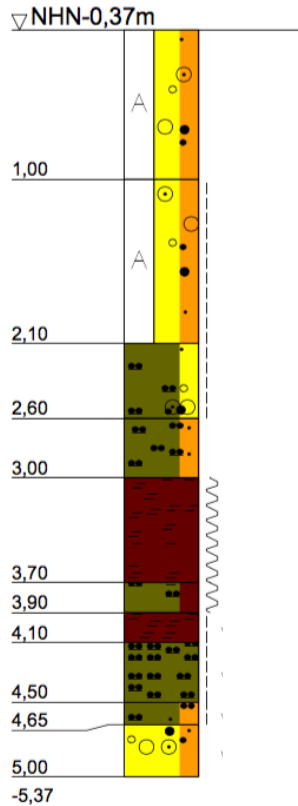
# Projekt 5, Profil 1

Höhenänderung gering in 20 Jahren, Gebäudepunkte nicht repräsentativ



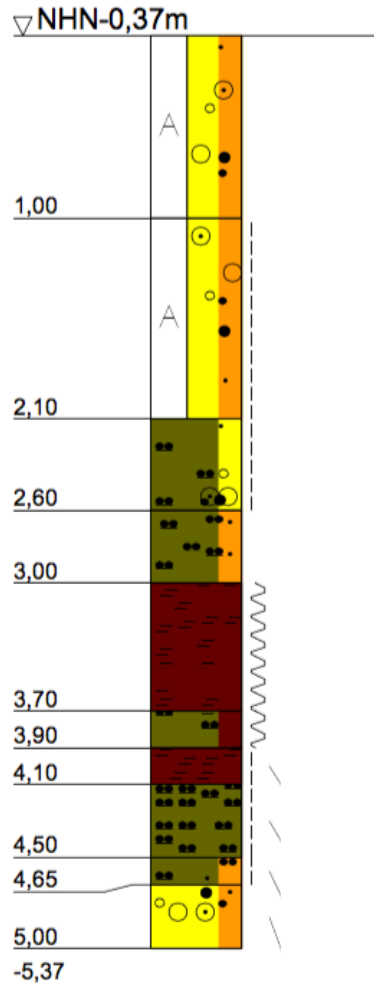
# Projekt 5, Profil 1

Höhenänderung gering in 20 Jahren, Gebäudepunkte nicht repräsentativ



# Projekt 5, Profil 1

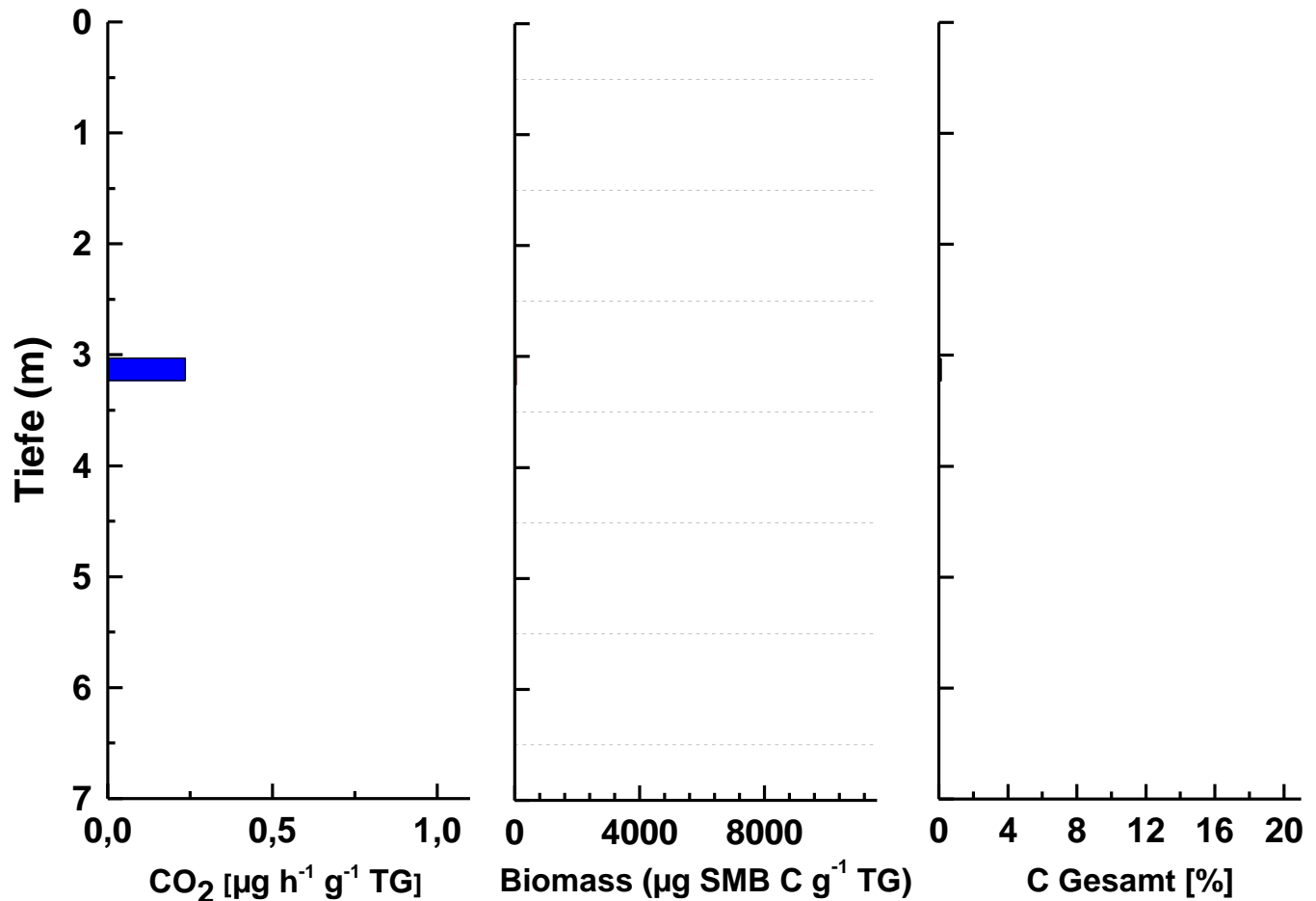
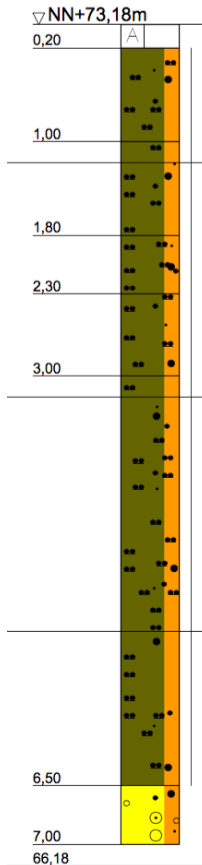
Höhenänderung gering in 20 Jahren, Gebäudepunkte nicht repräsentativ



Torfschichten ohne Sauerstoff  
Kaum Abbau → keine Senkung

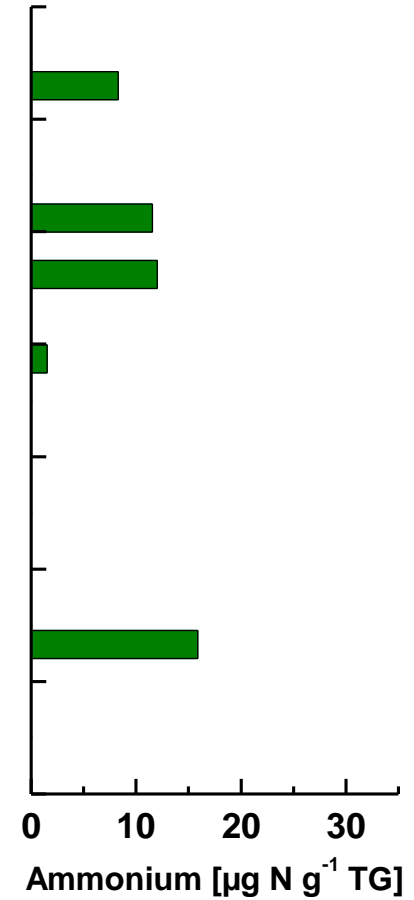
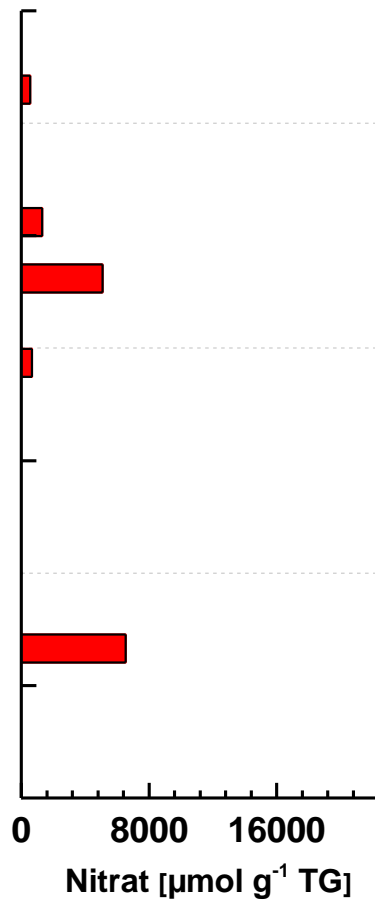
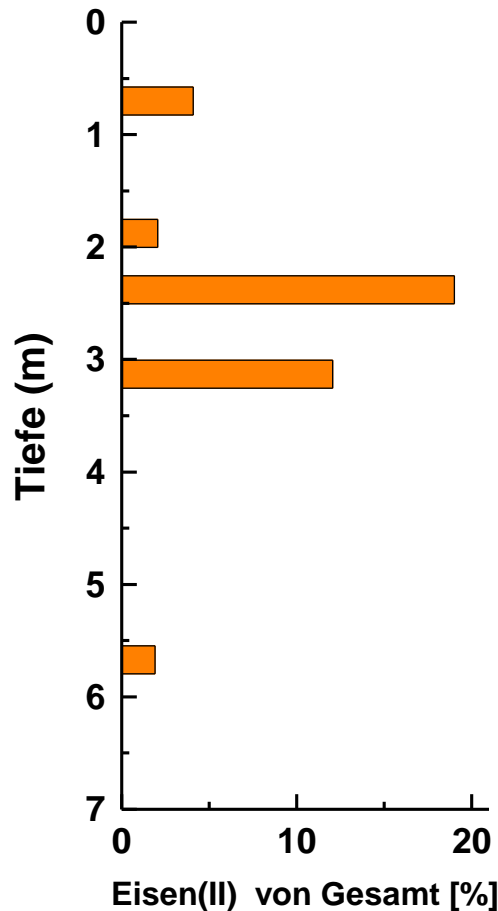
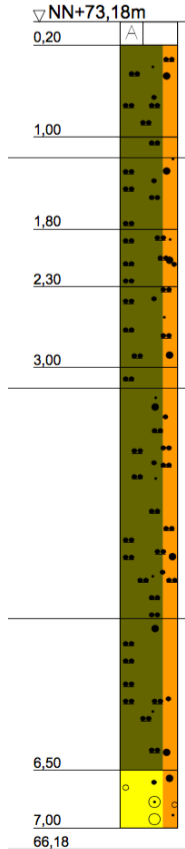
# Projekt 2, Profil 248

Höhenänderung **-69 mm** in 44 Jahren, aktuelle Rate **-0,1 mm yr<sup>-1</sup>**



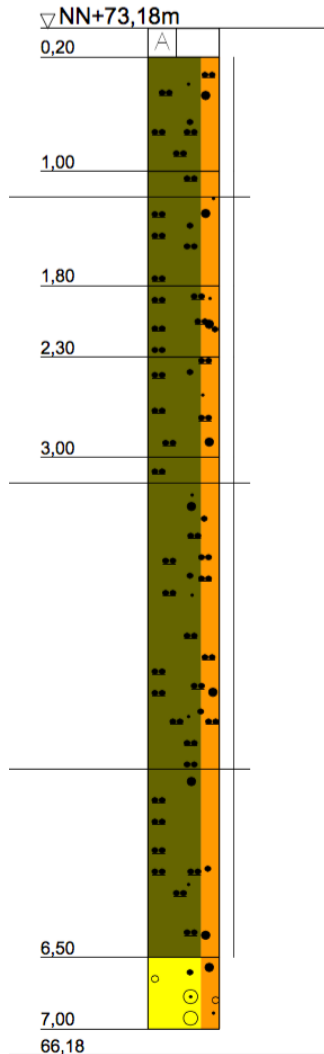
# Projekt 2, Profil 248

Höhenänderung **-69 mm** in 44 Jahren, aktuelle Rate **-0,1 mm yr<sup>-1</sup>**



# Projekt 2, Profil 248

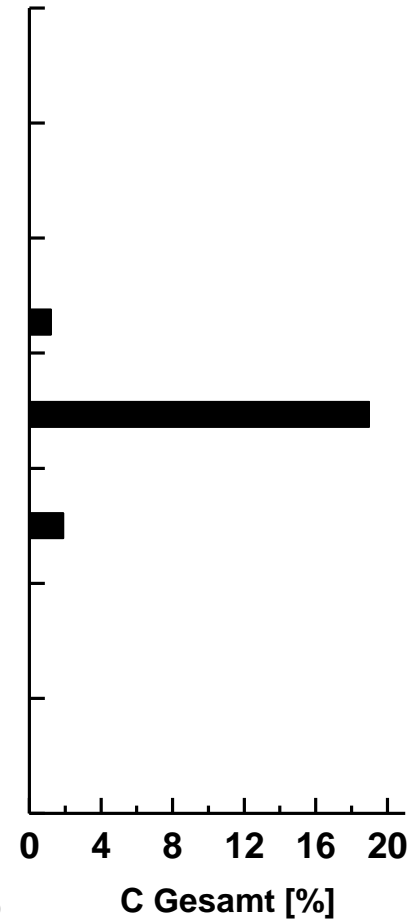
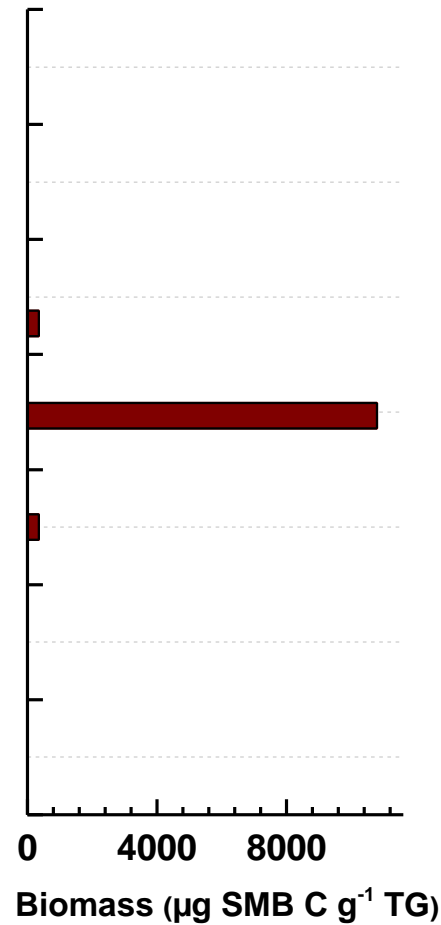
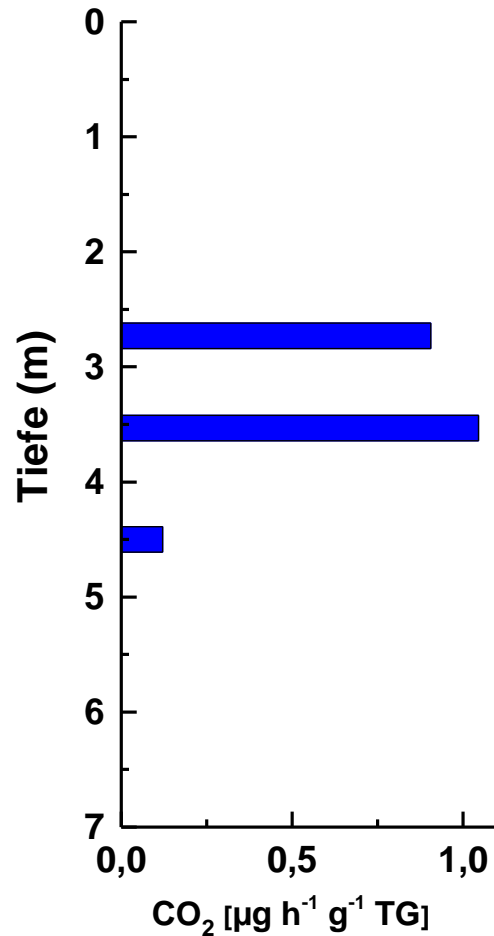
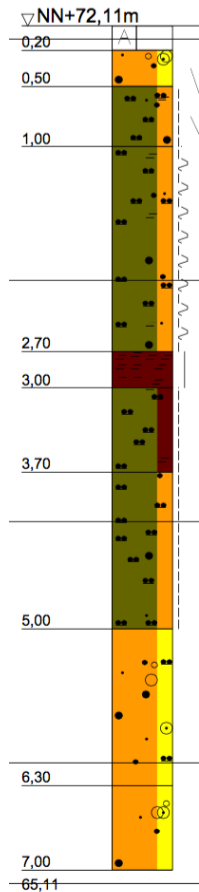
Höhenänderung **-69 mm** in 44 Jahren, aktuelle Rate **-0,1 mm yr<sup>-1</sup>**



Bodensäule komplett mit Sauerstoff  
Sehr wenig organischer Kohlenstoff  
→ kaum Bodensenkung

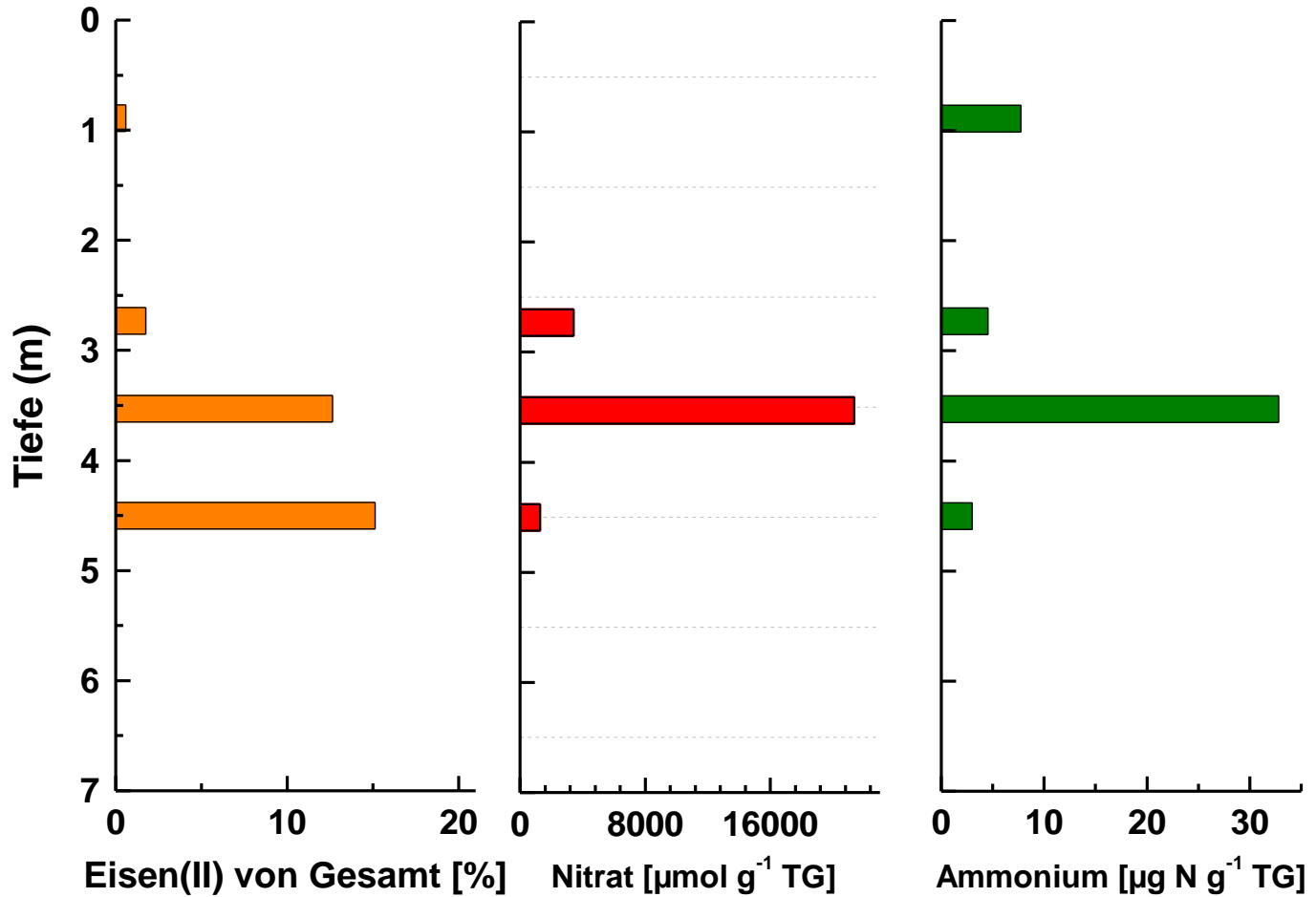
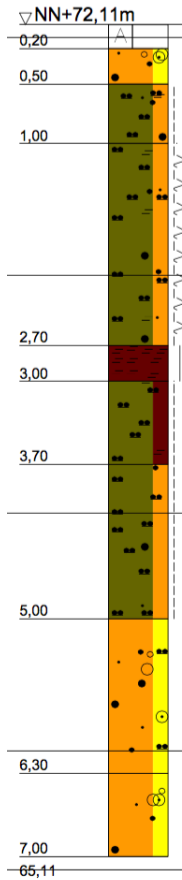
# Projekt 2, Profil 251

Höhenänderung: **-551 mm** in 44 Jahren, aktuelle Rate: **-4,0 mm yr<sup>-1</sup>**



# Projekt 2, Profil 251

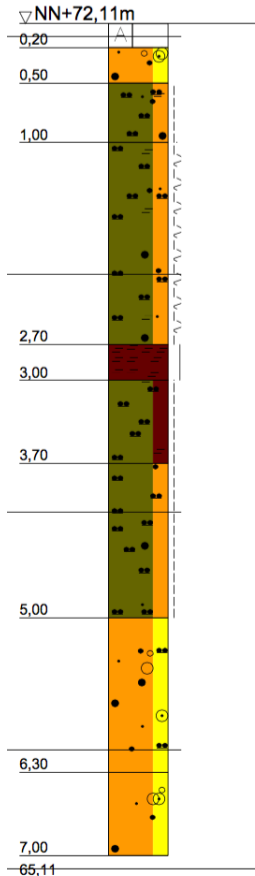
Höhenänderung: **-551 mm** in 44 Jahren, aktuelle Rate: **-4,0 mm yr<sup>-1</sup>**





# Projekt 2, Profil 251

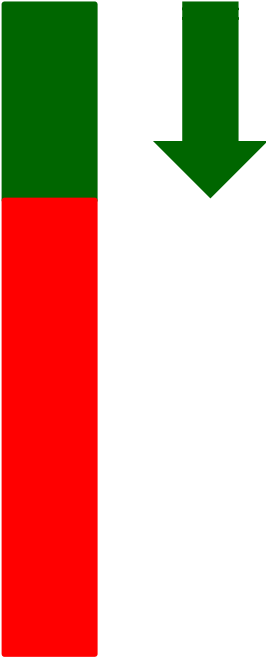
Höhenänderung: **-551 mm** in 44 Jahren, aktuelle Rate: **-4,0 mm yr<sup>-1</sup>**



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.

# 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

Ulrich Wilden  
Dr. Philipp Zeimetz  
Manfred Neumann

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit und Ihr Interesse!!!**



# Experimentelle Untersuchungen zum Verformungsverhalten von Torf

**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. Klassifizierung von (organischen) Böden**
- 4. Bodenkennwerte der Versuchsböden**
- 5. Korrelationen**
- 6. Kompressionsversuche an den Versuchsböden**
- 7. Zusammenhang zwischen organischen Bestandteile und Setzungen**
- 8. Quellen**



## *Einleitung*

Zur sicheren Gründung von Bauwerken, d. h. zur Abtragung der Bauwerkslasten aus allen Disziplinen des Bauingenieurwesens – Konstruktionen des Hochbaus, des Wasserbaus, des Tunnelbaus und Infrastrukturmaßnahmen, aber auch bei der Umnutzung von Bestandsbauwerken, sind detaillierte Kenntnisse des Baugrundes erforderlich.

Schäden die auf eine Missachtung der Bodenkennwerte bzw. nicht ausreichende Baugrunderkundung zurückzuführen waren, zeigten sich in der Vergangenheit zumeist als sehr kostenintensiv in der Sanierung und im Extremfall mit einer Havarie des gesamten Bauwerkes (vgl. A20 bei Tribsees, „Erfder Damm“, „Husumer Buckelpiste“).

Insgesamt sind nach (Höper, 2007) ca. 4 % der Fläche Deutschlands (ca. 13.000 km<sup>2</sup>) als Moorgebiete ausgewiesen und etwa 5 bis 8 % weltweit (Taylor, 1983).



## ***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 durchführen.
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***

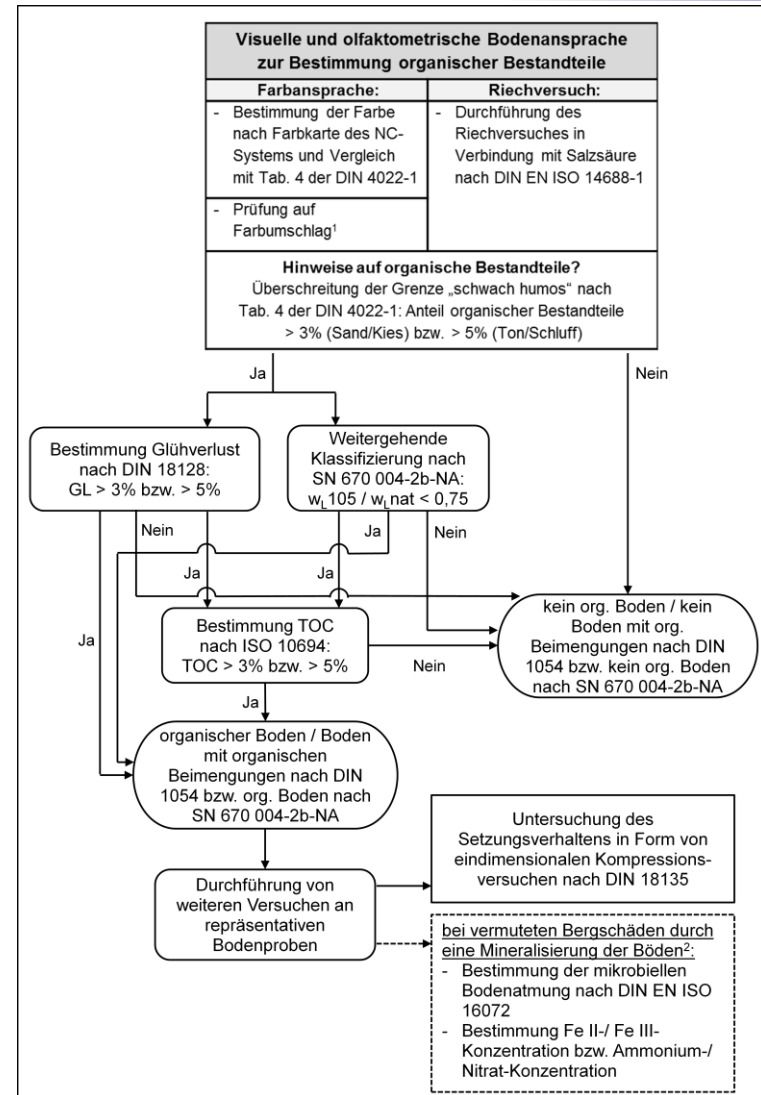
*Bestimmung des organischen Anteils in feinkörnigen Böden, 2012*

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





## Klassifizierung von (organischen) Böden

### Korngrößenfraktionen nach DIN EN ISO 14688-1:2013

Bereich	Benennung	Kurzzeichen	Korngröße [mm]
sehr grobkörniger Boden	großer Block	LBo	> 630
	Block	Bo	> 200 bis 630
	Stein	Co	> 63 bis 200
grobkörniger Boden	Kies	Gr	> 2,0 bis 63
	Grobkies	CGr	> 20 bis 63
	Mittelkies	MGr	> 6,3 bis 20
	Feinkies	FGr	> 2,0 bis 6,3
	Sand	Sa	> 0,063 bis 2,0
	Grobsand	CSa	> 0,63 bis 2,0
feinkörniger Boden	Mittelsand	MSa	> 0,2 bis 0,63
	Feinsand	FSa	> 0,063 bis 0,2
	Schluff	Si	> 0,002 bis 0,063
	Grobschluff	CSi	> 0,02 bis 0,063
	Mittelschluff	MSi	> 0,0063 bis 0,02
feinkörniger Boden	Feinschluff	FSi	> 0,002 bis 0,0063
	Ton	Cl	≤ 0,002



## ***Klassifizierung von (organischen) Böden***

### ***Benennung und Beschreibung organischer Böden nach DIN EN ISO 14688-1:2013***

<b>Benennung</b>	<b>Beschreibung</b>
Faseriger Torf	faserige Struktur, leicht erkennbare Pflanzenstruktur; besitzt gewisse Festigkeit
Schwach faseriger Torf	erkennbare Pflanzenstruktur; keine Festigkeit des erkennbaren Pflanzenmaterials
Amorpher Torf	keine erkennbare Pflanzenstruktur; breiige Konsistenz
Mudde (Gyttja)	pflanzliche und tierische Reste; mit anorganischen Bestandteilen durchsetzt
Humus	pflanzliche Reste, lebende Organismen und deren Ausscheidungen; bilden mit anorganischen Bestandteilen den Oberboden (Mutterboden)



## ***Klassifizierung von (organischen) Böden***

*Bestimmung des Zersetzungsgrades durch den Ausquetschversuch nach  
DIN EN ISO 14688-1:2013*

<b>Begriff</b>	<b>Zersetzungsgrad</b>	<b>Quetsch-Rückstände</b>	<b>Abgepresstes</b>
faserig	kein	deutlich erkennbar	nur Wasser keine Feststoffe
leicht faserig	mäßig	erkennbar	trübes Wasser < 50 [%] Feststoffe
nicht faserig	völlig	nicht erkennbar	wässriger Brei > 50 [%] Feststoffe



## ***Klassifizierung von (organischen) Böden***

*Klassifizierung von Böden  $\leq 2$  mm Korngröße mit organischen Anteilen  
nach DIN EN ISO 14688-2:2013*

<b>Bezeichnung</b>	<b>organischer Anteil</b> [M.-%] der Trockenmasse
schwach organisch	2 bis 6
mittel organisch	6 bis 20
stark organisch	> 20



## Klassifizierung von (organischen) Böden

*Humusgehalte von Böden nach Färbung*

*oben: nach DIN 4022-1:1987, unten: nach DIN 4022-1:1969*

Benennung	Sand und Kies		Ton und Schluff	
	Humusgehalt [M.-%]	Farbe [-]	Humusgehalt [M.-%]	Farbe [-]
schwach humos	1-3	grau	2-5	Mineralfarbe
humos	>3-5	dunkel-grau	>5-10	dunkelgrau
stark humos	>5-10	schwarz	>10	schwarz
Benennung	sandige Böden		tonige Böden	
	Humusgehalt [M.-%]	Farbe [-]	Humusgehalt [M.-%]	Farbe [-]
humusarm	≤ 1	deutlich grau	≤ 2	Mineralfarbe
schwach humos	>1-2	tief grau	>2-5	
humos	>2-5		>5-10	tief grau
stark humos	>5-10	schwarz	>10-15	schwarz
sehr stark humos	>10-15		>15-20	

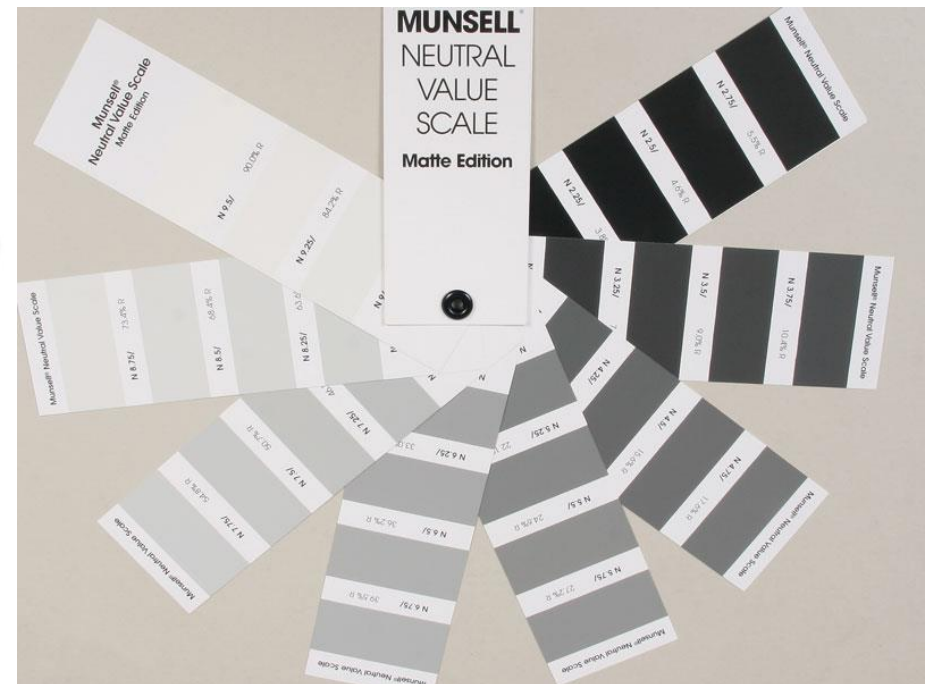




## Klassifizierung von (organischen) Böden

Humusgehalte von Böden nach Färbung

Unbunte Farben – beispielhaft mit NCS- und Munsell-Farbtafeln



Images: [www.torso.de](http://www.torso.de)



# Klassifizierung von (organischen) Böden

## Bezeichnung der Böden nach DIN 1054:2010

### **Nichtbindige Böden nach DIN 1054:2010**

- Kornanteil  $d < 0,063 \text{ mm} \leq 40 \text{ M.-%}$  (DIN 18196:2011)
- Anteil org. Substanz (Glühverlust  $V_{gl}$ )  $\leq 3 \text{ M.-%}$  (DIN 1054:2010)
- Bodengruppen nach DIN 18196:2011: GE, GW, GI, SE, SW, SI, GU, GT, SU, ST bzw. GU\*, GT\*, SU\*, wenn der Feinanteil das Bodenverhalten nicht bestimmt.

### **Bindige Böden nach DIN 1054:2010**

- Kornanteil  $d < 0,063 \text{ mm} > 40 \text{ M.-%}$  (DIN 18196:2011)
- Anteil org. Substanz (Glühverlust  $V_{gl}$ )  $\leq 5 \text{ M.-%}$  (DIN 1054:2010)
- Bodengruppen nach DIN 18196: GU\*, GT\*, SU\*, ST\*, UL, UM, UA, TL, TM, TA bzw. GT SU u. ST (vgl. DIN 1054:2010)

### **Organische und organogene Böden**

#### **Böden mit organischen Beimengungen (nichtbindig) nach DIN 1054:2010**

- Anteil org. Substanz (Glühverlust  $V_{gl}$ )  $> 3 \text{ M.-%}$  (DIN 1054:2010)

#### **Böden mit organischen Beimengungen (bindig) – Organogene Böden nach DIN 1054:2010**

- Anteil org. Substanz (Glühverlust  $V_{gl}$ )  $> 5 \text{ M.-%}$  (DIN 1054:2010)
- Bodengruppen nach DIN 18196: OU, OT, OH u. OK

#### **Organische Böden**

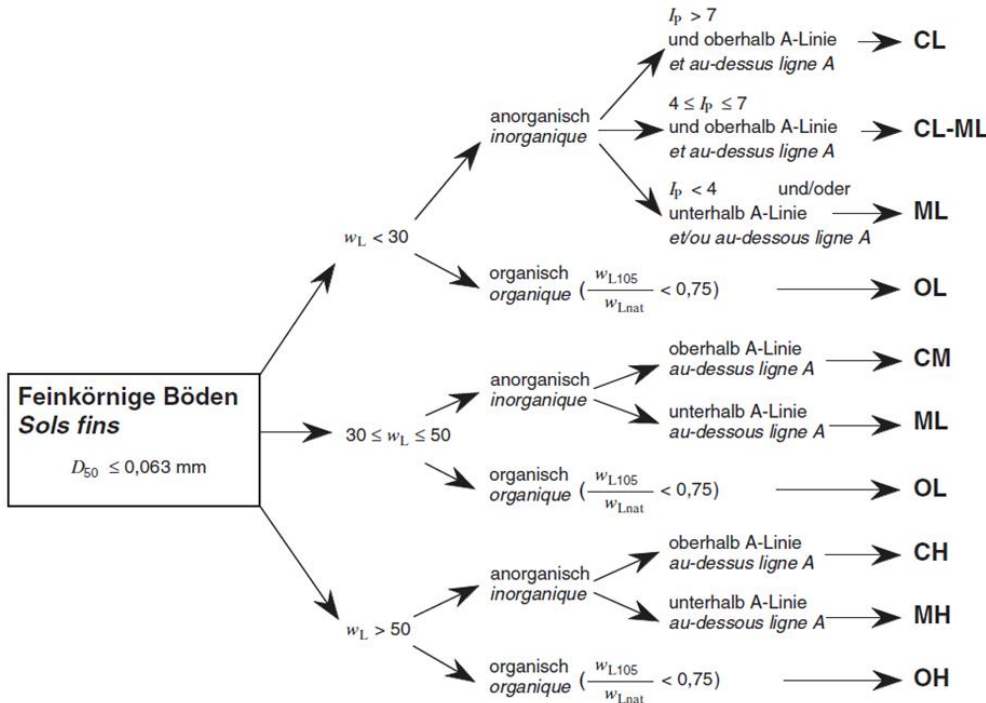
- Torfe und Schlammte nach DIN 18196
- Bodengruppen nach DIN 18196: HN, HZ, F

# Klassifizierung von (organischen) Böden

## Gruppensymbole für feinkörnige Böden

nach Schweizer Norm SN 670 004-2b-NA (NA der EN ISO 14688-2)

bzw. USCS (Unified Soil Classification System)



Symbole für die Kennzeichnung der Bodenbestandteile											
Symboles caractérisant les éléments du sol											
Bodenbestandteile				Korngrößenverteilung				Plastizität			
Éléments du sol				Granularité				Plasticité			
Symbol	English	Deutsch	Français	Symbol	English	Deutsch	Français	Symbol	English	Deutsch	Français
Symbole				Symbole				Symbole			
G	gravel	Kies	gravier	W	well-graded	gut abgestuft	bien gradué	L	low	niedrig	basse
S	sand	Sand	sable	P	poorly-graded	schlecht abgestuft	mal gradué	M	medium	mittel	moyenne
M	silt	Silt	limon					H	high	hoch	haute
C	clay	Ton	argile								
O	organic	organisch	organique								
Pt	peat	Torf	tourbe								



## ***Klassifizierung von (organischen) Böden***

*Bestimmung der organischen Anteile mit Natronlauge  
nach Schweizer Norm SN 670370a:2008*

<b>Verfärbung der Natronlauge</b>	<b>Stufe</b>	<b>... organisch</b>
leicht gelbliche Tönung	1	nicht
hellgelb	2	leicht
gelb	3	mittel
braun	4	mittel-stark
dunkelbraun bis schwarz	5	stark



## Klassifizierung von (organischen) Böden

Bestimmung der Zersetzungsstufen und des Zersetzungsgrades von pedogen nicht veränderten Torfen nach DIN 19682-12:2007 („Bodenbeschaffenheit – Felduntersuchungen – Teil 12: Bestimmung des Zersetzungsgrades der Torfe“)

Zersetzungsstufe		Merkmale trockener und zersetzter Torfe <sup>2)</sup>		Zersetzungsgrad nach VON POST <sup>1)</sup>	Merkmale feuchter, grubenfrischer Torfe (nach VON POST ohne Angaben zum Dy-Gehalt)		
Kurzzeichen	Bezeichnung	Farbe des Torfes <sup>3)</sup>	strukturierte Pflanzenreste im Torf	Kurzzeichen	Pflanzenstrukturen im Torf	beim Quetschen zwischen den Fingern hindurchgehend	Rückstand nach dem Quetschen
z1	sehr schwach	weißlich bis gelb	einzigster erkennbarer Torfbestandteil	H 1	deutlich	farbloses, klares Wasser	nicht breiartig
		ziemlich hellbraun		H 2		schwach gelbbraunes, fast klares Wasser	
z2	schwach	dunkelbraun		H 3		braunes, deutlich trübes Wasser	
				H 4		braunes, stark trübes Wasser	
z3	mittel	ziemlich dunkelbraun bis schwarz	nahezu einziger erkennbarer Torfbestandteil	H 5		stark trübes, Wasser, daneben etwas Torfsubstanz	etwas breiartig
			über 2/3 der Torfsubstanz	H 6	etwas undeutlich	bis 1/3 der Torfsubstanz	stark breiartig
z4	stark		etwa 1/2 der Torfsubstanz	H 7	noch einigermaßen erkennbar	Etwa 1/2 der Torfsubstanz	Pflanzenstrukturen deutlicher als vorher
			etwa 1/3 der Torfsubstanz	H 8	sehr undeutlich	etwa 2/3 der Torfsubstanz	besonders aus
z5	sehr stark		nur sehr wenig der Torfsubstanz	H 9	fast nicht mehr erkennbar	fast die gesamte Torfsubstanz	widerstandsfähigeren Resten, z. B. Fasern, Holz
			keine pflanzlichen Strukturen	H 10	nicht mehr erkennbar	die gesamte Torfsubstanz	kein Rückstand

Zersetzungsstufe bzw. Zersetzungsgrad der Versuchstorfe T1, T2 und T3



## Klassifizierung von (organischen) Böden

Humusstufen nach AD-HOC-Arbeitsgruppe Boden (2005) und entsprechende  $C_{org}$ -Wert

Stufe [Kurz- zeichen]	Gehalt organischer Substanz (Humus) [M.-%]	$C_{org}$  [M.-%]	Bezeichnung
h0	0	-	humusfrei
h1	<1	<0,58 (Faktor: 1,724 [-])	sehr schwach humos
h2	1-2	0,58-1,16	schwach humos
h3	2-4	1,16-2,32	mittel humos
h4	4-8	2,32-4,64	stark humos
h5	8-15	4,64-8,69	sehr stark humos
h6	15-30	8,70-15,00 (Faktor: 2,0 [-])	extrem humos, anmoorig
h7	>30	>15,00	organisch, Torf



## Klassifizierung

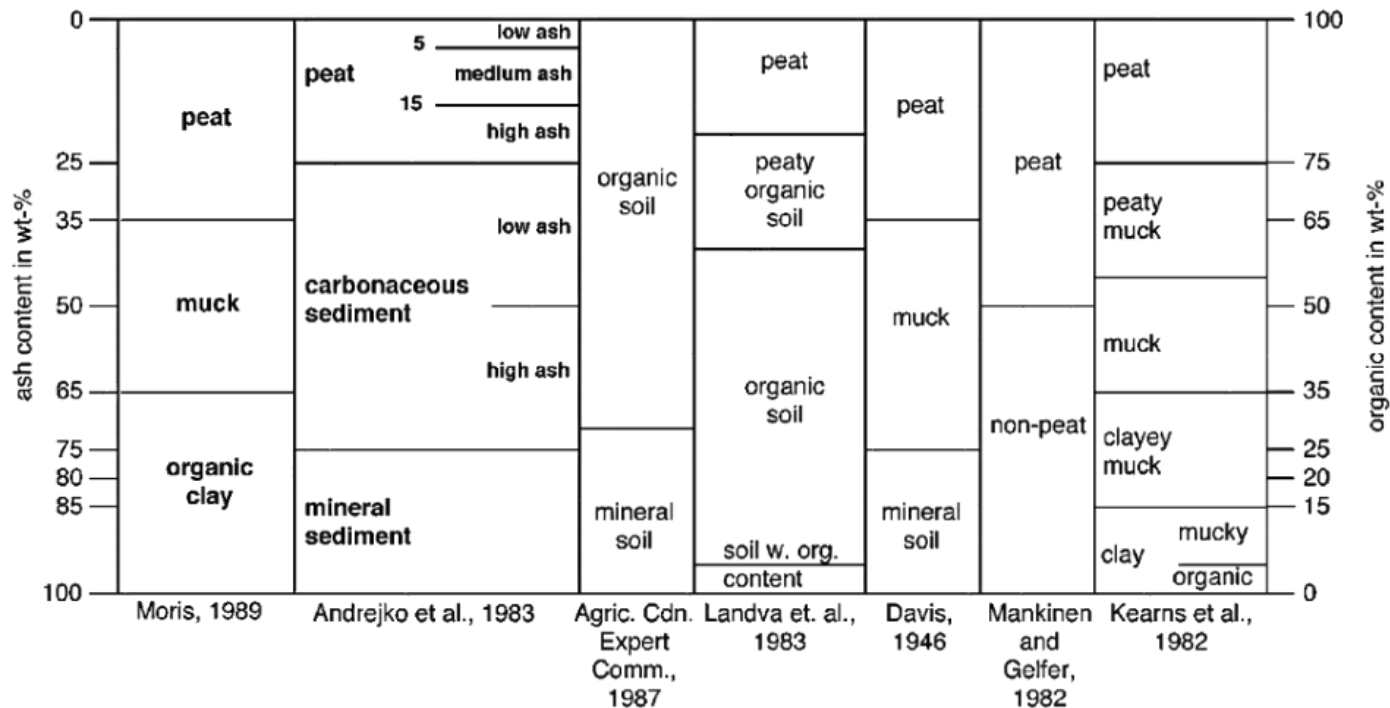
### Weitere Klassifizierungen nach ASTM

Kennung	Englischer Titel	Inhalt
D 1997:2013 (ASTM D 1997:2013)	Standard Test Method for Laboratory Determination of the Fiber Content of Peat Samples by Dry Mass	Bestimmung des Fasergehaltes von Torf durch Auswaschen mit einer Lösung aus Polyphosphaten
D 2944:2014 (ASTM D 2944:2014, 2014)	Standard Method of Sampling Processed Peat Materials	Entnahme von Torfproben
D 2974:2014 (ASTM D 2974:2014, 2014)	Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils	Bestimmung des Wassergehaltes durch Ofentrocknung und Bestimmung des Glühverlustes
D 2976:2015 (ASTM D 2976:2015, 2015)	Standard Test Method for pH of Peat Materials	Bestimmung des pH-Wertes mittels Messgerät
D 2980:2017 (ASTM D 2980:2017, 2017)	Standard Test Method for Saturated Density, Moisture-Holding Capacity, and Porosity of Saturated Peat Materials	Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit und Porosität von Torfen
D 4427:2018 (ASTM D 4427:2018, 2018)	Standard Classification of Peat Samples by Laboratory Testing	Klassifikation von Torfen anhand ihrer Zusammensetzung
D 4531:2015 (ASTM D 4531:2015, 2015)	Standard Test Method for Bulk Density of Peat and Peat Products	Bestimmung der Rohdichte durch Abwiegen von Bohrkernen und durch Tauchwägung



## Klassifizierung von (organischen) Böden

Weitere Klassifizierungen von Böden auf Grundlage des organischen Anteils  
(aus: (Wüst et al. (2001))

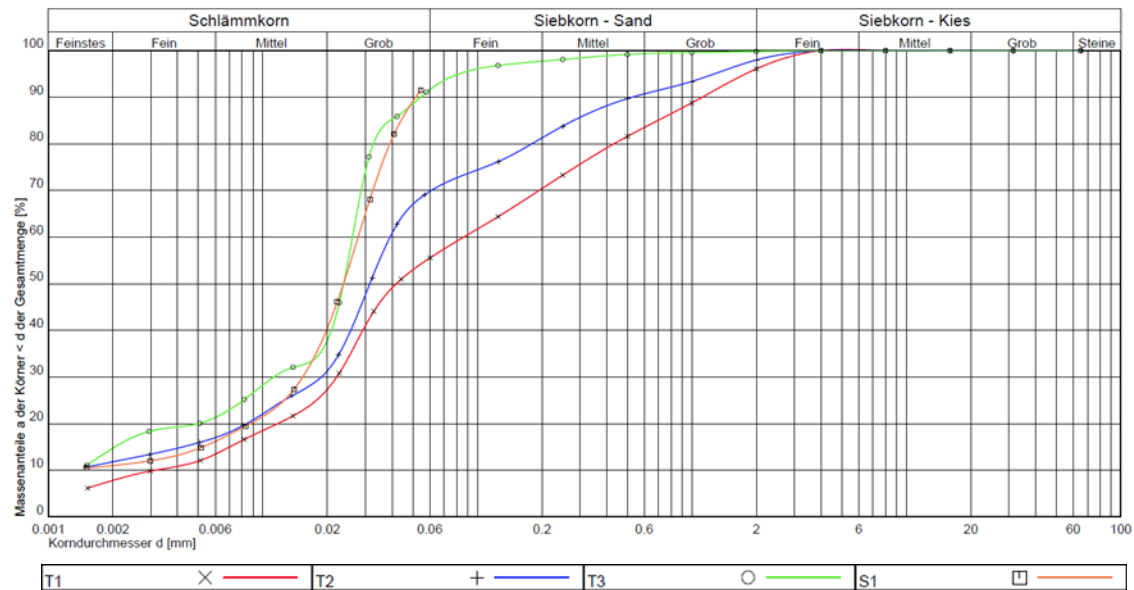






## Bodenkennwerte der Versuchsböden

Kornverteilungskurven der Versuchsböden Torf 1 bis 3 (T1-3) und Schluff (S1) aus dem Rheinischen Braunkohlerevier  
nach DIN EN ISO 17982-4



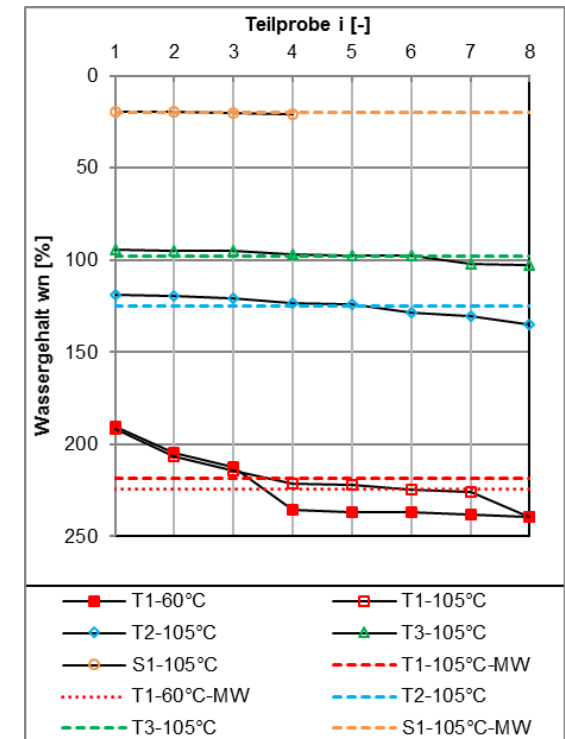


## Bodenkennwerte der Versuchsböden

### Natürliche Wassergehalte der Versuchsböden nach DIN EN ISO 17892-1:2015

Versuchsreihe	Anzahl d. Versuche [n]	Trocknungs- temperatur [°C]	natürlicher Wassergehalt $w_n$ [M.-%]	natürlicher Wasseranteil $w_{An}$ [M.-%]	natürlicher Feststoffanteil [M.-%]
T1-60°C	8	60	224,46	69,18	30,82
V [%]	-	-	n.b.	2,77	n.b.
T1-105°C	8	105	218,30	68,58	31,42
V [%]	-	-	n.b.	2,11	n.b.
T2-105°C	8	105	125,15	55,56	44,44
V [%]	-	-	n.b.	2,03	n.b.
T3-105°C	8	105	97,69	49,40	50,59
V [%]	-	-	n.b.	1,56	n.b.
S1-105°C	4	105	20,16	16,77	83,23
V [%]	-	-	n.b.	2,53	n.b.

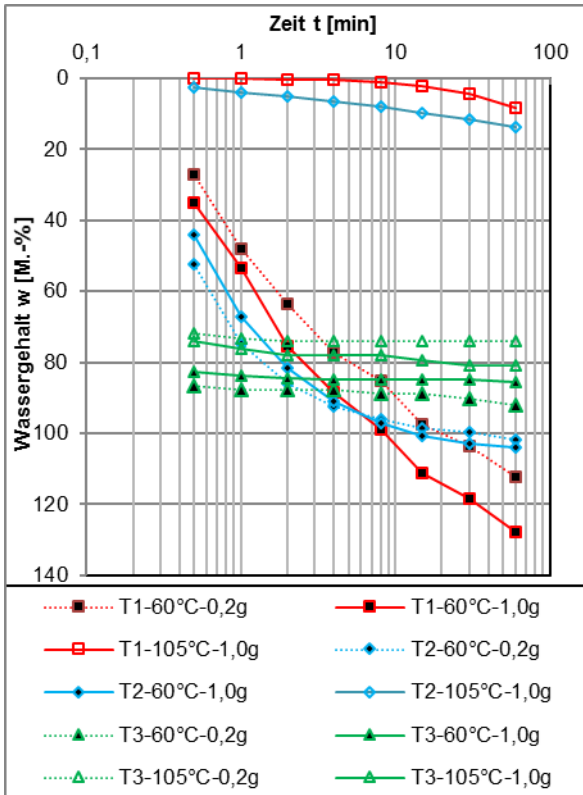
- *geringe Variationskoeffizienten der Wasseranteile  $w_{An}$  von < 3%,*
- *geringfügige Abweichung durch die Trocknungstemperatur*





## Bodenkennwerte der Versuchsböden

### Wasseraufnahmen der Versuchsböden DIN 18132:2012



- deutlich geringere Wasseraufnahme der Versuchstorfe T1 und T2 nach Trocknung bei 105° C

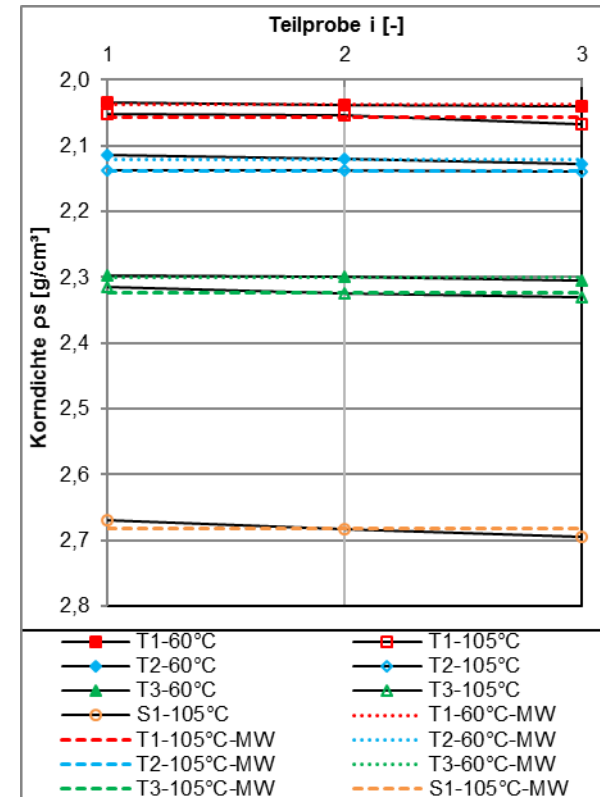


# Bodenkennwerte der Versuchsböden

## Korndichten der Versuchsböden nach DIN 18124:2011

Versuchsreihe	Anzahl d. Versuche [i]	Trocknungstemperatur [°C]	Kornrohichte [g/cm <sup>3</sup> ]
T1-60°C	3	60	2,038
V [%]	-	-	0,12
T1-105°C	3	105	2,057
V [%]	-	-	0,43
T2-60°C	3	60	2,121
V [%]	-	-	0,31
T2-105°C	3	105	2,139
V [%]	-	-	0,06
T3-60°C	3	60	2,300
V [%]	-	-	0,18
T3-105°C	3	105	2,324
V [%]	-	-	0,35
S1-105°C	3	105	2,682
V [%]	-	-	0,47

- mit steigendem Gehalt an Organik Abnahme der Korndichte,
- geringfügige Abweichung durch die Trocknungstemperatur



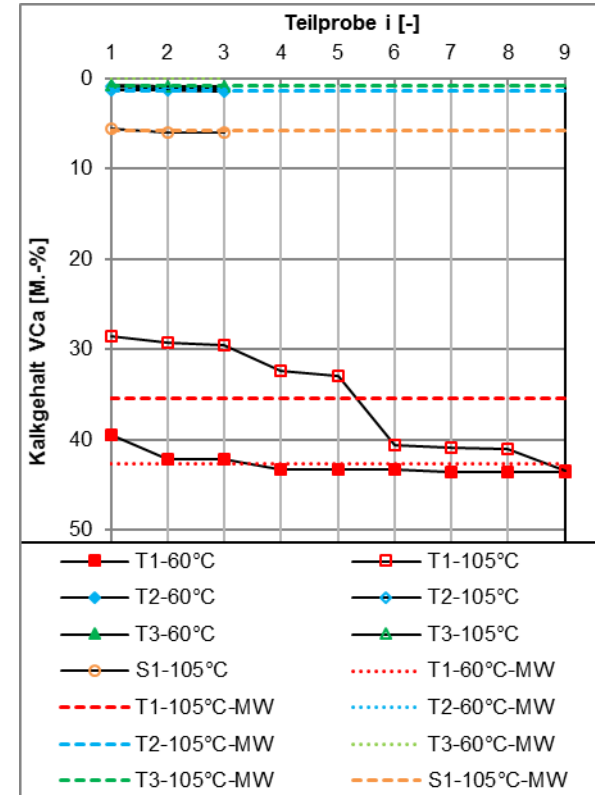


# Bodenkennwerte der Versuchsböden

## Kalkgehalte der Versuchsböden nach DIN 18129:2011

Versuchsr eihe	Anzahl d. Versuche [i]	Trocknungs- temperatur [°C]	Kalkgehalt $V_{Ca}$ ( $CaCO_3$ ) [M.-%]
T1-60°C	9	60	42,71
V [%]	-	-	3,16
T1-105°C	9	105	35,41
V [%]	-	-	16,93
T2-60°C	3	60	1,09
V [%]	-	-	13,70
T2-105°C	3	105	1,36
V [%]	-	-	7,47
T3-105°C	3	105	0,82
V [%]	-	-	10,34
S1-105°C	3	105	5,84
V [%]	-	-	3,47

- deutliche Abweichung des Kalkgehaltes bei 105° C Trocknungstemperatur



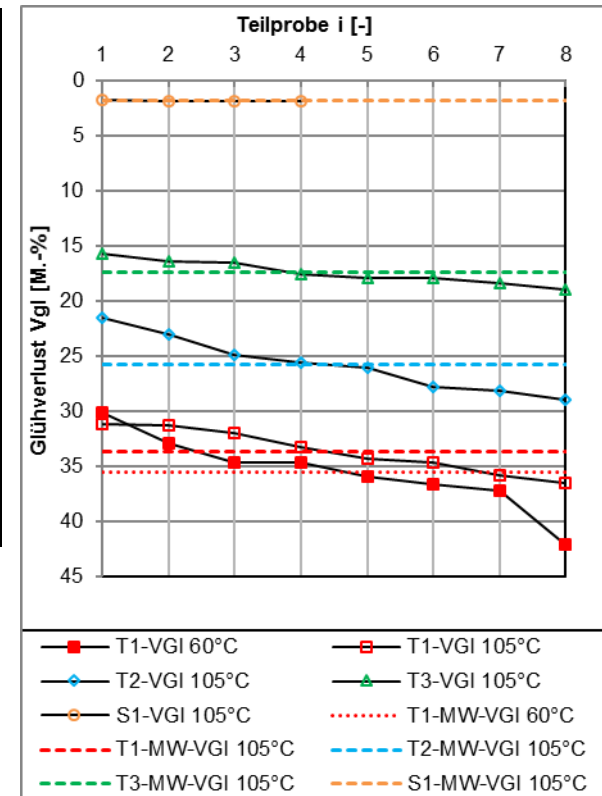


# Bodenkennwerte der Versuchsböden

## Glühverluste der Versuchsböden nach DIN 18128:2002

Versuch eihen	Anzahl d. Versuche	Trocknung s- temperatur [°C]	Glühverlust Vgl [M.-%]	Feststoff- anteil <sup>1</sup> [M.-%]	Feststoff- anteil mineralisch <sup>1</sup> [M.-%]	Feststoff- anteil organisch <sup>1</sup> [M.-%]
T1	8	60	35,54	30,92	19,93	10,99
V [%]	-	-	9,81	-	-	-
T1	8	105	33,63	31,42	20,85	10,57
V [%]	-	-	6,01	-	-	-
T2	8	105	25,74	44,44	33,01	11,43
V [%]	-	-	9,97	-	-	-
T3	8	105	17,46	50,59	41,76	8,83
V [%]	-	-	6,27	-	-	-
S1	4	105	1,87	83,23	81,67	1,56
V [%]	-	-	5,26	-	-	-

<sup>1</sup> Feststoffanteil auf Basis der Wasseranteile, Feststoffanteile mineralisch/organisch unter der Annahme, dass der Glühverlust ausschließlich organische Anteile anzeigt.



- Abweichung des Glühverlustes durch die Trocknungstemperatur, Variationskoeffizienten von bis zu 10 % (Probeneinwaage von 100 bis 300 g je Versuch)

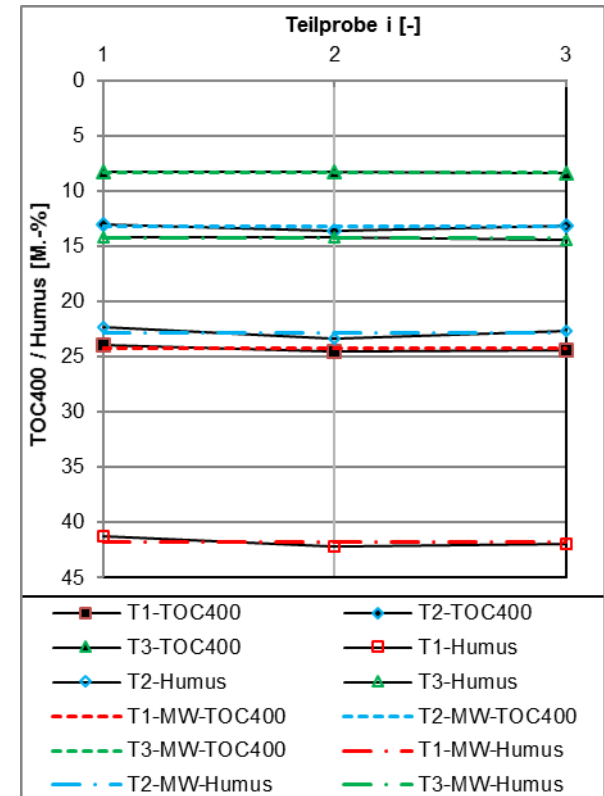


## Bodenkennwerte der Versuchsböden

Organischer Kohlenstoff-Gehalt der Versuchsböden  $C_{org}$  nach DIN 19539:2016

Versuchsreihe	Anzahl d. Versuche	Trocknungstemperatur	TOC <sub>400</sub> bzw. $C_{org}$	Humus (TOC <sub>400</sub> x 1,72)
[Bez.]	[i]	[°C]	[M.-%]	[M.-%]
T1	3	105	24,30	41,80
V [%]	-	-	1,09	1,09
T2	3	105	13,27	22,82
V [%]	-	-	2,30	2,30
T3	3	105	8,31	14,30
V [%]	-	-	0,91	0,91
S1	3	105	<0,10	-
V [%]	-	-	-	-

- geringe Variationskoeffizienten von < 2 % des  $C_{org}$  (vermutlich auf die gute Homogenisierung des Probenmaterials zurückzuführen, Probeneinwaage von etwa 0,1 g je Versuch)



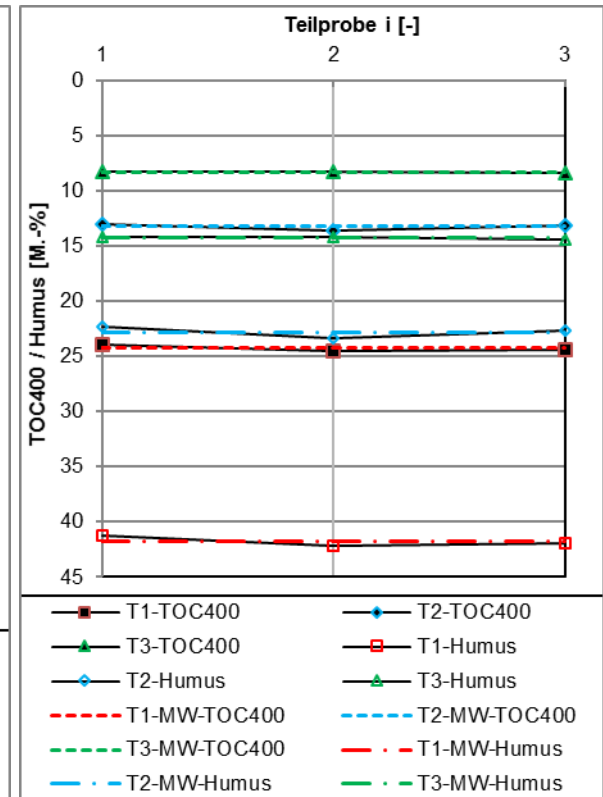
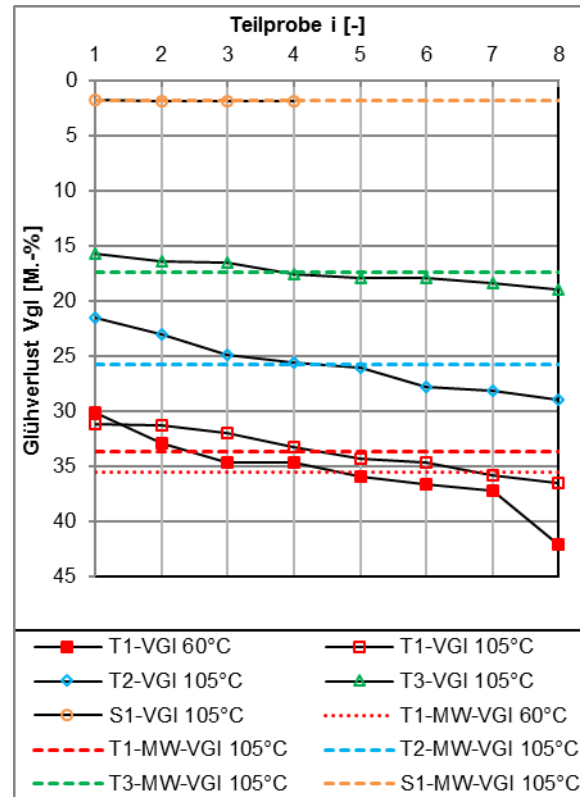


# Bodenkennwerte der Versuchsböden

## Vergleich $V_{gl}$ zu Humus

Versuchsreihe [Bez.]	rel. Differenz rel. $\Delta$ [%]
T1	
$V_{GL}$ zu Humus	-19,54
Humus zu $V_{GL}$	24,28
T2	
$V_{GL}$ zu Humus	12,81
Humus zu $V_{GL}$	-11,35
T3	
$V_{GL}$ zu Humus	22,11
Humus zu $V_{GL}$	-18,10

- deutliche Abweichungen von Glühverlust zu Humus

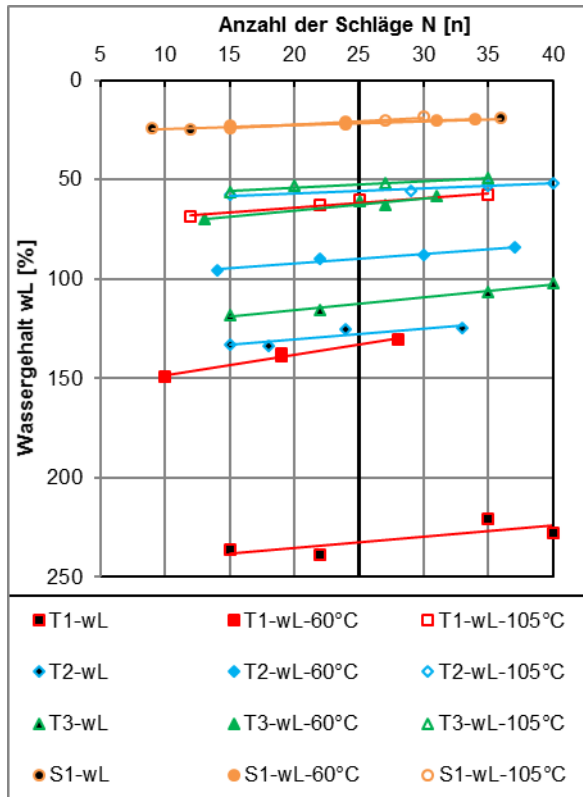






## Bodenkennwerte der Versuchsböden

Fließgrenzen der Versuchsböden nach 18122-1:1997 und nach Trocknung bei 60 bzw. 105 °C

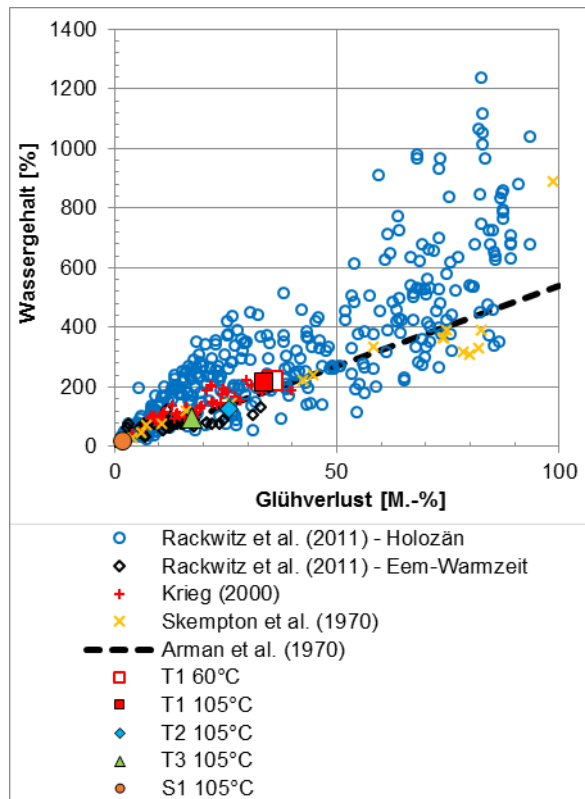


- die Beeinflussung der Fließgrenze durch die Trocknungstemperatur steigt mit dem Anteil der im Boden enthaltenen Organik
- ähnliche Fließgrenzen der Versuchstorfe nach Trocknung bei 105° C



## Korrelationen

### Glühverlust - Wassergehalt

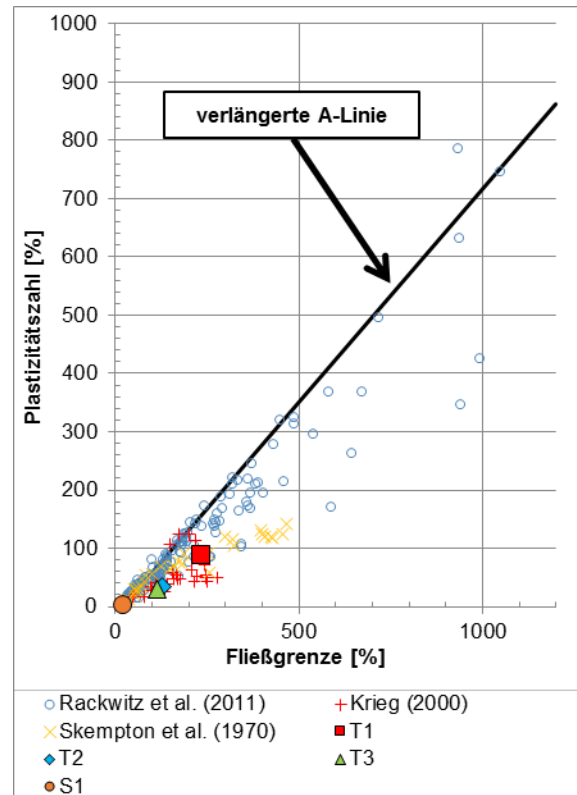
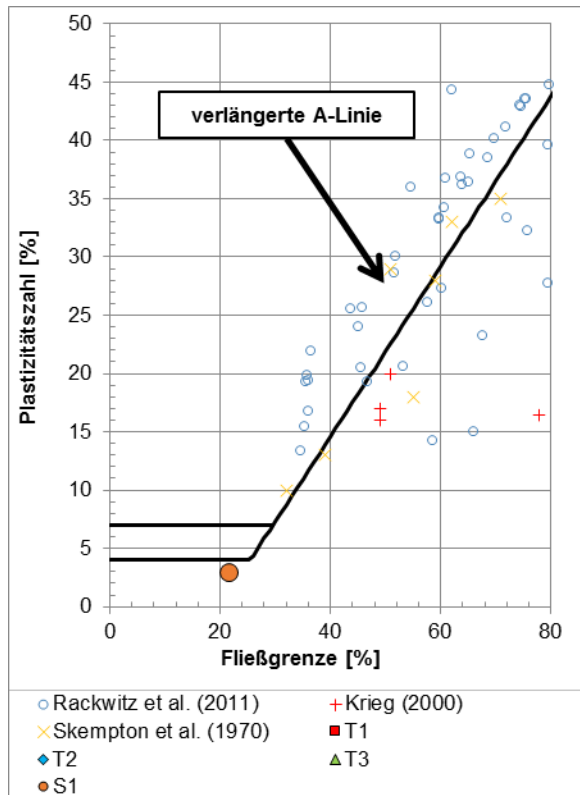


- Anstieg des Wassergehaltes mit dem Glühverlust
- die Versuchsböden zeigen eine gute Übereinstimmung mit der Linearisierung von Arman et al. (1970)



## Korrelationen

### Fließgrenze - Plastizitätszahl

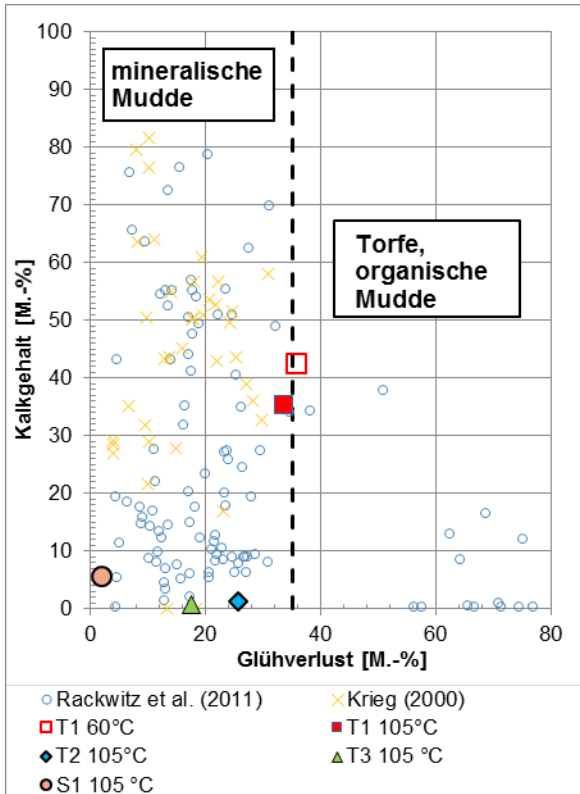


- Versuchstorf lassen sich nur im Plastizitätsdiagramm mit verlängerter A-Linie abbilden



# Korrelationen

## Glühverlust - Kalkgehalt



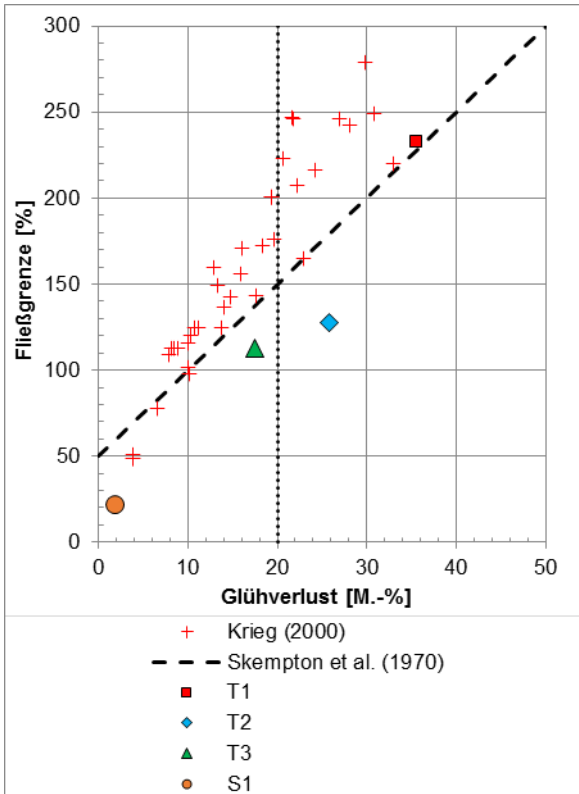
- die Versuchstorfe T2 und T3 lassen sich nach Rackwitz et al. (2011) als mineralische Mudden mit Glühverlusten  $V_{gl} < 35$  M.-% klassifizieren,
- der T1 liegt im Übergang zu den Torfen mit  $V_{gl} \sim 35$  M.-%.

Mineralische Mude		Organische Mude und Torf		
$5 \leq V_{gl} \leq 35$ % $2,75 > \rho_s \geq 2,00$ g/cm <sup>3</sup>		$35 < V_{gl} \leq 100$ % $2,00 > \rho_s \geq 1,40$ g/cm <sup>3</sup>		
Schwach karbonatische Mude $V_{ca} \leq 45$ %	Stark karbonatische Mude $V_{ca} > 45$ % $w_L < 250$ % $w_p < 100$ % $w_n < 300$ %	Überwiegend detritische Mude	Stark huminstoffhaltige, torfähnliche Mude	Nicht bis vollständig zersetzter Torf, je nach Zersetzungsgrad
Mude, Sand-, Schluff-, Tonmude	Kalkmude	Detritus-, Lebermude	Torfmude	Faseriger Torf, zersetzter Torf
$C_c = 0,5 \dots 2,5$	$C_c = 0,5 \dots 1,5$	$C_c = 1,5 \dots 8$		
$C_\alpha = 0,02 \dots 0,15$		$C_\alpha = 0,15 \dots 0,50$		$C_\alpha = 0,15 \dots 0,70$ [7]
$C_\alpha/C_c = 0,03 \dots 0,08$	$C_\alpha/C_c = 0,05 \dots 0,07$	$C_\alpha/C_c = 0,03 \dots 0,10$		
Effektiver Reibungswinkel $\phi' = 28^\circ \dots 52^\circ$ (konsolidierte, undrainierte Triaxialversuche)				
Effektiver Reibungswinkel $\phi' = 25^\circ \dots 35^\circ$ (Rahmen- und Kreisringschersversuche)				
Undrainierte Kohäsion $c_{u,0} = 1 \dots 7$ kN/m <sup>2</sup> und $c_{u,i} = c_{u,0} + (0,3 \dots 0,5) \cdot \sigma'_{v,i}$				



## Korrelationen

### Glühverlust – Fließgrenze / Glühverlust - Korndichte

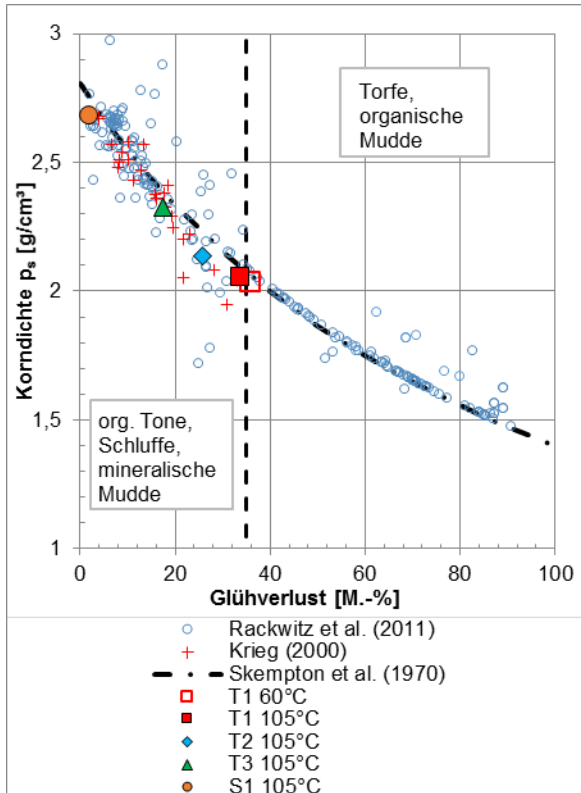


- nach Skempton et al. (1970) besteht zwischen Glühverlust und Fließgrenze ein linearer Zusammenhang,
- im Bereich von  $20\% < V_{gl} < 80\%$  soll dieser lineare Zusammenhang nach Skempton et al. (1970) Ergebnisse liefern, die im Genauigkeitsbereich von  $\pm 20\%$  liegen,
- wie zu erkennen ist, liegen die Versuchsergebnisse von Krieg (2000) jedoch zum Teil deutlich außerhalb dieses linearen Zusammenhangs, wobei die größten Abweichungen etwa zwischen 80 und 90 % liegen,
- die mittleren Werte des T1 hingegen zeigen gute Übereinstimmungen, der von Skempton et al. (1970) beschriebene lineare Zusammenhang lässt sich somit nicht bestätigen. Es lässt sich anhand der Versuchsergebnisse allerdings erkennen, dass ein Zusammenhang zwischen Glühverlust und Fließgrenze vorhanden ist: Mit steigendem Glühverlust steigt auch die Fließgrenze an.



## Korrelationen

### Glühverlust – Fließgrenze / Glühverlust - Korndichte

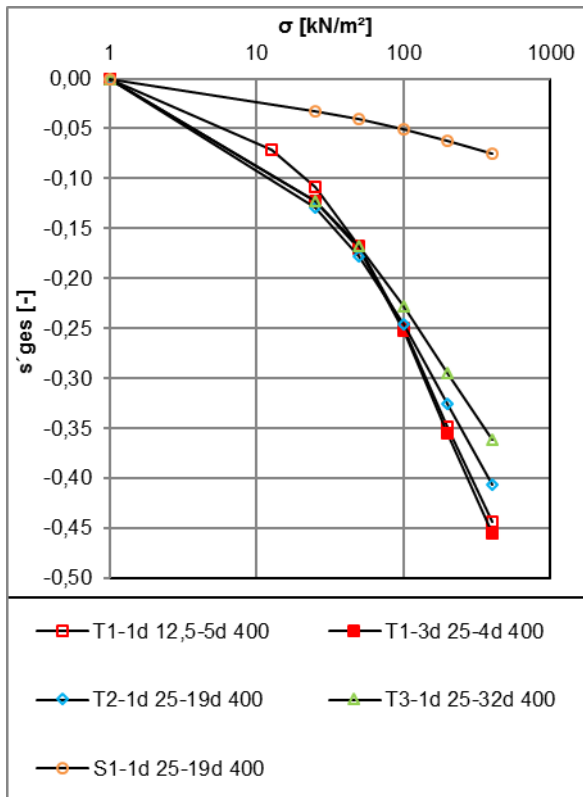


- Grundsätzlich lässt sich anhand der Versuchsergebnisse ein Zusammenhang zwischen Glühverlust und Korndichte erkennen: Mit steigendem Glühverlust nimmt die Korndichte ab.
- Insbesondere bei niedrigen Glühverlusten bestehen zwischen der Korrelation nach Skempton et al. (1970) und den Versuchsergebnissen zum Teil sehr hohe Abweichungen von bis zu ca. 0,6 g/cm<sup>3</sup>.
- Hingegen zeigen die mittleren Werte der Versuchsböden einen dem Korrelationsgraph entsprechenden Verlauf.

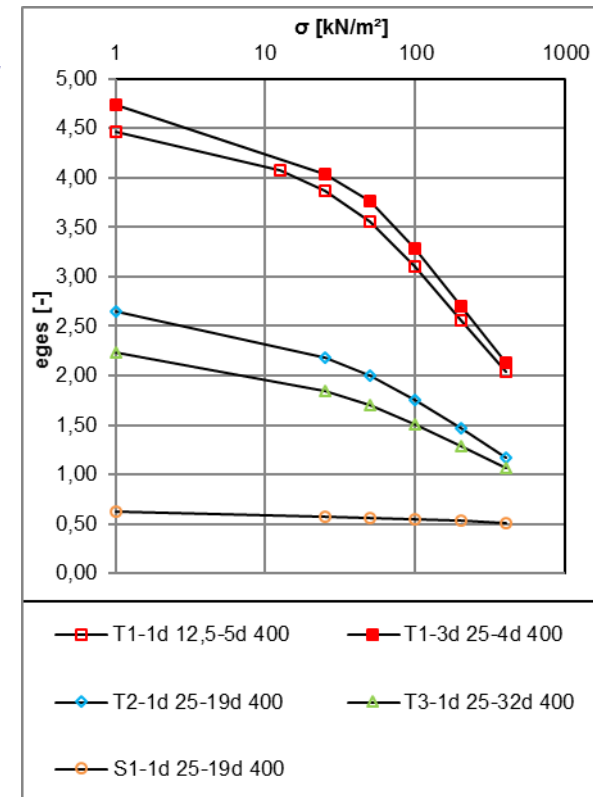


# Kompressionsversuche an den Versuchsböden

## Spannungs-Setzung-Linien / Spannungs-Porezahl-Linien



- bez. Setzungen  $s'_{ges}$  von > 35 bis 45 % der Versuchstorfe mit Spannungen in der Endlaststufe von  $\sigma=400 \text{ kN/m}^2$  bei Anfangsporenzahlen  $e$  von > 4,5 bis 2,2 [-]

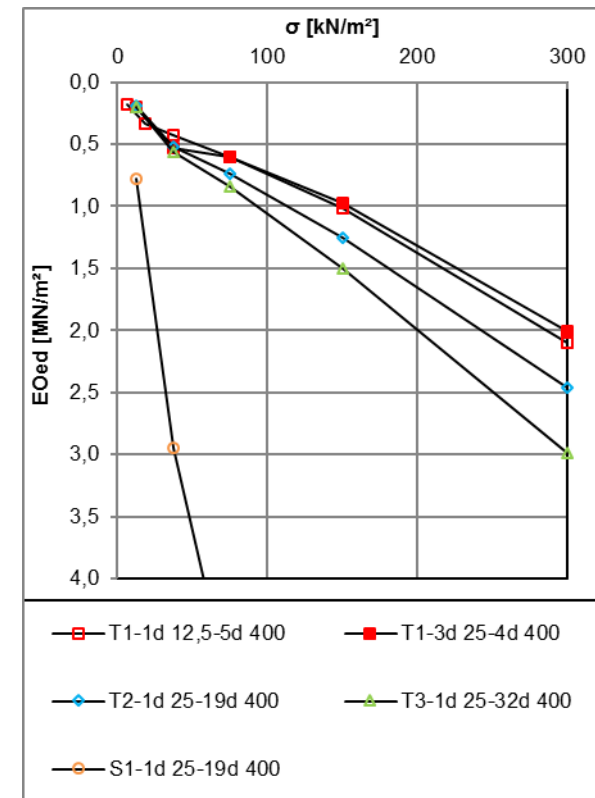
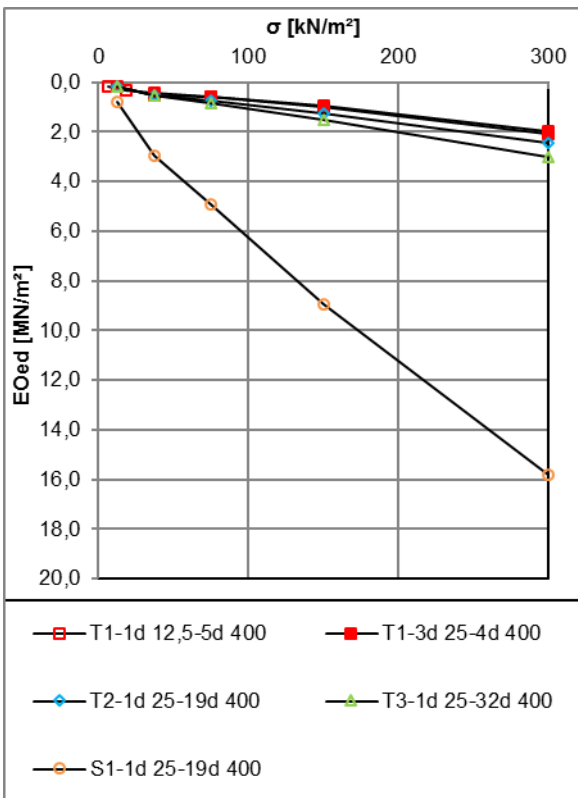




# Kompressionsversuche an den Versuchsböden

## Spannungs-Steifemodul-Linien

- sehr niedrige Steifemodule  $E_{oed}$  der Versuchstorfe von  $\leq 3$  MN/m<sup>2</sup>







# Zusammenhang zwischen organischen 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. Nicht eindeutige 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 zwischen organischen Bestandteile und Setzungen

## Einflussfaktoren

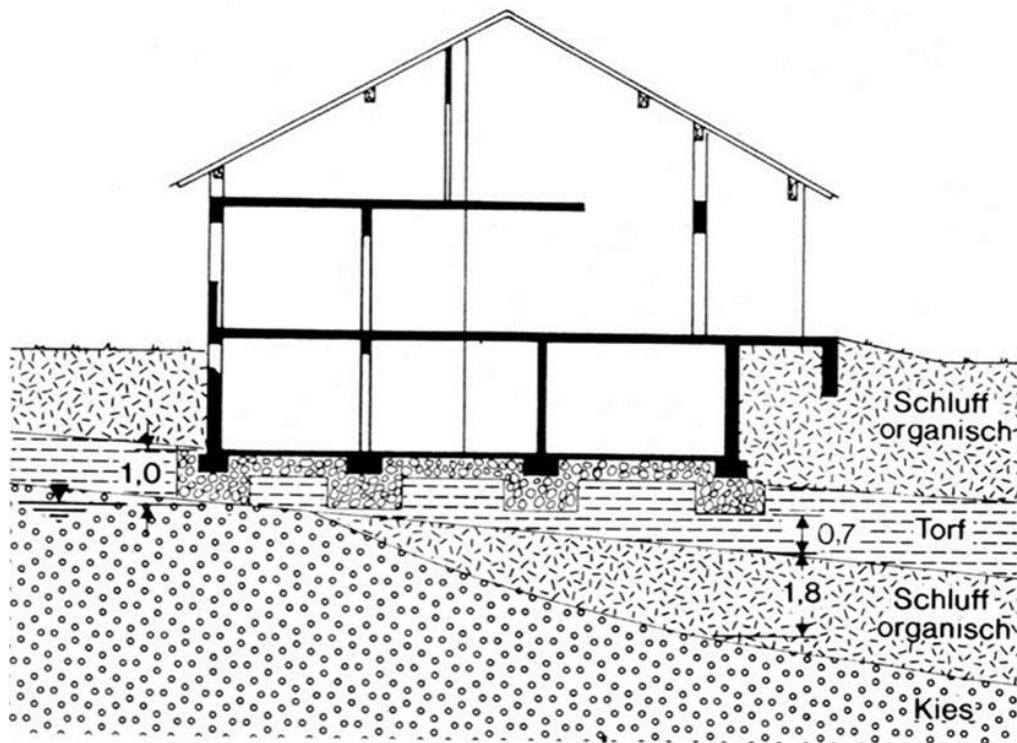
Folgende Faktoren beeinflussen indirekt oder direkt das Verhalten der organischen Böden oder Böden mit organischen Bestandteilen (Auszug):

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 .....

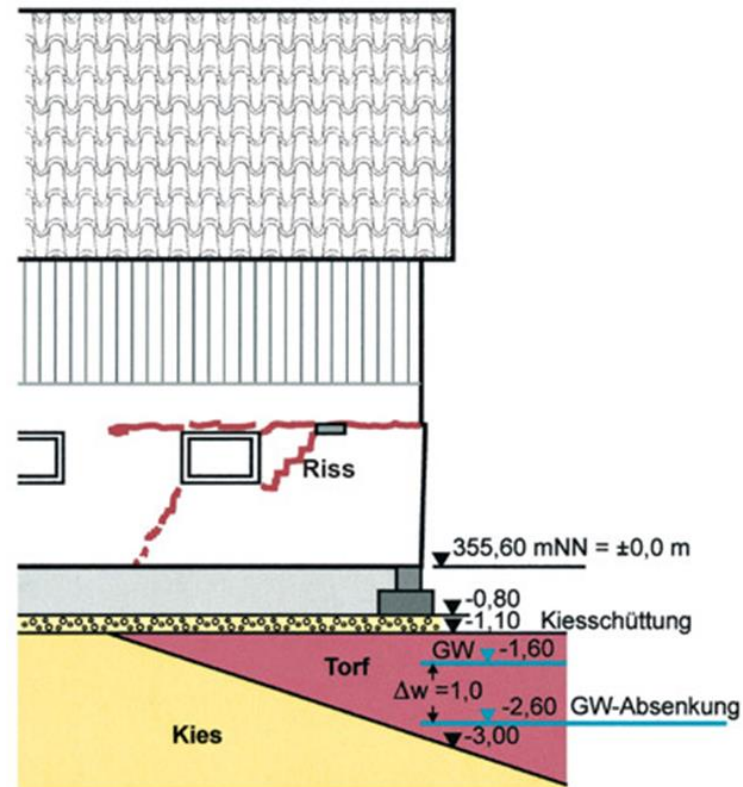
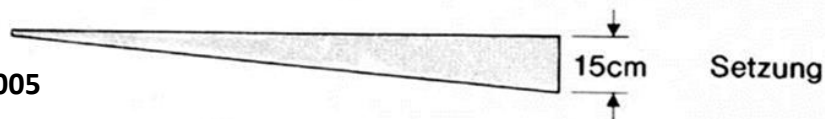


# Zusammenhang organische Bestandteile und Setzungen

## Abschätzungen



Hilmer, K. 2005



Hilmer, K. 2007

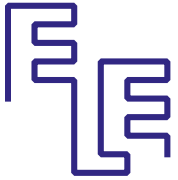


## Quellen - Auszug

- 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.
- DIN 1054: 2010-12: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1; Ausgabe: 2010; Berlin (Beuth)
- DIN ISO 10694:1996-08: Bodenbeschaffenheit – Bestimmung von organischem Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff nach trockener Verbrennung; Berlin (Beuth)
- DIN 19682-12:2007-11: Bodenbeschaffenheit – Felduntersuchungen – Teil 12: Bestimmung des Zersetzungsgrades der Torfe, Ausgabe 2007, 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 18196: 2011-05: Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke; 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)
- 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
- Höper, H.: Freisetzung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren, DGMT e.V. TELMA 37, Hannover: 2007, S.85-116..
- 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
- Rackwitz et al: Bodenmechanische Eigenschaften organischer Ablagerungen der brandenburgischen Niederungs- und Luchgebiete, Geotechnik 34, Berlin: Ernst und Sohn, 2011, S. 97-101.
- 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
- 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)
- Taylor, J. A.: The peatlands of Great Britain and Ireland, Mires: swamps, bog, fen and moor - regional studies. Amsterdam, Elsevier:1983.



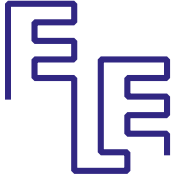
**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!**



# Das Schwindverhalten bindiger Böden und seine bautechnische Bedeutung – Neue Erkenntnisse

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Placzek, ELE

Dipl.- Ing. Ulrich Estermann, ELE



1. Einleitung
2. Mögliche Ursachen für die bei einer Grundwasserabsenkung eintretenden Geländesenkungen
3. Schwindverhalten
  - 3.1 Theoretische Grundlagen
  - 3.2 Schwindverhalten unter verschiedenen Randbedingungen
  - 3.3 Neuere Modellversuche zum Schwindverhalten bindiger Böden
  - 3.4 Ergebnisse Versuch 1
  - 3.5 Ergebnisse Versuch 2
4. Zusammenfassung



## 1. Einleitung

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

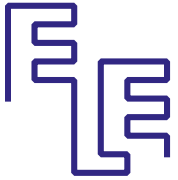
Durch Geländesenkungen können unter bestimmten Randbedingungen Bauwerksschäden, aber auch Änderungen der Topographie, der Infrastruktur, der Vorflutverhältnisse u.v.a.m. verursacht werden.

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

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

Im Folgenden wird auf Geländesenkungen infolge Grundwasserabsenkung näher eingegangen.



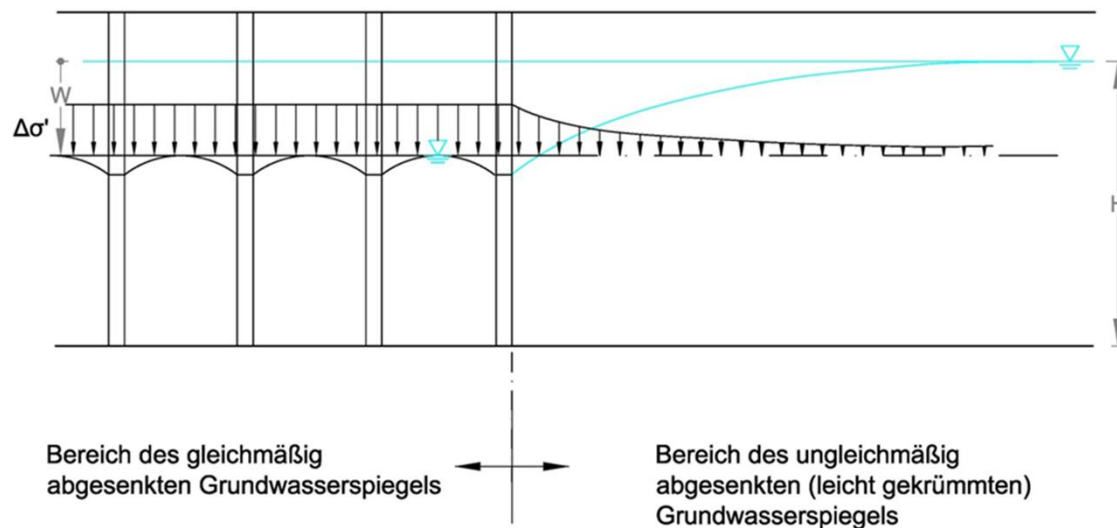


# Absenkung Grundwasserspiegel

## 2. Mögliche Ursachen für die bei einer Grundwasserabsenkung eintretenden Geländesenkungen

Mögliche Auswirkungen durch eine Grundwasserabsenkung können sein:

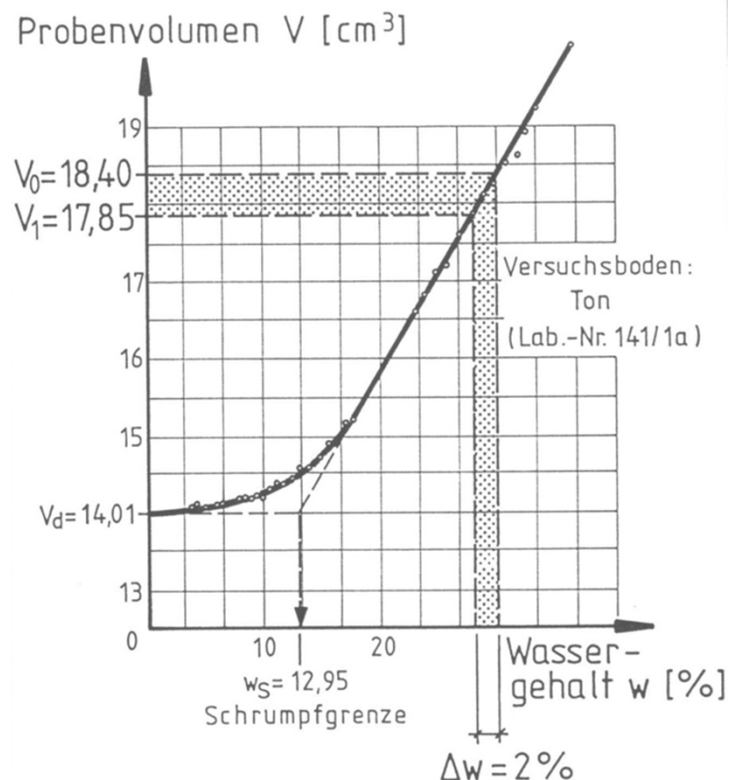
- Änderungen des Grundwasserspiegels (natürlich oder künstlich bedingt)



Zunahme der wirksamen Spannungen um den Betrag  $\Delta\sigma' = \Delta u \approx w \cdot \gamma_w$

## 2. Mögliche Ursachen für die bei einer Grundwasserabsenkung eintretenden Geländesenkungen

- Trocknung (Schwinden) von bindigen Böden



Trocknungsversuch im Labor  
(Schrumpfversuch DIN 18122-2)

Wassergehaltsänderung durch Trocknung

$$\Delta w = 2\%$$

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

Der Volumenverlust  $\Delta V$ , kann unter bestimmten Voraussetzungen unter Berücksichtigung der Schichtmächtigkeit auf die Örtlichkeit übertragen werden.



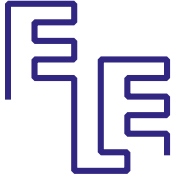
## 2. Mögliche Ursachen für die bei einer Grundwasserabsenkung eintretenden Geländesenkungen

- Weitere mögliche Ursachen:

Chemische Zersetzung des Bodens (i.A. erst ab Temperaturen  $\geq 85^\circ \text{C}$ ) oder Biologische Zersetzung (in Abhängigkeit von Randbedingungen wie Mikroorganismen, Kohlenstoff-Nährstoff-Verhältnis und Feuchte bei Temperaturen von 0 bis  $85^\circ \text{C}$ ).

Eine Wassergehaltsreduzierung kann auch durch sich in größerer Tiefe entwickelnde Wurzeln einer vorhandenen Bepflanzung erfolgen und Senkungen an der Geländeoberfläche verursachen.

Grundsätzlich ist auch eine Überlagerung mehrerer Ursachen und damit ein anteiliger Einfluss auf eintretende Geländesenkungen möglich.



## 3.1 Theoretische Grundlagen

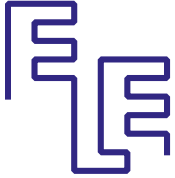
### 3. Schwindverhalten bindiger Böden

Begriffsdefinition:

Unter dem Begriff „Schwinden“ versteht man in den Ingenieurwissenschaften eine Volumenabnahme durch Trocknung .

Als „Schrumpfen“ bezeichnet man dagegen den Vorgang des sich Zusammenziehens, des Wenigerwerdens, des Abnehmens, jedoch ohne unmittelbaren Bezug zur Trocknung.

In der Bodenmechanik wird zunächst ausschließlich von „Schwinden“ gesprochen (z.B. 1911 Atterberg und 1925 Terzaghi), erst später wurde auch der Begriff „Schrumpfen“ verwendet.



## 3.1 Theoretische Grundlagen

### 3. Schwindverhalten bindiger Böden

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

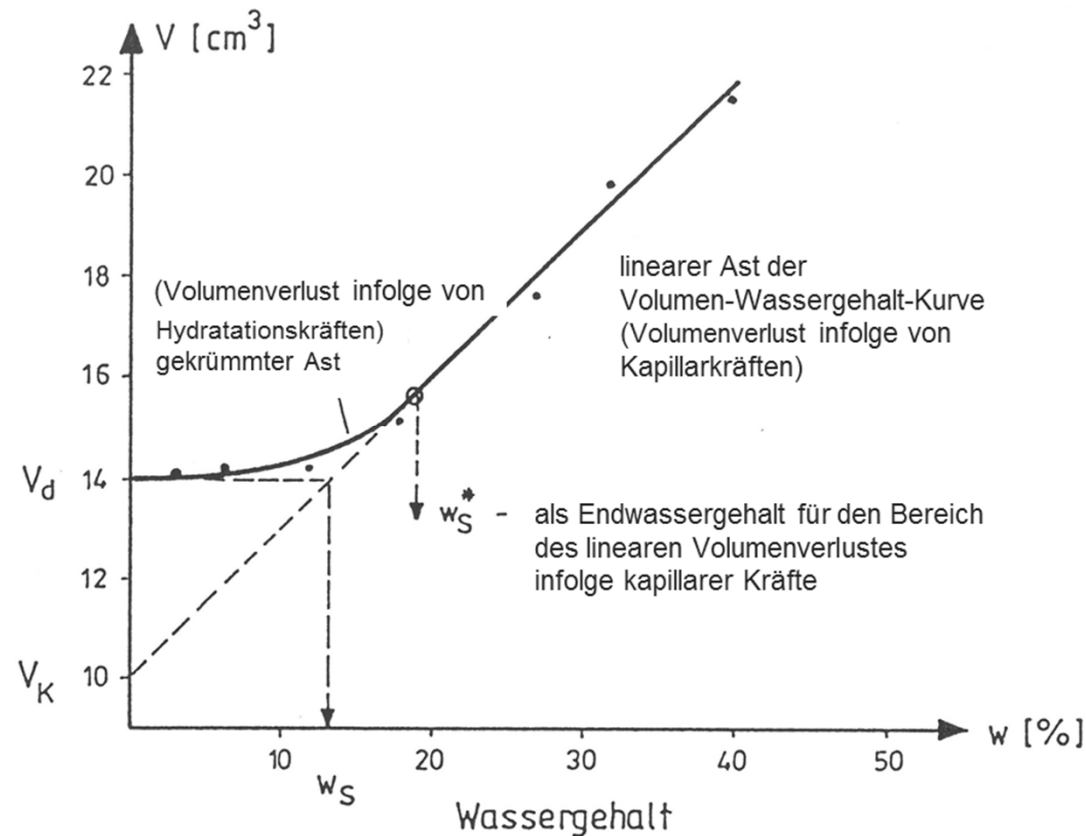
Es entsteht eine Feuchtebewegung aus dem bindigen Boden zur Verdunstungsoberfläche, beschreibbar durch:

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

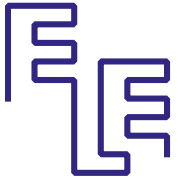


# 3.1 Theoretische Grundlagen

## 3. Schwindverhalten bindiger Böden



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

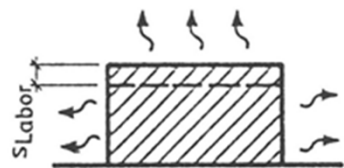


## 3.2 Schwindverhalten unter Umgebungsbedingungen

### 3. Schwindverhalten bindiger Böden

#### Randbedingungen beim Schrumpfversuch im Labor :

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

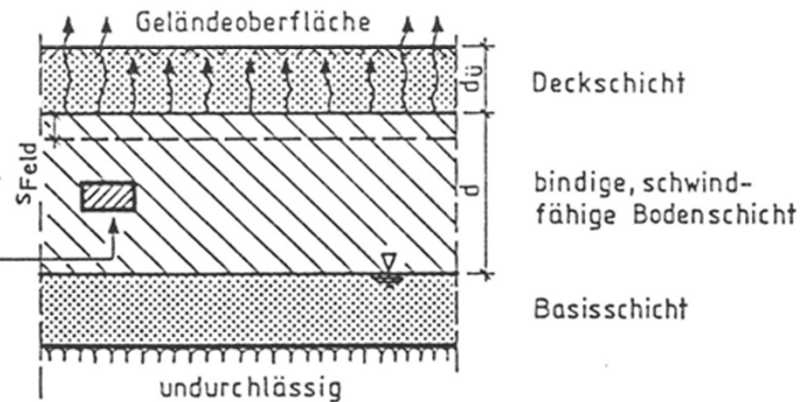


Bodenprobe

$$s_{\text{Labor}} = f(\Delta w_{\text{Labor}})$$

#### Randbedingungen beim Schwindvorgang in der Örtlichkeit :

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



(2- bzw. 3-Schichten-System)

$$s_{\text{Feld}} = f(\Delta w_{\text{Feld}})$$



## 3.2 Schwindverhalten unter Umgebungsbedingungen

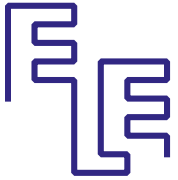
### 3. Schwindverhalten bindiger Böden

Beim einem Schrumpfversuch im Labor können nicht die tatsächlichen Umgebungsrandbedingungen berücksichtigt werden. Daher kann das Versuchsergebnis nur bedingt auf die Örtlichkeit unter Berücksichtigung der Schichtmächtigkeit eines bindigen Bodens übertragen werden.

Der Schrumpfversuch führt daher regelmäßig zu einer Überschätzung der möglichen Senkungen.

Für eine genauere Einschätzung des möglichen Schwindverhalten eines bindigen Bodens sind daher die Umgebungsrandbedingungen zu berücksichtigen.





## 3.2 Schwindverhalten unter Umgebungsbedingungen

### 3. Schwindverhalten bindiger Böden

Zu unterscheiden ist das Schwindverhalten:

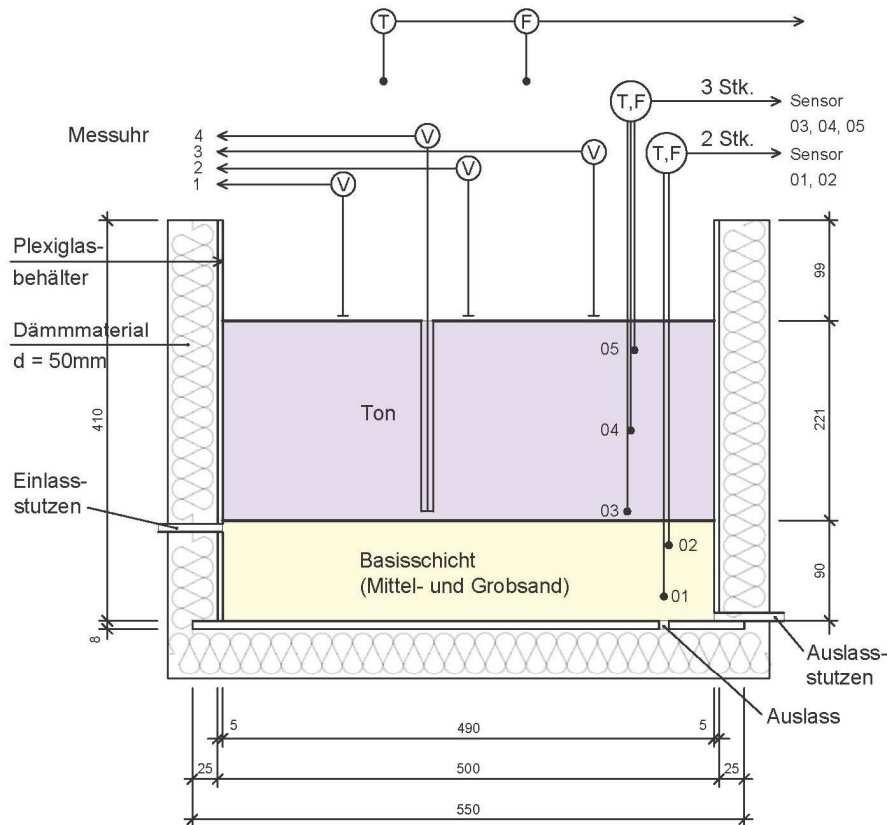
- Bei einer freien, unbedeckten Schichtoberfläche,
- Bei einer bedeckten Oberfläche (2-Schichten-System) und
- Bei einem zwischen einer Deckschicht und einer Basisschicht eingelagerten bindigen Boden (3-Schichten-System). Bei diesem System ist zudem ein Einstau der Basisschicht bis zum Kontaktbereich mit der bindigen Schichtunterfläche mit und ohne Grundwasser möglich.

Die Ergebnisse der nachfolgend beschriebenen, neuen Modellversuche belegen, dass nur unter besonderen Randbedingungen bei einer Grundwasserabsenkung Gelände-  
verformungen infolge des Schwindens bindiger (toniger) Böden möglich sind.



# 3.3 Neuere Modellversuche zum Schwindverhalten

## 3. Schwindverhalten bindiger Böden



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

Maße in mm

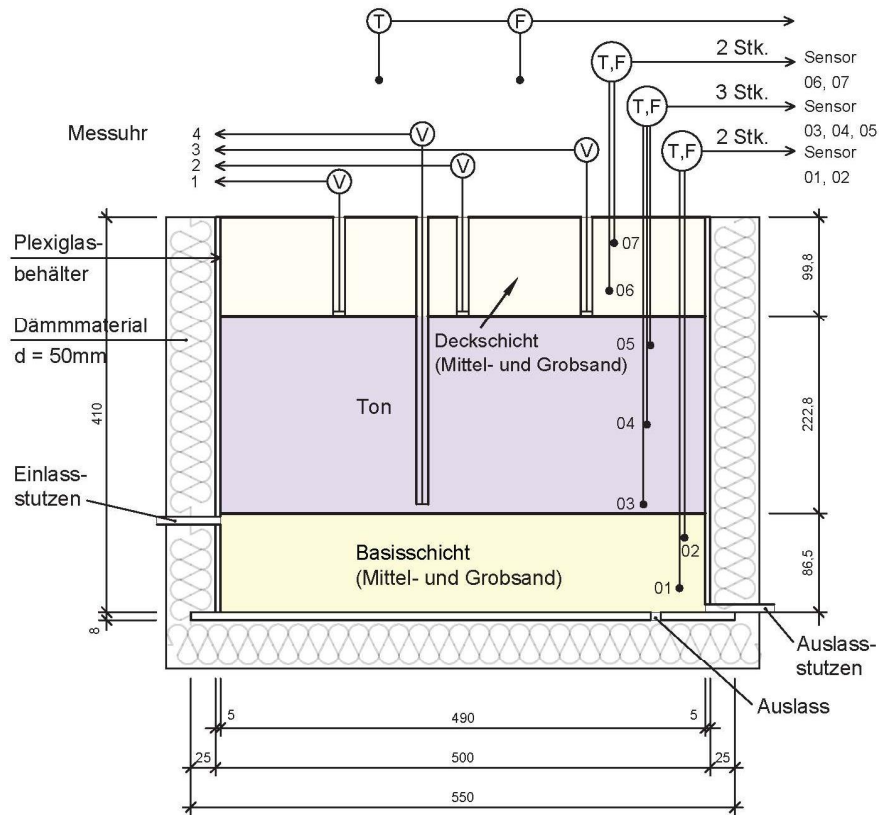
Wassergehalt	Verformungen	Lage
Sensor 5	blau rosa grün	Ton
Sensor 4		
Sensor 3	orange	
Sensor 2		Basis-Sandschicht
Sensor 1		

Versuch 1 (ohne Deckschicht)  
2-Schichten-System  
Schematischer Versuchsaufbau



# 3.3 Neuere Modellversuche zum Schwindverhalten

## 3. Schwindverhalten bindiger Böden



- (T,F) elekt. Temperatur- und Feuchtemessungen (7 Stk. im Boden)  
jeweils eine Raummessung
- (V) Verformungsmessungen (4 Stk.)

Maße in mm

Wassergehalt	Verformungen	Lage
Sensor 7		Deck-Sandschicht
Sensor 6		Ton
Sensor 5	blau rosa grün	
Sensor 4		
Sensor 3	orange	Basis-Sandschicht
Sensor 2		
Sensor 1		

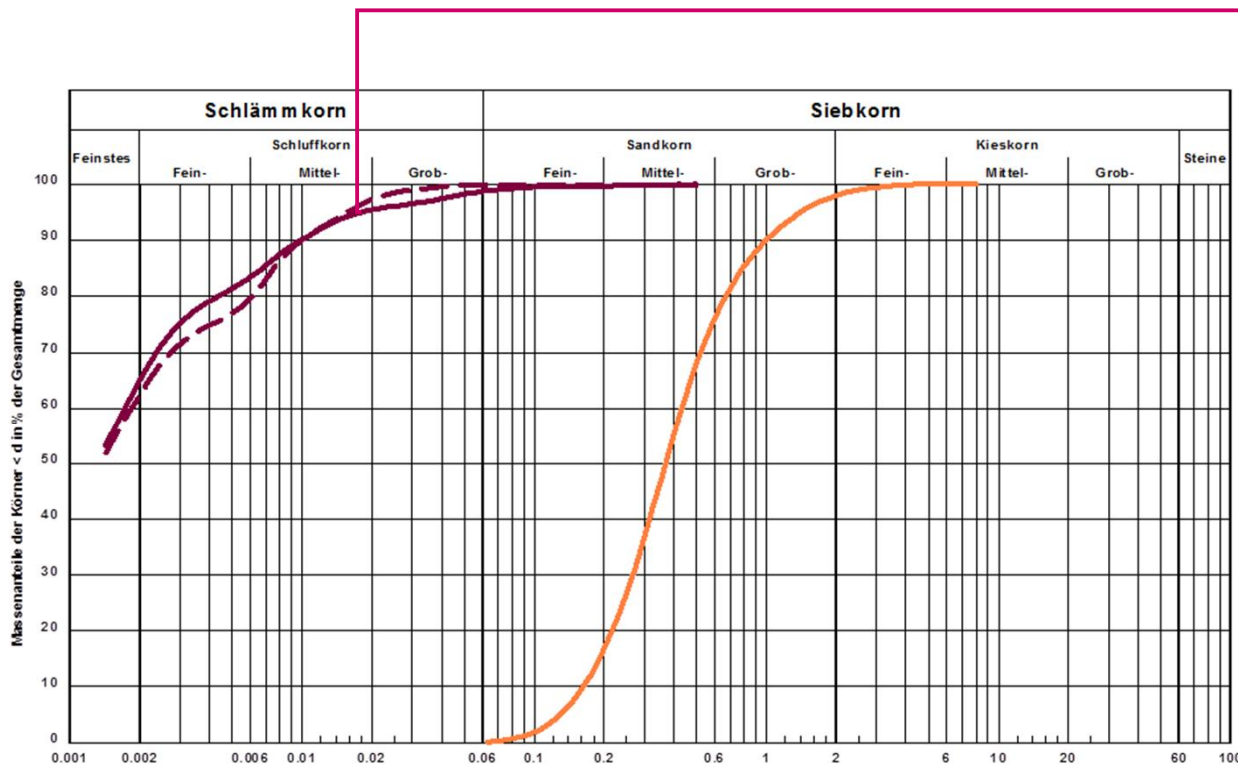
Versuch 2 (mit Deckschicht)  
3-Schichten-System  
Schematischer Versuchsaufbau



## 3.3 Neuere Modellversuche zum Schwindverhalten

### 3. Schwindverhalten bindiger Böden

Ton, stark schluffig, sehr schwach feinsandig



TA nach DIN 18196

Fließgrenze  $w_L$ : 59,7–62,9 %

Ausrollgrenze  $w_p$ : 22,4%

Schrumpfgrenze  $w_s$ : 19,8 - 20,0

Proctordichte  $\rho_{pr}$ : 1,57 – 1,60 g/cm<sup>3</sup>

Einbauwassergehalt : 23,0 – 26,4 %

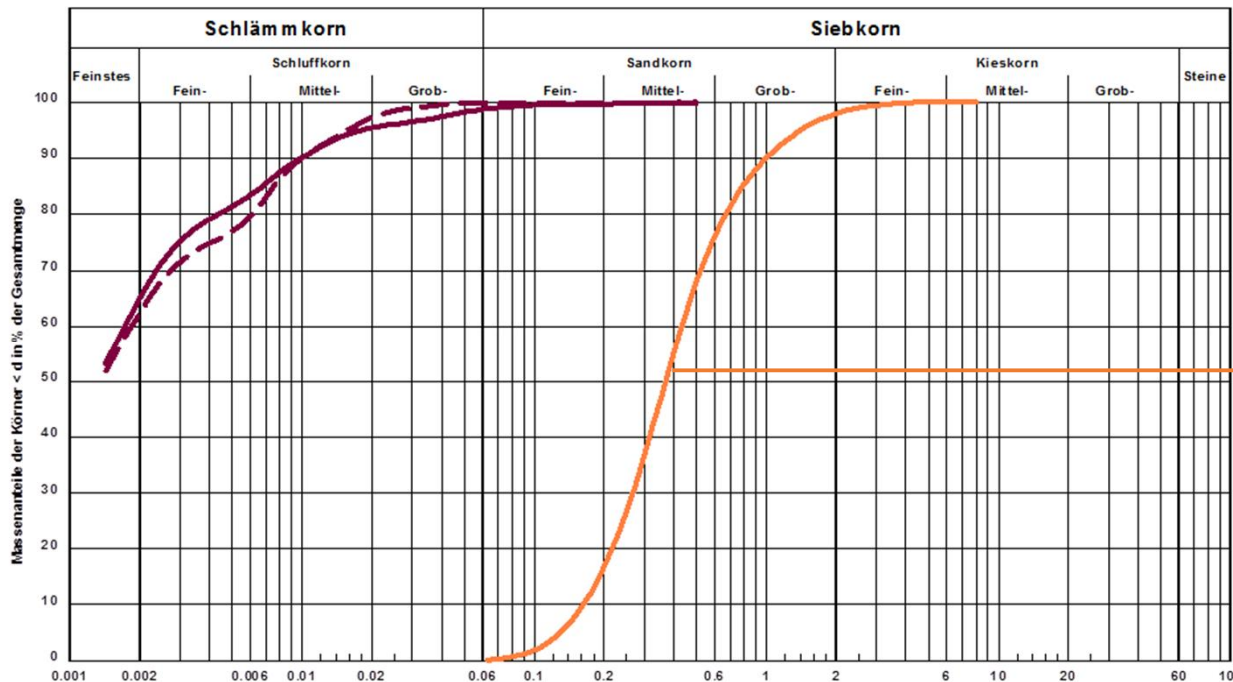
Einbaudichte  $\rho_D$ : 1,55 g/cm<sup>3</sup>

Schichthöhe: 22,1 bzw. 22,3 cm



## 3.3 Neuere Modellversuche zum Schwindverhalten

### 3. Schwindverhalten bindiger Böden



#### Mittelsand, grobsandig

SE nach DIN 18169

Einbauwassergehalt: 4 – 6 %

Basisschicht:

Einbaudichte  $\rho_D$ : 1,65 – 1,69 g/cm<sup>3</sup>

Schichthöhe: 8,65 – 9,0 cm

Deckschicht:

Einbaudichte  $\rho_D$ : 1,52 g/cm<sup>3</sup>

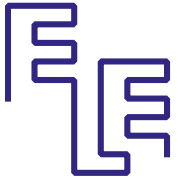
Schichthöhe: 9,88 cm



## 3.3 Neuere Modellversuche zum Schwindverhalten

### 3. Schwindverhalten bindiger Böden

Versuch 1 (ohne Deckschicht)		
Aufbau Versuchsstand	Anfang Juni 2014	Beginn Messungen der Wassergehaltsänderungen
Sättigung Basis-Sandschicht	12.08.2014	Beginn Verformungsmessungen
Entwässerung Basis-Sandschicht	03.08.2015	Fortsetzung aller Messungen
Ausbau Versuchsstand	22.02.1017	Abschluss der Messungen
Versuch 2 (mit Deckschicht)		
Aufbau Versuchsstand	Anfang April 2014	Beginn Messungen der Wassergehaltsänderungen
Sättigung Basis-Sandschicht	08.09.2014	Beginn Verformungsmessungen
Beginn Bewässerung der Deck-Sandschicht	16.12.2014	Fortsetzung der Messungen
Entwässerung Basis-Sandschicht	03.08.2015	Fortsetzung aller Messungen
Ende Bewässerung Deckschicht	08.12.2015	Fortsetzung der Messungen
Ausbau Versuchsstand	22.02.2017	Abschluss der Messungen



## 3.3 Neuere Modellversuche zum Schwindverhalten

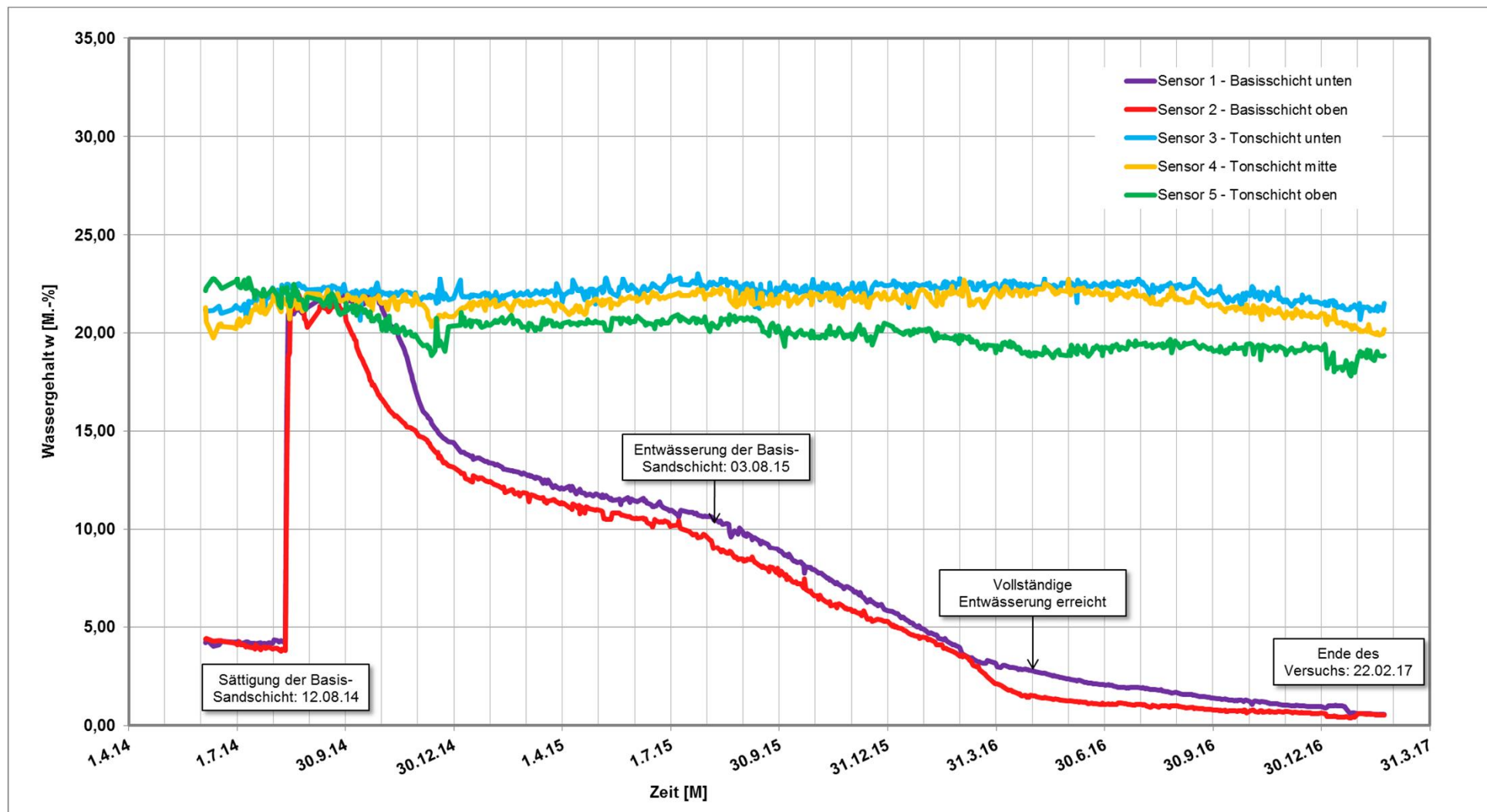
### 3. Schwindverhalten bindiger Böden





## 3.4 Ergebnisse Versuch 1 - Wassergehaltsänderungen

### 3. Schwindverhalten bindiger Böden

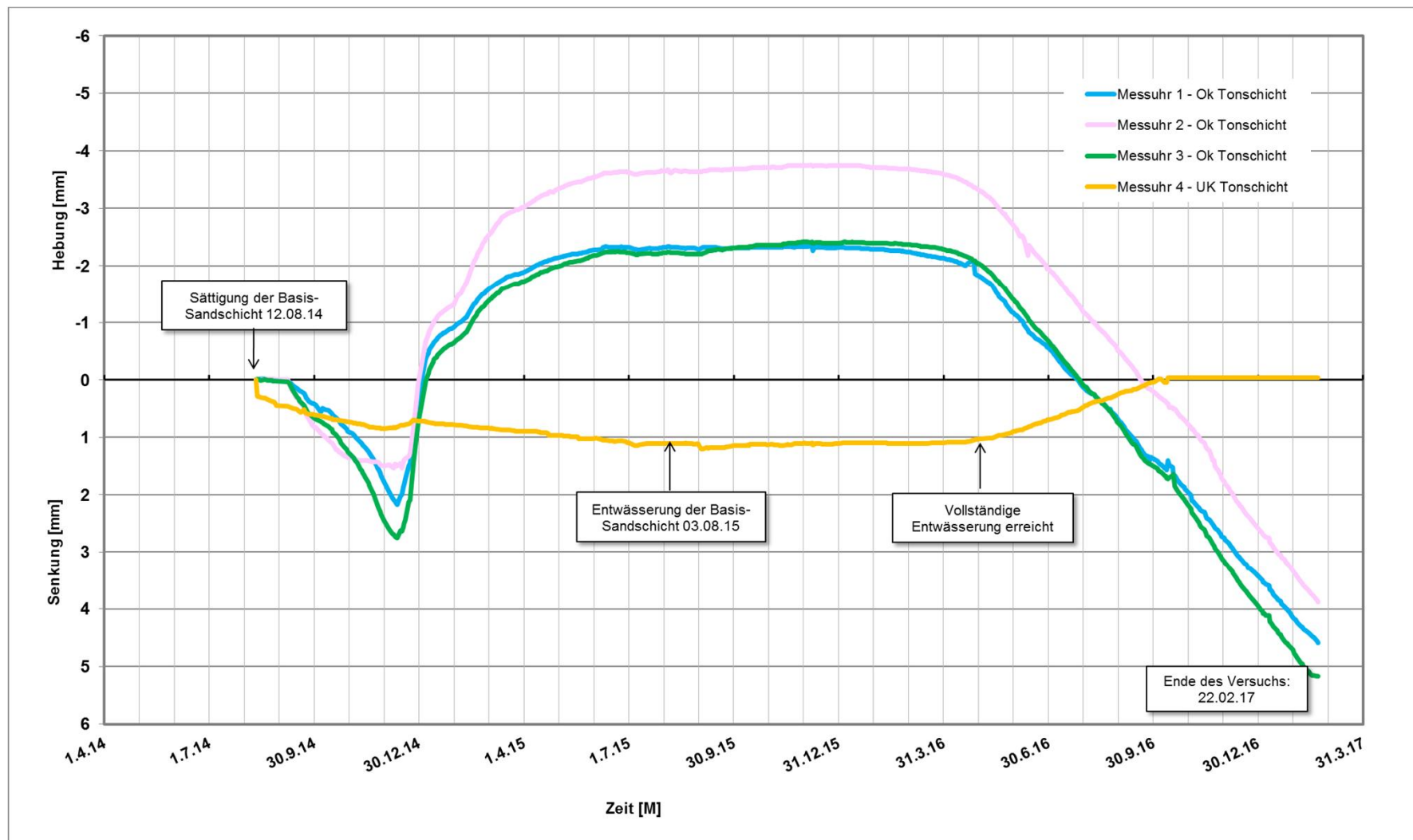






## 3.4 Ergebnisse Versuch 1 - Verformungen

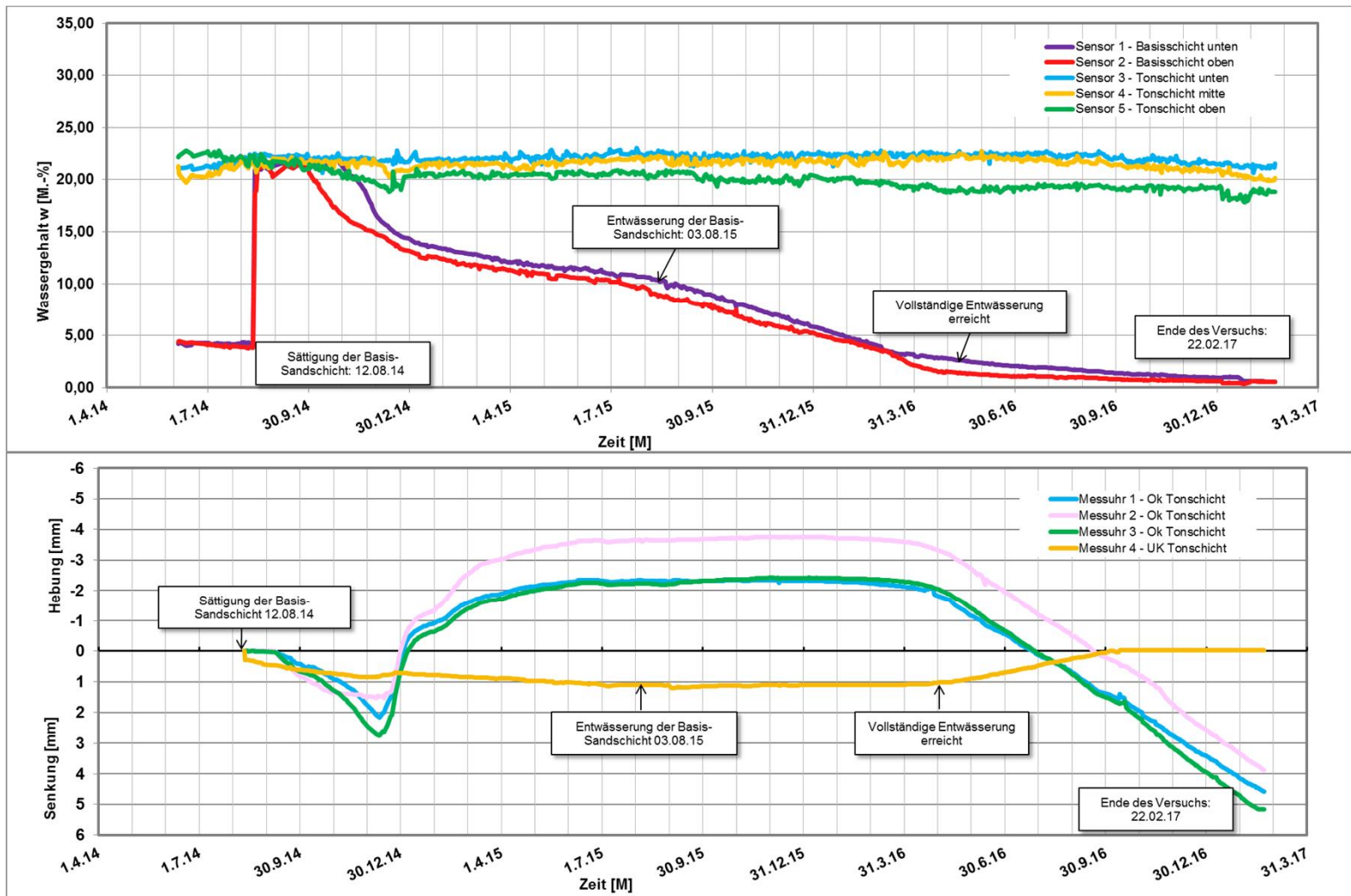
### 3. Schwindverhalten bindiger Böden

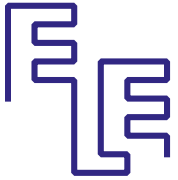




# 3.4 Ergebnisse Versuch 1 - Überlagerung

## 3. Schwindverhalten bindiger Böden





## 3.4 Ergebnisse Versuch 1 - Zusammenfassung

### 3. Schwindverhalten bindiger Böden

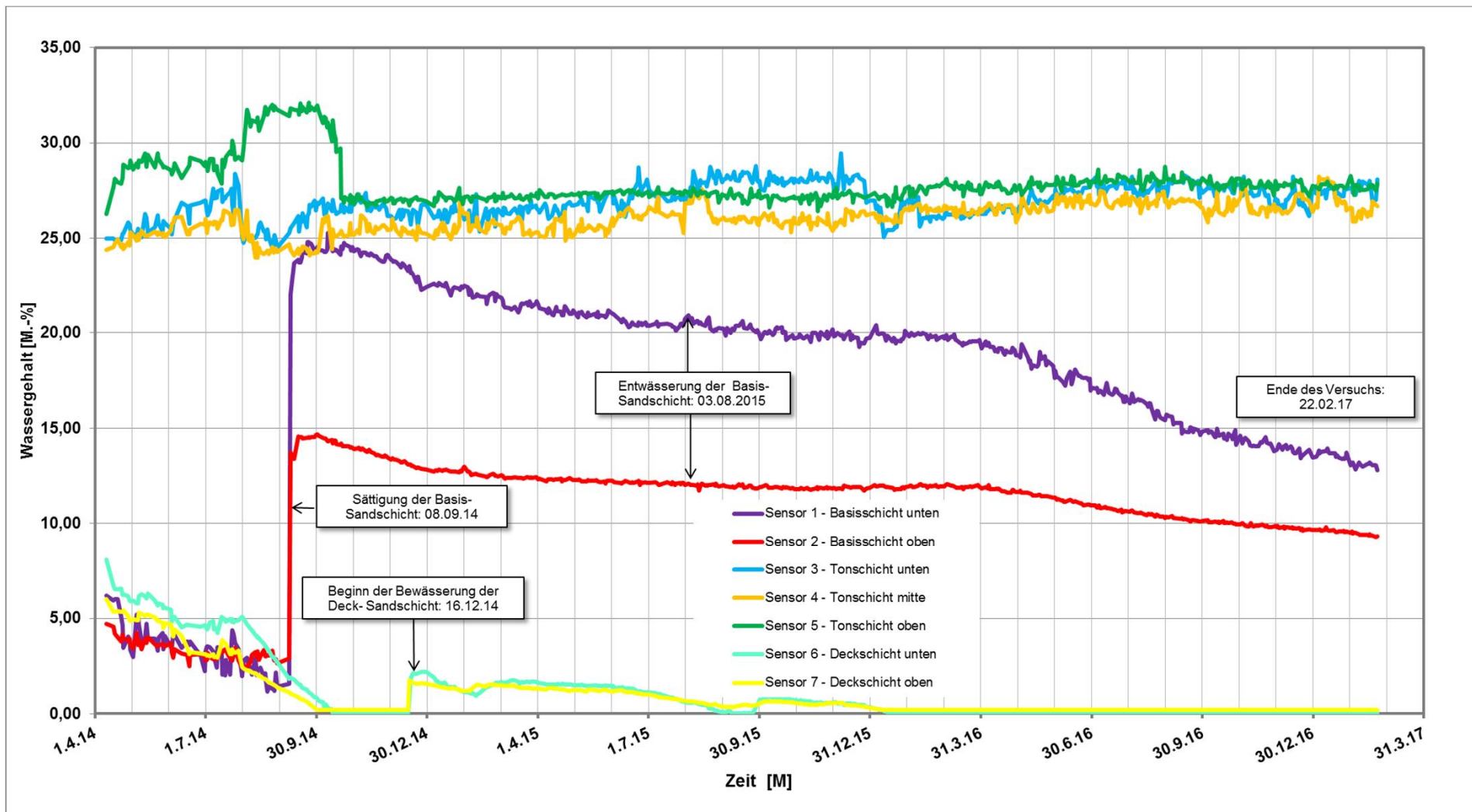
- Obere Tonschicht verliert Wasser
- Mittlere Tonschicht keine Wassergehaltsänderungen
- Untere Tonschicht nimmt Wasser aus Sand auf
- Senkung der unteren Tonschicht bei Sättigung des Sandes
- Hebungen an der Oberkante
- Vollständige Entwässerung des Sandes – Rückgang der Hebungen
- Senkungen infolge fortgesetzten Schwindens des Tons





## 3.5 Ergebnisse Versuch 2 - Wassergehaltsänderungen

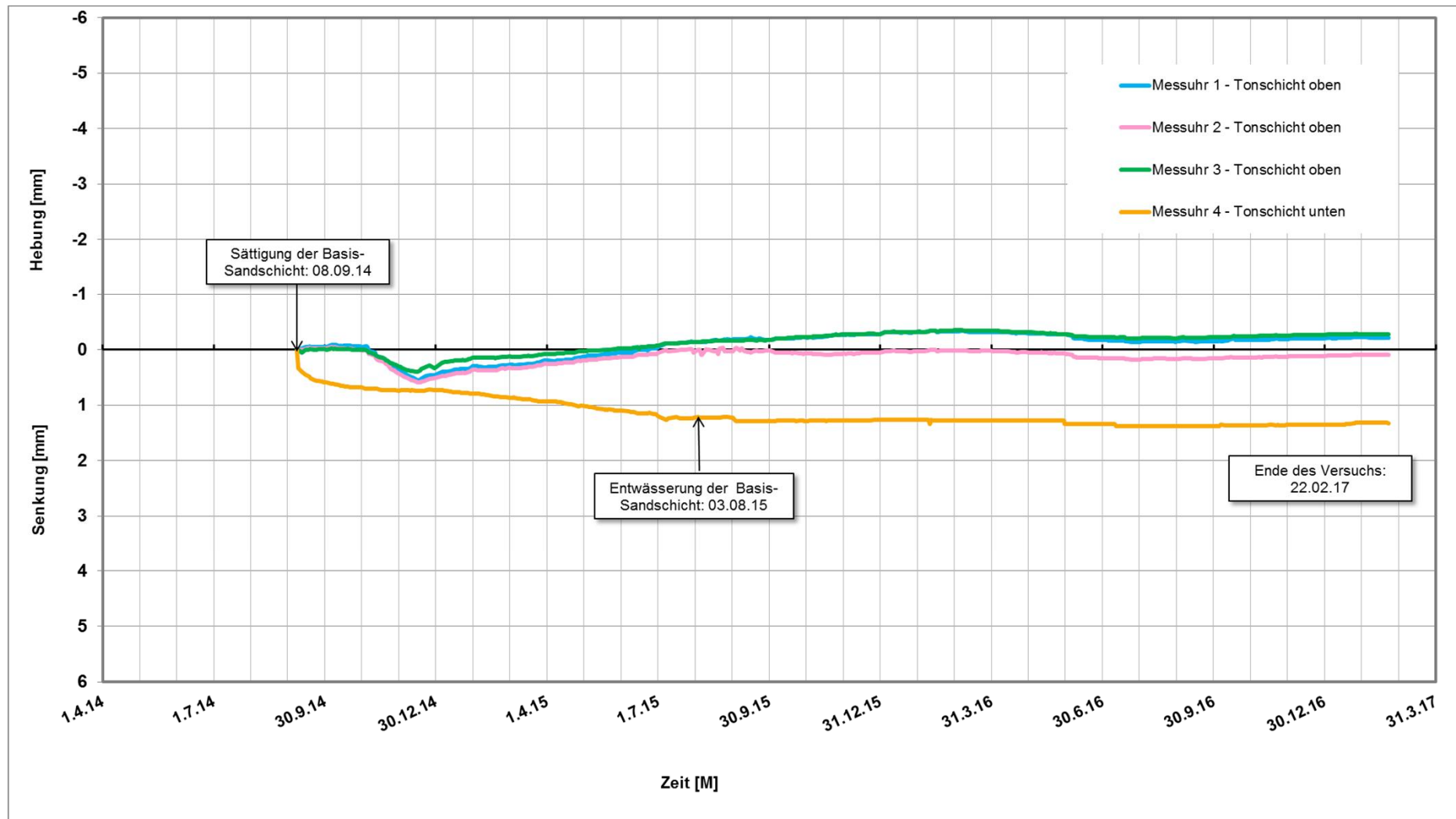
### 3. Schwindverhalten bindiger Böden





## 3.5 Ergebnisse Versuch 2 - Verformungen

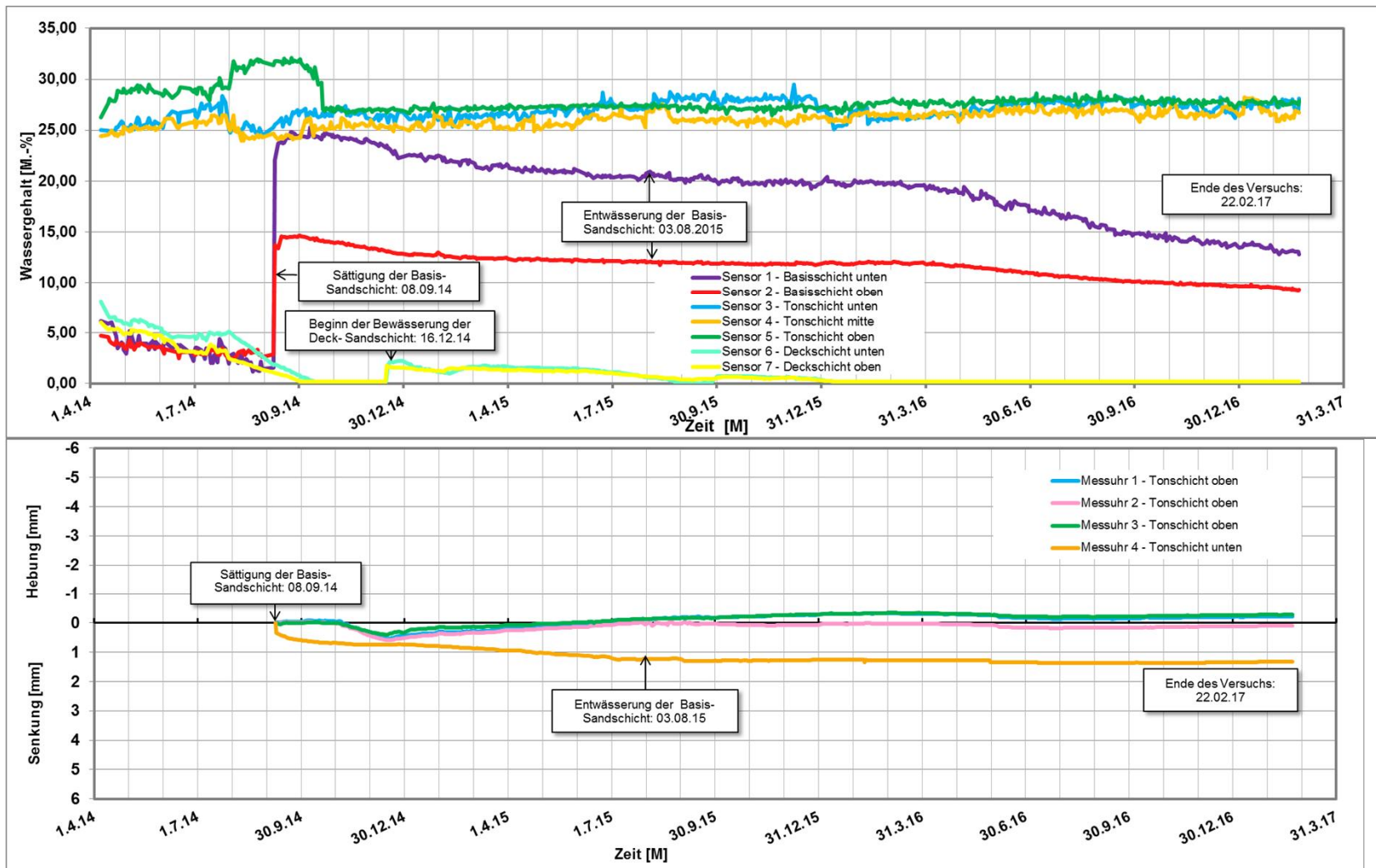
### 3. Schwindverhalten bindiger Böden

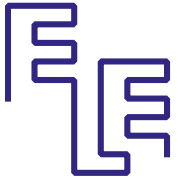




# 3.5 Ergebnisse Versuch 2 - Überlagerung

## 3. Schwindverhalten bindiger Böden





## 3.5 Ergebnisse Versuch 2 -Überlagerung

### 3. Schwindverhalten bindiger Böden

- Wasserverlust in der Basis-Sandschicht gering
- Deck-Sandschicht gibt Wasser an obere Tonschicht ab, nachdem die trocken ist, nimmt der Wassergehalt der oberen Tonschicht wieder ab
- Senkung der unteren Tonschicht bei Sättigung des Sandes
- Entwässerung des Sandes führt zu keiner relevanten Zunahme der Senkungen
- Geringe Verformungen an der Oberfläche des Tons
- Keine Schwindrisse



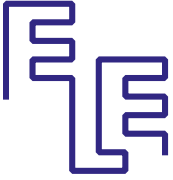


## 4. Zusammenfassung

Mit den durchgeführten Modelversuchen konnte gezeigt werden:

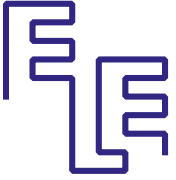
- Ein Schwinden eines bindigen Bodens (Ton) kann bei fehlender Überdeckung eintreten.
- Deckschichten können ein Schwinden eines bindigen Bodens (Ton) verhindern .  
Die ungeschützte Oberfläche des Tons bei Versuch 1 zeigt deutliche Schwindrisse und deutliche Senkungen.
- Die Verformungen an der Oberfläche des Tons differieren bei beiden Versuchen erheblich. Die gemessenen Verformungen an der Unterkante des Tons liegen dagegen bei beiden Versuchen in der gleichen Größenordnung.





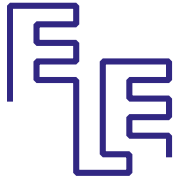
## 4. Zusammenfassung

- Eine Grundwasserabsenkung unterhalb eines bindigen Bodens (hier: Ton) führt nicht zwangsläufig zu einem Schwinden des Tones und damit zu Senkungen an der Oberfläche. An der unmittelbar auf der Basis-Sandschicht aufliegenden Unterkante der Tonschicht konnten bei beiden Versuchen Sofortsenkungen infolge Wassersättigung gemessen werden. Bis zu Entwässerung der Basis-Sandschicht nehmen die Senkungen bei beiden Versuche zu. Nach erfolgter Entwässerung der Basis-Sandschicht wurde nur noch eine geringe Senkungszunahme gemessen.



## 4. Zusammenfassung

- Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich die Oberfläche eines Tonbodens, wenn eine entsprechende Deckschicht vorhanden ist, nur in äußerst geringem Umfang verformt. Dagegen ist bei einer fehlenden Deckschicht mit größeren Verformungen zu rechnen, wobei diese nur in einem sehr geringen, baupraktisch zu vernachlässigen Umfang, auf den Einfluss der Grundwasserabsenkung zurückzuführen sind. Der überwiegende Anteil der Verformungen ist auf das Schwinden des Bodens infolge der Wasserdampfdiffusion aus der Tonschicht in die Atmosphäre mit nicht wassergesättigter Umgebungsluft begründet.



Vielen Dank für Ihr Interesse



ELE Beratende Ingenieure  
Susannastraße 31  
45136 Essen  
Tel. 02 01/89 59-6  
Fax. 02 01/89 59-89 9

[www.ele-e.de](http://www.ele-e.de)

## 5. BERGSCHADENSFORUM

# **Modellierung sumpfungsbedingter Bodenbewegungen im Rheinischen Braunkohlerevier**

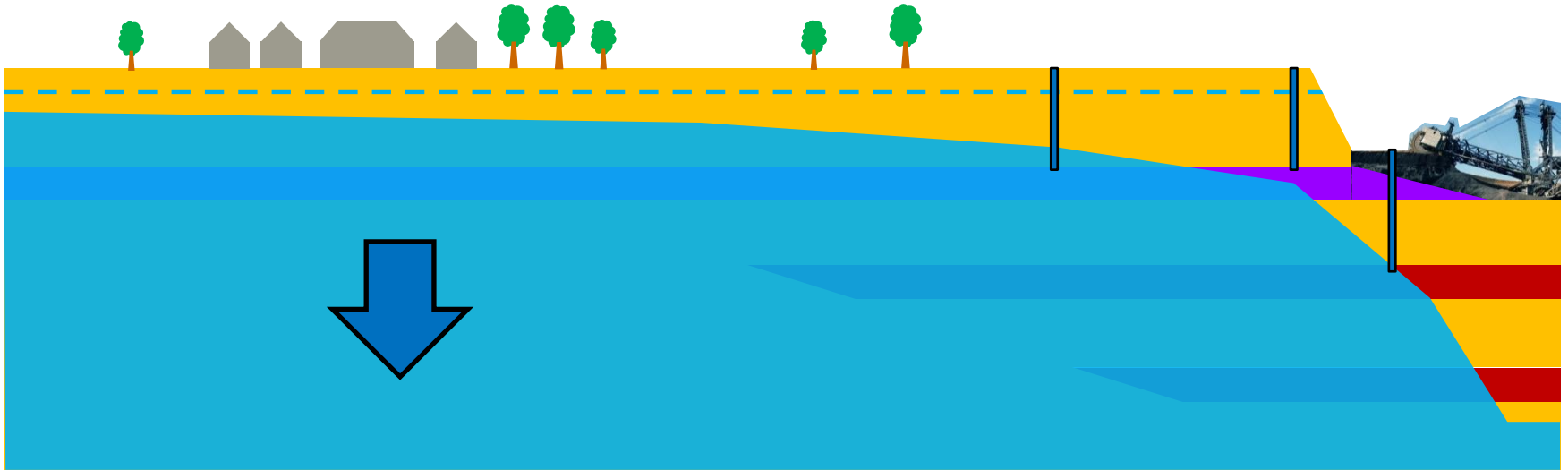
BERGHEIM, 19. SEPTEMBER 2018

**Dr.-Ing. Benjamin Aulbach**

## Ausgangszustand

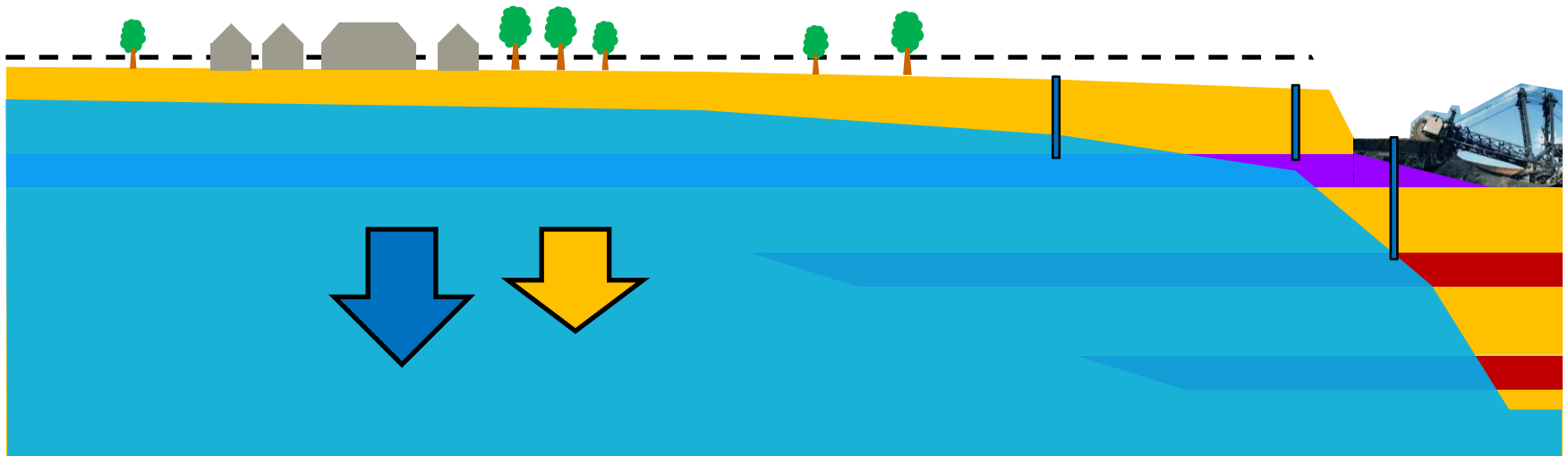


## Tagebaubetrieb



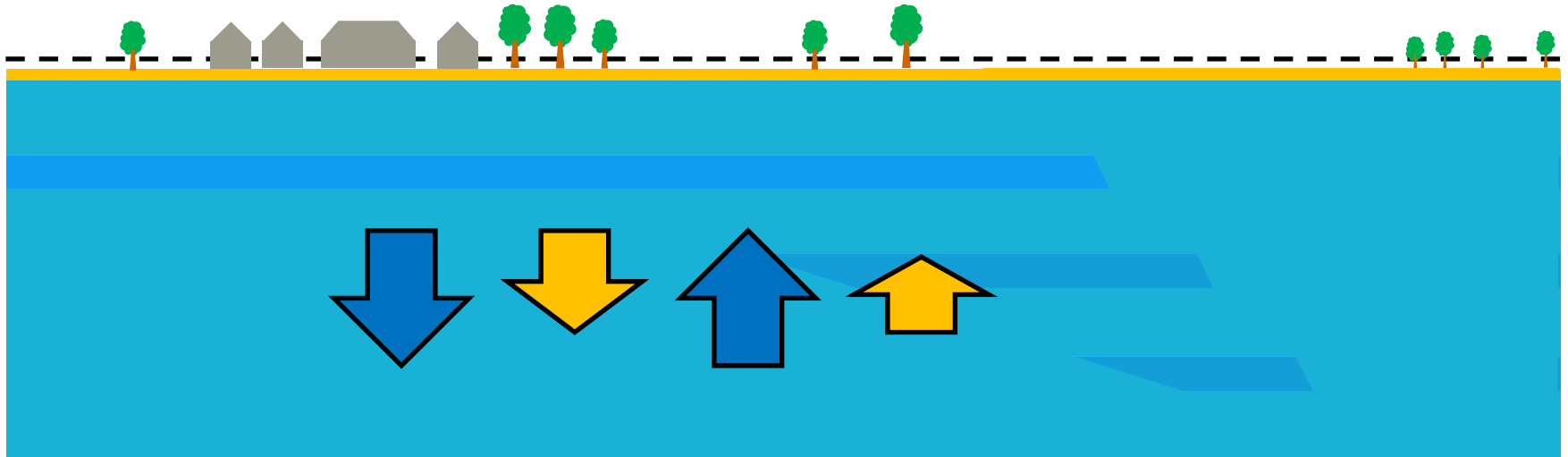
- 1) Sumpfung bzw. Absenkung des GW-Spiegels

## Tagebaubetrieb



- 1) Sümpfung bzw. Absenkung des GW-Spiegels
- 2) Setzungen an der Geländeoberfläche

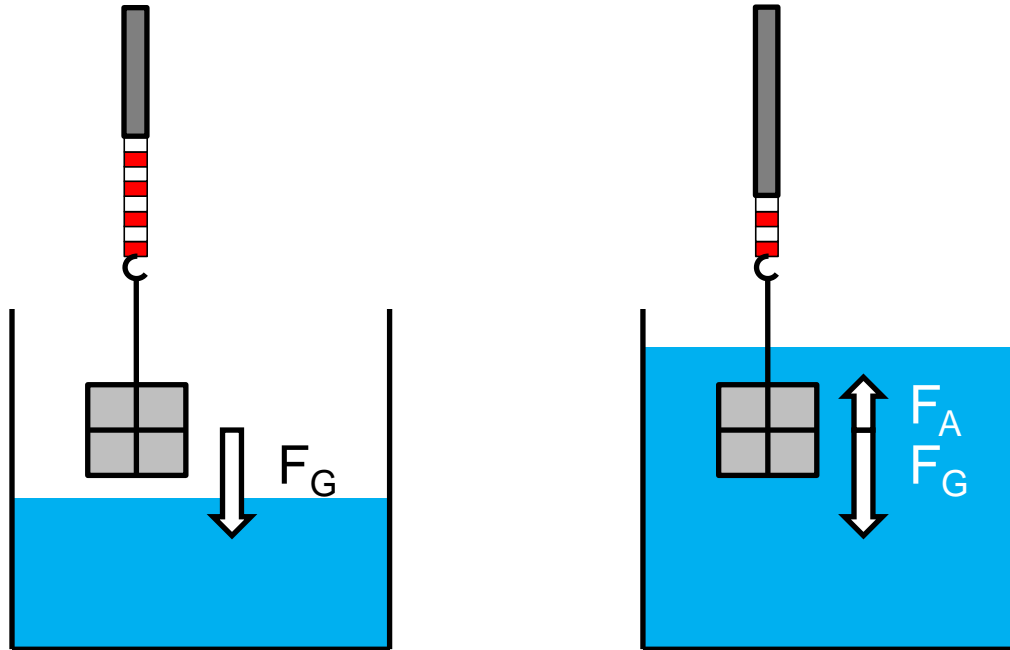
## Endzustand



- 1) Sümpfung bzw. Absenkung des GW-Spiegels
- 2) Setzungen an der Geländeoberfläche
- 3) Grundwasserwiederanstieg &
- 4) Hebungen an der Geländeoberfläche

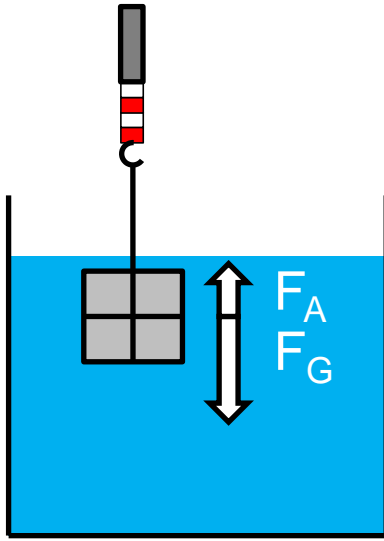


Archimedisches Prinzip



Gewicht im „Trockenen“ > Gewicht unter Auftrieb

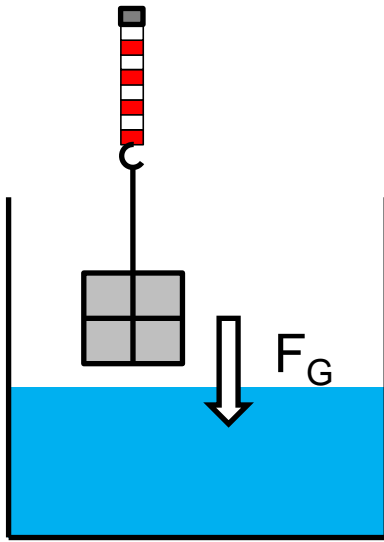
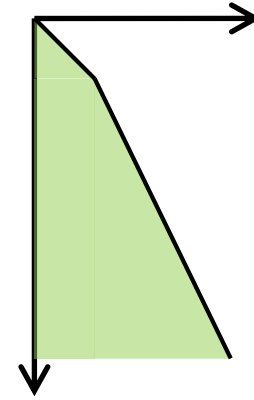
# Einführung



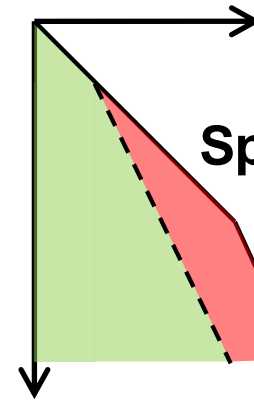
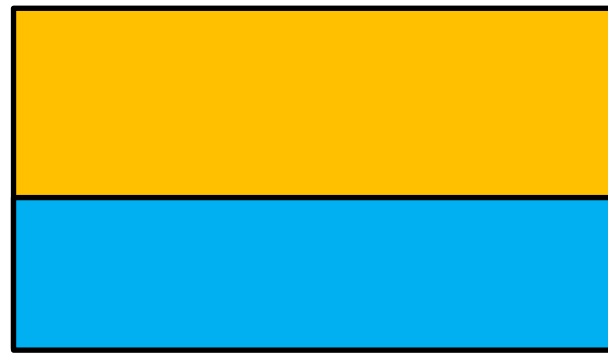
Ausgangszustand



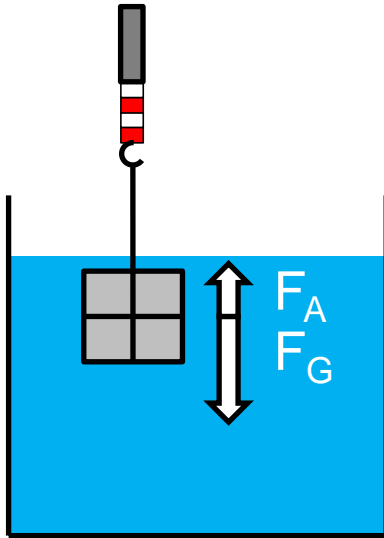
Spannung



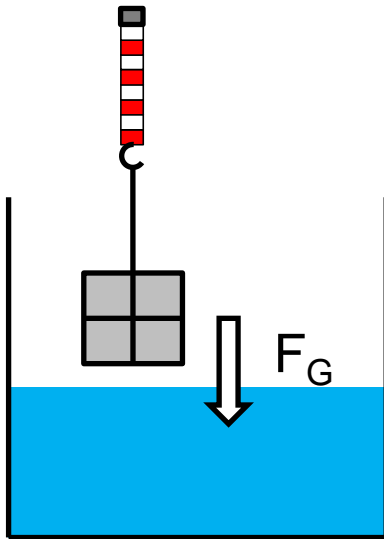
Tagebaubetrieb



# Einführung



## Ausgangszustand

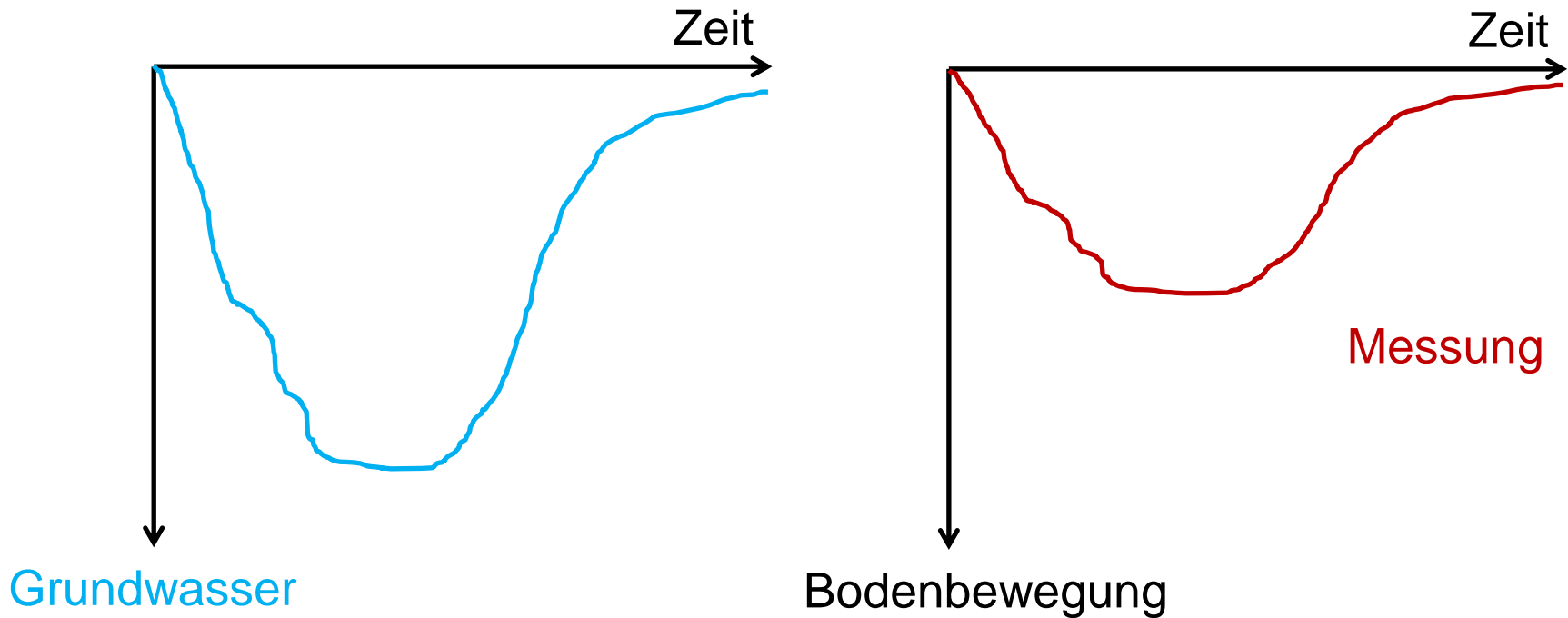


## Tagebaubetrieb



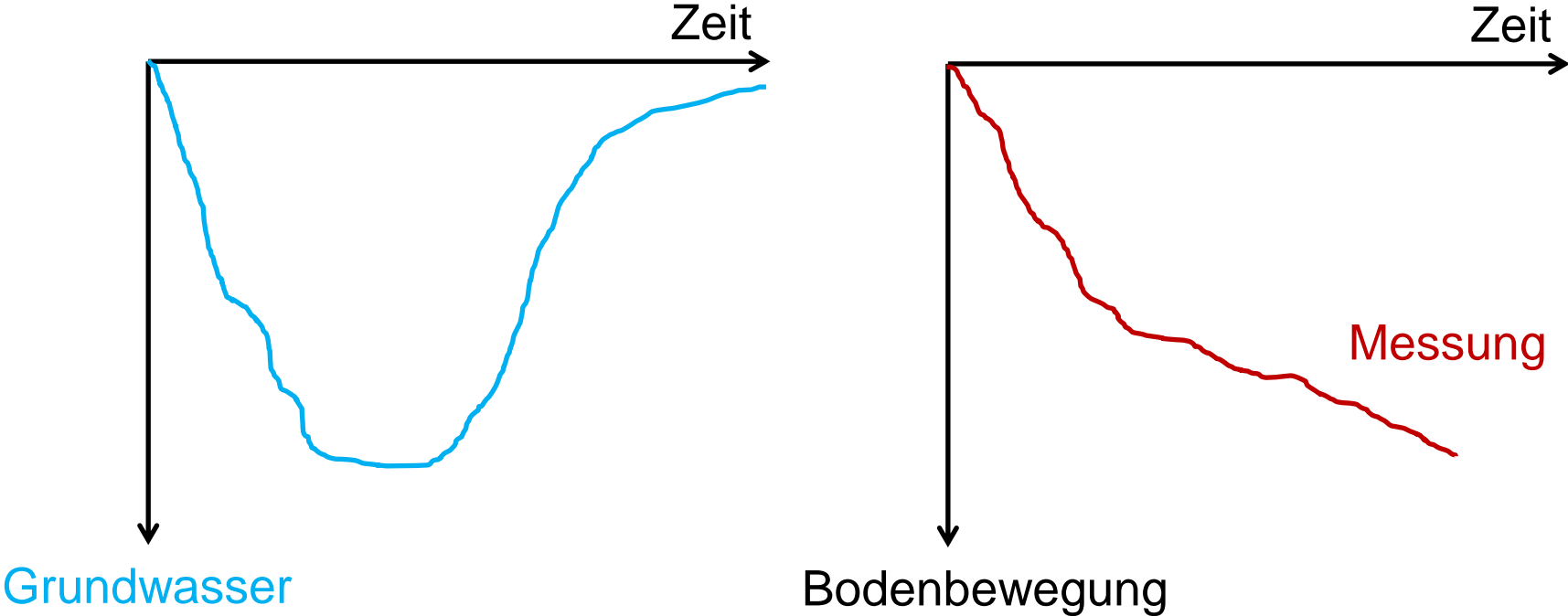
**Setzungen**

## Bewegungen in den **nichtbindigen Bodenschichten (Sand, Kies)**



⇒ **Annähernd direkt proportionaler Zusammenhang**

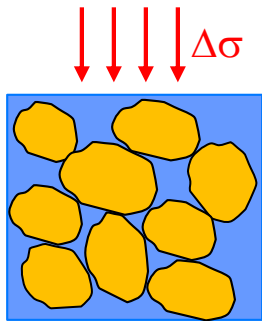
## Bewegungen in den **bindigen Bodenschichten (Ton, Schluff)**



⇒ **Nachlaufende Setzungen trotz GW-Wiederanstieg**

## Zeit-Setzungsverhalten von nichtbindigen Böden (Sand, Kies)

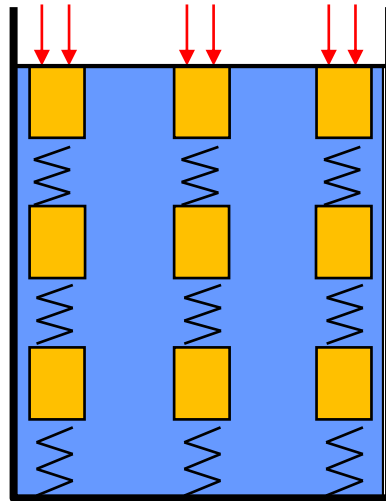
$t = 0$



Einzelkorn-  
Struktur

hohe

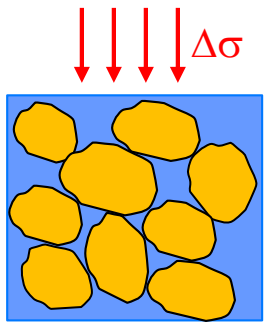
Durchlässigkeit



**Zeit-Setzungsverhalten von nichtbindigen Böden (Sand, Kies)**

$t = 0$

$t > 0$

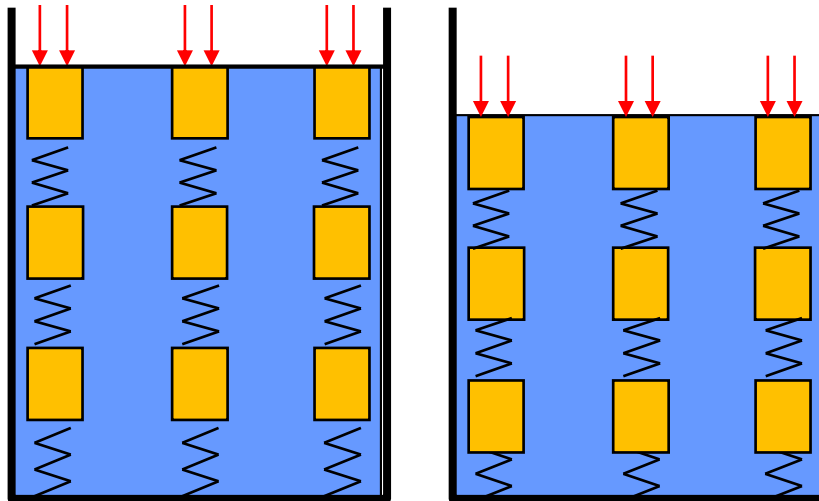


Einzelkorn-

Struktur

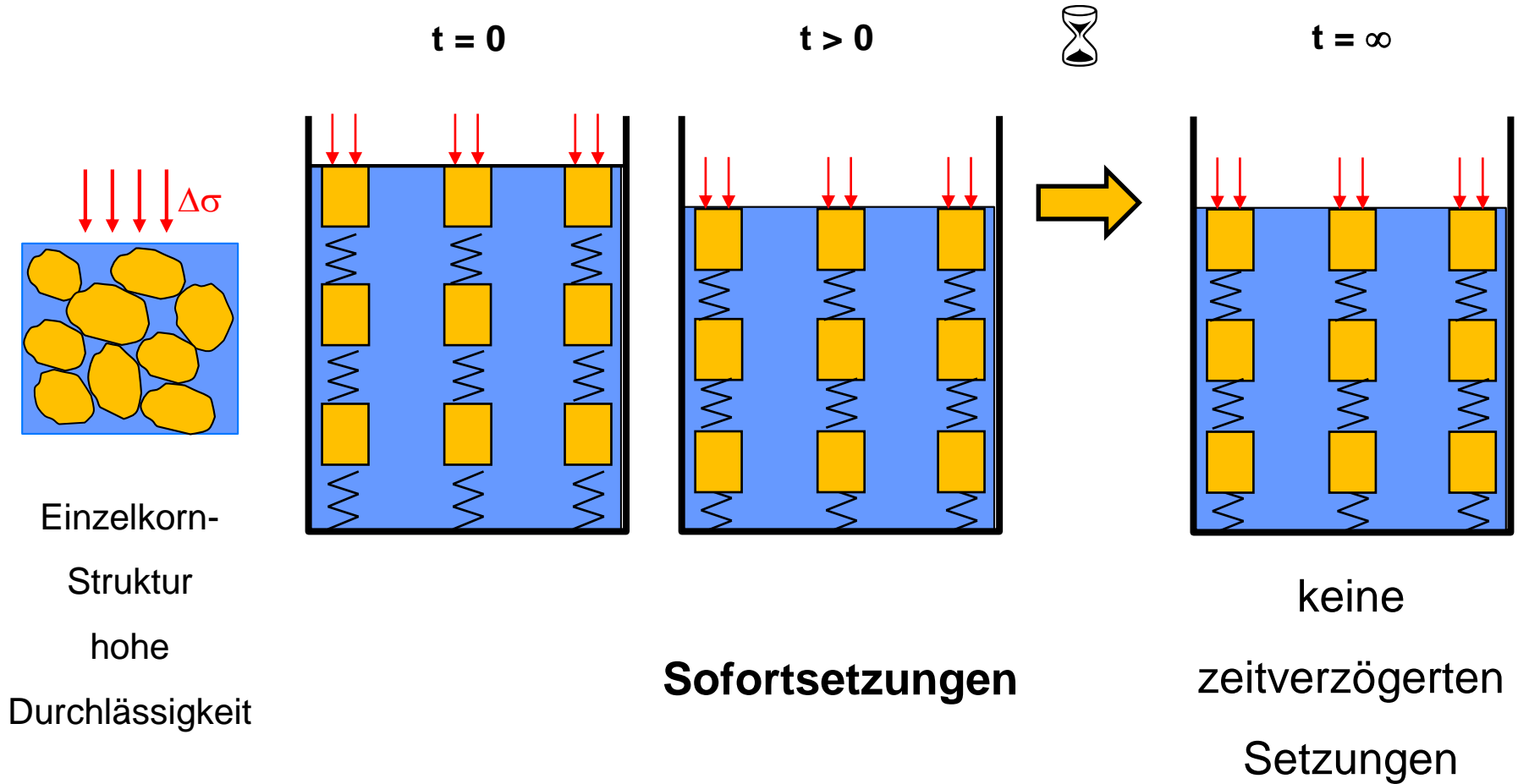
hohe

Durchlässigkeit



Sofortsetzungen

## Zeit-Setzungsverhalten von nichtbindigen Böden (Sand, Kies)



Einzelkorn-  
Struktur  
hohe  
Durchlässigkeit

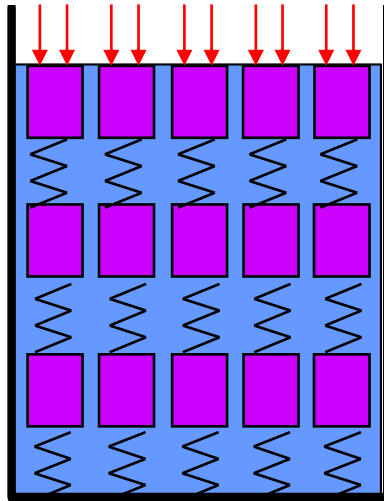
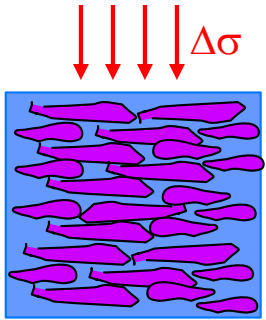
**Sofortsetzungen**

keine  
zeitverzögerten  
Setzungen



## Zeit-Setzungsverhalten von bindigen Böden (Ton, Schluff)

$t = 0$



Plättchen-

Struktur

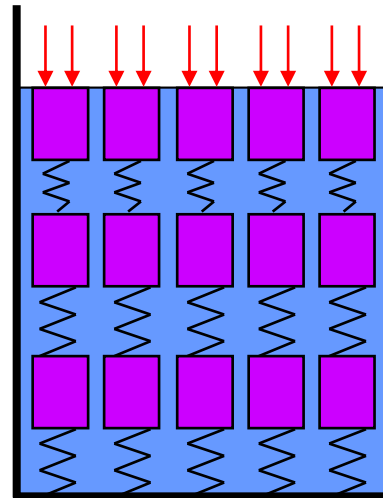
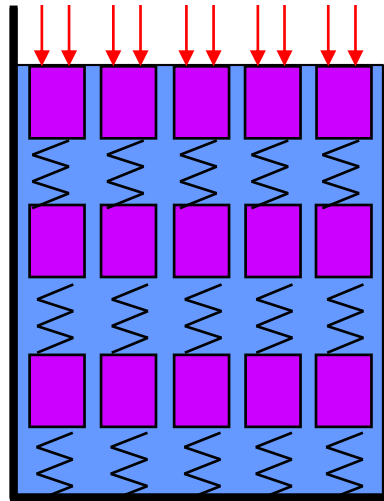
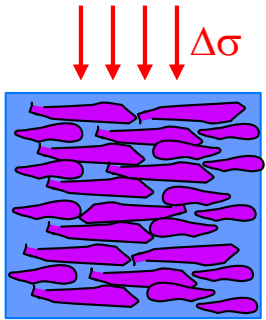
geringe

Durchlässigkeit

## Zeit-Setzungsverhalten von bindigen Böden (Ton, Schluff)

$t = 0$

$t > 0$



Plättchen-

Struktur

geringe

Durchlässigkeit

geringe

Sofortsetzungen

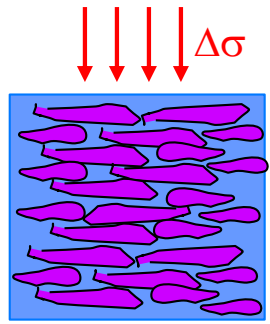
**Zeit-Setzungsverhalten von bindigen Böden (Ton, Schluff)**

$t = 0$

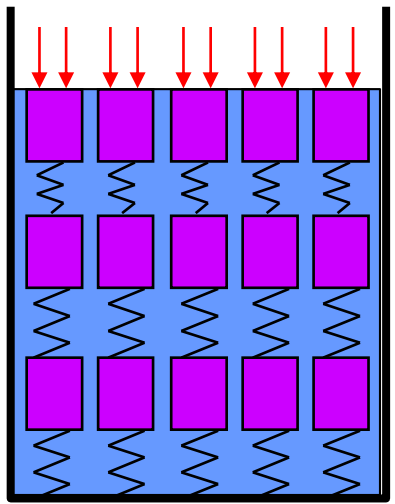
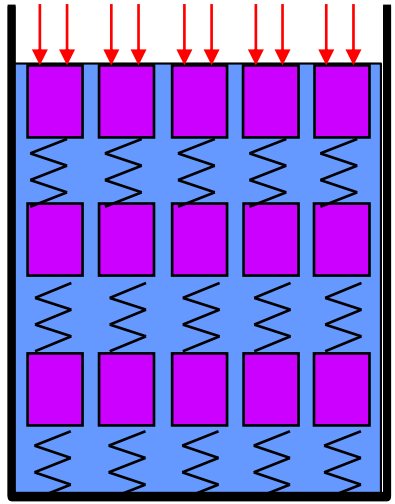
$t > 0$



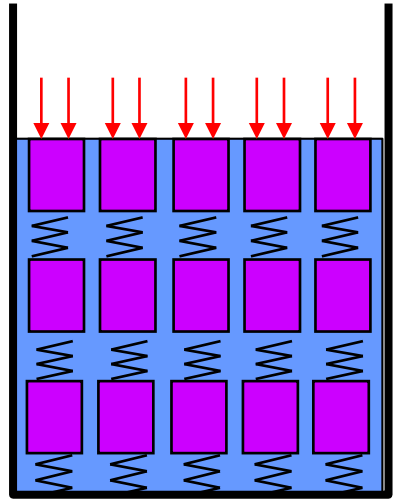
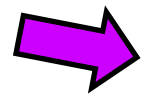
$t = \infty$



Plättchen-  
Struktur  
geringe  
Durchlässigkeit

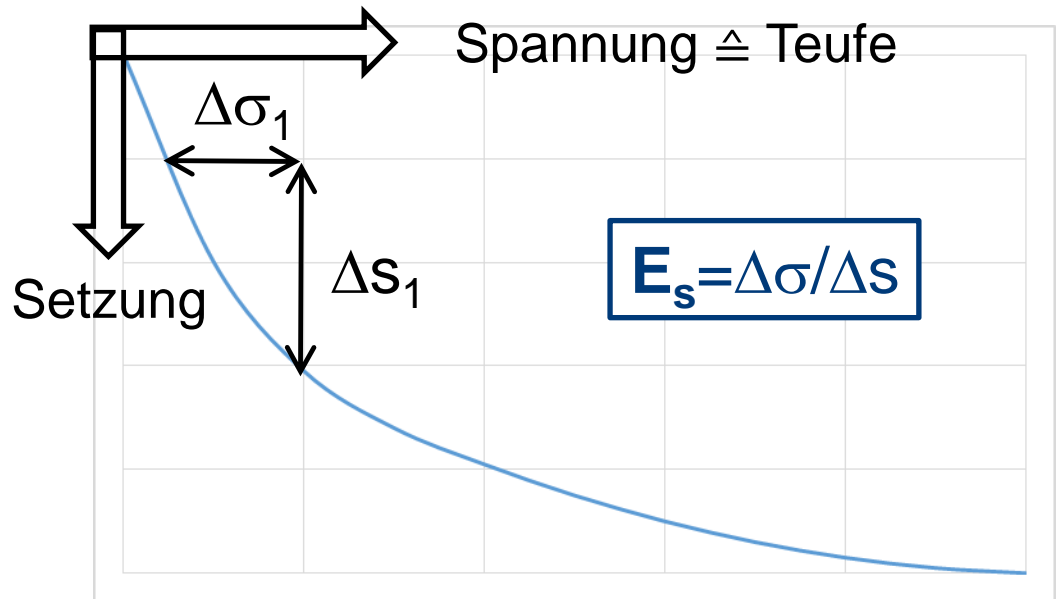
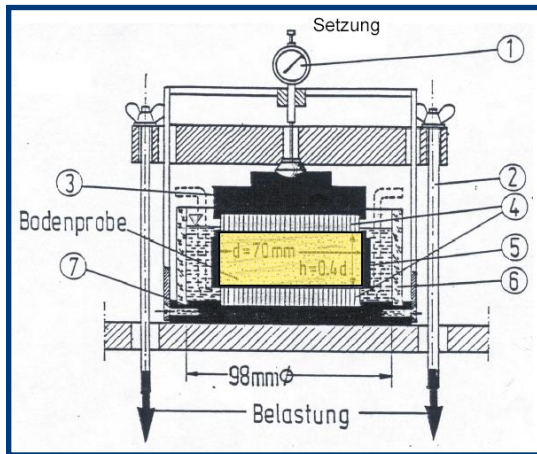


geringe  
Sofortsetzungen



**zeitverzögerte  
Setzungen**

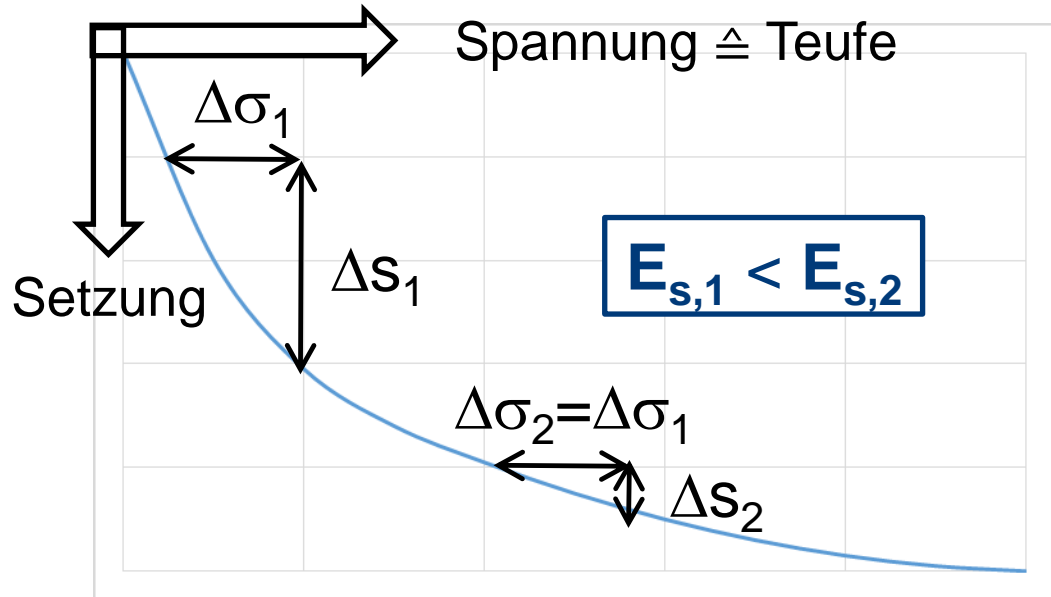
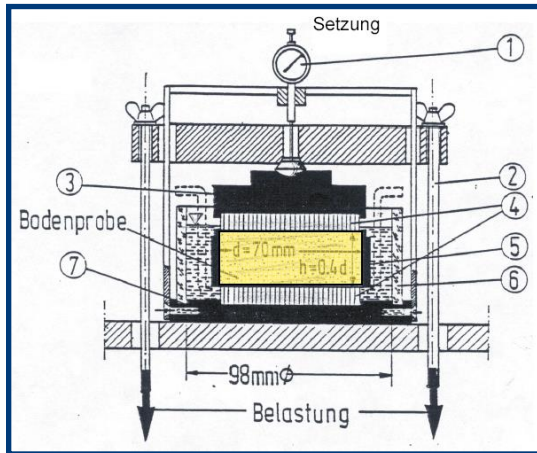
## Steifigkeit **nichtbindiger** und **bindiger** Böden



- Abschnittsweise Linearisierung:  $E_s$



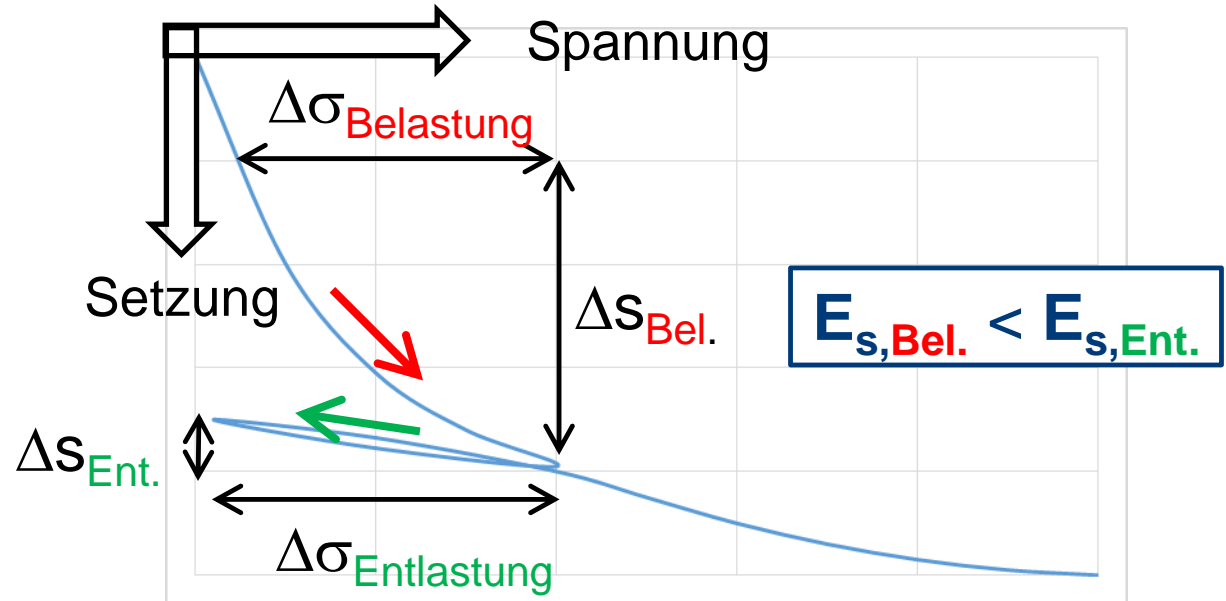
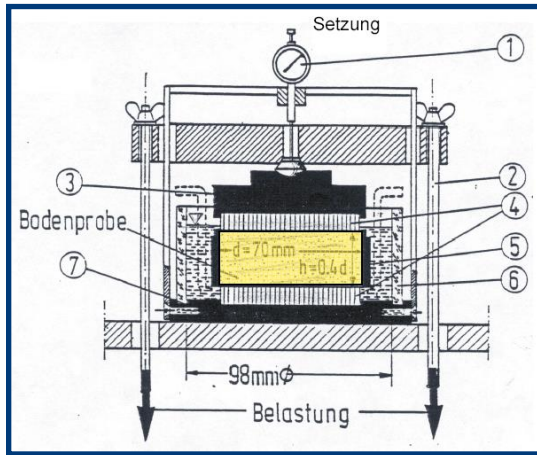
## Steifigkeit **nichtbindiger** und **bindiger** Böden



- Abschnittsweise Linearisierung:  $E_s$
- **Steifigkeitszunahme mit der Tiefe**



## Steifigkeit **nichtbindiger** und **bindiger** Böden



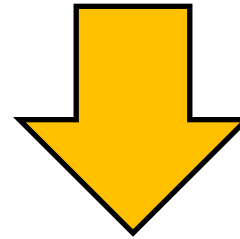
- Abschnittsweise Linearisierung:  $E_s$
- Steifigkeitszunahme mit der Tiefe
- **Steiferes Verhalten bei Entlastung**

Einwirkung  
aus GW

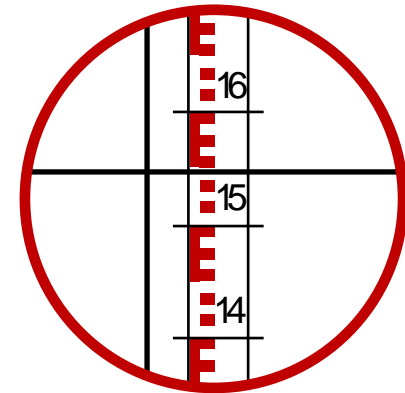


Widerstand  
des Bodens

Setzungen  
an der GOK

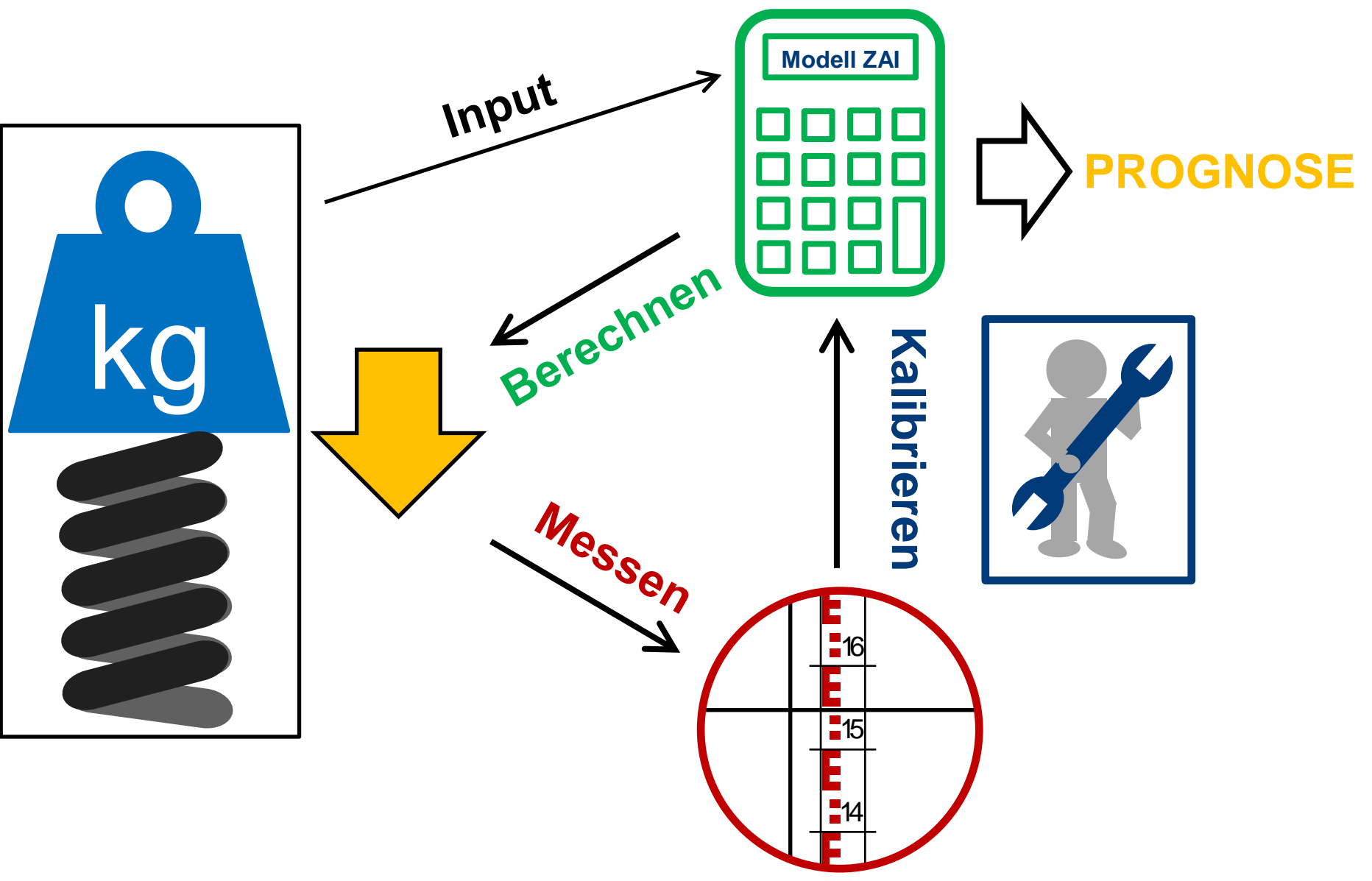


Messen



- Erfassung des Ist-Zustands
- **Noch keine Prognose**

# Modellentwicklung

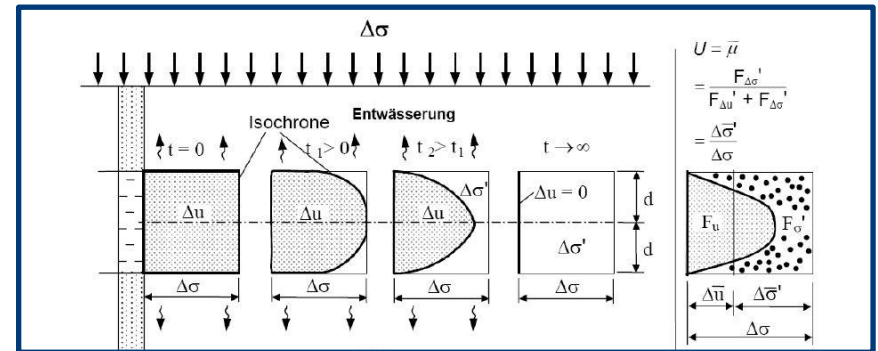
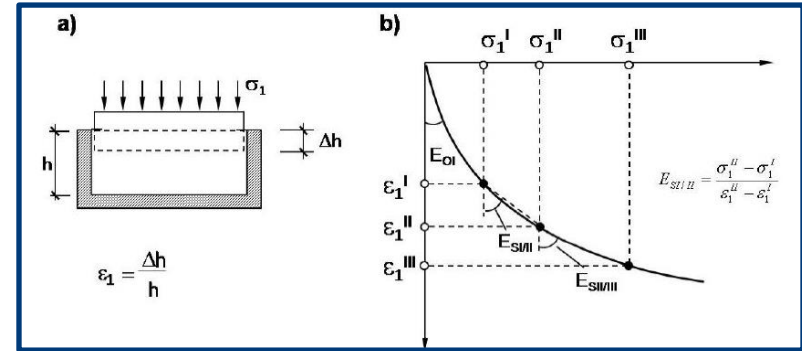




# Modellentwicklung

## im Auftrag von RWE mit den Zielen:

- Abbildung des realen Verhaltens nichtbindiger und bindiger Böden
- Basierend auf bodenmechanischen Grundsätzen
- Einfach in der Handhabung
- Flexibel bei Änderung von Randbedingungen



# Modellentwicklung

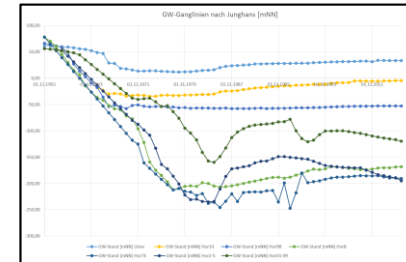
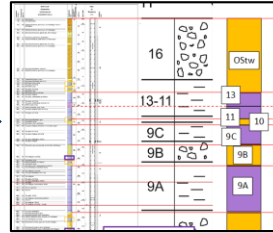
## unter folgenden Randbedingungen:

- Einbeziehung des tatsächlichen Schichtprofils und der GW-Ganglinien
- Verwendung geschätzter, aber sinnvoller Bodenparameter (Erfahrungswerte)
- Pro Punkt ein Datensatz & schichtweise prozentuale Anpassung
- Berechnung basierend auf bodenmechanischen Grundsätzen (Kompressions- und Konsolidationstheorie von Terzaghi)
- Kalibrierung entsprechend dem erwarteten bodenmechanischen Verhalten & anhand der Messungen

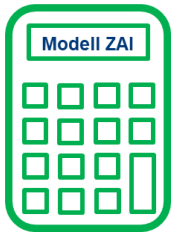
# Modellentwicklung



a. Schichtenmodell



b. Aufbereitung GW-Daten

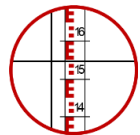


c. Auswertung Spannungen



$$\Delta\sigma' = \dots \text{ kN/m}^2$$

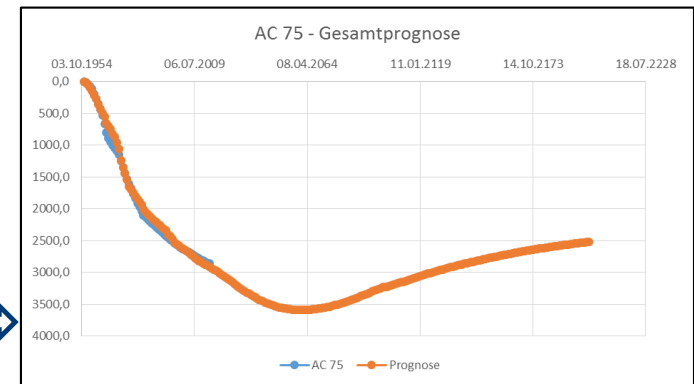
d. Entwicklung Setzungsprognose

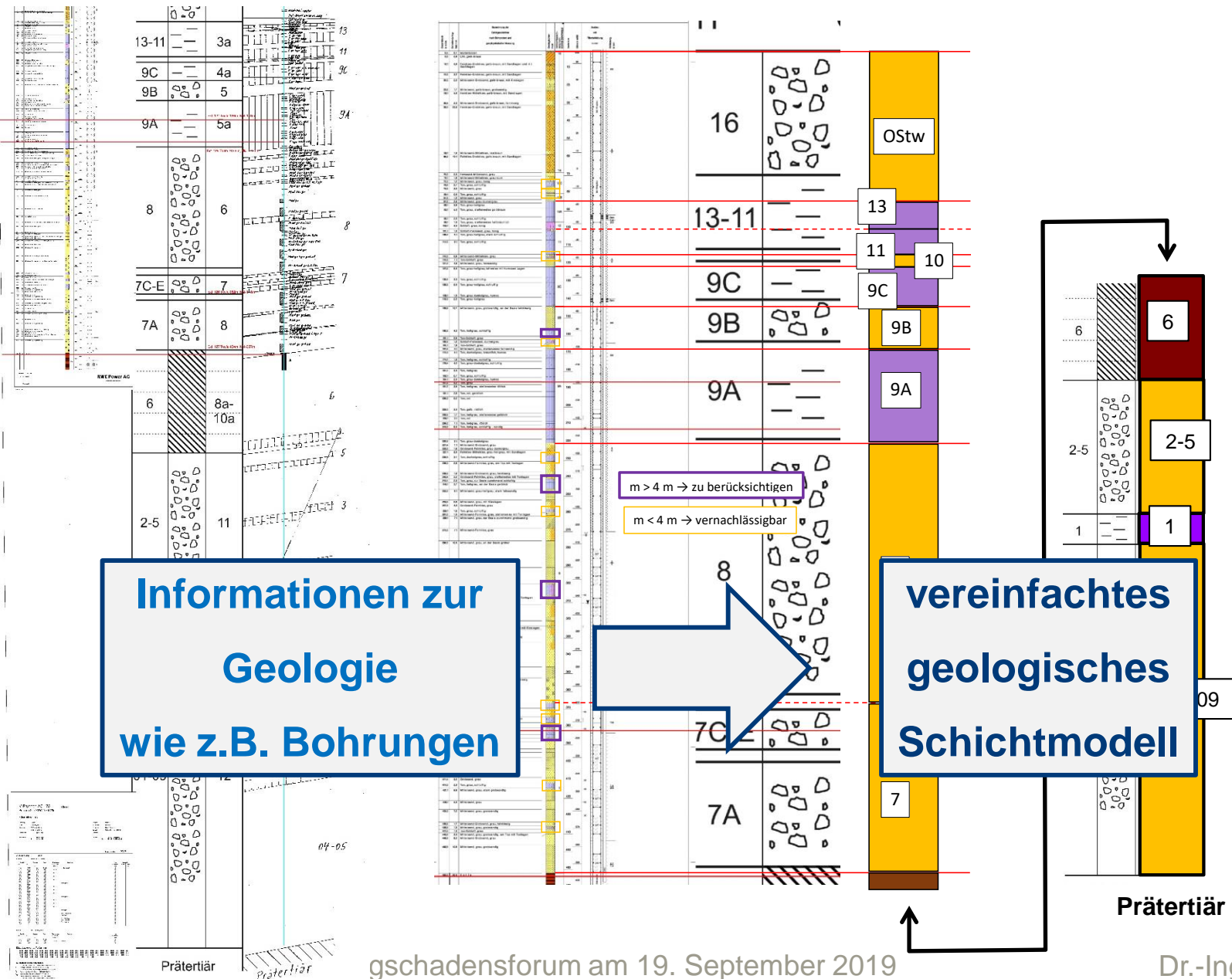


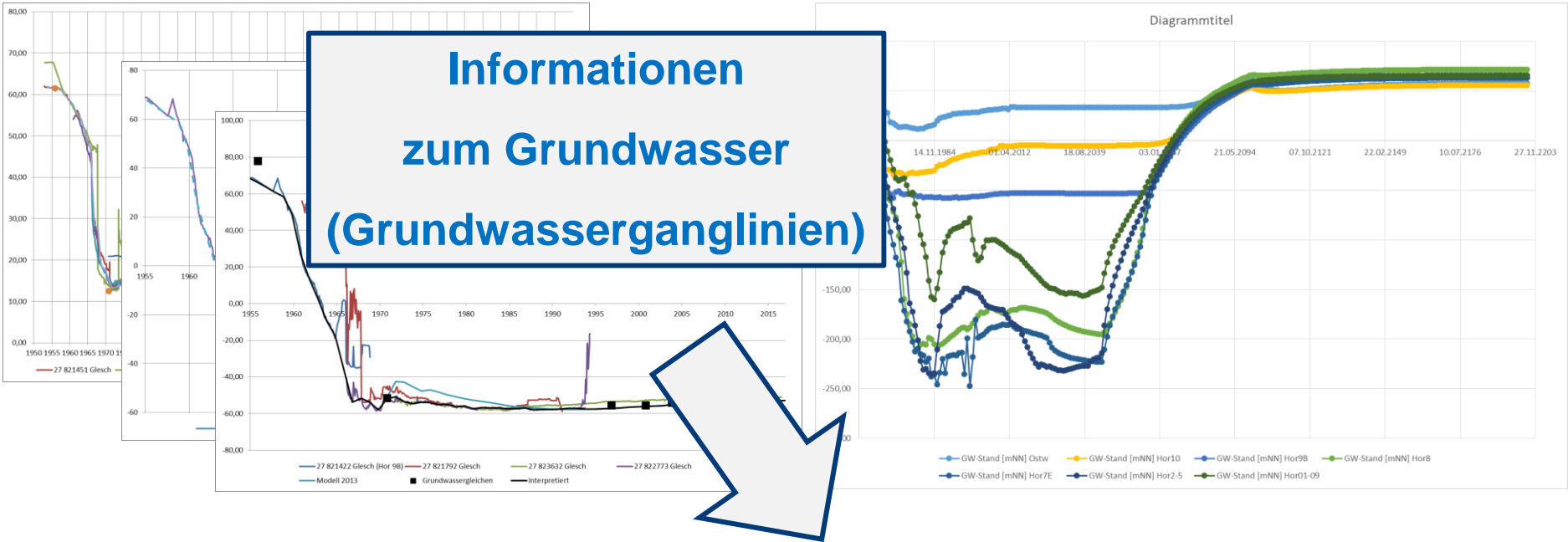
e. Aufbereitung Messdaten



f. Kalibrierung der Prognose







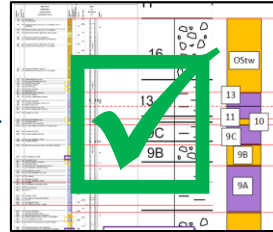
		GW-Leiter und -Stauer												
		Ostw	13	11	10	9C	9B	9A	8	7	6	2-5	1	01-09
OK		77	-7	-22	-37	-44	-66	-90	-143	-289	-385	-511	-667	-700
UK		-7	-22	-37	-44	-66	-90	-143	-289	-385	-511	-667	-700	-1090
Mächtigkeit			15		7	22	24	53	146	96	126	156	33	390
Datum	GW-Stand [mNN]	Gradient [-]	Gradient i [-]	V-Stand [mNN]	Gradient i [-]	GW-Stand [m]	Gradient i [-]	GW-Stand [m]	GW-Stand [m]	Gradient i [-]	GW-Stand [mNN]	Gradient i [-]	GW-Stand [mNN]	
01.11.1956	61,60	-0,07	-0,07	63,61	0,00	63,61	0,00	63,61	63,61	0,00	56,25	0,00	56,25	
01.11.1957	60,83	-0,01	-0,01	61,02	0,00	61,02	0,00	61,02	61,02	0,00	55,00	0,00	55,00	
01.11.1958	59,67	0,04	0,04	58,43	0,00	58,43	0,00	58,43	58,43	0,00	54,00	0,00	54,00	
01.11.1959	58,85	0,33	0,33	48,90	0,00	48,90	0,00	48,90	48,90	0,00	53,00	0,03	52,00	
01.11.1960	57,63	1,03	1,03	26,77	0,00	26,77	0,00	26,77	26,77	0,00	41,92	-0,24	50,00	
01.11.1961	55,70	1,40	1,40	13,70	0,00	13,70	0,00	13,70	13,70	0,00	30,83	-0,52	48,00	
01.11.1962	54,70	1,74	1,74	2,60	0,00	2,60	0,00	2,60	2,60	0,00	19,75	-0,73	44,00	
01.11.1963	52,08	2,05	2,05	-9,30	0,00	-9,30	0,00	-9,30	-9,30	0,32	8,67	-0,79	34,89	
01.11.1964	48,77	2,22	2,22	-17,90	0,00	-17,90	0,00	-17,90	-17,90	0,35	-2,42	-0,85	25,78	
01.11.1965	46,88	2,34	2,34	-23,40	0,57	-35,84	0,11	-41,90	-52,67	-0,22	-13,50	-0,91	16,67	

**Hydraulische Randbedingungen für Prognosemodell**

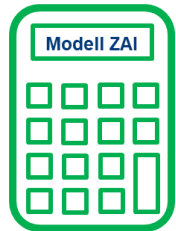
# Modellentwicklung



a. Schichtenmodell



b. Aufbereitung GW-Daten

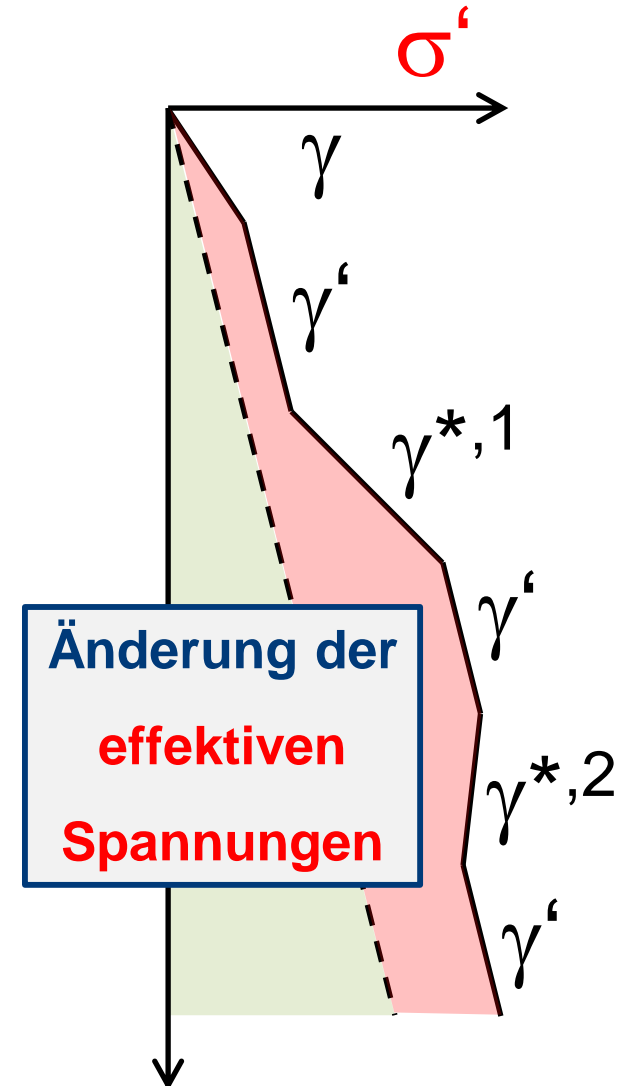
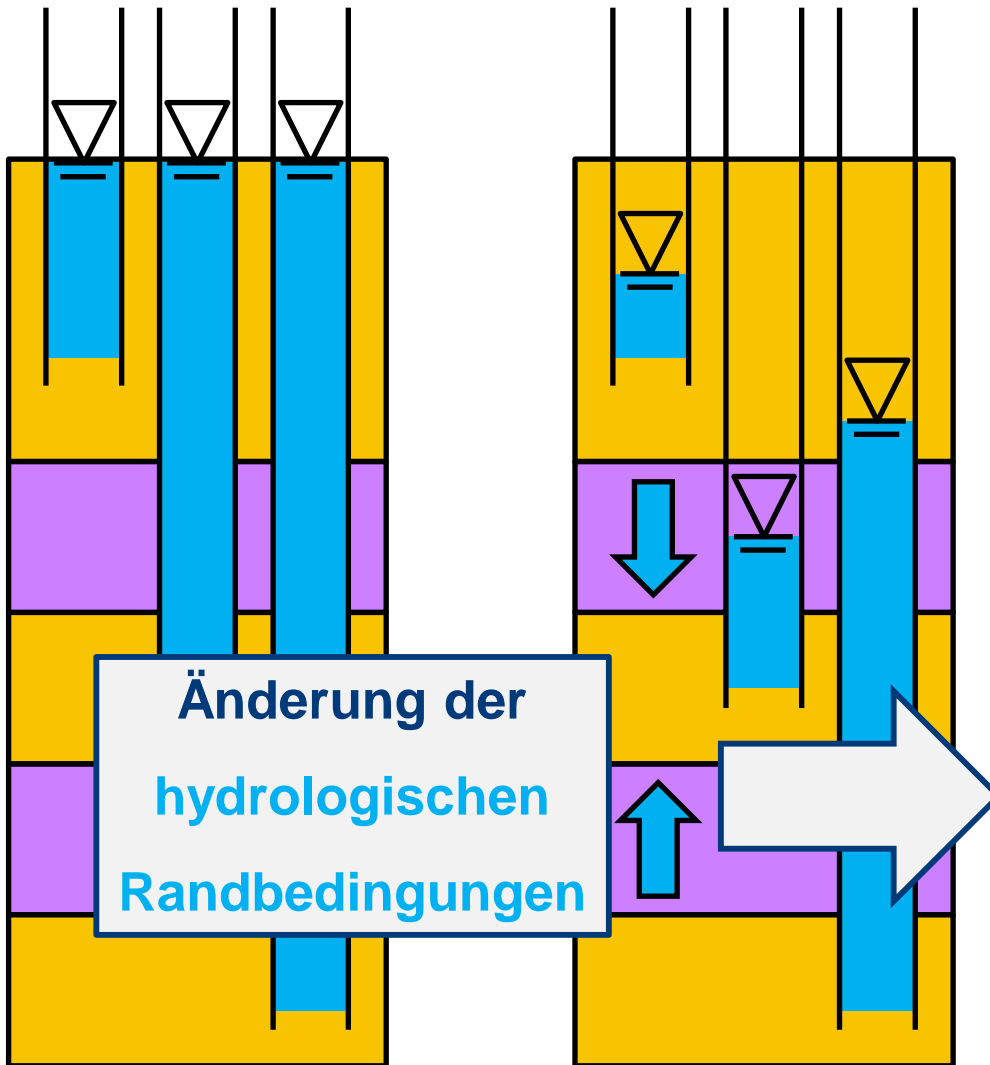


c. Auswertung Spannungen



(aus geänderten hydrologischen Randbedingungen)

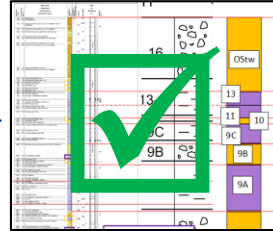
$$\Delta\sigma' = \dots \text{ kN/m}^2$$



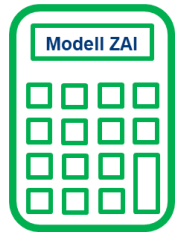
# Modellentwicklung



a. Schichtenmodell



b. Aufbereitung GW-Daten



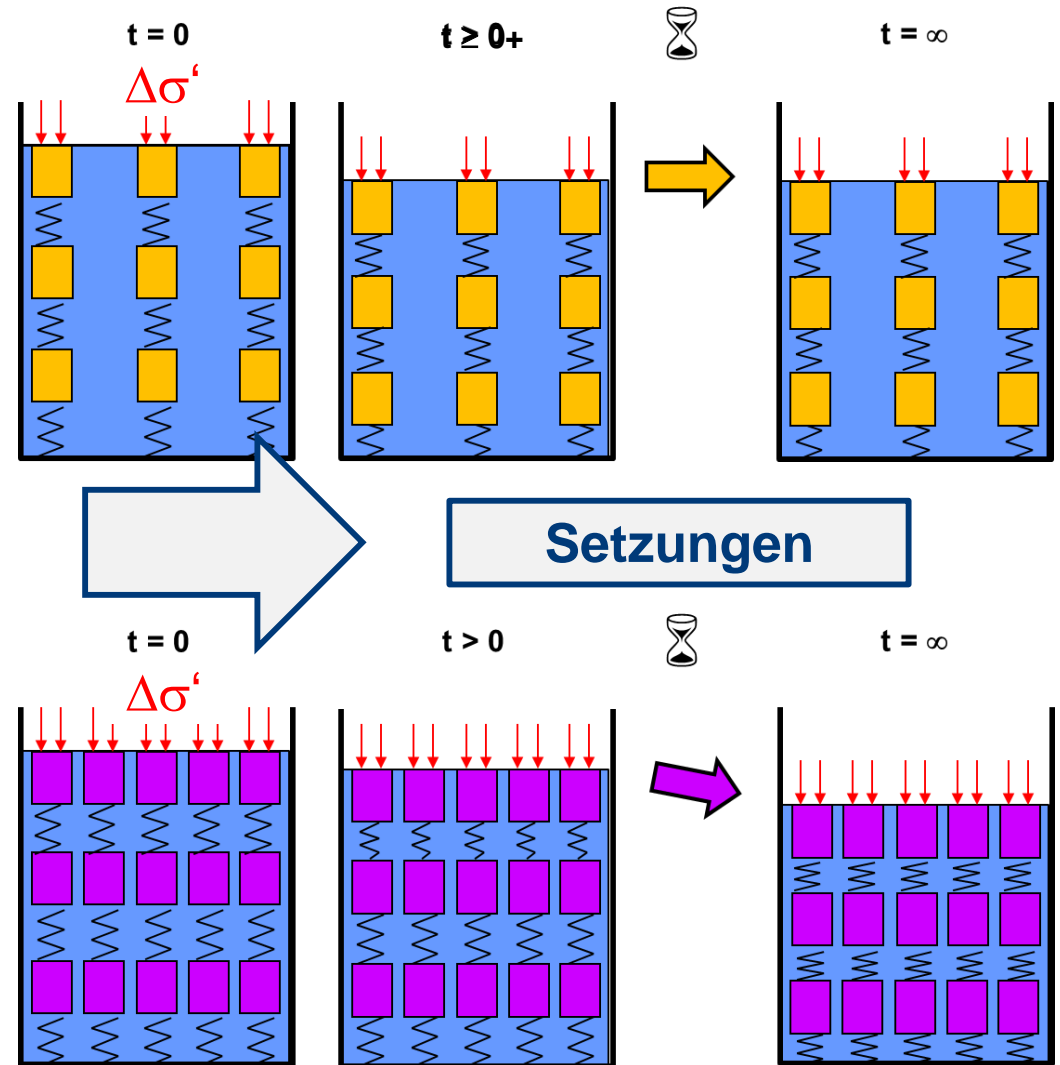
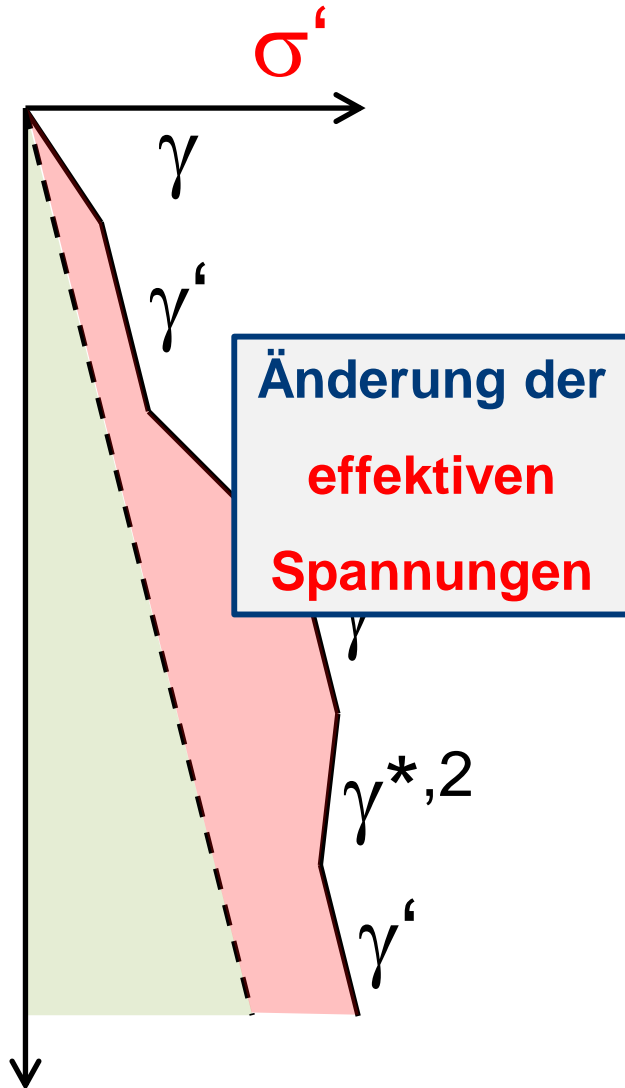
c. Auswertung Spannungen

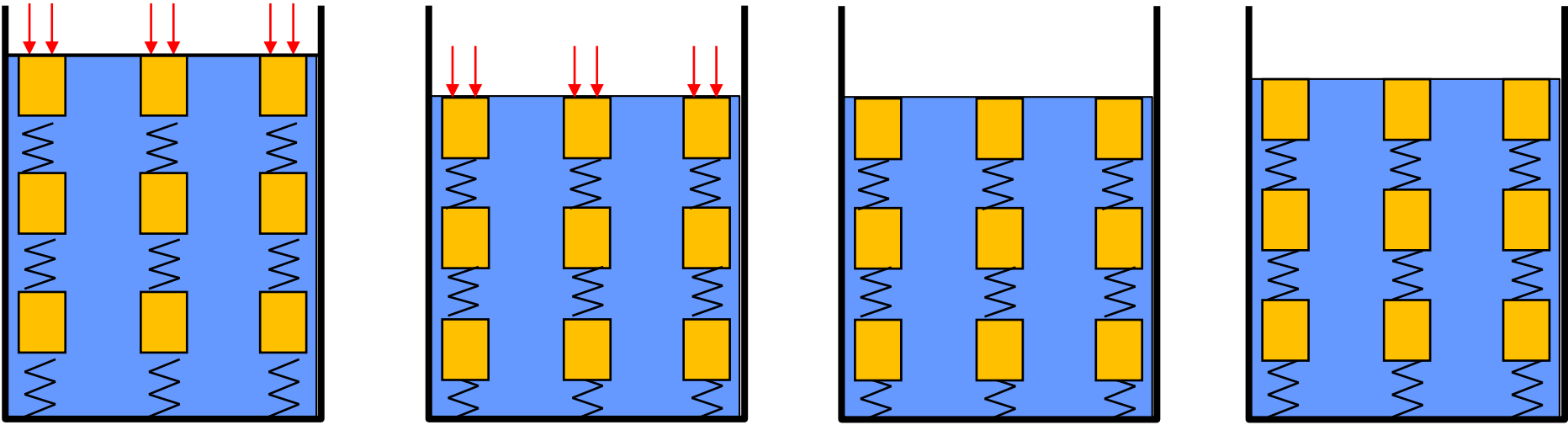


$$\Delta\sigma' = \dots \text{ kN/m}^2$$

d. Entwicklung Setzungsprognose







Belastung

Setzungen

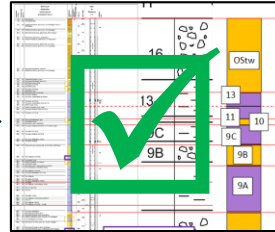
Entlastung

Hebungen

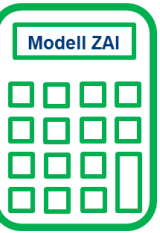
# Kalibrierung



a. Schichtenmodell



b. Aufbereitung GW-Daten

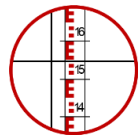


c. Auswertung Spannungen



$$\Delta\sigma' = \dots \text{ kN/m}^2$$

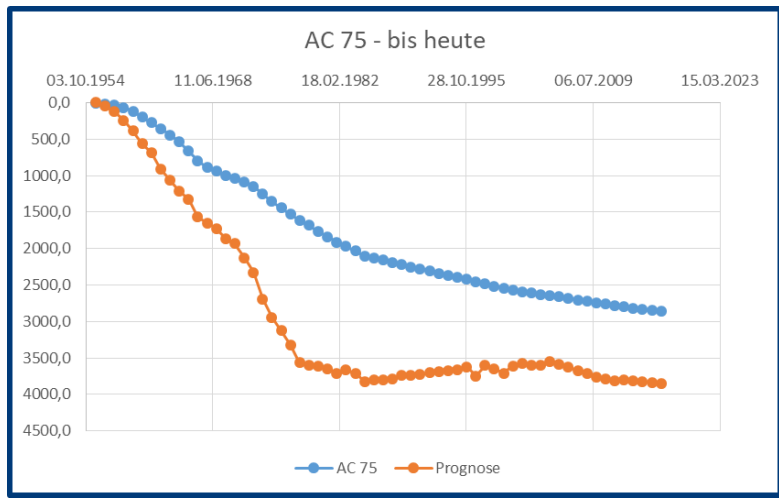
d. Entwicklung Setzungsprognose



e. Aufbereitung Messdaten



f. Kalibrierung der Prognose



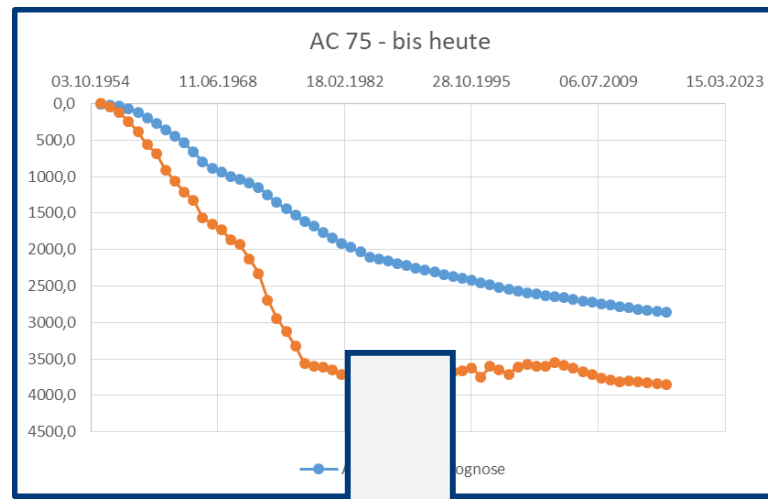
Eingangswerte				
nichtbindige Schichten				
Ausgangssteifigkeit	$E_s$	<b>150.000</b>	[kN/m <sup>2</sup> ]	Prozentsatz
				[%]
Schicht Ostw	$E_s$	150.000	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>100</b>
Schicht 10	$E_s$	240.000	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>160</b>
Schicht 9B	$E_s$	330.000	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>220</b>
Schicht 8	$E_s$	900.000	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>600</b>
Schicht 7	$E_s$	1.650.000	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>1100</b>
Schicht 2-5	$E_s$	7.500.000	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>5000</b>
Schicht 01-09	$E_s$	7.500.000	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>5000</b>
			Hebungsfaktor	<b>0,8</b>

bindige Schichten				
Ausgangskons.beiw.	$c_v$	<b>4,00E-10</b>	[m <sup>2</sup> /s]	
Ausgangssteifigkeit	$E_s$	<b>15.000</b>	[kN/m <sup>2</sup> ]	Prozentsatz
				[%]
Schicht 13	$E_s$	15.000	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>100</b>
Schicht 11	$E_s$	18.000	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>120</b>
Schicht 9C	$E_s$	24.000	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>160</b>
Schicht 9A	$E_s$	37.500	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>250</b>
Kohle/Schicht 6	$E_s$	225.000	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>1500</b>
Schicht 1	$E_s$	750.000	[kN/m <sup>2</sup> ]	<b>5000</b>
			Hebungsfaktor	<b>0,66</b>

⇒ **globale und schichtspezifische Eingangswerte**

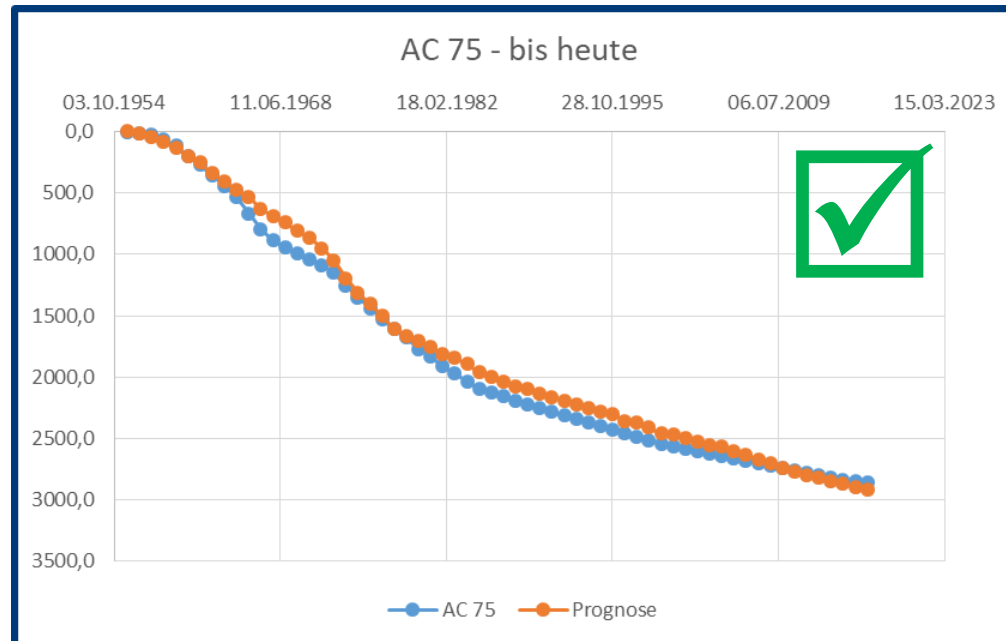
⇒ **direkte Rückkopplung mit Berechnung**

# Kalibrierung

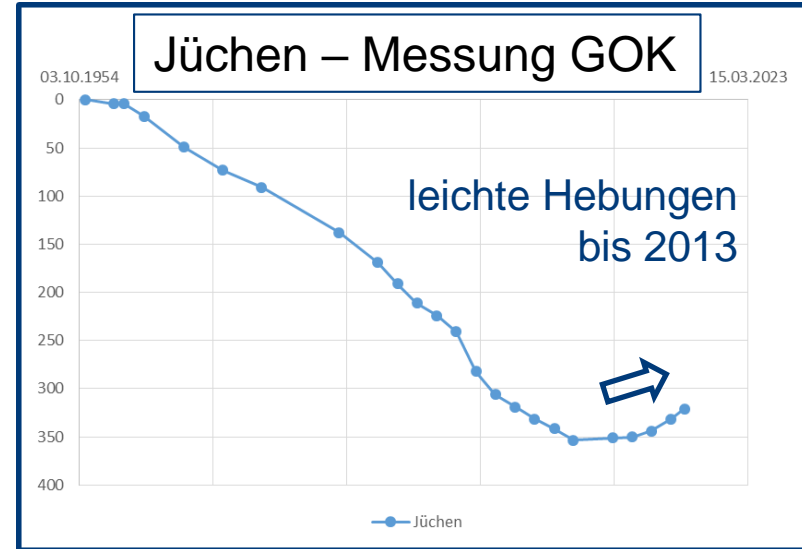
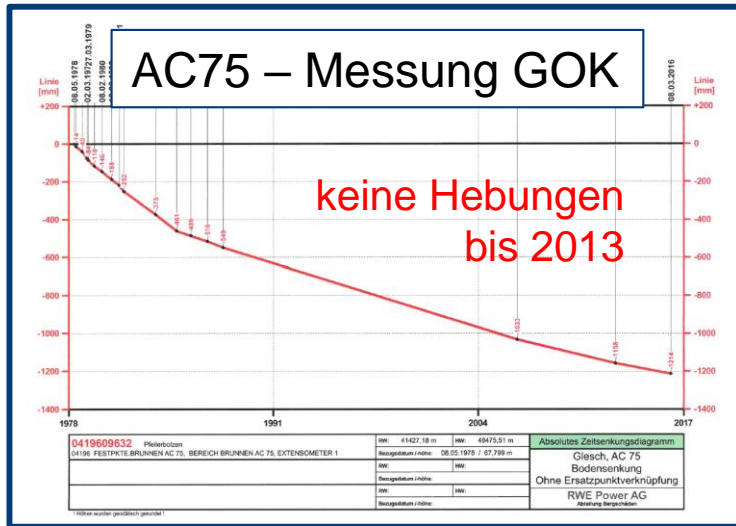


**Kalibrierung**

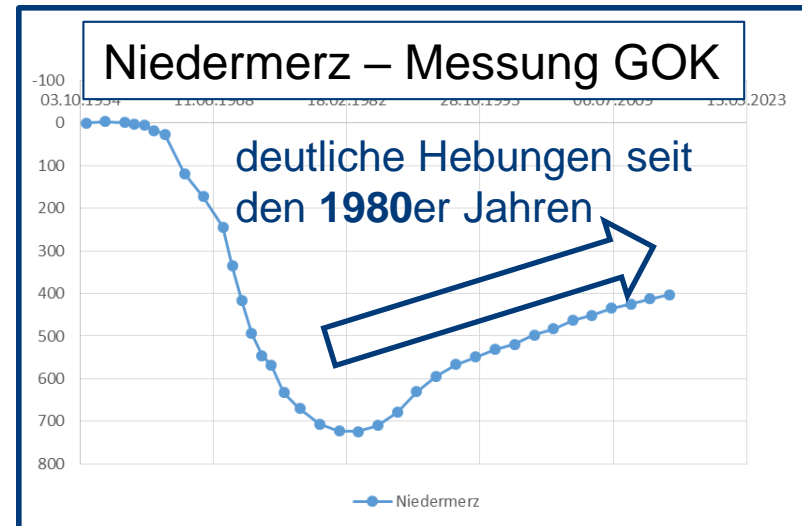
**Eingangswerte**



## Kalibrierung der Hebungsfaktoren



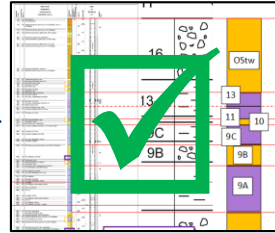
**Kalibrierung der Hebungsfaktoren an den Punkten Jüchen & Niedermerz**



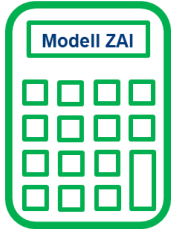
# Kalibrierung



a. Schichtenmodell



b. Aufbereitung GW-Daten

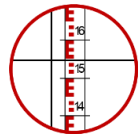


c. Auswertung Spannungen

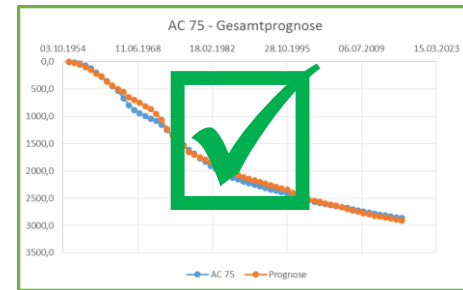


$$\Delta\sigma' = \dots \text{ kN/m}^2$$

d. Entwicklung Setzungsprognose



e. Aufbereitung Messdaten



f. Kalibrierung der Prognose





# Übertragung auf weitere Punkte

- 01 AC 75 - Übergordneter Ordner
- 02 Jüchen - Venloer Scholle
- 03 Niedermerz - Rur-Scholle
- 04 - 17 ----- Zieglerpunkte - Erftscholle
- 04 Kaster
- 05 Kaster A61
- 06 RWE - Elsdorf
- 07 RWE - Zieverich
- 08 RWE - Thorr
- 09 Horrem
- 10 Mödrath
- 11 Kerpen
- 12 Heppendorf
- 13 Haus Forst
- 14 Bergerhausen
- 15 Buir
- 16 Merzenich
- 17 Wissersheim
- 18 - 23 ----- Zusatzpunkte Bergamt - Erftscholle
- 18 RWE - Baal
- 19 Mersch
- 20 Oberzier
- 21 Borr
- 22 Weilerswist
- 23 RWE - Rheinbach
- 24 - 25 ----- Zusatzpunkte Bergamt - Kölner Scholle
- 24 RWE - Niederaußem
- 25 Frechen

## Modellerstellung + Kalibrierung



## Übertragung auf weitere Punkte + Kalibrierung



# Übertragung auf weitere Punkte

- 01 AC 75 - Übergordneter Ordner
- 02 Jüchen - Venloer Scholle
- 03 Niedermerz - Rur-Scholle
- 04 - 17 ----- Zieglerpunkte - Erftscholle
- 04 Kaster →
- 05 Kaster A61
- 06 RWE - Elsdorf
- 07 RWE - Zieverich
- 08 RWE - Thorr
- 09 Horrem
- 10 Mödrath
- 11 Kerpen
- 12 Heppendorf
- 13 Haus Forst
- 14 Bergerhausen
- 15 Buir
- 16 Merzenich
- 17 Wissensheim
- 18 - 23 ----- Zusatzpunkte Bergamt - Erftscholle
- 18 RWE - Baal
- 19 Mersch
- 20 Oberzier
- 21 Borr
- 22 Weilerswist
- 23 RWE - Rheinbach
- 24 - 25 ----- Zusatzpunkte Bergamt - Kölner Scholle
- 24 RWE - Niederaußem
- 25 Frechen

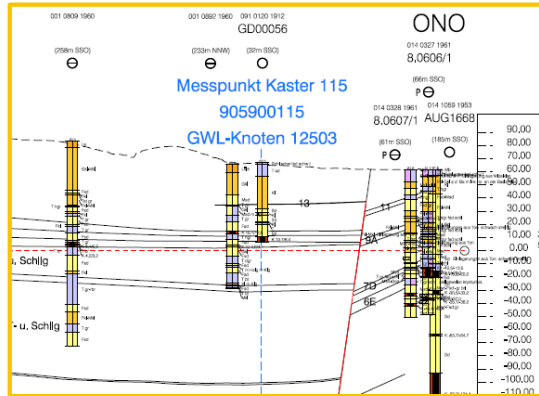
- Kaster\_A61\_115\_22122016
- Kaster\_A61\_115\_22122016\_mit\_Schichtangaben
- Kaster\_A61\_Bohrung\_014\_7104\_1949\_AUG\_133

- 00 Kaster 4905900115-AbsZSD56770,25
- 01 GWStandentwicklung\_Kaster\_201170111

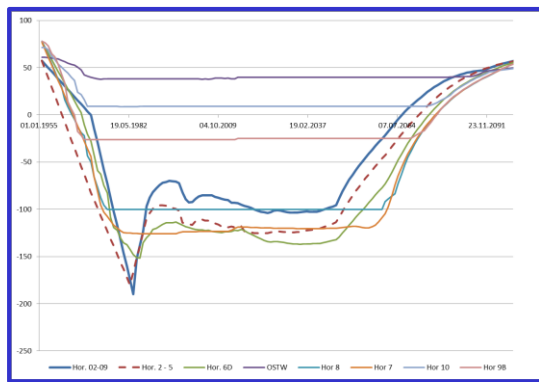
Geologie Abteilung  
↔ Lagerstätten

Vermessung Abteilung  
↔ Bergschäden

Grundwasser(absenkung) Abteilung  
↔ Wasserwirtschaft



KASTER, KAPELLE, STR. KOENIGSHOVEN - KAS									
Mauerbohlen									
4905900115									
Datum	Uhrzeit	Dezirk	E-Engulung & 25	Profil	Erstpunkt	Höhe	[mm]	[mm] Gesamt	[mm/a]
15.05.1955	00:00:00	9999	E N N N			66,84500	0,0	0,0	0,0
13.04.1957	00:00:00	9999	E N N N			66,82200	-23,0	-23,0	-12,0
09.05.1959	00:00:00	9999	E N N N			66,79000	-32,0	-55,0	-15,5
07.04.1960	00:00:00	9999	E N N N			66,75700	-33,0	-88,0	-36,1
08.05.1961	00:00:00	9999	E N N N			66,70400	-53,0	-141,0	-48,9
06.05.1962	00:00:00	9999	E N N N			66,61700	-87,0	-228,0	-87,5
31.05.1963	00:00:00	9999	E N N N			66,53400	-83,0	-311,0	-77,7
14.06.1965	00:00:00	9999	E N N N			66,39700	-137,0	-448,0	-67,2
18.05.1967	00:00:00	9999	E N N N			66,26200	-135,0	-583,0	-70,1
04.06.1969	00:00:00	9999	E N N N			66,13400	-128,0	-711,0	-62,5
17.05.1970	00:00:00	9999	E N N N			66,10500	-29,0	-740,0	-30,5
03.05.1971	00:00:00	9999	E N N N			66,07500	-30,0	-770,0	-31,2
02.05.1972	00:00:00	9999	E N N N			66,04200	-33,0	-803,0	-33,0
29.05.1973	00:00:00	9999	E N N N			66,01200	-30,0	-833,0	-28,0
09.05.1974	00:00:00	9999	E N N N			65,99900	-13,0	-846,0	-13,8
07.09.1975	00:00:00	9999	E N N N			65,97300	-26,0	-872,0	-19,5
25.04.1977	00:00:00	9999	E N N N			65,91400	-59,0	-931,0	-36,2
28.04.1979	00:00:00	9999	E N N N			65,83300	-81,0	-1012,0	-40,4



# Übertragung auf weitere Punkte

- 01 AC 75 - Übergordneter Ordner
- 02 Jüchen - Venloer Scholle
- 03 Niedermerz - Rur-Scholle
- 04 - 17 ----- Zieglerpunkte - Erftscholle
- 04 Kaster → 00 Kaster 4905900115-AbsZSD56770,25
- 05 Kaster A61 → 01 GWStandentwicklung\_Kaster\_201170111
- 06 RWE - Elsdorf → 02 Schichtmodell\_Kaster
- 07 RWE - Zieverich → 03 Auswertung GW und Spannungen\_Kaster
- 08 RWE - Thorr → 04 Setzungsprognose\_Kaster
- 09 Horrem
- 10 Mödrath
- 11 Kerpen

00 Kaster 4905900115-AbsZSD56770,25

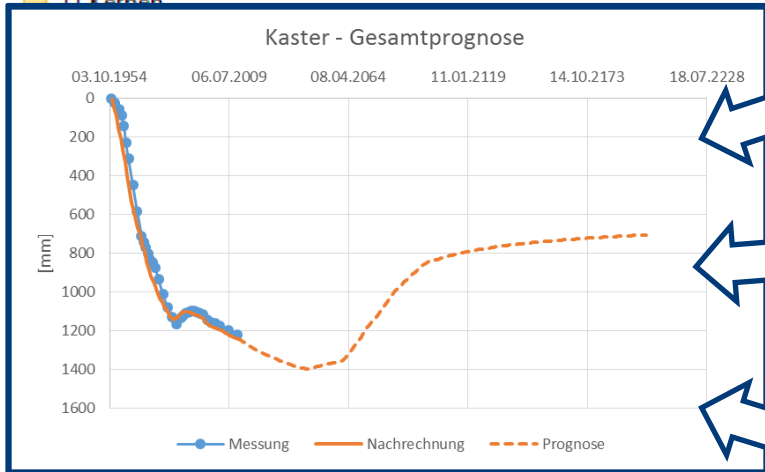
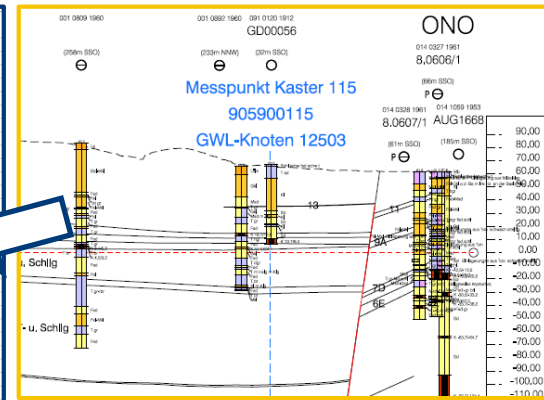
01 GWStandentwicklung\_Kaster\_201170111

02 Schichtmodell\_Kaster

03 Auswertung GW und Spannungen\_Kaster

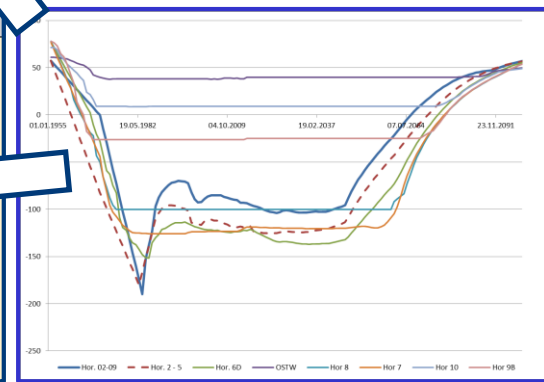
04 Setzungsprognose\_Kaster

Geologie im Messpunkt Kaster 4905900115				Wasserwirtschaft GWL-Knoten 29164	
Tiefenlage [m NN]	Horizont	Mächtigkeit [m]	Anmerkung	Daten vorhanden	
67	0				
44	23	OstV	46	evtl. Ton an GOK	OstV
21	46			ggf. nicht vorhanden oder höher	13
20,5	46,5	1I	1		10
20	47				9C
15	52	10	10		9B
10	57				9A
6	61	9C	8		8
2	65			mit Ton und Schluff	7F
-13	80	9B	30	keine Aufschlüsse vorhanden!	
-28	95				7
-30	97	9A	4	keine Aufschlüsse vorhanden!	
-32	99				6E
-66	133	8	68	keine Aufschlüsse vorhanden!	6D
-100	167				6C.B.A
-101	168	7F	2	keine Aufschlüsse vorhanden!	2-5
-102	169				1
-120,5	187,5	7	37	keine Aufschlüsse vorhanden!	12-09
-139	206				
-144,5	211,5	6E	11	keine Aufschlüsse vorhanden!	
-150	217				
-185	252	6D	70	keine Aufschlüsse vorhanden!	
-220	287				
-256,5	323,5	6C.B.A	73	keine Aufschlüsse vorhanden!	
293	360				
36,5	423,5	2-5	127	keine Aufschlüsse vorhanden!	
120	487				
-422,5	489,5	1	5	keine Aufschlüsse vorhanden!	
-425	432				
-542,5	609,5	02-09	235	keine Aufschlüsse vorhanden!	
-660	727				



Mächtigkeit [m]				$\Delta\sigma'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	
4	68	m*	variabel	2	37
0,00	0,00			0,00	0,00
49,40	80,35			80,43	80,52
55,55	79,45			79,53	79,62
80,45	80,15			80,23	80,32
57,18	79,28			79,36	79,44
75,88	79,68			79,76	79,84
91,05	76,35			76,43	76,51
109,98	135,38			106,21	77,04
134,08	70,33			73,66	76,99
71,68	69,43			73,46	77,49
53,88	52,23			62,71	73,19
79,85	32,20			32,23	32,27
32,40	41,00			52,03	63,07
2,92	-2,38			21,56	45,49
30,20	81,05	62,36	84,60	98,73	31,82
-2,24	-2,24	53,35	50,55	54,94	61,57

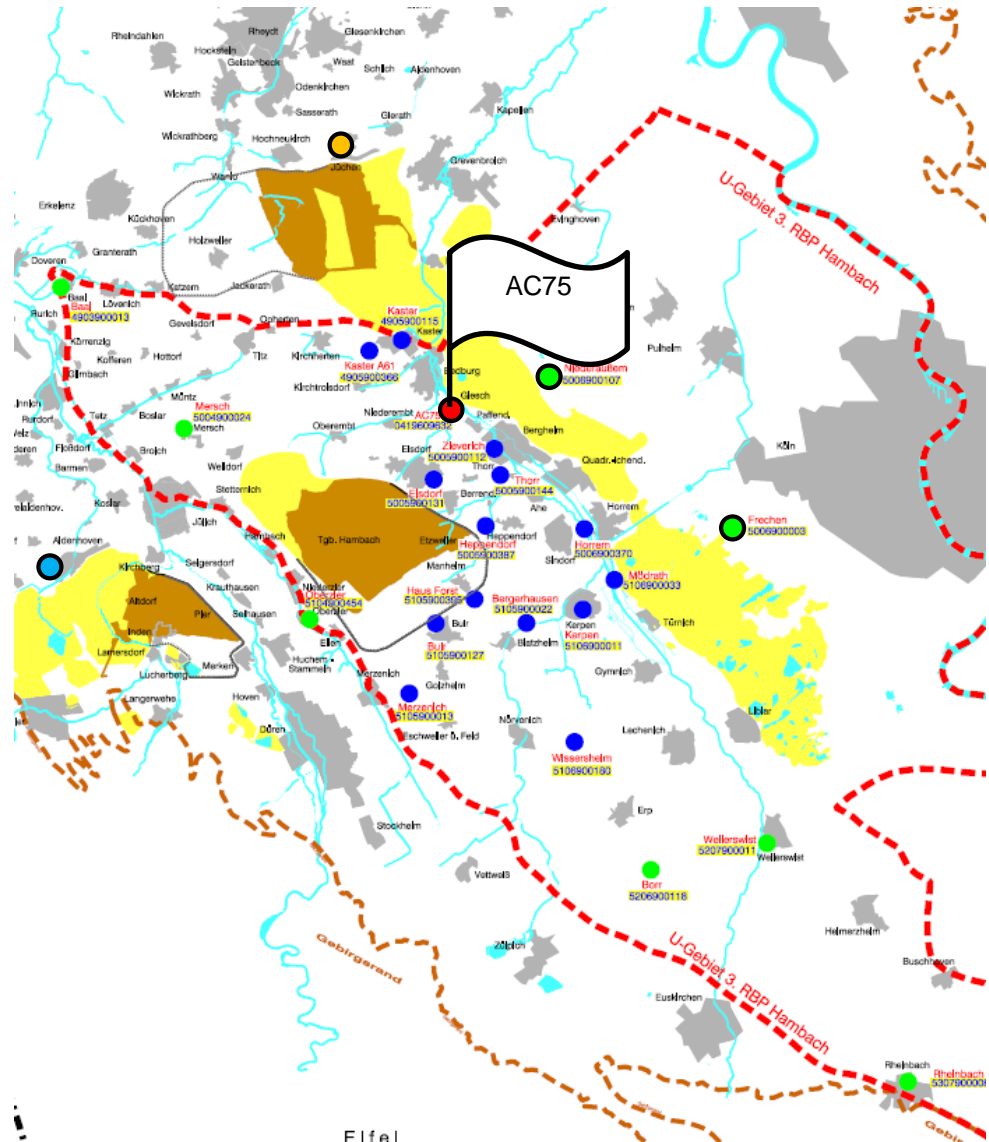
KASTER, KAPELLE, STR. KOENIGSHOVEN - KAS Mauerbolzen 4905900115									
Datum	Uhrzeit	Dezirk	E-Engullung & 25	Profil	Einartpunkt	Höhe	[mm]	[mm]	[mm/a]
15.05.1955	00:00:00	9999	E	N	N	66,84500	0,0	0,0	0,0
13.04.1957	00:00:00	9999	E	N	N	66,82200	-23,0	-23,0	-12,0
09.05.1959	00:00:00	9999	E	N	N	66,79000	-32,0	-55,0	-15,5
07.04.1960	00:00:00	9999	E	N	N	66,75700	-33,0	-88,0	-36,1
08.05.1961	00:00:00	9999	E	N	N	66,70400	-53,0	-141,0	-48,9
06.05.1962	00:00:00	9999	E	N	N	66,61700	-87,0	-228,0	-87,5
31.05.1963	00:00:00	9999	E	N	N	66,53400	-83,0	-311,0	-77,7
14.06.1965	00:00:00	9999	E	N	N	66,39700	-137,0	-448,0	-67,2
18.05.1967	00:00:00	9999	E	N	N	66,26200	-135,0	-583,0	-70,1
04.06.1969	00:00:00	9999	E	N	N	66,13400	-128,0	-711,0	-62,5
17.05.1970	00:00:00	9999	E	N	N	66,10500	-29,0	-740,0	-30,5
03.05.1971	00:00:00	9999	E	N	N	66,07500	-30,0	-770,0	-31,2
02.05.1972	00:00:00	9999	E	N	N	66,04200	-33,0	-803,0	-33,0
29.05.1973	00:00:00	9999	E	N	N	66,01200	-30,0	-833,0	-28,0
09.05.1974	00:00:00	9999	E	N	N	65,99900	-13,0	-846,0	-13,8
07.09.1975	00:00:00	9999	E	N	N	65,97300	-26,0	-872,0	-19,5
25.04.1977	00:00:00	9999	E	N	N	65,91400	-59,0	-931,0	-36,2
28.04.1979	00:00:00	9999	E	N	N	65,83300	-81,0	-1012,0	-10,4



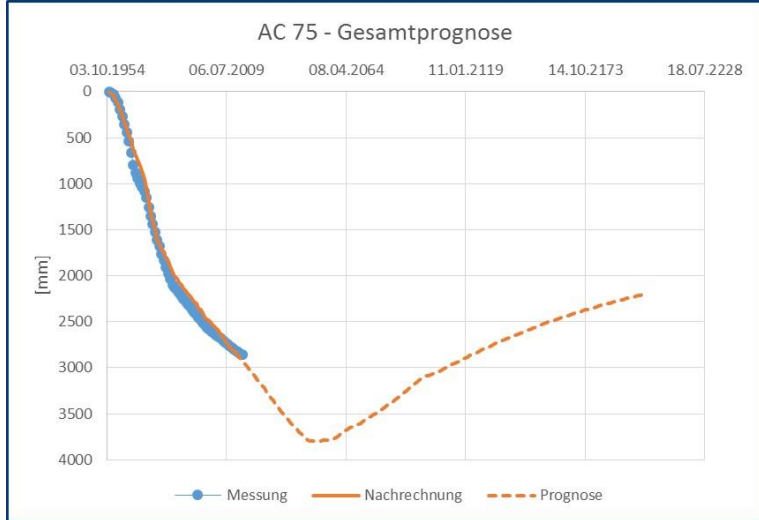
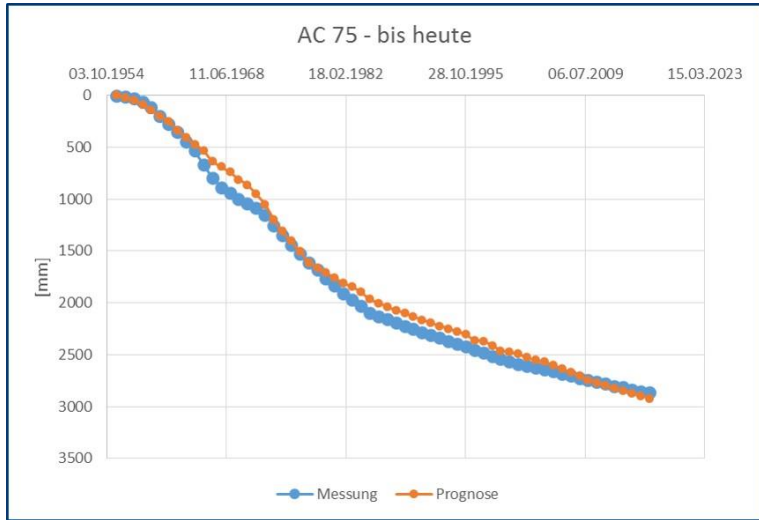
# Ausgangspunkt

## Ergebnisse




























- 01 AC 75 - Übergordneter Ordner
- 02 Jüchen - Venloer Scholle
- 03 Niedermerz - Rur-Scholle
- 04 - 17 ----- Zieglerpunkte - Erftscholle
- 04 Kaster
- 05 Kaster A61
- 06 RWE - Elsdorf
- 07 RWE - Zieverich
- 08 RWE - Thorr
- 09 Horrem
- 10 Mödrath
- 11 Kerpen
- 12 Heppendorf
- 13 Haus Forst
- 14 Bergerhausen
- 15 Buir
- 16 Merzenich
- 17 Wissersheim
- 18 - 23 ----- Zusatzpunkte Bergamt - Erftscholle
- 18 RWE - Baal
- 19 Mersch
- 20 Oberzier
- 21 Borr
- 22 Weilerswist
- 23 RWE - Rheinbach
- 24 - 25 ----- Zusatzpunkte Bergamt - Kölner Scholle
- 24 RWE - Niederaußem
- 25 Frechen

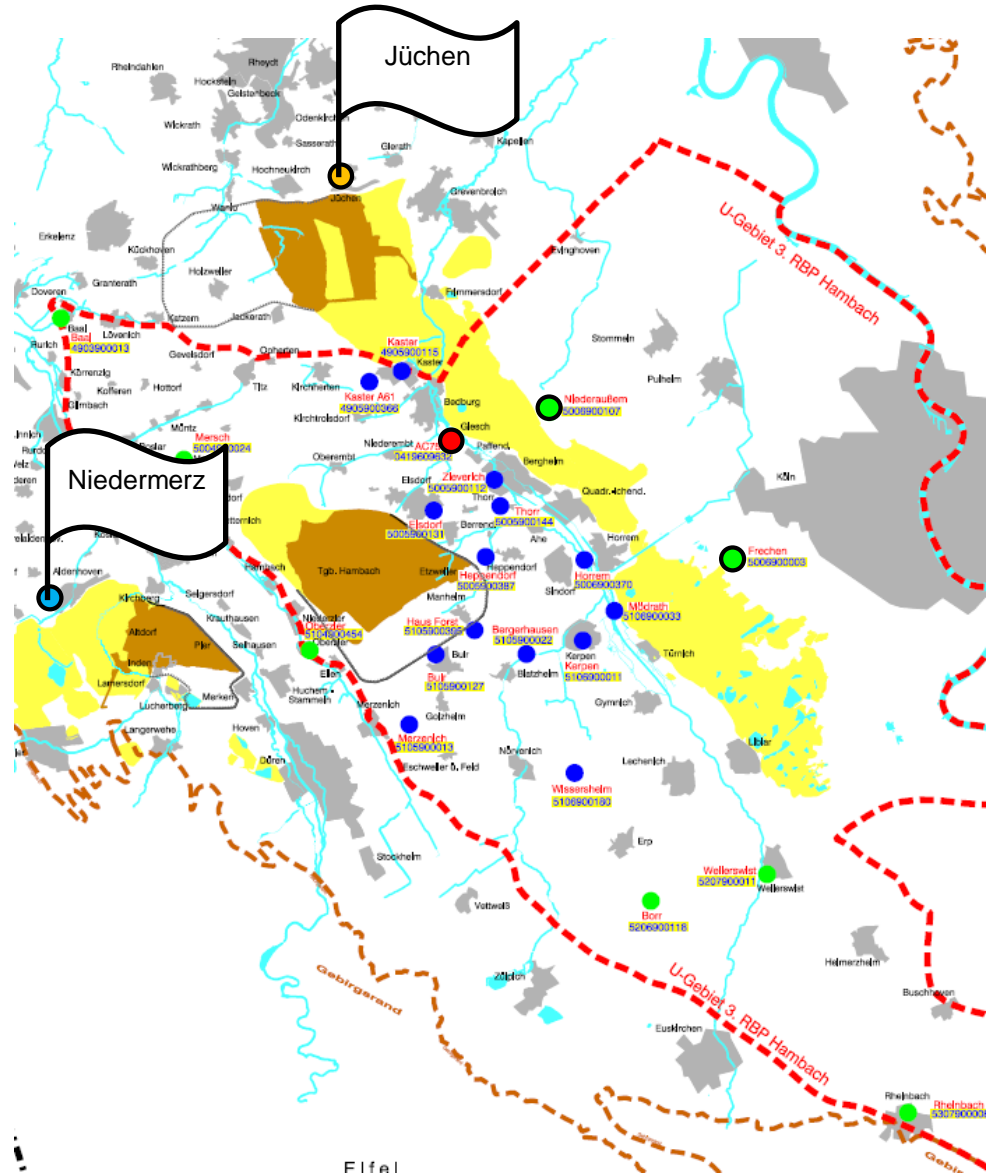


# Ausgangspunkt



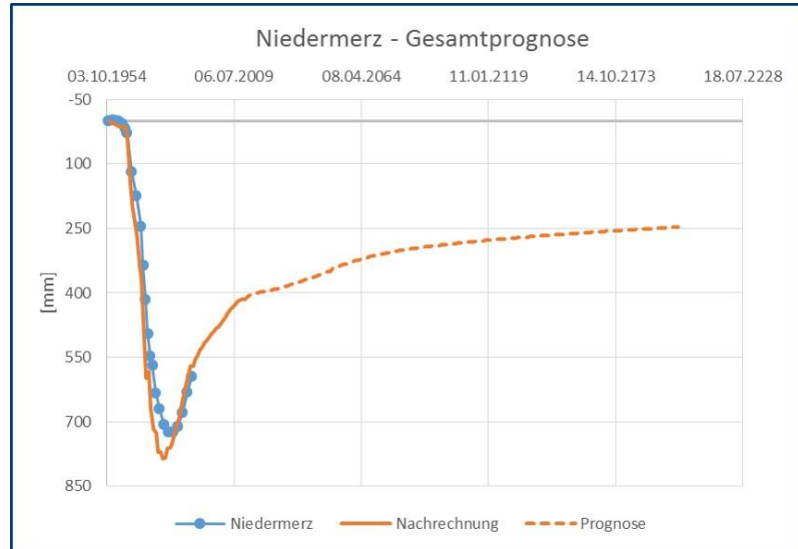
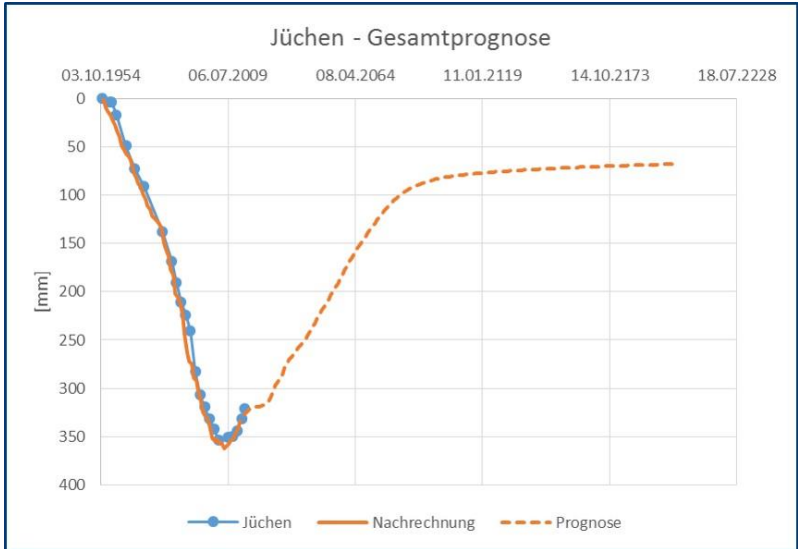
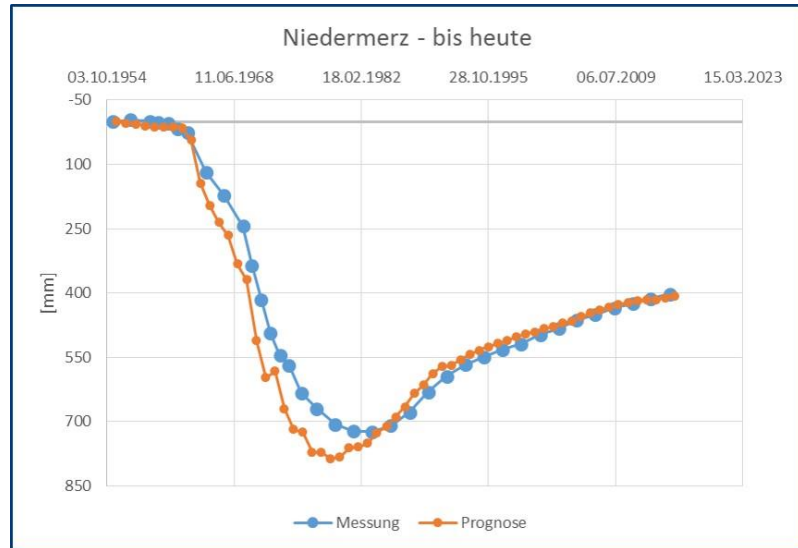
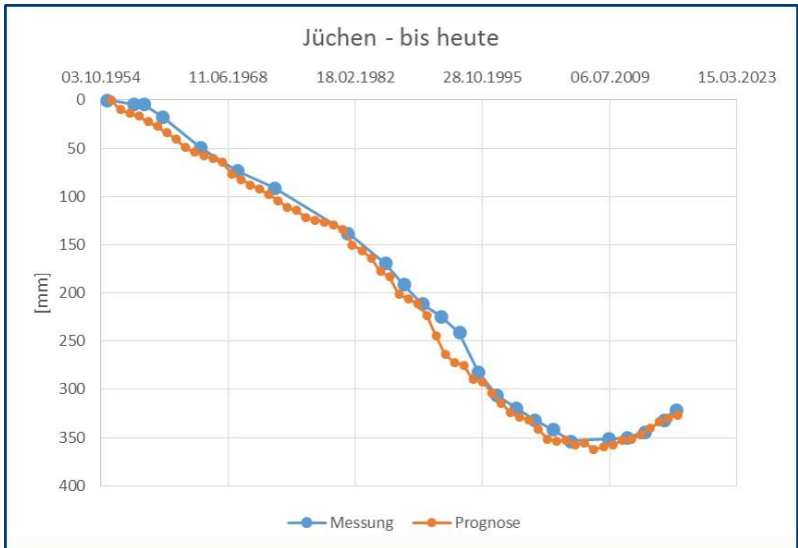
# Venloer und Rur-Scholle mit Hebungen

-  01 AC 75 - Übergordneter Ordner
-  02 Jüchen - Venloer Scholle
-  03 Niedermerz - Rur-Scholle
-  04 - 17 ----- Zieglerpunkte - Erftscholle
-  04 Kaster
-  05 Kaster A61
-  06 RWE - Elsdorf
-  07 RWE - Zieverich
-  08 RWE - Thorr
-  09 Horrem
-  10 Mödrath
-  11 Kerpen
-  12 Heppendorf
-  13 Haus Forst
-  14 Bergerhausen
-  15 Buir
-  16 Merzenich
-  17 Wissersheim
-  18 - 23 ----- Zusatzpunkte Bergamt - Erftscholle
-  18 RWE - Baal
-  19 Mersch
-  20 Oberzier
-  21 Borr
-  22 Weilerswist
-  23 RWE - Rheinbach
-  24 - 25 ----- Zusatzpunkte Bergamt - Kölner Scholle
-  24 RWE - Niederaußem
-  25 Frechen



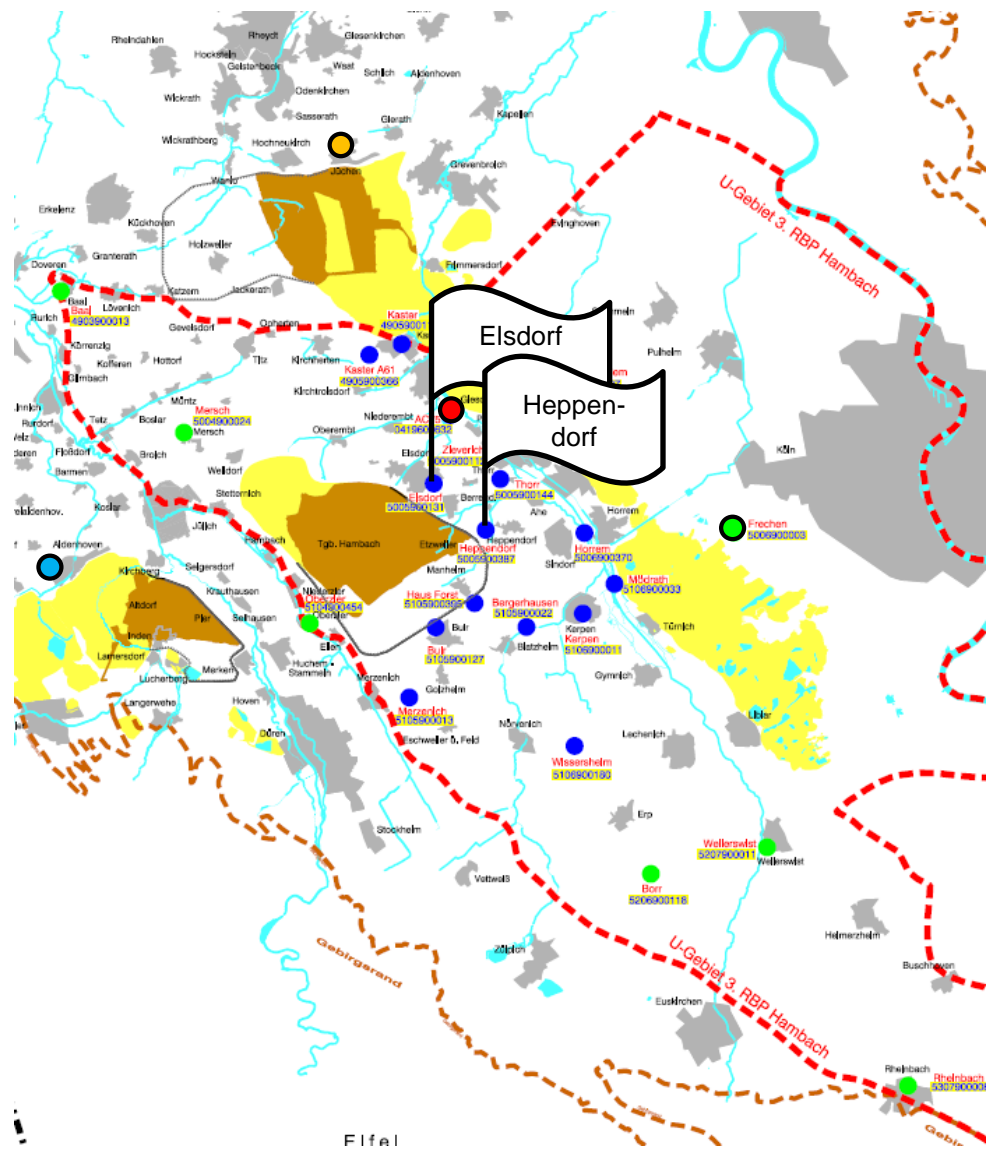
Fifel

# Venloer und Rur-Scholle mit Hebungen



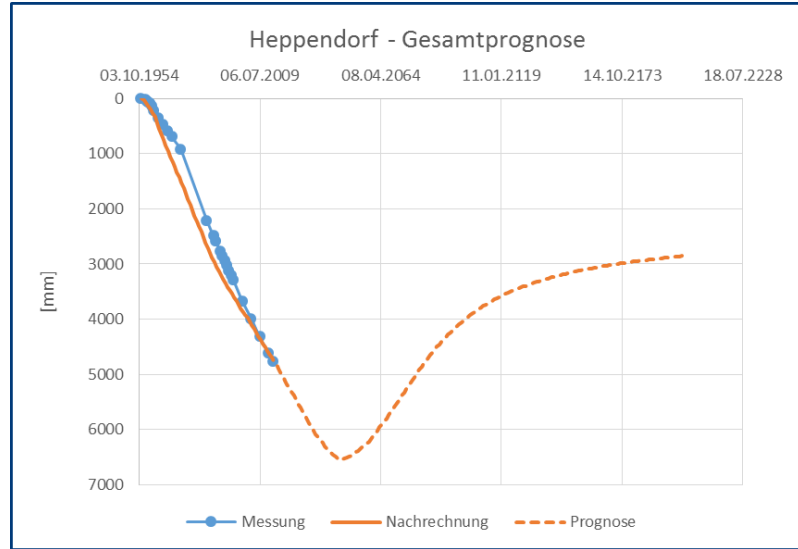
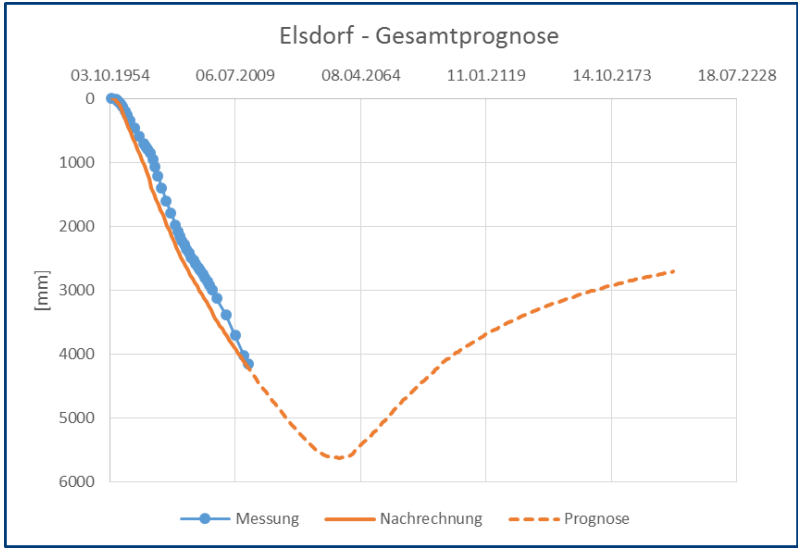
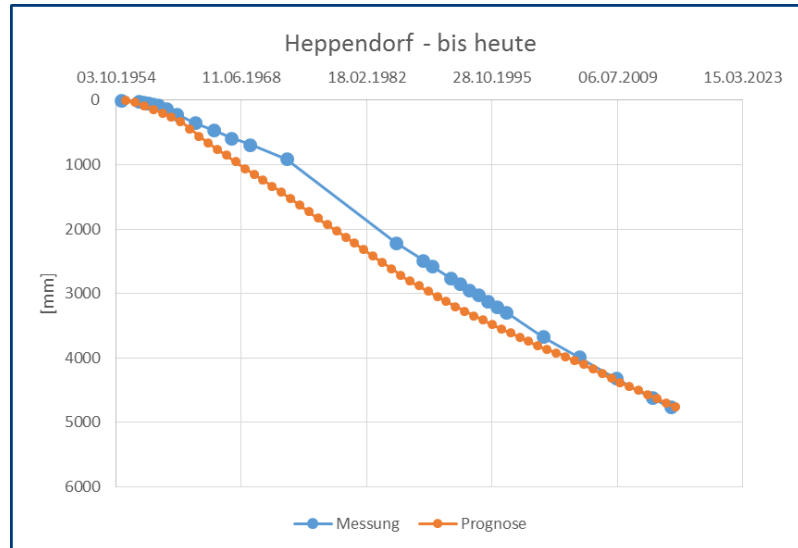
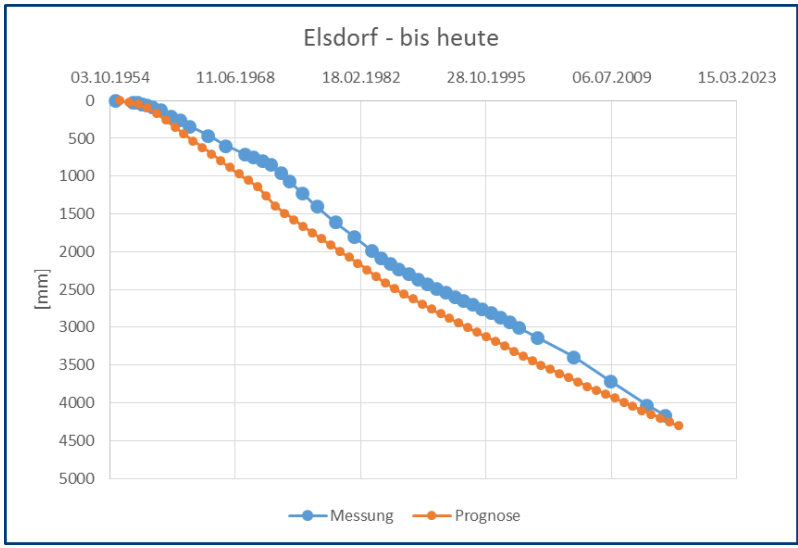
# Setzungsschwerpunkt

- 01 AC 75 - Übergordneter Ordner
- 02 Jüchen - Venloer Scholle
- 03 Niedermerz - Rur-Scholle
- 04 - 17 ----- Zieglerpunkte - Erftscholle
- 04 Kaster
- 05 Kaster A61
- 06 RWE - Elsdorf
- 07 RWE - Zieverich
- 08 RWE - Thorr
- 09 Horrem
- 10 Mödrath
- 11 Kerpen
- 12 Heppendorf
- 13 Haus Forst
- 14 Bergerhausen
- 15 Buir
- 16 Merzenich
- 17 Wissersheim
- 18 - 23 ----- Zusatzpunkte Bergamt - Erftscholle
- 18 RWE - Baal
- 19 Mersch
- 20 Oberzier
- 21 Borr
- 22 Weilerswist
- 23 RWE - Rheinbach
- 24 - 25 ----- Zusatzpunkte Bergamt - Kölner Scholle
- 24 RWE - Niederaußem
- 25 Frechen
































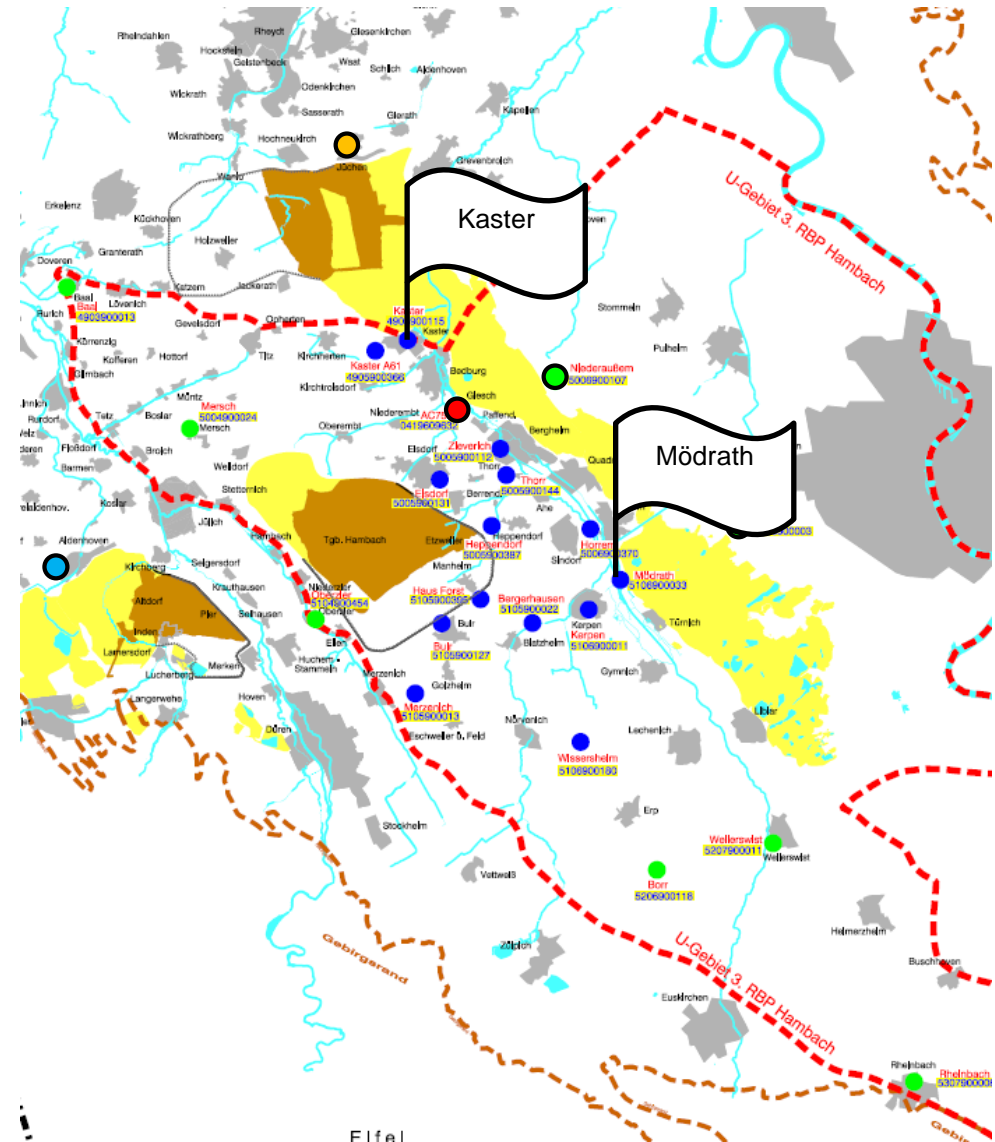
# Setzungsschwerpunkt



# Ergebnisse

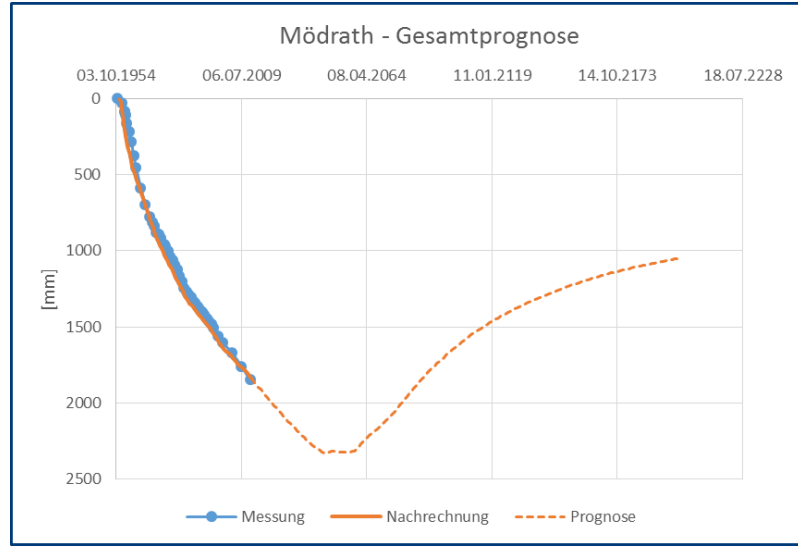
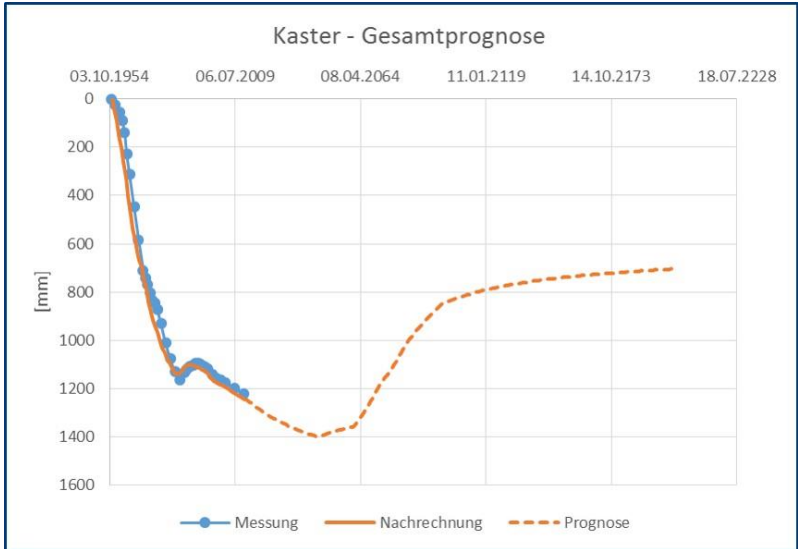
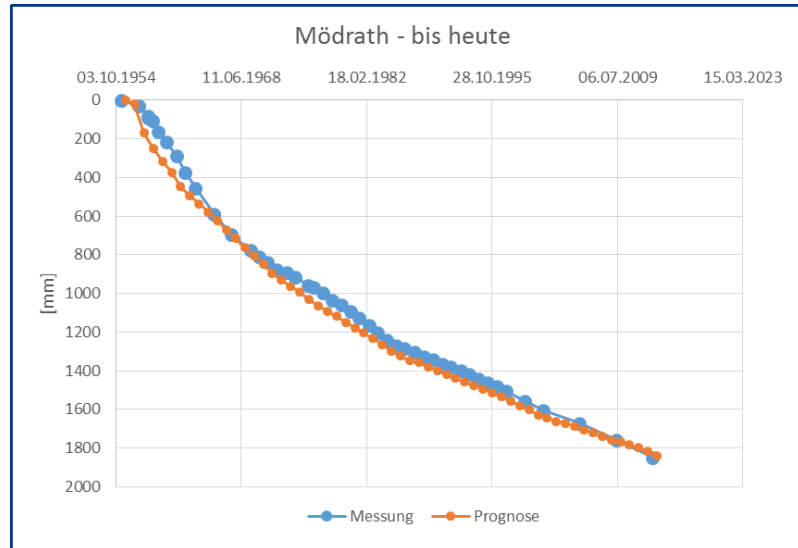
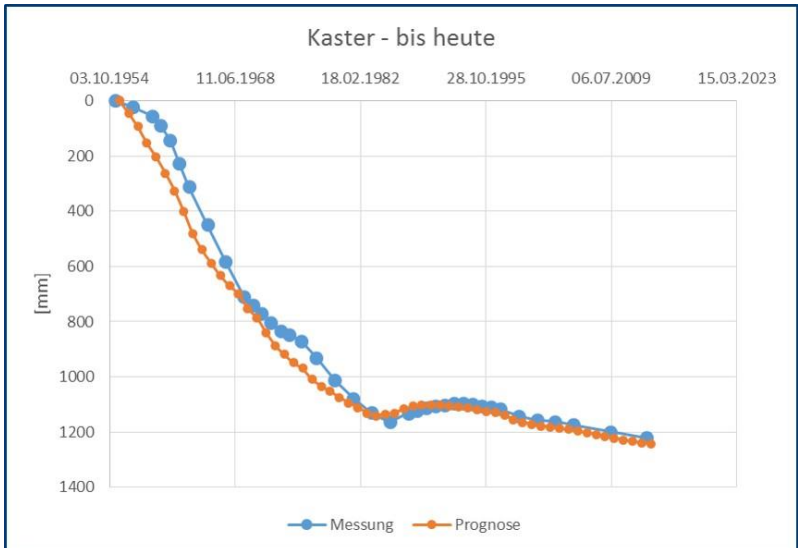
## Erftniederung

-  01 AC 75 - Übergordneter Ordner
-  02 Jüchen - Venloer Scholle
-  03 Niedermerz - Rur-Scholle
-  04 - 17 ----- Zieglerpunkte - Erftscholle
-  04 Kaster
-  05 Kaster A61
-  06 RWE - Elsdorf
-  07 RWE - Zieverich
-  08 RWE - Thorr
-  09 Horrem
-  10 Mödrath
-  11 Kerpen
-  12 Heppendorf
-  13 Haus Forst
-  14 Bergerhausen
-  15 Buir
-  16 Merzenich
-  17 Wissersheim
-  18 - 23 ----- Zusatzpunkte Bergamt - Erftscholle
-  18 RWE - Baal
-  19 Mersch
-  20 Oberzier
-  21 Borr
-  22 Weilerswist
-  23 RWE - Rheinbach
-  24 - 25 ----- Zusatzpunkte Bergamt - Kölner Scholle
-  24 RWE - Niederaußem
-  25 Frechen



Fifel

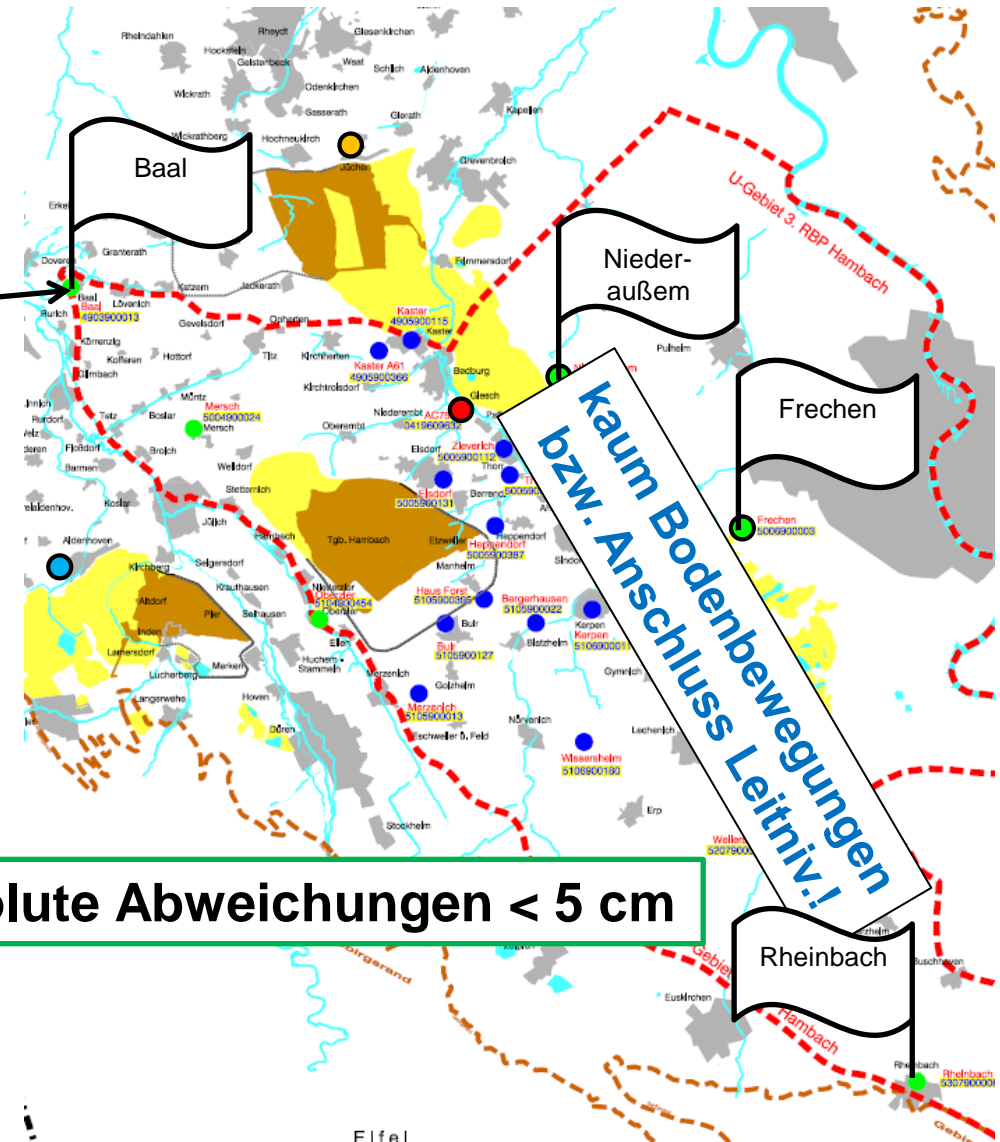
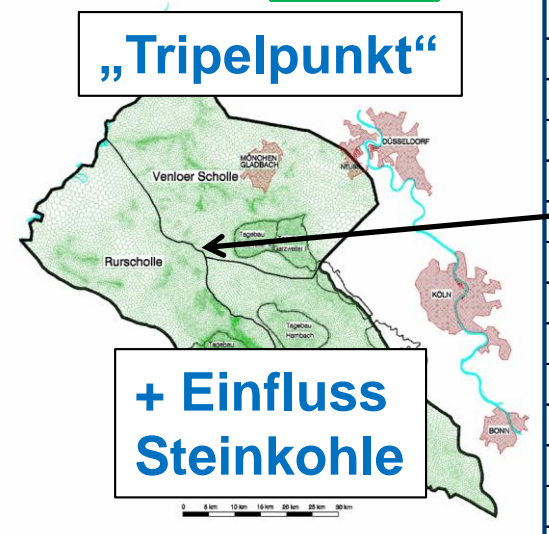
# Erftniederung



# Ergebnisdiskussion

## Güte der Nachrechnung – Punkte mit Abweichungen

Punkt	Setzung in 2013 [mm]		Abweichung	
	Messung	Prognose	[mm]	[%]
AC 75				
Jüchen				
Niedermerz				
Kaster				
Kaster A61				
Elsdorf				
Zieverich				
Thorr				
Horrem				
Mödrath				
Kerpen				
Heppendorf				
Haus Forst				
Bergerhaus.	2740	2744	-4	-0,1
Buir	2044	2032	12	0,6
Merzenich	894	895	-1	-0,1
Wissersh.	1025	1021	4	0,4
<b>Baal</b>	209	250	-41	-19,6
Mersch	661	657	4	0,6
Oberzier	644	649	-5	-
Borr	266	263	3	-
Weilersw.	483	483	0	0,0
<b>Rheinbach</b>	-6	3	-9	150,0
<b>Niederauß.</b>	144	150	-6	-4,2
<b>Frechen</b>	18	53	-35	-194,4



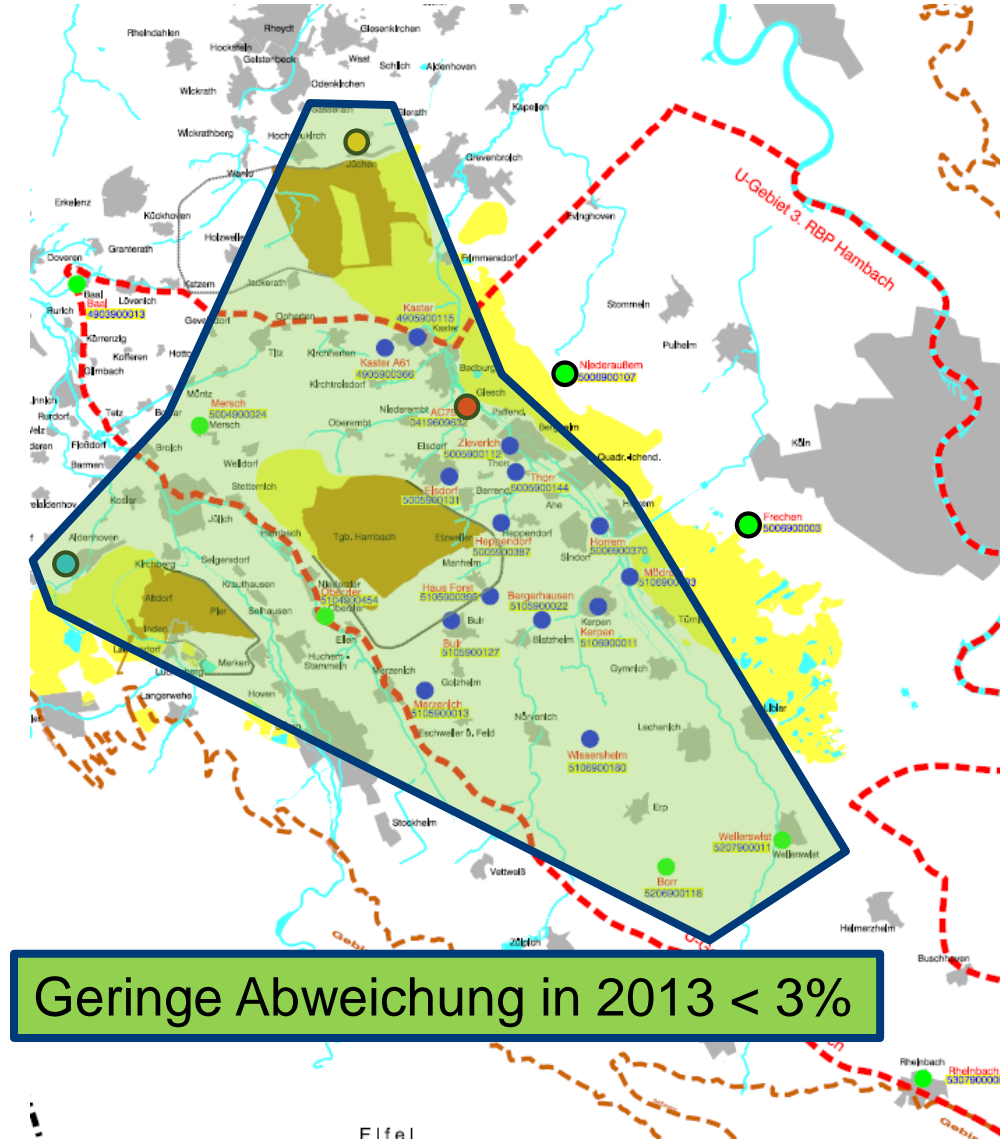
**Absolute Abweichungen < 5 cm**

**kaum Bodenbewegungen  
bzw. Anschluss Leitniv.!**

# Ergebnisdiskussion

## Güte der Nachrechnung – Punkte mit guter Übereinstimmung

Punkt	Setzung in 2013 [mm]		Abweichung	
	Messung	Prognose	[mm]	[%]
AC 75	2815	2843	-28	-1,0
Jüchen	340	340	0	0,0
Niedermerz	410	415	-5	-1,2
Kaster	1222	1244	-22	-1,8
Kaster A61	964	952	12	1,2
Elsdorf	4062	4150	-88	-2,2
Zieverich	3204	3202	2	0,1
Thorr	3397	3404	-7	-0,2
Horrem	2747	2741	6	0,2
Mödrath	1860	1839	21	1,1
Kerpen	1915	1924	-9	-0,5
Heppendorf	4657	4635	22	0,5
Haus Forst	2240	2177	63	2,8
Bergerhaus.	2740	2744	-4	-0,1
Buir	2044	2032	12	0,6
Merzenich	894	895	-1	-0,1
Wissersh.	1025	1021	4	0,4
Baal	209	250	-41	-19,6
Mersch	661	657	4	0,6
Oberzier	644	649	-5	-0,8
Borr	266	263	3	1,1
Weilersw.	483	483	0	0,0
Rheinbach	-6	3	-9	150,0
Niederauß.	144	150	-6	-4,2
Frechen	18	53	-35	-194,4

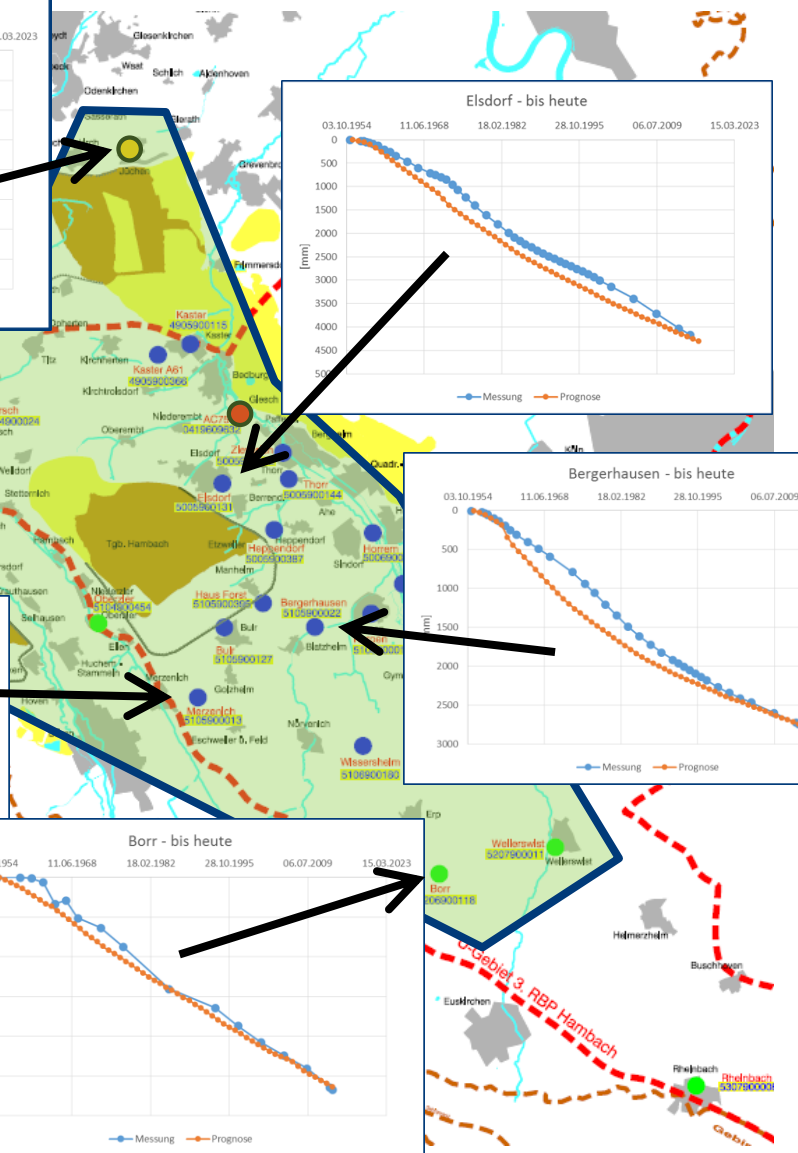
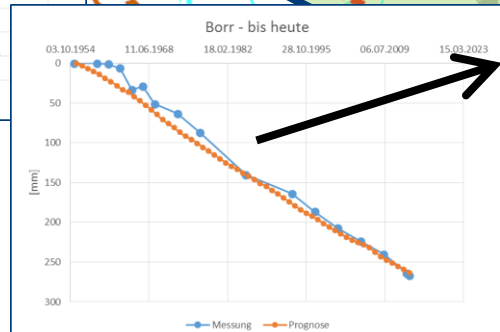
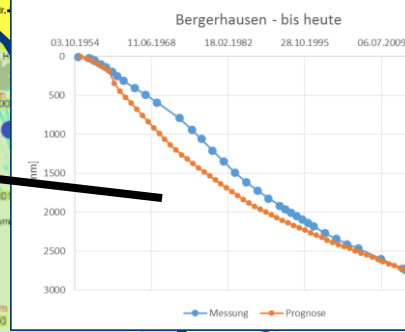
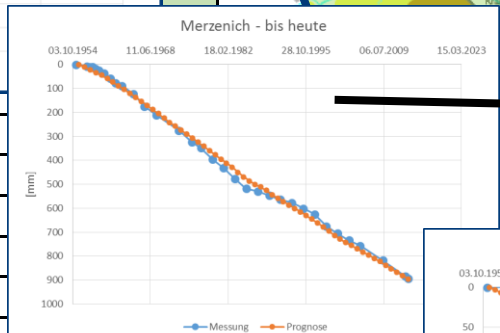
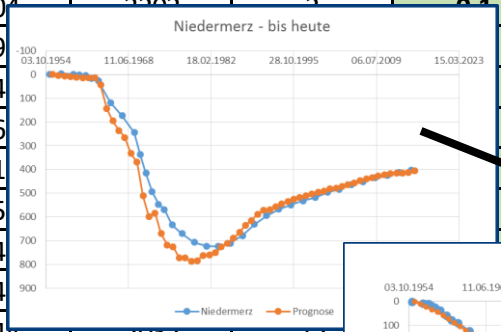
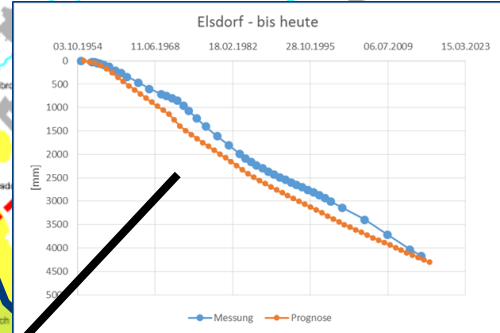
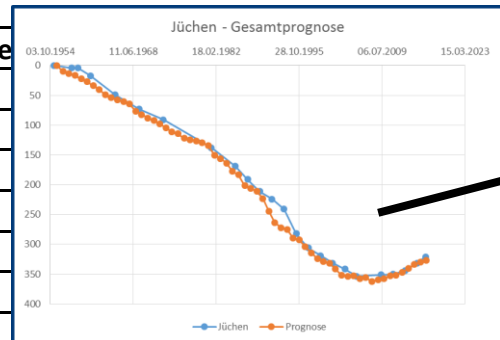


# Ergebnisdiskussion

## Güte der Nachrechnung – Punkte mit guter Übereinstimmung

Punkt	Setzung in 2013 [mm]		Abwe [mm]	
	Messung	Prognose		
AC 75	2815	2843	-28	
Jüchen	340	340	0	
Niedermerz	410	415	-5	
Kaster	1222	1244	-22	
Kaster A61	964	952	12	
Elsdorf	4062	4150	-88	
Zieverich	3204	3202	2	
Thorr	339	339	0	
Horrem	274	274	0	
Mödrath	186	186	0	
Kerpen	191	191	0	
Heppendorf	465	465	0	
Haus Forst	224	224	0	
Bergerhaus.	274	274	0	
Buir	2044	2052	-12	
Merzenich	894	895	-1	
Wissersh.	1025	1021	4	
Baal	209	250	-41	
Mersch	661	657	4	
Oberzier	644	649	-5	
Borr	266	262	3	
W			0	0,0
Rh			-9	150,0
Ni			-6	-4,2
Frechen	18	53	-35	-194,4

**Gute Abbildung der Verläufe bis 2013**



aktuell ...

## Datengrundlage Kalibrierung

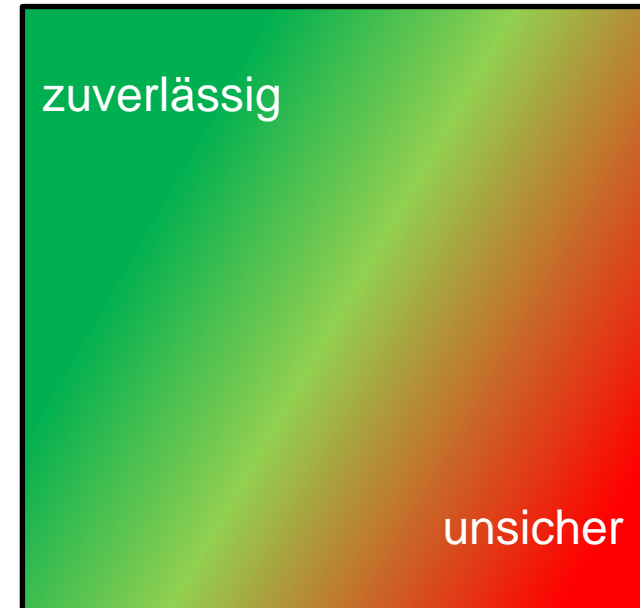
## Güte Prognose

Setzungen    Hebungen

Setzungen    Hebungen

nichtbindig

	Setzungen	Hebungen
nichtbindig	sehr gut	mäßig
bindig	gut	keine



... noch gewisse Unsicherheiten mangels ausreichender Datengrundlage

... bei fortlaufender Kalibrierung ...

## Datengrundlage Kalibrierung

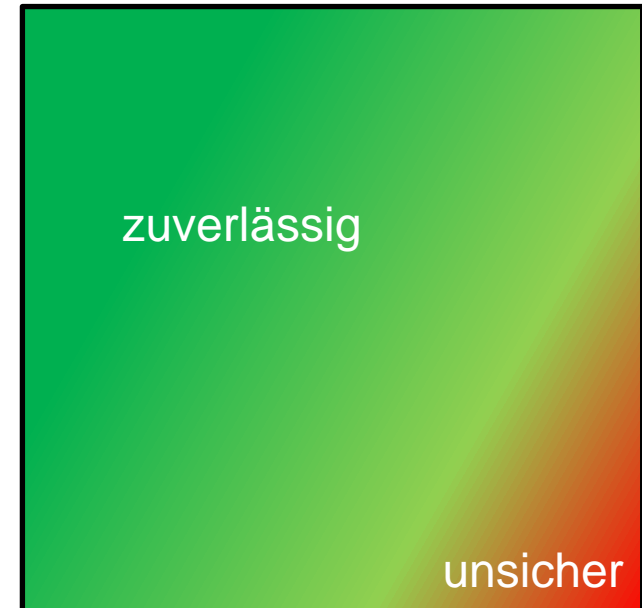
## Güte Prognose

Setzungen    Hebungen

Setzungen    Hebungen

nichtbindig

	Setzungen	Hebungen
nichtbindig	sehr gut	gut
bindig	sehr gut	mäßig




... stetige Verbesserung durch bessere Datengrundlage



## Anwendung des Modells im Auftrag des LANUV...

Zwischenbericht  
zur  
Berechnung und Prognose von  
Bodenbewegungen mit Sensitivitätsanalyse im  
Rheinischen Braunkohlerevier

**Landesamt für Natur,  
Umwelt und Verbraucherschutz  
Nordrhein-Westfalen**



Projektleitung: Dr. Sabine Bergmann  
 Projektbearbeitung: Anke Boockmeyer

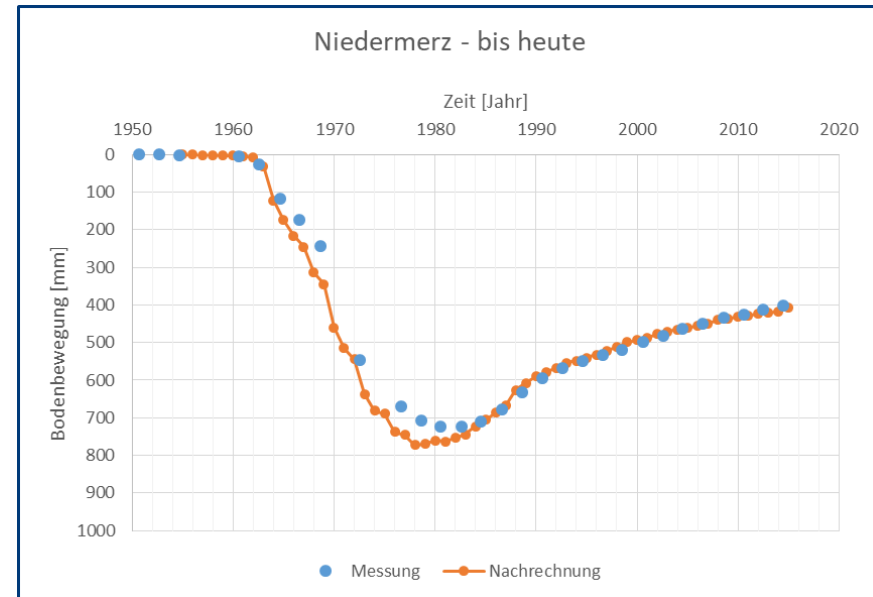
Auftragnehmer: ZAI Ziegler und Aulbach Ingenieurgesellschaft mbH

Projektleitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler  
 Dr.-Ing. Benjamin Aulbach

Projektbearbeitung: Dr.-Ing. Benjamin Aulbach  
 Michael Knops, M.Sc.  
 Maximilian Schröder, B.Sc.

Umfang: 56 Seiten Text  
 1 Seite Anhang

Datum: 06. August 2018



- Sensitivitätsanalyse für Niedermerz
- 12 weitere Punkte (in Bearbeitung)
- Geologie & GW-Daten vom LANUV

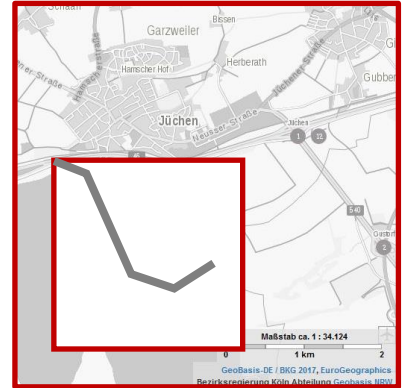
**... ebenfalls sehr gute Abbildung der Bodenbewegung!**

**Geologie** + **Grundwasser** ⇒ **Bodenverhalten** ⇒ **Bewegungen**

Horizont in m	Horizont- höhen in m	Beschreibung der Oberflächenebenen	Horizont- höhen in m	Horizont- höhen in m
0,3	0,3	Mutterboden	0-10	10
3,0	3,0	Schluff	10-19	19
14,7	14,7	Fenikies-Grobbles, gelb-braun, teilweise mit Feuersteingerößen	19-20	20
19,2	19,2	1,0 Ton, gelb, schwach sandig, schwach schüffig	20-21	21
21,0	21,0	1,7 Feinkies-Grobbles, gelb-braun, tonig, schwach sandig, schwach schüffig, schwach sträßig	21-22	22
22,0	22,0	1,0 Mittelsand, gelb-braun	22-23	23
23,0	23,0	1,0 Ton, hellbraun, schwach humos, schüffig	23-24	24
24,0	24,0	1,0 Ton, hellbraun, schwach humos, schüffig	24-25	25
24,0	24,0	0,3 Feinsand, hellgelb-hellgrau	25-25,3	25,3
25,3	25,3	1,0 Ton, dunkelbraun, teilweise humos	25,3-26	26
27,0	27,0	0,8 K o s i s, teilweise kohlig	26-26,8	26,8
30,0	30,0	0,3 Feinsand-Mittelsand, grau-hellgrau	26,8-27,1	27,1
37,0	37,0	1,4 Ton, dunkelgelb-braun, teilweise humos	27,1-28,5	28,5
37,0	37,0	0,3 Feinsand-Mittelsand, grau, tonig	28,5-28,8	28,8
38,0	38,0	1,0 Feinsand-Mittelsand	28,8-29,8	29,8
39,0	39,0	1,0 Ton, braun, stark humos	29,8-30,8	30,8
44,0	44,0	0,1 Mittelsand, grau	30,8-30,9	30,9
47,0	47,0	0,7 Schluff-Ton, grau-hellbraun	30,9-31,6	31,6
49,0	49,0	1,0 Ton, braun, schüffig, teilweise humos, kohlig	31,6-32,6	32,6
51,0	51,0	1,0 Ton, grau	32,6-33,6	33,6
54,0	54,0	0,4 Feinsand-Mittelsand, grau-braun	33,6-34,0	34,0
60,0	60,0	1,0 Mittelsand, grau	34,0-35,0	35,0
70,0	70,0	1,0 Mittelsand-Grobsand, grau, tonig	35,0-36,0	36,0



GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Konsolidation ...  
Setzungen  
Hebungen ...



Realität

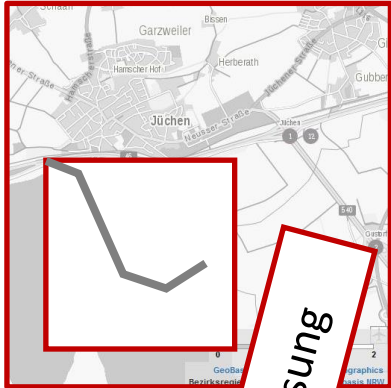
# Fazit

## Geologie + Grundwasser ⇒ Bodenverhalten ⇒ Bewegungen

Profilhöhe über NN	Schichtdicke in m	Beschreibung der Obergraben	Profilhöhe über NN	Profilhöhe über NN
0.3	0.3	Mutterboden	19	19
3.8	3.8	Schluff	19	19
14.7	14.7	Fineis-Grobbles, gelb-braun, teilweise mit Feuersteingerößen	19	19
19.2	1.6	Ton, gelb, schwach sandig, schwach schüffig	19	19
21.0	1.7	Fineis-Grobbles, gelb-braun, tonig, schwach sandig, schwach schüffig, schwach sträßig	19	19
22.0	1.0	Mittelsand, gelb-braun	19	19
23.0	1.0	Ton, hellbraun, schwach humos, schüffig	19	19
24.0	1.0	Ton, hellbraun, schwach humos, schüffig	19	19
24.0	0.3	Fineisand, hellgelb-hellgrün	19	19
25.1	1.0	Ton, dunkelbraun, teilweise humos	19	19
27.1	0.9	K o s i s - teilweise hollig	19	19
30.0	0.3	Fineisand-Mittelsand, grau-hellgrün	19	19
31.0	1.4	Ton, dunkelgelb-braun, teilweise humos	19	19
37.2	0.3	Fineisand-Mittelsand, grau, tonig	19	19
38.2	1.0	Fineisand-Mittelsand	19	19
39.3	1.0	Ton, braun, stark humos	19	19
44.0	0.1	Mittelsand, grau	19	19
47.3	0.7	Schluff-Ton, grau	19	19
49.0	0.9	Ton, braun, schüffig	19	19
51.0	0.3	Ton, grau	19	19
54.2	2.4	Fineisand-Mittelsand, grau	19	19
60.2	0.0	Mittelsand, grau	19	19
70.2	10.0	Mittelsand-Grobsand, grau	19	19



GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Umlagerungen ...



Realität

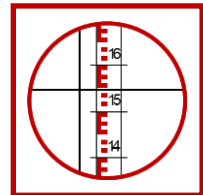
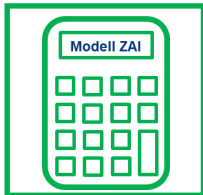
Modell



+



⇒



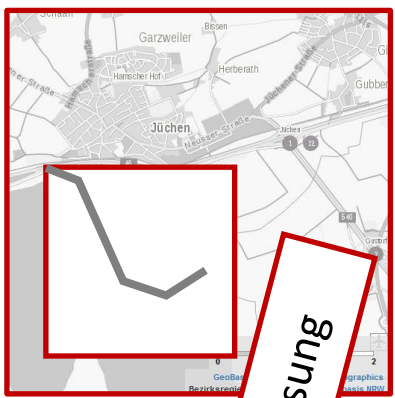
# Fazit

## Geologie + Grundwasser ⇒ Bodenverhalten ⇒ Bewegungen

Profilhöhe in m	Profiltiefe in m	Beschreibung der Oberflächenschichten	Profilnummer	Profilhöhe in m	Profiltiefe in m
0.0	0.0	Mutterboden	19	0.0	0.0
3.0	3.0	Schluff	19	3.0	3.0
14.7	14.7	Fenellie-Grobbles, gelb-braun, teilweise mit Feuersteingerößen	19	14.7	14.7
18.0	18.0	Ton, gelb, schwach sandig, schwach schüffig	19	18.0	18.0
21.0	21.0	Fenellie-Grobbles, gelb-braun, tonig, schwach sandig, schwach schüffig, schwach strahlig	19	21.0	21.0
22.0	22.0	Mittelsand, gelb-braun	19	22.0	22.0
23.0	23.0	Ton, hellbraun, schwach humos, schüffig	19	23.0	23.0
24.0	24.0	Fenellie-Grobbles, gelb-gelblich, tonig	19	24.0	24.0
25.0	25.0	Fenellie-Grobbles, gelblich, tonig	19	25.0	25.0
26.0	26.0	Ton, dunkelbraun, teilweise humos	19	26.0	26.0
27.0	27.0	K o h i s - teilweise hollig	19	27.0	27.0
28.0	28.0	Fenellie-Grobbles, grau-schwarz	19	28.0	28.0
29.0	29.0	Ton, dunkelgrünlich-braun, teilweise humos	19	29.0	29.0
30.0	30.0	Fenellie-Grobbles, grau, tonig	19	30.0	30.0
31.0	31.0	Fenellie-Grobbles, grau, tonig	19	31.0	31.0
32.0	32.0	Fenellie-Grobbles, grau, tonig	19	32.0	32.0
33.0	33.0	Ton, braun, stark humos	19	33.0	33.0
34.0	34.0	Mittelsand, grau	19	34.0	34.0
35.0	35.0	Ton, braun, schüffig	19	35.0	35.0
36.0	36.0	Ton, grau	19	36.0	36.0
37.0	37.0	Fenellie-Grobbles, grau	19	37.0	37.0
38.0	38.0	Mittelsand, grau	19	38.0	38.0
39.0	39.0	Mittelsand, grau	19	39.0	39.0
40.0	40.0	Mittelsand, grau	19	40.0	40.0
41.0	41.0	Mittelsand, grau	19	41.0	41.0
42.0	42.0	Mittelsand, grau	19	42.0	42.0
43.0	43.0	Mittelsand, grau	19	43.0	43.0
44.0	44.0	Mittelsand, grau	19	44.0	44.0
45.0	45.0	Mittelsand, grau	19	45.0	45.0
46.0	46.0	Mittelsand, grau	19	46.0	46.0
47.0	47.0	Mittelsand, grau	19	47.0	47.0
48.0	48.0	Mittelsand, grau	19	48.0	48.0
49.0	49.0	Mittelsand, grau	19	49.0	49.0
50.0	50.0	Mittelsand, grau	19	50.0	50.0
51.0	51.0	Mittelsand, grau	19	51.0	51.0
52.0	52.0	Mittelsand, grau	19	52.0	52.0
53.0	53.0	Mittelsand, grau	19	53.0	53.0
54.0	54.0	Mittelsand, grau	19	54.0	54.0
55.0	55.0	Mittelsand, grau	19	55.0	55.0
56.0	56.0	Mittelsand, grau	19	56.0	56.0
57.0	57.0	Mittelsand, grau	19	57.0	57.0
58.0	58.0	Mittelsand, grau	19	58.0	58.0
59.0	59.0	Mittelsand, grau	19	59.0	59.0
60.0	60.0	Mittelsand, grau	19	60.0	60.0
61.0	61.0	Mittelsand, grau	19	61.0	61.0
62.0	62.0	Mittelsand, grau	19	62.0	62.0
63.0	63.0	Mittelsand, grau	19	63.0	63.0
64.0	64.0	Mittelsand, grau	19	64.0	64.0
65.0	65.0	Mittelsand, grau	19	65.0	65.0
66.0	66.0	Mittelsand, grau	19	66.0	66.0
67.0	67.0	Mittelsand, grau	19	67.0	67.0
68.0	68.0	Mittelsand, grau	19	68.0	68.0
69.0	69.0	Mittelsand, grau	19	69.0	69.0
70.0	70.0	Mittelsand, grau	19	70.0	70.0



GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Rutschungen ...



Realität

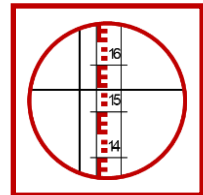
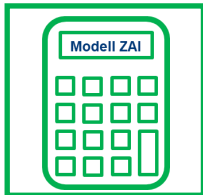
Modell



+



⇒



Nachrechnung



# Fazit

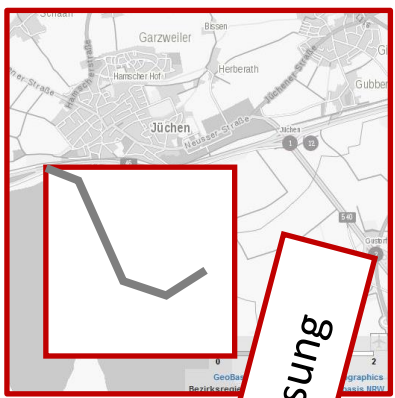
## Geologie + Grundwasser ⇒ Bodenverhalten ⇒ Bewegungen

Profilhöhe in m	Schichtdicke in m	Bezeichnung der Obergraben	Profilhöhe in m	Profilhöhe in m
0.3	0.3	Mutterboden	0	0
3.8	3.8	Schluff	10	10
14.7	14.7	Felskie-Grobbles, gelb-braun, teilweise mit Feuersteingerößen	20	20
18.2	1.6	Ton, gelb, schwach sandig, schwach schüffig	30	30
21.0	1.7	Felskie-Grobbles, gelb-braun, tonig, schwach sandig, schwach schüffig, schwach strällig	40	40
22.0	1.0	Mittelsand, gelb-braun	50	50
23.0	1.0	Ton, hellbraun, schwach humos, schüffig	60	60
24.0	1.0	Ton, hellbraun, schwach humos, schüffig	70	70
24.0	0.3	Felnsand, hellgelb-hellgrau	80	80
25.1	1.0	Ton, dunkelbraun, teilweise humos	90	90
27.0	0.9	K o s i s - teilweise hollig	100	100
30.0	0.3	Felnsand-Mittelsand, grau-hellgrau	110	110
31.0	1.4	Ton, dunkelgelb-braun, teilweise hollig	120	120
37.2	0.3	Felnsand-Mittelsand, grau, tonig	130	130
38.0	1.0	Felnsand-Mittelsand	140	140
39.0	1.0	Ton, braun, stark humos	150	150
40.0	0.1	Mittelsand, grau	160	160
47.0	0.7	Schluff-Ton, grau	170	170
49.0	2.0	Ton, braun, schüffig	180	180
51.0	2.0	Ton, grau	190	190
54.2	2.4	Felnsand-Mittelsand	200	200
60.2	6.0	Mittelsand, grau	210	210
70.2	10.0	Mittelsand-Grobsand, grau	220	220



GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Umlagerungen ...

Bodenmechanik

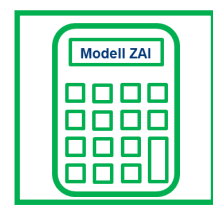


Realität

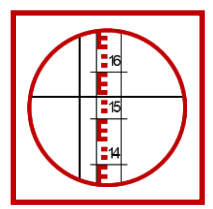
Modell



+



Kalibrierung



Nachrechnung

# Fazit

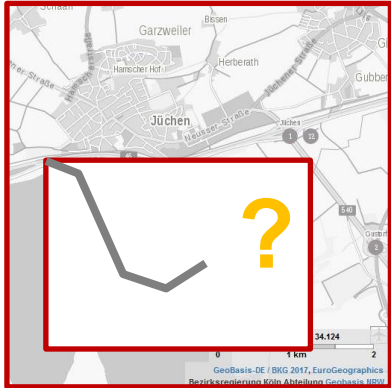
## Geologie + Grundwasser ⇒ Bodenverhalten ⇒ Bewegungen

Profilhöhe in m	Bohrloch- tiefe in m	Beschreibung der Oberflächenebenen	Bohrloch- tiefe in m	Profilhöhe in m
0.3	0.3	Mutterboden	0.3	10.4
3.0	3.0	Schluff	3.0	13.0
14.7	14.7	Felskie-Grobbles, gelb-braun, teilweise mit Feuersteingerößen	14.7	24.7
19.2	1.0	Ton, gelb, schwach sandig, schwach schüfflig	19.2	25.2
21.0	1.7	Felskie-Grobbles, gelb-braun, tonig, schwach sandig, schwach schüfflig, schwach strällig	21.0	26.7
22.0	1.0	Mittelsand, gelb-braun	22.0	27.7
23.0	1.0	Ton, hellbraun, schwach humos, schüfflig	23.0	28.7
24.3	1.3	Ton, hellbraun, schwach humos, schüfflig	24.3	29.7
24.8	0.5	Felsand, hellgelb-hellgrau	24.8	30.2
25.1	1.0	Ton, dunkelbraun, teilweise humos	25.1	31.2
27.0	0.9	K o s i s - teilweise holzig	27.0	32.1
30.0	0.3	Felsand-Mittelsand, grau-hellgrau	30.0	32.4
31.0	1.4	Ton, dunkelgrün-braun, teilweise fei	31.0	33.8
37.2	0.3	Felsand-Mittelsand, grau, tonig	37.2	34.1
38.2	1.0	Felsand-Mittelsand	38.2	35.1
39.3	1.0	Ton, braun, stark hum	39.3	36.1
40.0	0.1	Mittelsand, grau	40.0	36.2
47.3	0.7	Schluff-Ton, grau	47.3	36.9
49.0	0.9	Ton, braun, schüfflig	49.0	37.8
51.1	0.3	Ton, grau	51.1	38.1
54.2	0.4	Felsand-Mittelsand	54.2	38.5
60.2	0.0	Mittelsand, grau	60.2	38.5
70.2	10.0	Mittelsand-Grobsand, grau	70.2	48.5



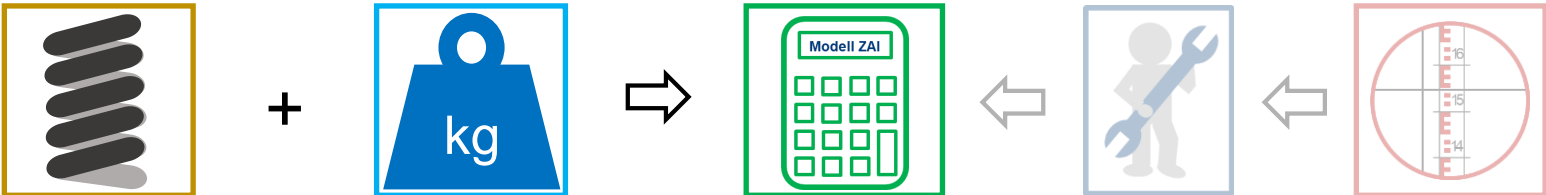
GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Bewegungen ...

Bodenmechanik

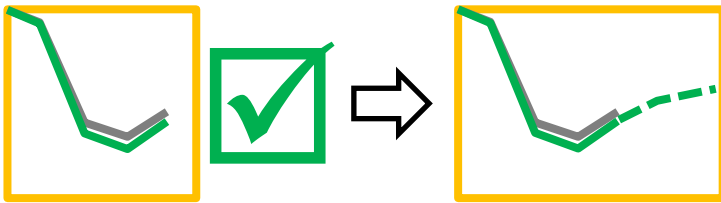


Realität

Modell



Nachrechnung / Prognose



# Fazit

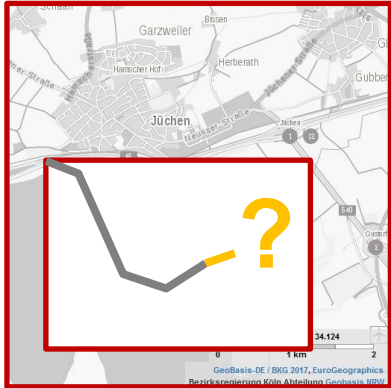
## Geologie + Grundwasser ⇒ Bodenverhalten ⇒ Bewegungen

Profilhöhe in m	Bohrloch- tiefe in m	Bezeichnung der Oberflächenebenen	Bohrloch- tiefe in m	Bohrloch- tiefe in m
0,3	0,3	Mutterboden	19	19
3,8	3,8	Schluff	19	19
14,7	14,7	Felskie-Grobbles, gelb-braun, teilweise mit Feuersteingerößen	19	19
19,2	1,6	Ton, gelb, schwach sandig, schwach schüffig	19	19
21,0	1,7	Felskie-Grobbles, gelb-braun, tonig, schwach sandig, schwach schüffig, schwach strällig	19	19
22,0	1,0	Mittelsand, gelb-braun	19	19
23,0	1,0	Ton, hellbraun, schwach humos, schüffig	19	19
24,0	1,0	Ton, hellbraun, schwach humos, schüffig	19	19
24,8	0,8	Felsand, hellgelb-hellgrau	19	19
25,1	1,0	Ton, dunkelbraun, teilweise humos	19	19
27,0	0,8	K o s i s - teilweise holzig	19	19
30,0	0,8	Felsand-Mittelsand, grau-hellgrau	19	19
31,0	1,4	Ton, dunkelgrün-braun, teilweise fei	19	19
37,2	0,8	Felsand-Mittelsand, grau, tonig	19	19
38,2	1,0	Felsand-Mittelsand	19	19
39,5	1,0	Ton, braun, stark hum	19	19
44,0	0,1	Mittelsand, grau	19	19
47,0	0,7	Schluff-Ton, grau	19	19
49,0	0,9	Ton, braun, schüffig	19	19
51,0	0,8	Ton, grau	19	19
54,2	2,4	Felsand-Mittelsand	19	19
60,2	6,0	Mittelsand, grau	19	19
70,2	10,0	Mittelsand-Grobsand, grau	19	19



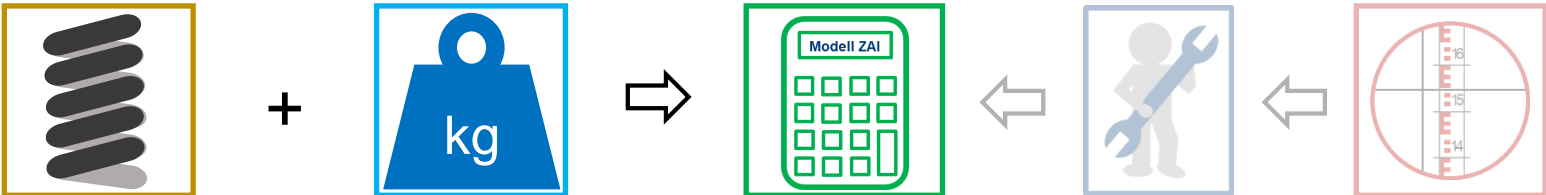
GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Bewegungen ...

Bodenmechanik

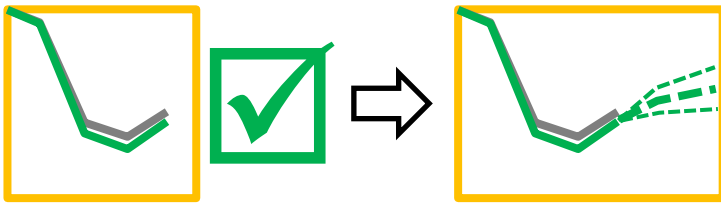


Realität

Modell



Nachrechnung / Prognose



**Fazit**

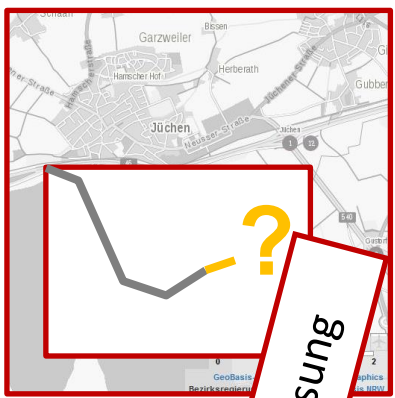
**Geologie + Grundwasser ⇒ Bodenverhalten ⇒ Bewegungen**

Profilhöhe in m	Profiltiefe in m	Beschreibung der Obergraben	Profilnummer	Profilhöhe in m	Profiltiefe in m
0.3	0.3	Mutterboden	19	0.3	0.3
3.0	3.0	Schluff	19	3.0	3.0
14.7	14.7	Fenestkies-Grobbles, gelb-braun, teilweise mit Feuersteingerößen	19	14.7	14.7
18.2	18.2	Ton, gelb, schwach sandig, schwach schüffig	19	18.2	18.2
21.0	21.0	Fenestkies-Grobbles, gelb-braun, tonig, schwach sandig, schwach schüffig, schwach strahlig	19	21.0	21.0
22.0	22.0	Mittelsand, gelb-braun	19	22.0	22.0
25.0	25.0	Ton, hellbraun, schwach humos, schüffig	19	25.0	25.0
24.3	24.3	Ton, hellbraun, schwach humos, schüffig	19	24.3	24.3
24.0	24.0	Fineand, hellgelb-hellgrau	19	24.0	24.0
26.1	26.1	Ton, dunkelbraun, teilweise humos	19	26.1	26.1
27.0	27.0	K o s i s - teilweise hollig	19	27.0	27.0
30.0	30.0	Fineand-Mittelsand, grau-hellgrau	19	30.0	30.0
31.0	31.0	Ton, dunkelgelb-braun, teilweise humos	19	31.0	31.0
37.2	37.2	Fineand-Mittelsand, grau, tonig	19	37.2	37.2
38.2	38.2	Fineand-Mittelsand	19	38.2	38.2
39.3	39.3	Ton, braun, stark humos	19	39.3	39.3
40.0	40.0	Mittelsand, grau	19	40.0	40.0
47.3	47.3	Schluff-Ton, grau	19	47.3	47.3
49.0	49.0	Ton, braun, schüffig	19	49.0	49.0
51.0	51.0	Ton, grau	19	51.0	51.0
54.2	54.2	Fineand-Mittelsand	19	54.2	54.2
60.2	60.2	Mittelsand, grau	19	60.2	60.2
70.2	70.2	Mittelsand-Grobsand, grau	19	70.2	70.2



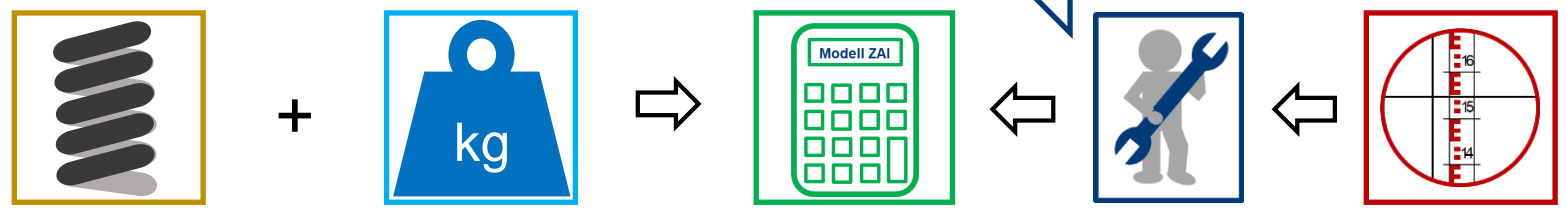
GW-Änderungen  
Strömungskräfte  
Potentialdifferenzen  
Spannungsänderung  
Kompression  
Solidation ...  
Setzungen  
Umlagerungen ...

Bodenmechanik

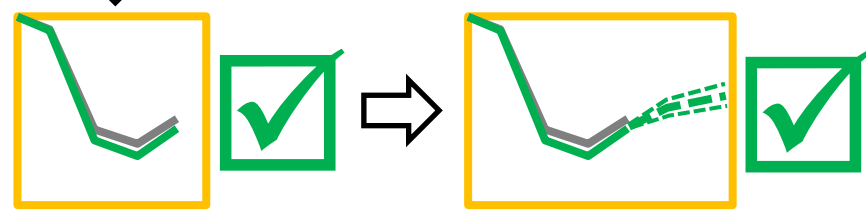


Realität

Modell



Nachrechnung / Prognose





## Das Modell...

- ...basiert auf Bodenmechanischen Grundsätzen und berücksichtigt entscheidende Faktoren,
- bildet das bis dato gemessene Verhalten sehr gut ab,
- ermöglicht die Prognose zukünftiger Bodenbewegungen,
- kann relativ einfach an geänderte Bedingungen (Betrieb, GW-Haltung) angepasst werden,
- kann durch fortlaufende Messungen und Nachkalibrierung stetig verbessert werden.



„It all starts with solid ground engineering“