

1. SACHVERSTÄNDIGENKOLLOQUIUM

6. März 2013

Schloss Paffendorf

Bergheim-Paffendorf

VORWEG GEHEN

Programm

- | | | | |
|-------|---|-------|--|
| 9:00 | Begrüßung und Einleitung
<i>Alois Herbst, RWE Power</i> | 12:20 | Mittagessen |
| 9:10 | Ursachen und Auswirkungen sumpfbewingter Bodenbewegungen
<i>Werner Schaefer, RWE Power</i> | 13:20 | |
| 9:50 | Beschreibung des großräumigen Bodensenkungsverhaltens durch Bodenbewegungsmodelle
<i>Prof. Dr. Heiner Kuhlmann, Universität Bonn</i> | 14:00 | Bestimmung organischer Böden
<i>Prof. Dr. Richard Herrmann, Universität Siegen</i> |
| 10:30 | Pause | 14:40 | Abschlussdiskussion |
| 11:00 | Sumpfbewingte kleinräumige Setzungsmulden infolge unregelmäßiger geologischer Schichten im Rheinischen Braunkohlenrevier
<i>Prof. Dr. Martin Ziegler, RWTH Aachen</i> | 15:00 | Ende der Veranstaltung |
| 11:40 | Ursachen und Indikation von Setzungsschäden an Gebäuden
<i>Prof. Dr. Karl Josef Witt, Bauhaus-Universität Weimar</i> | | |
- Anmerkung: Der Vortrag von Frau Prof. Dr. Schnell hat nicht stattgefunden. Frau Prof. Dr. Schnell hat jedoch beim 2. Sachverständigenkolloquium am 22. September 2015 vorgetragen.

Ursachen und Auswirkungen sumpfungsbedingter Bodenbewegungen

06. März 2013, Schloss Paffendorf



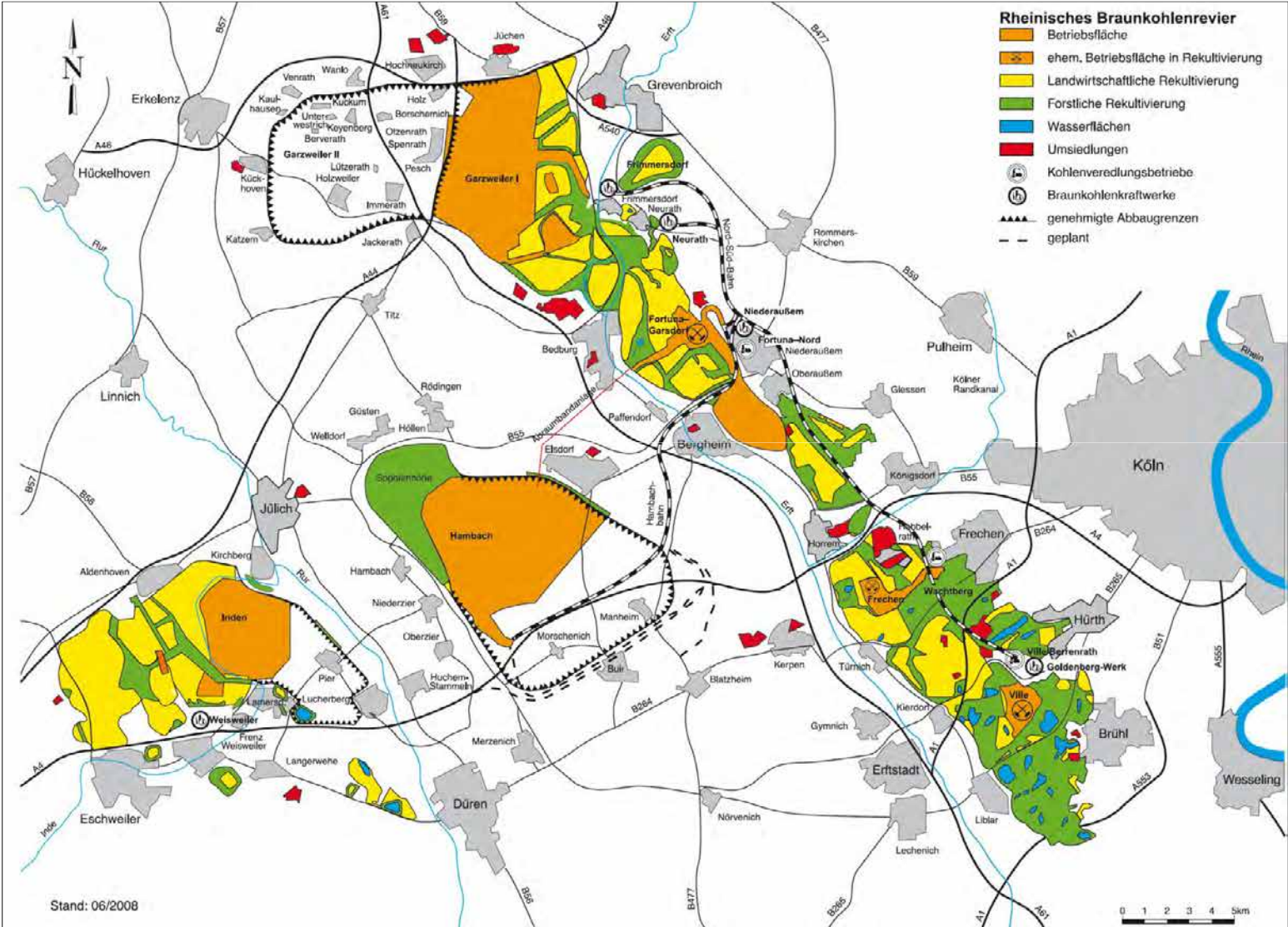
Werner Schaefer
RWE Power, Köln

VORWEG GEHEN

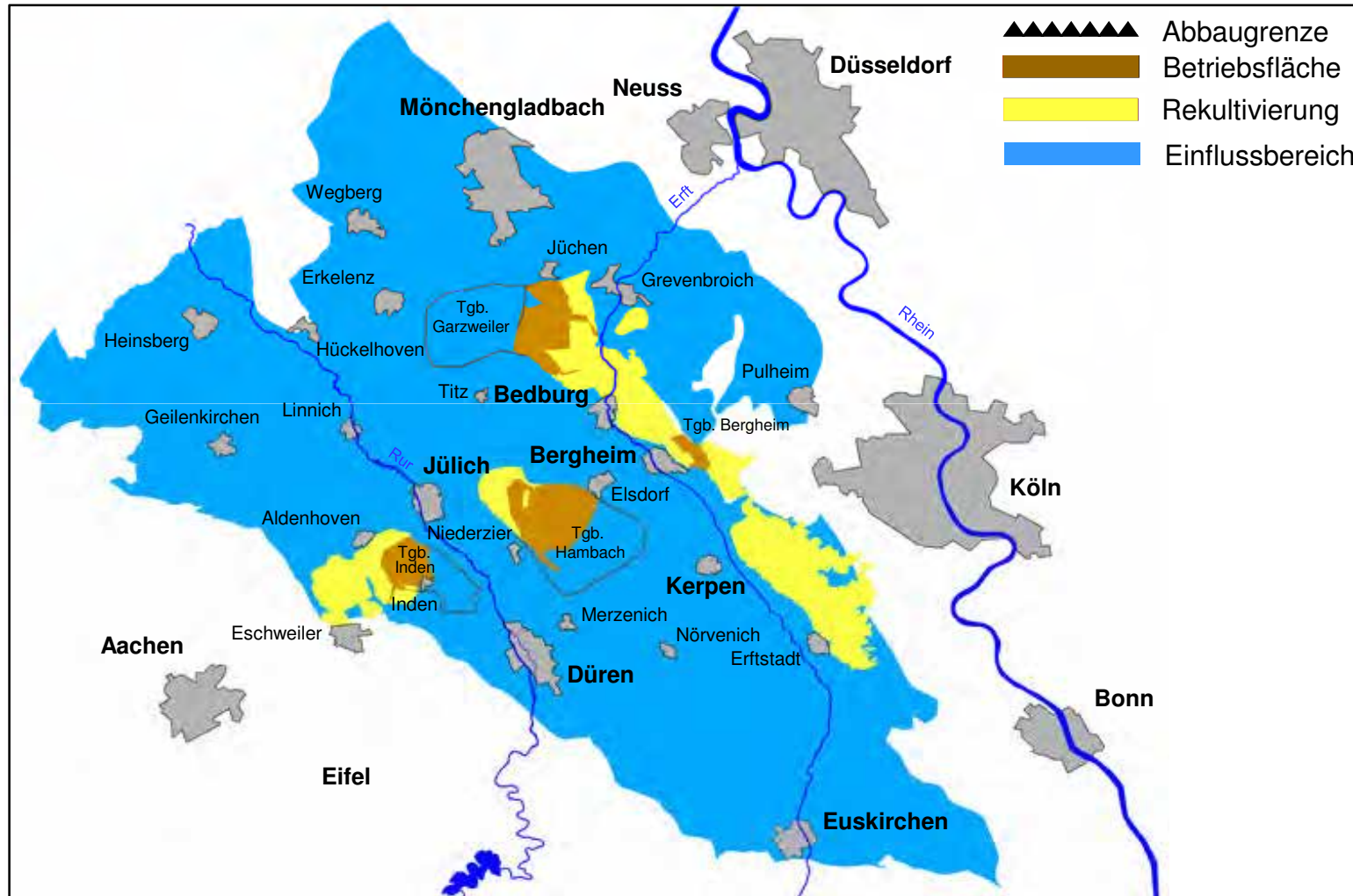
Agenda

1	Auswirkung der Geologie auf die Bodensenkungen
2	Erfassung von Bodenbewegungen
3	zeitlicher Verlauf sumpfungsbedingter Bodenbewegungen
4	3D-Bewegungen an bewegungsaktiven tektonischen Störungen
5	ergänzende Messverfahren

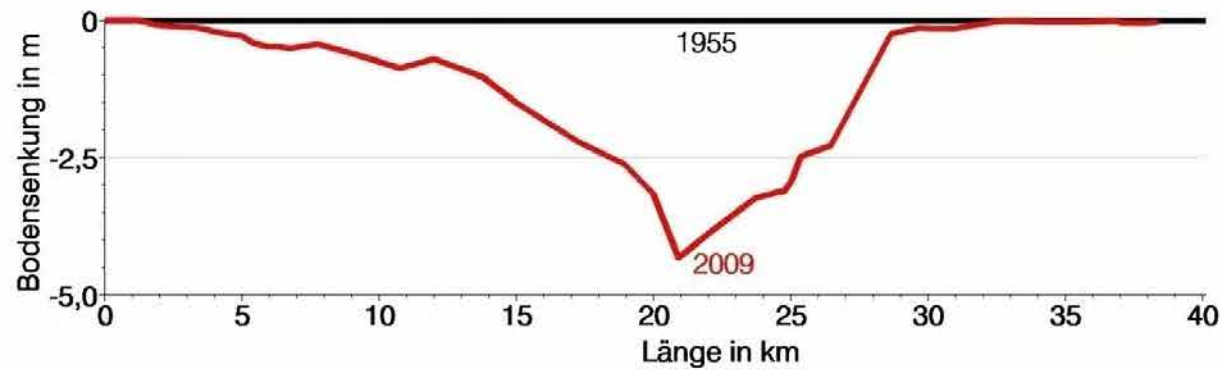
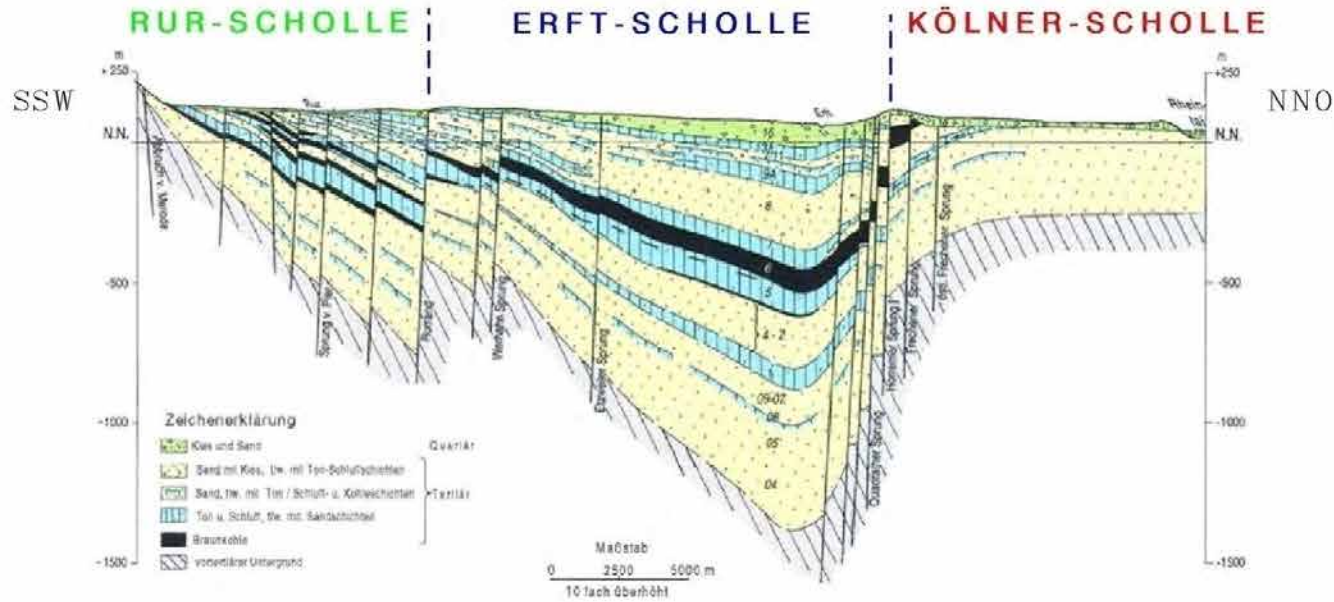
Das Rheinische Braunkohlenrevier



Einflussbereich Grundwassersümpfung

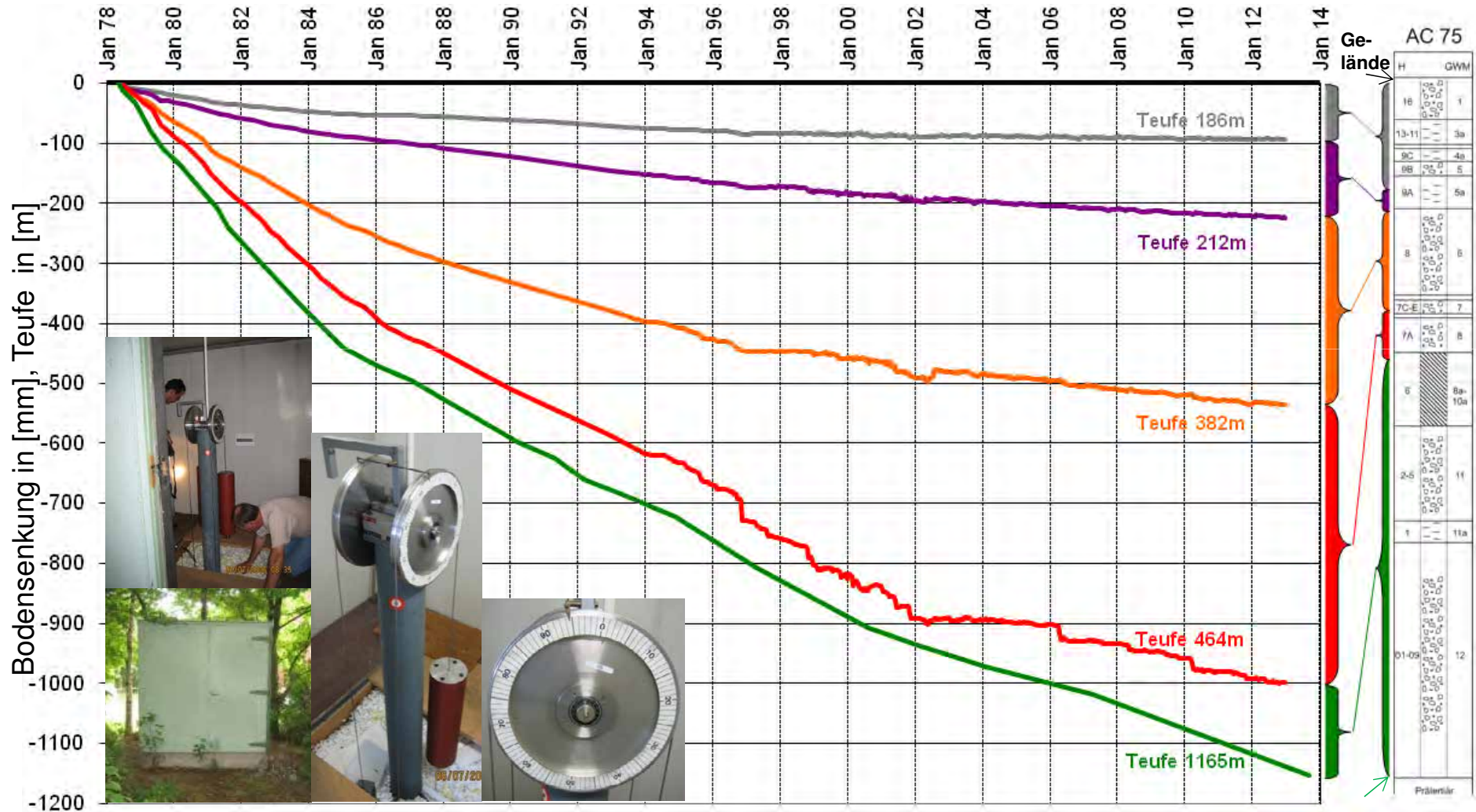


Geologie und Bodenbewegungen

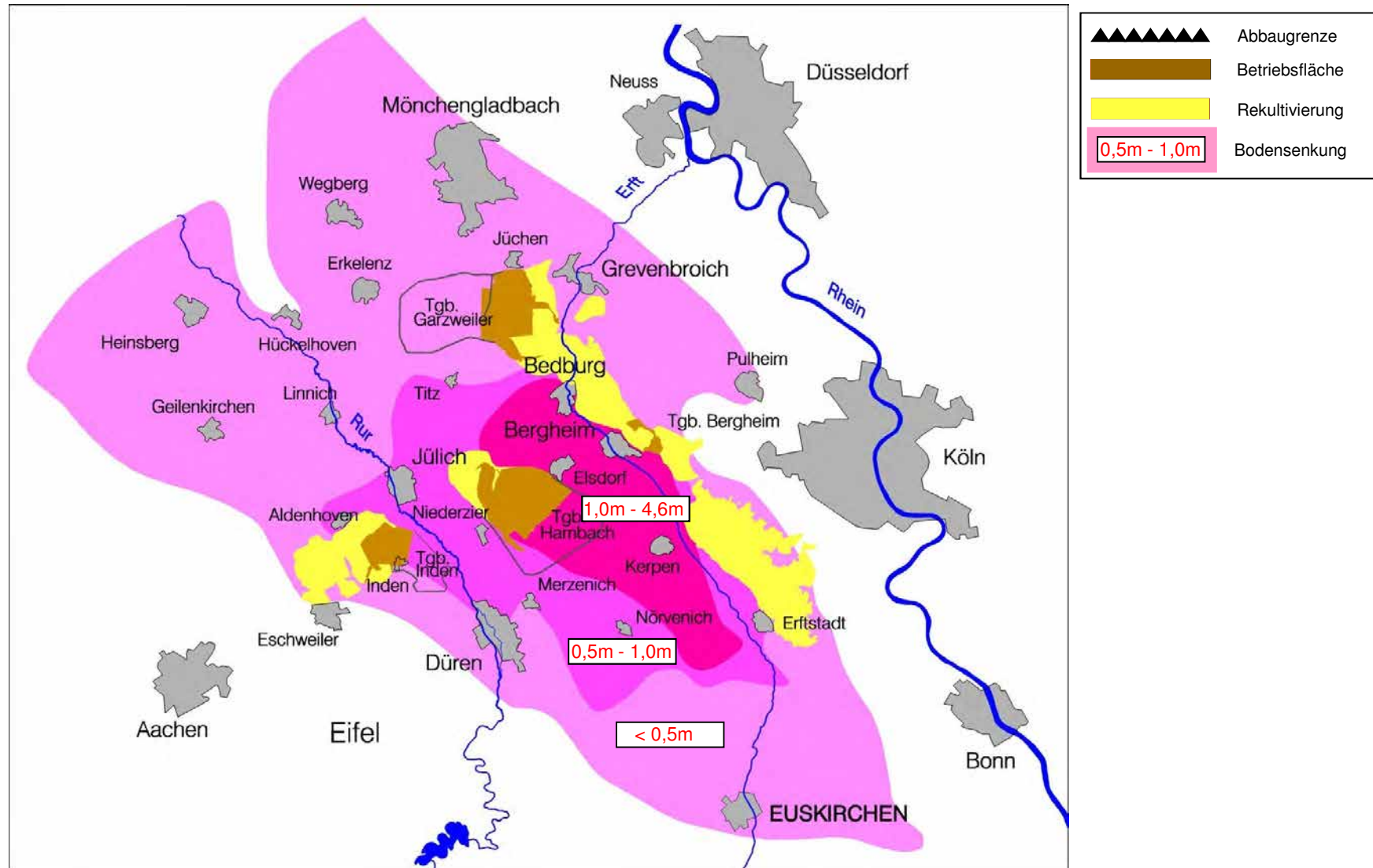


Bodensenkung gemessen mit Extensometern

Gesamtsenkung = Summe der Senkungsanteile

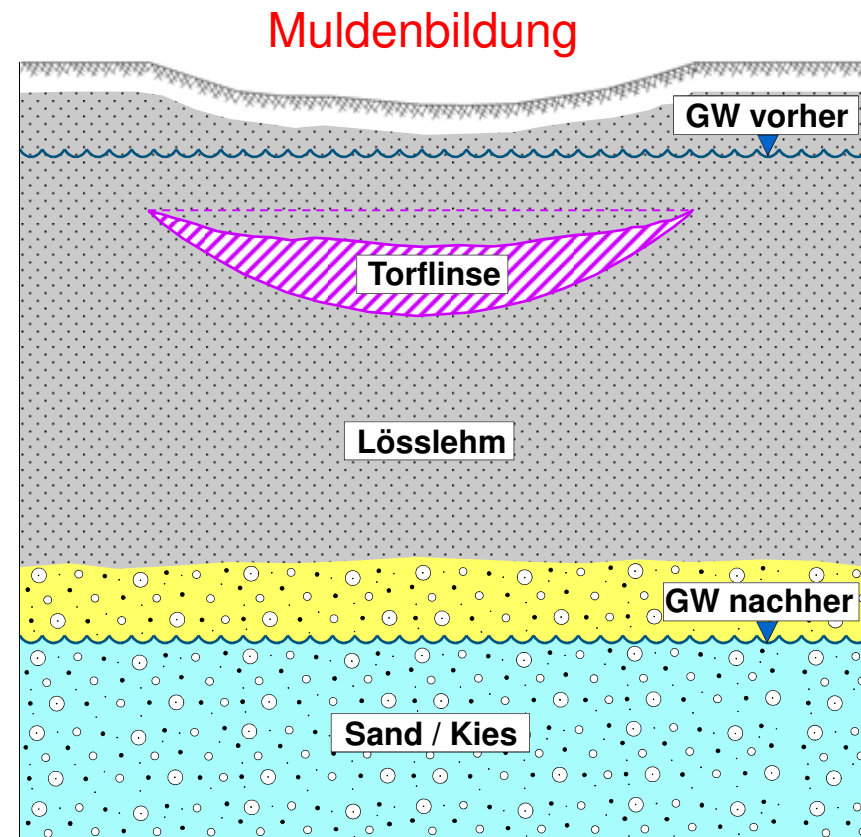
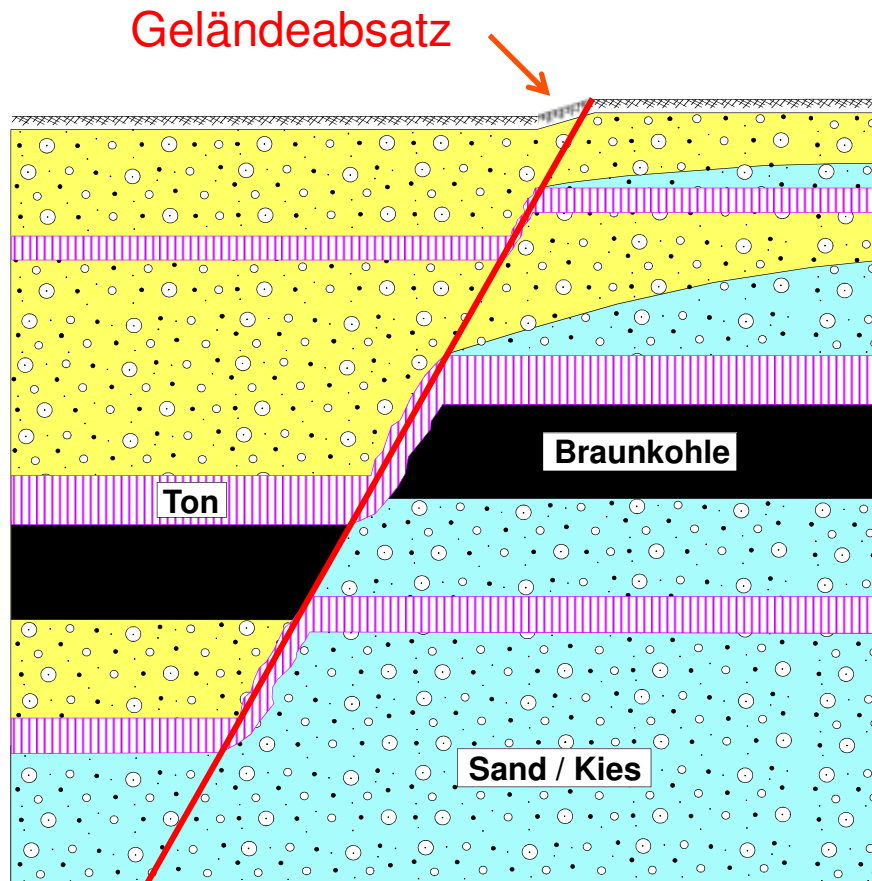


Bodenbewegungen 1955 bis 2011



Unterschiedliche Bodenbewegungen

können nur bei geologischen Besonderheiten unter bestimmten Voraussetzungen auftreten. Diese sind ...



Geländeabsatz an einer bewegungsaktiven Störung



Auesetzungen aufgrund Torfverzehr (oxischer Abbau)



Linnich

12/10/2012

Die Bergschadensbearbeitung – eine interdisziplinäre Aufgabe

Wesentliche Arbeitsschritte sind

- Beurteilung der geologischen und hydrologischen Fachdaten (Geologie, Hydrologie)
- Beurteilung des Schadensbildes (Bauingenieurwesen)
- Beurteilung des Baugrundes (Geotechnik)
- Analyse der messtechnisch erfassten Bodenbewegungen (Markscheidewesen, Geodäsie)

Agenda

1	Auswirkung der Geologie auf die Bodensenkungen
2	Erfassung von Bodenbewegungen
3	zeitlicher Verlauf sumpfbewingter Bodenbewegungen
4	3D-Bewegungen an bewegungsaktiven tektonischen Störungen
5	ergänzende Messverfahren

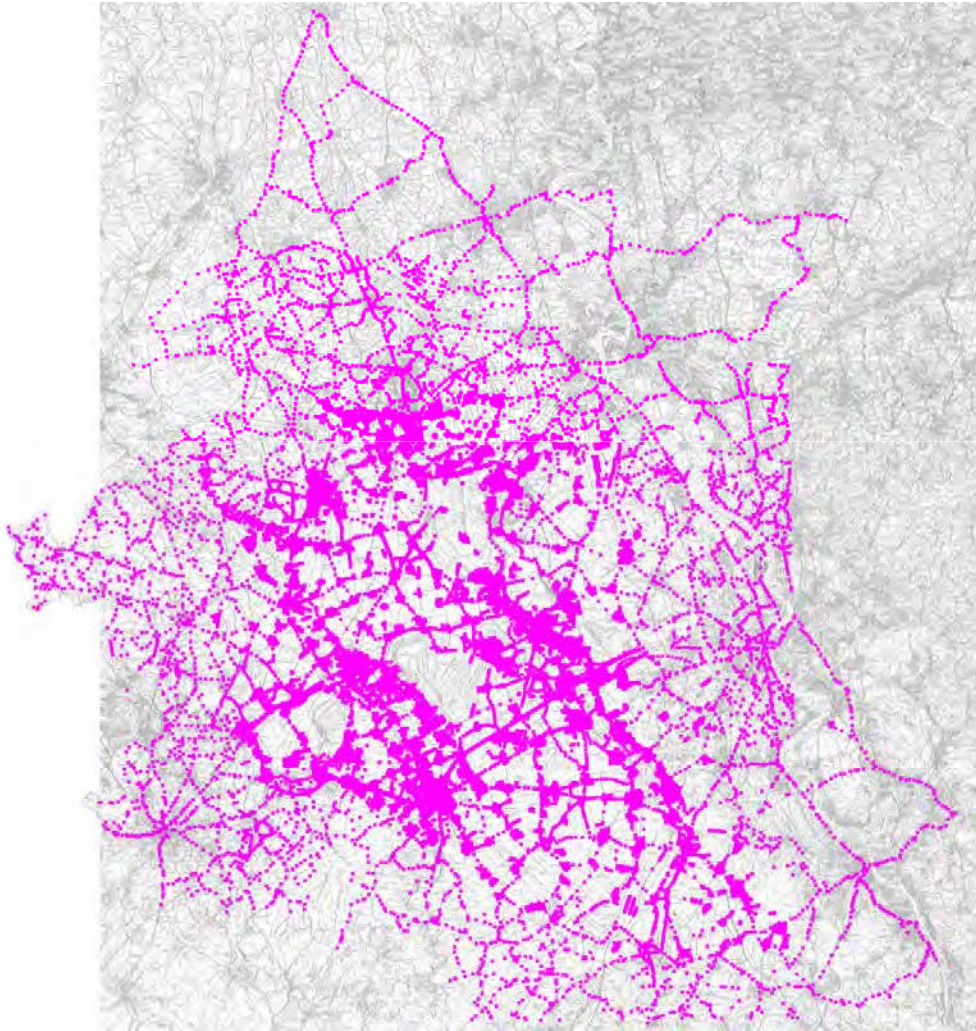
Erfassung von Bodenbewegungen

Erfassung...

- flächenhafter sumpfungsbedingter Bodenbewegungen auf einer Fläche von ca. 3.000 qkm
- linienförmiger eng begrenzter Unstetigkeiten in bebauten und unbebauten Gebieten
- von Gefälleänderungen von Feuchtgebieten, Vorflutern, Kanälen, etc.
- von Gebäudebewegungen

➤ Präzisionsmessungen erfassen revierweit Bodenbewegungen bis hin zum Bauwerksverhalten.

Präzisionsnivellement zur Beobachtung des Messpunktfelds



Messpunkte: 150.000 Messpunkte

Zuwachs: 30.000 pro Jahr

Insgesamt: 2,5 Mio. NHN-Höhen

turnusmäßige Beobachtung

Beispiel Festpunktfeld Bergheim



● Leitnivelement



Ortslagenverdichtung

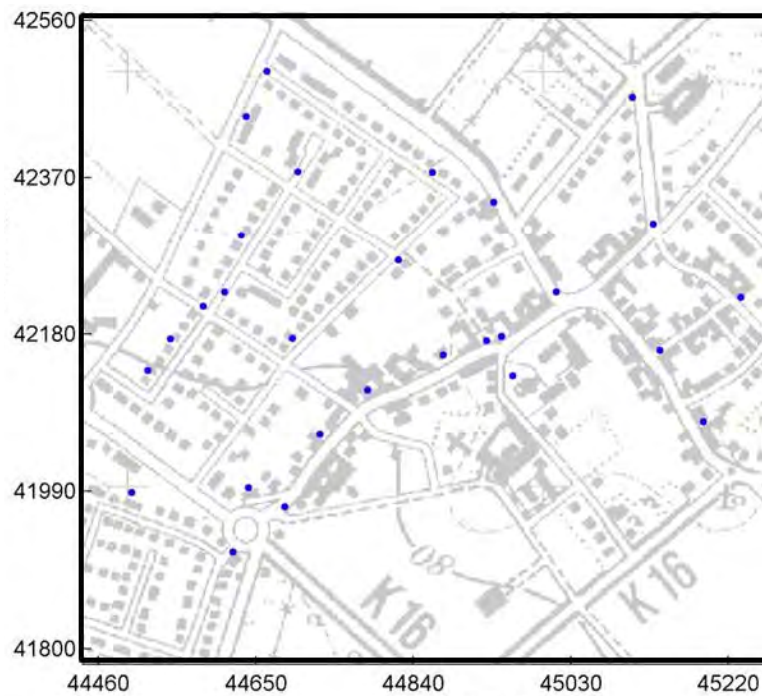
Analyse von Höhenänderungen

1. Höhennivellement zum Zeitpunkt 1
2. Höhennivellement zum Zeitpunkt 2
3. Bildung von Höhendifferenzen
4. flächenhafte Darstellung der Höhendifferenzen
(z.B. Isolinien, Modelle)

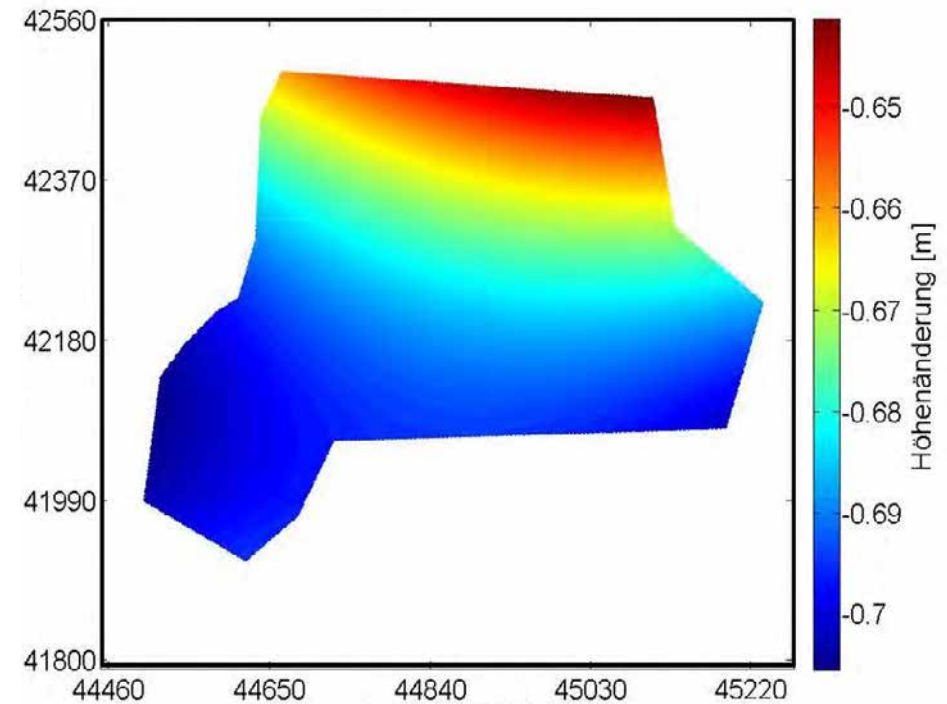
Modellierung von Bodenbewegungen

- Flächenhafte Setzungen durch Sümpfungmaßnahmen
- Beispiel Heppendorf (Setzungen zwischen 1998 und 2006)

Punktfeld



Flächenhafte Setzungen

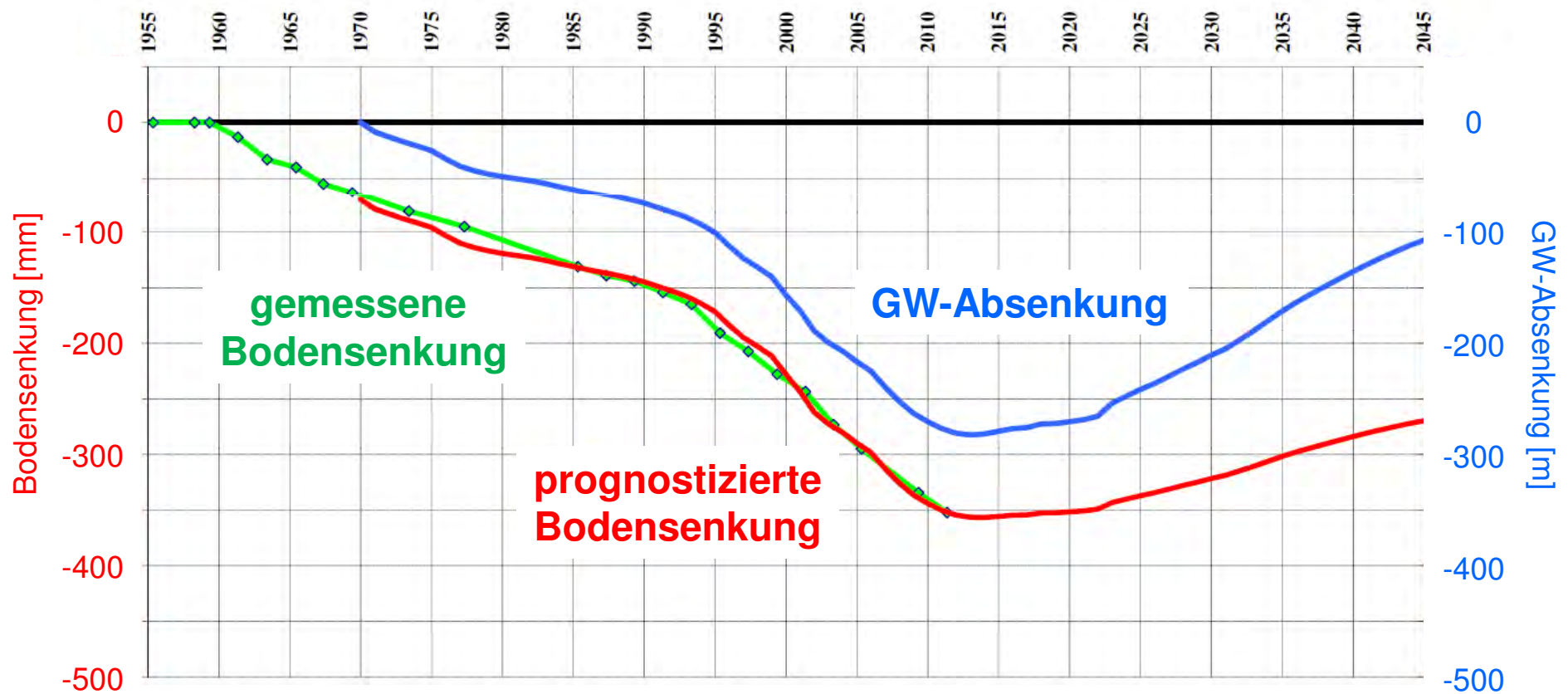


Agenda

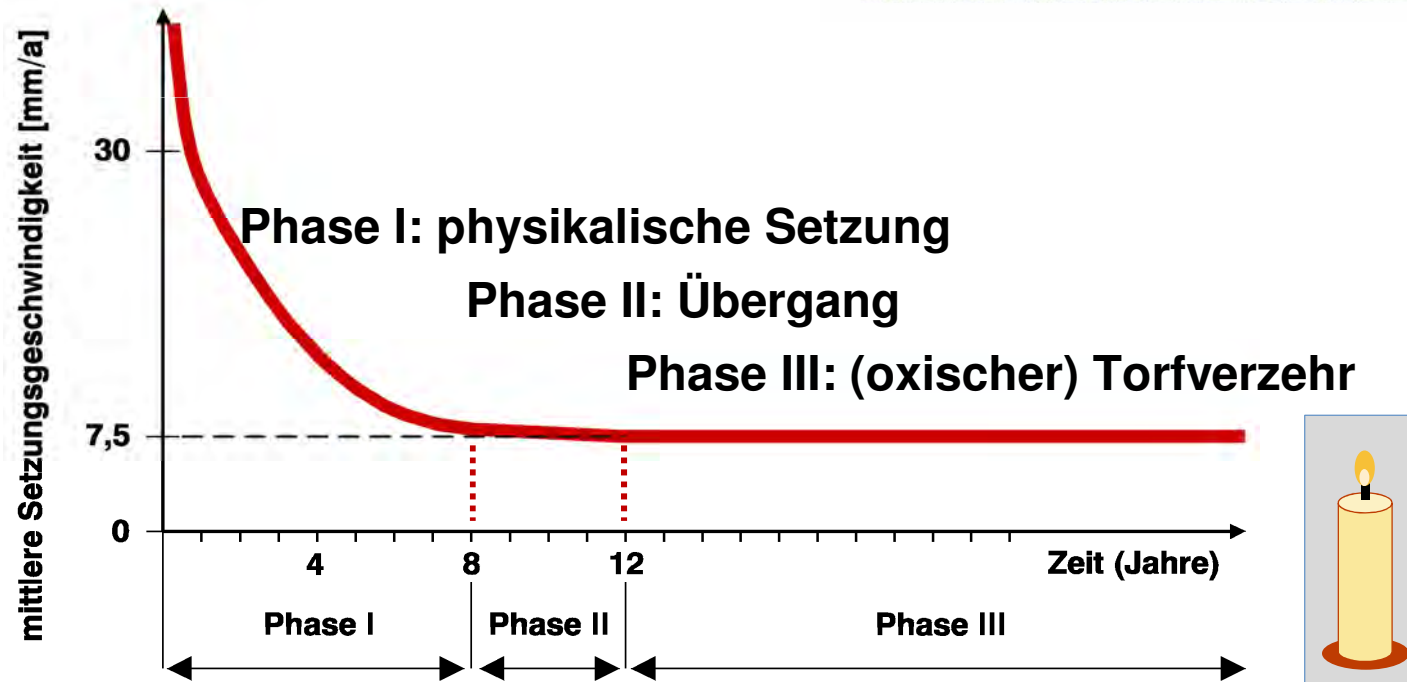
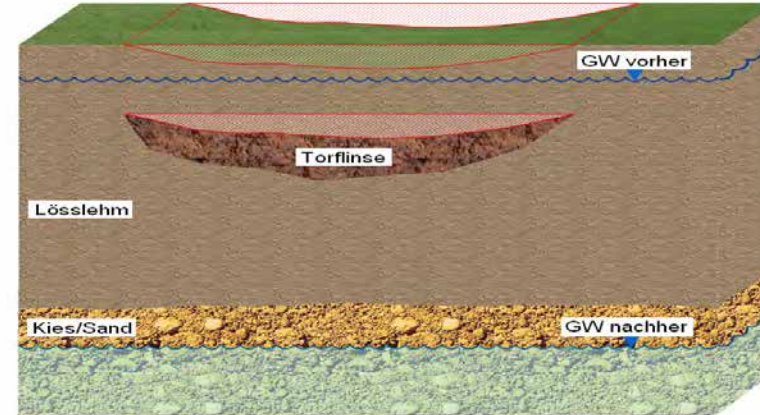
1	Auswirkung der Geologie auf die Bodensenkungen
2	Erfassung von Bodenbewegungen
3	zeitlicher Verlauf sumpfbewingter Bodenbewegungen
4	3D-Bewegungen an bewegungsaktiven tektonischen Störungen
5	ergänzende Messverfahren

Korrelation GW-Absenkung und Bodensenkungen

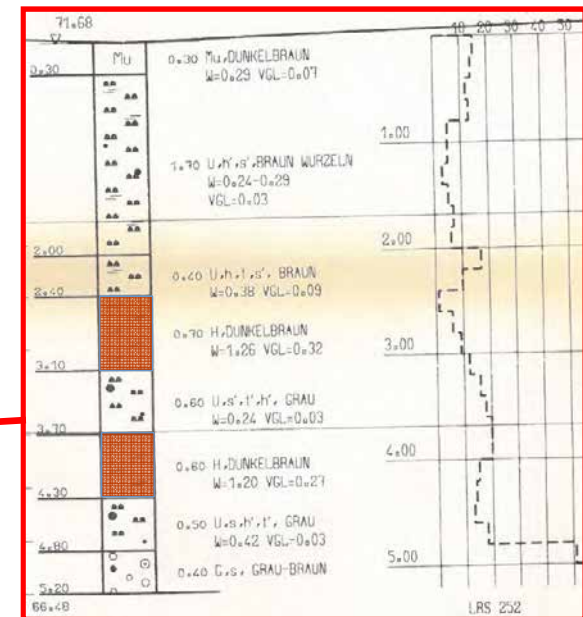
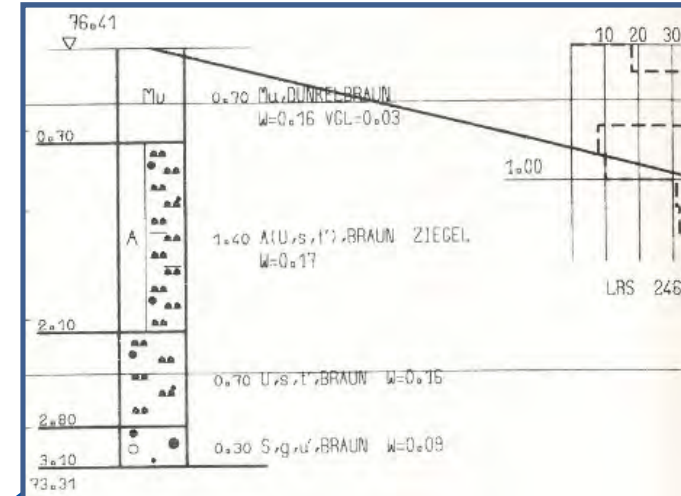
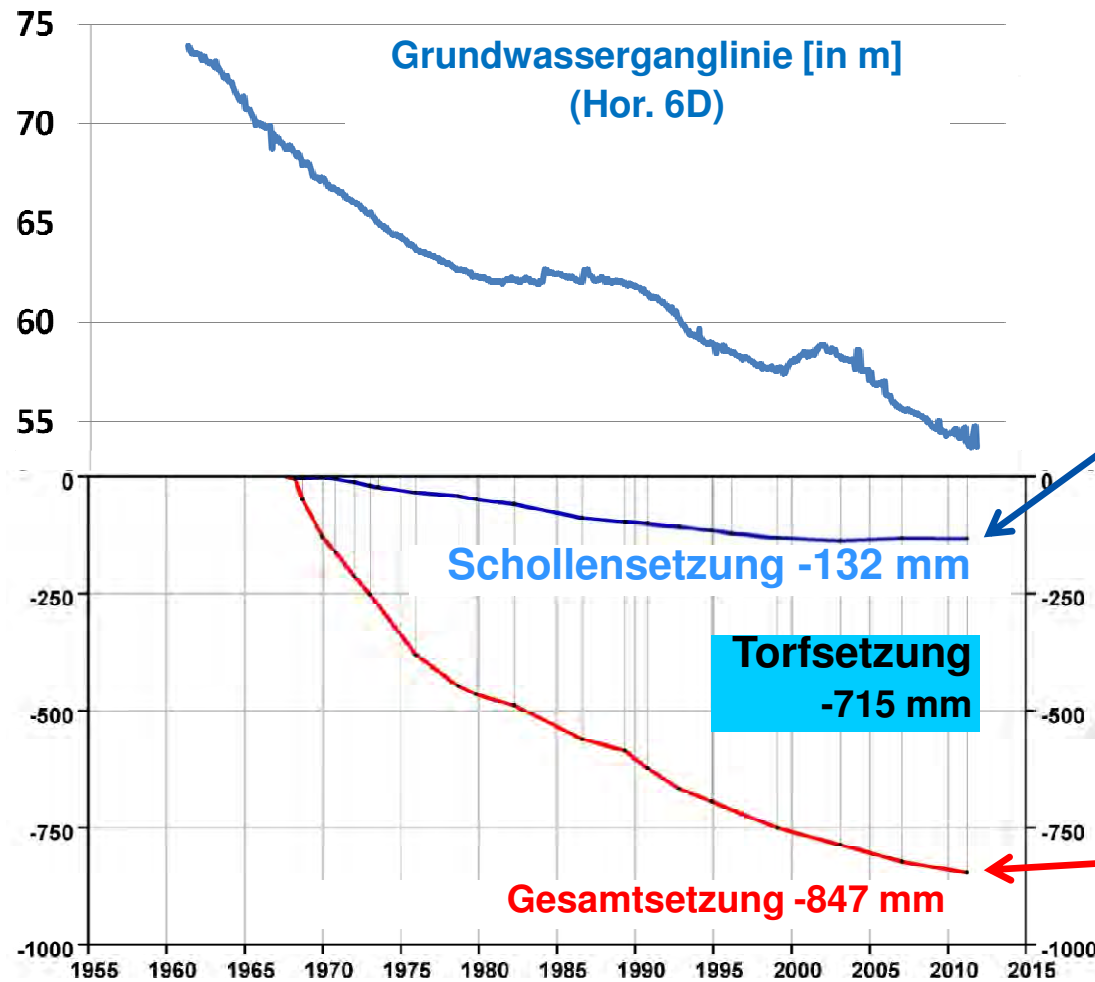
- nahezu linearer Zusammenhang zw. GW-Absenkung und Bodenbewegungen
- „glatter Verlauf“ von GW-Absenkung und Bodensenkungen
- keine zeitlichen Unstetigkeiten (Sprünge, abrupte Richtungsänderungen)



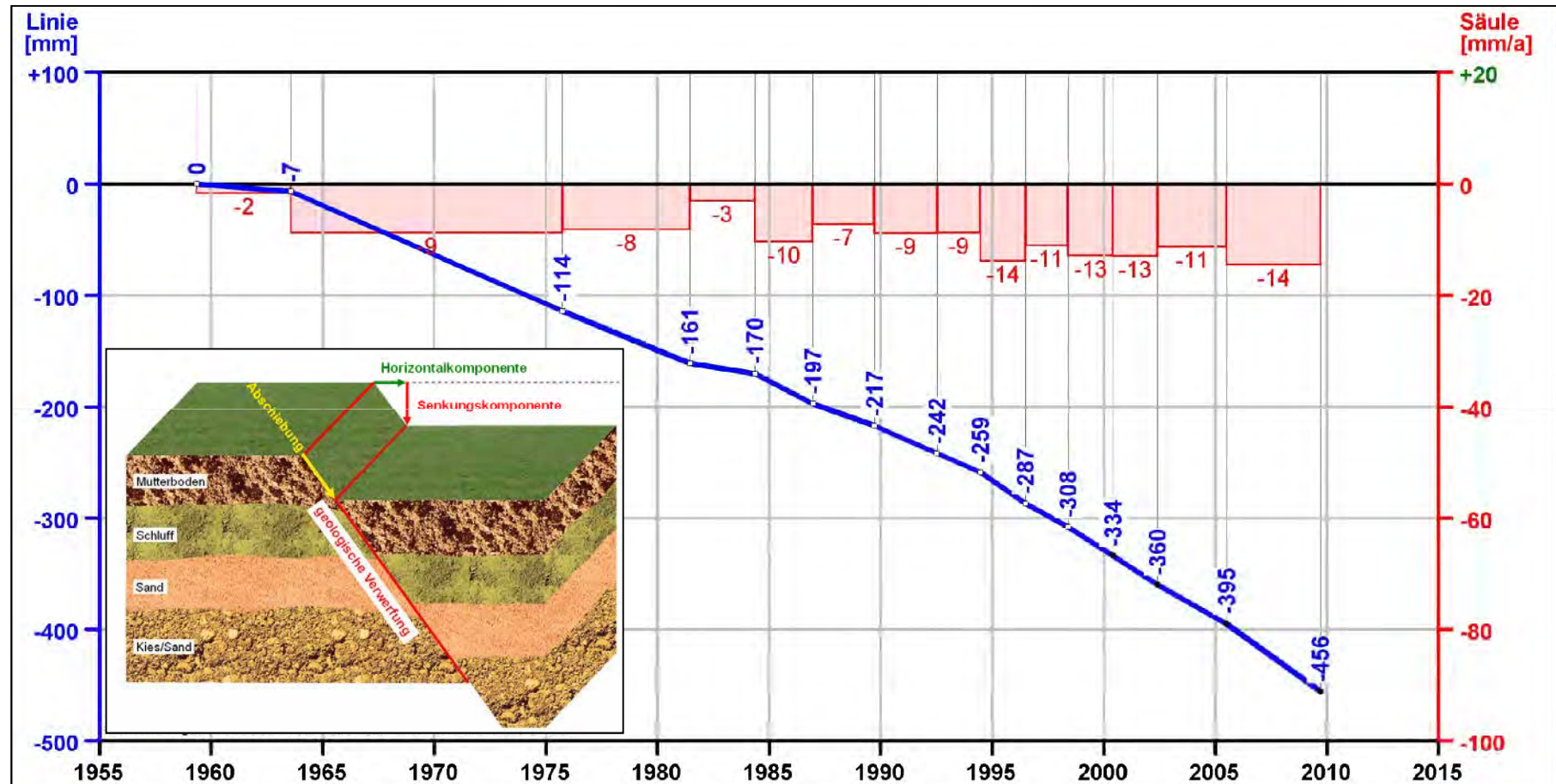
zeitlicher Verlauf von Setzungen infolge von Torfverzehr



Torfsetzungen – absolutes Zeitsetzungsdiagramm Lövenich, Nysterbach



Absatzausbildung bewegungsaktive Tektonik, Rurrand Zeitsetzungsdiagramm (relativ)



- Absatzbildung 46 cm in 50 Jahren
- Setzungsgeschwindigkeit \varnothing ca. 10 mm/a

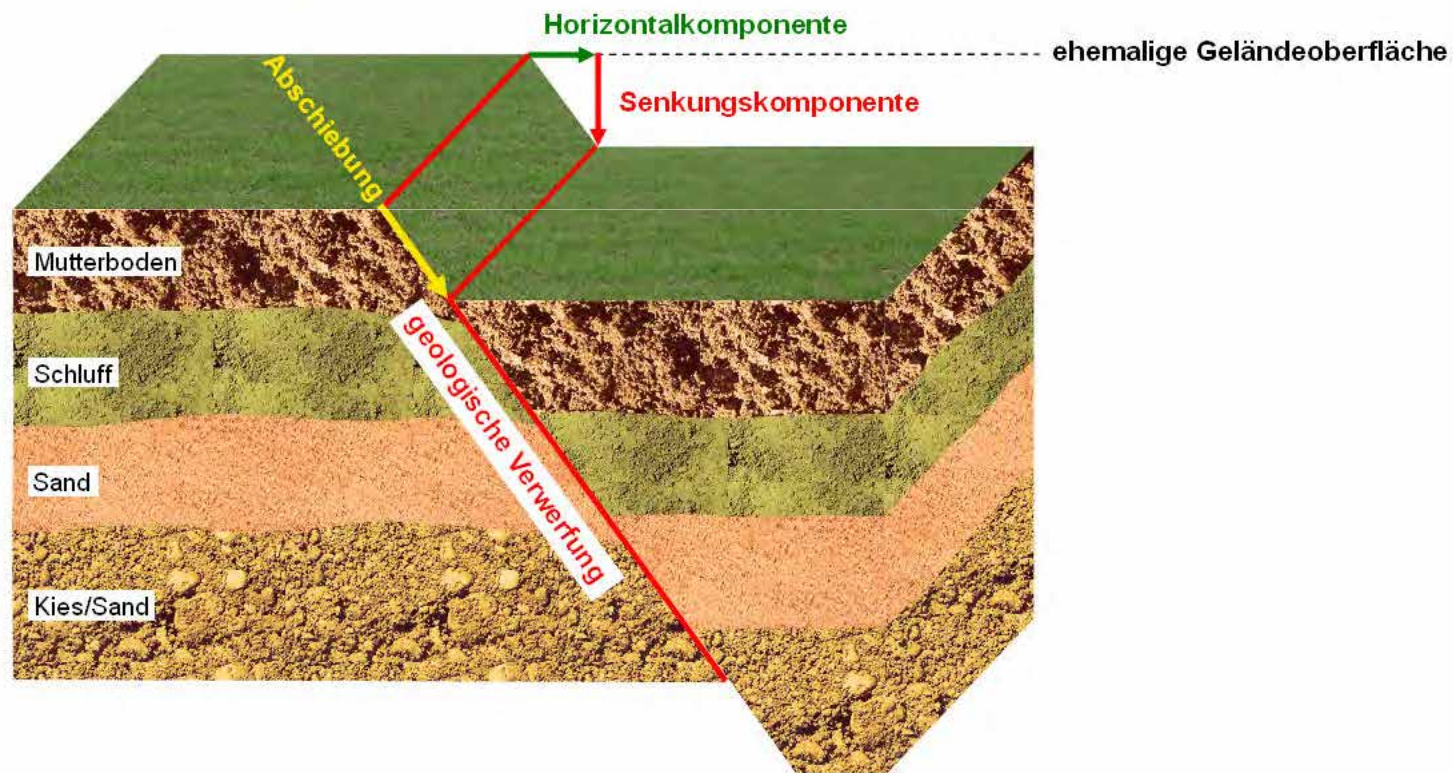
Agenda

1	Auswirkung der Geologie auf die Bodensenkungen
2	Erfassung von Bodenbewegungen
3	zeitlicher Verlauf sumpfungsbedingter Bodenbewegungen
4	3D-Bewegungen an bewegungsaktiven tektonischen Störungen
5	ergänzende Messverfahren

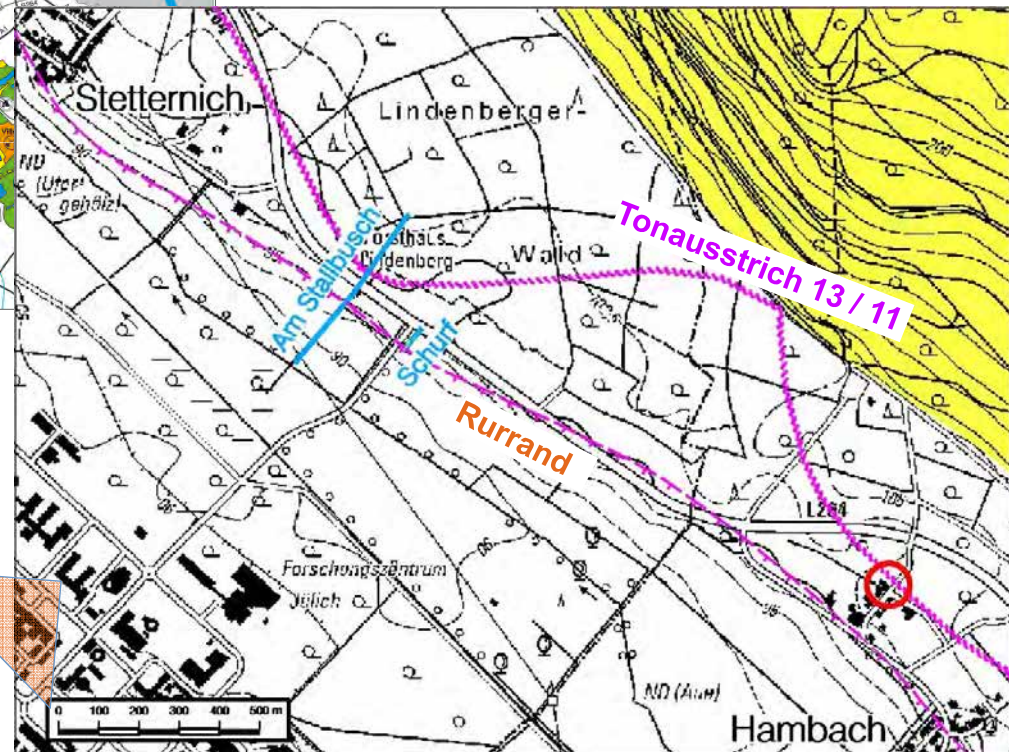
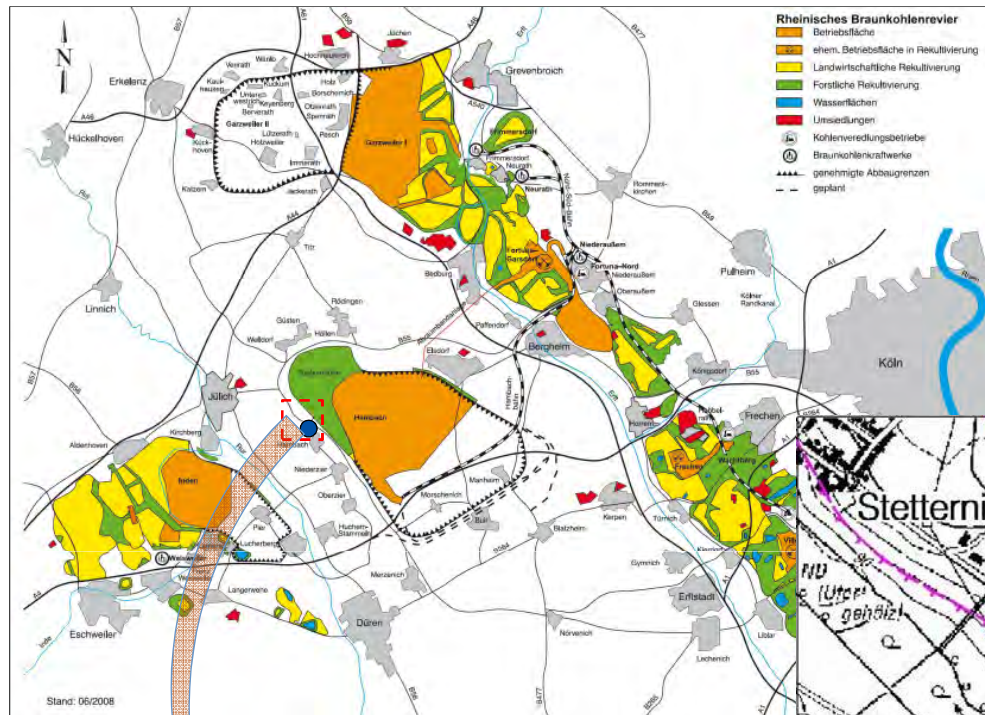
Abschiebung an bewegungsaktiven tektonischen Störungen

Horizontalbewegungen...

- ... als Folge der Abschiebung entlang der geologischen Verwerfung
- ... treten rechtwinklig zur bewegungsaktiven Störung auf

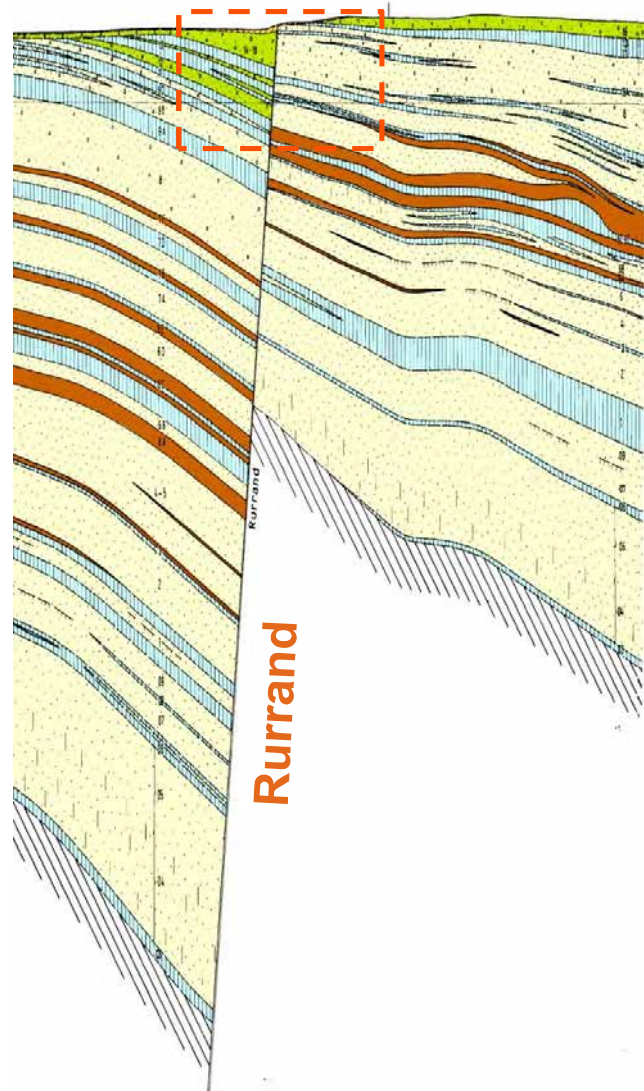


Übersichtskarte, Schurf, Tonausstrich



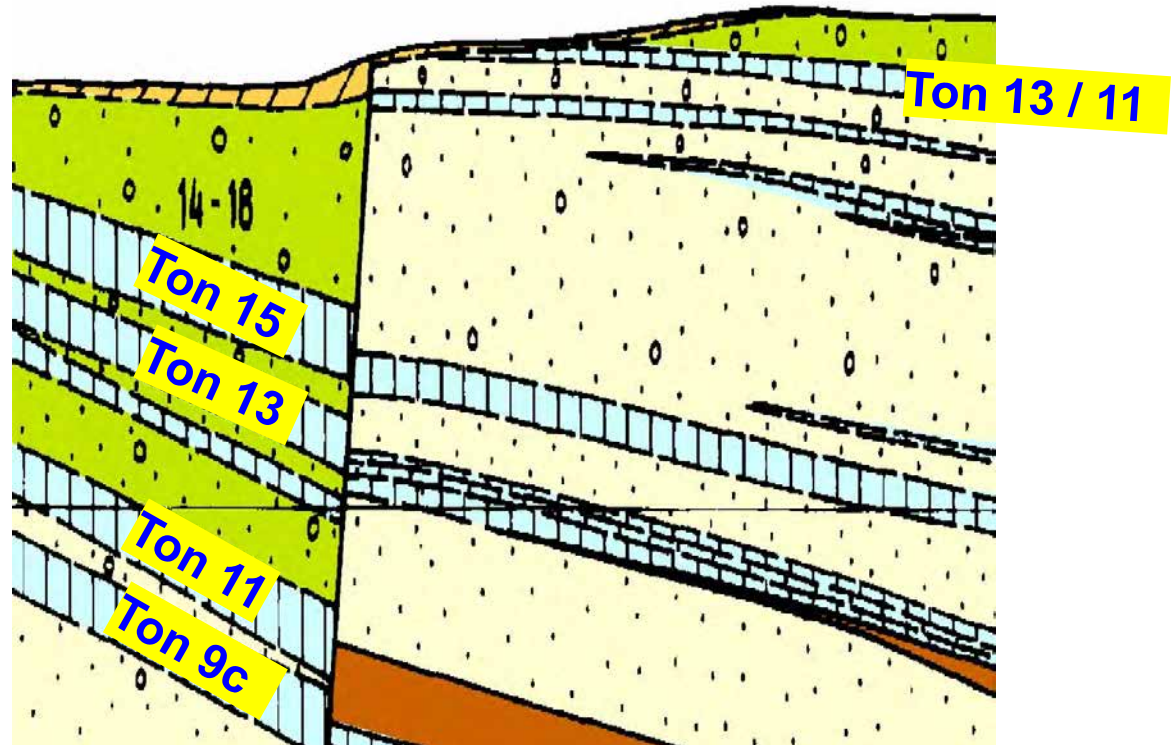
Kartenausschnitt

Bodensenkungen, Tonausstrich (Ton 13 / 11) Geologischer Schnitt, südl. Stetternich, Rurrand



VORWEG GEHEN

Ausschnittvergrößerung

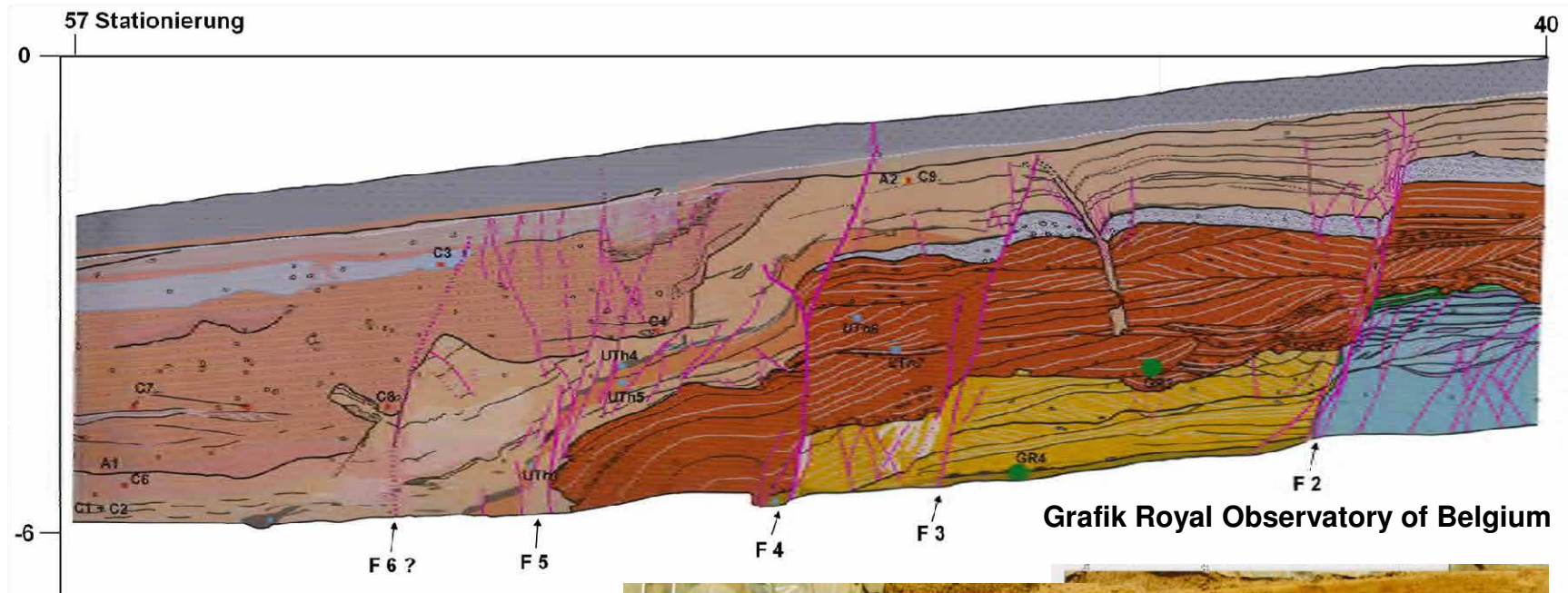


Rurrand

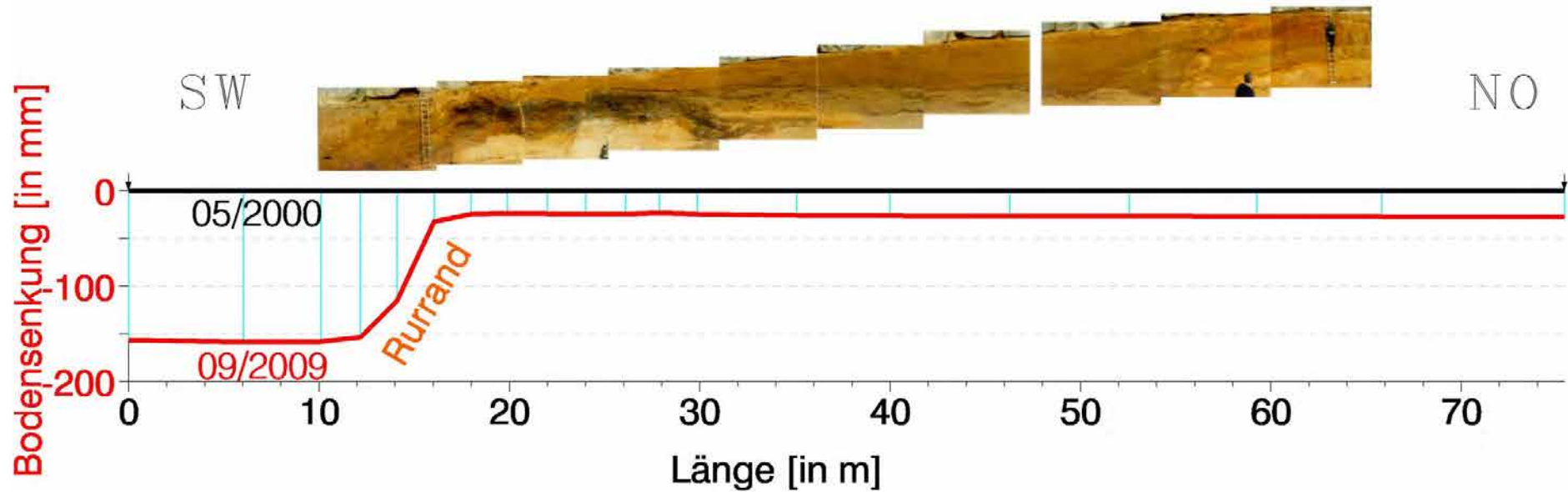
paläoseismische Untersuchung: Rurrand, 1999, Stetternich



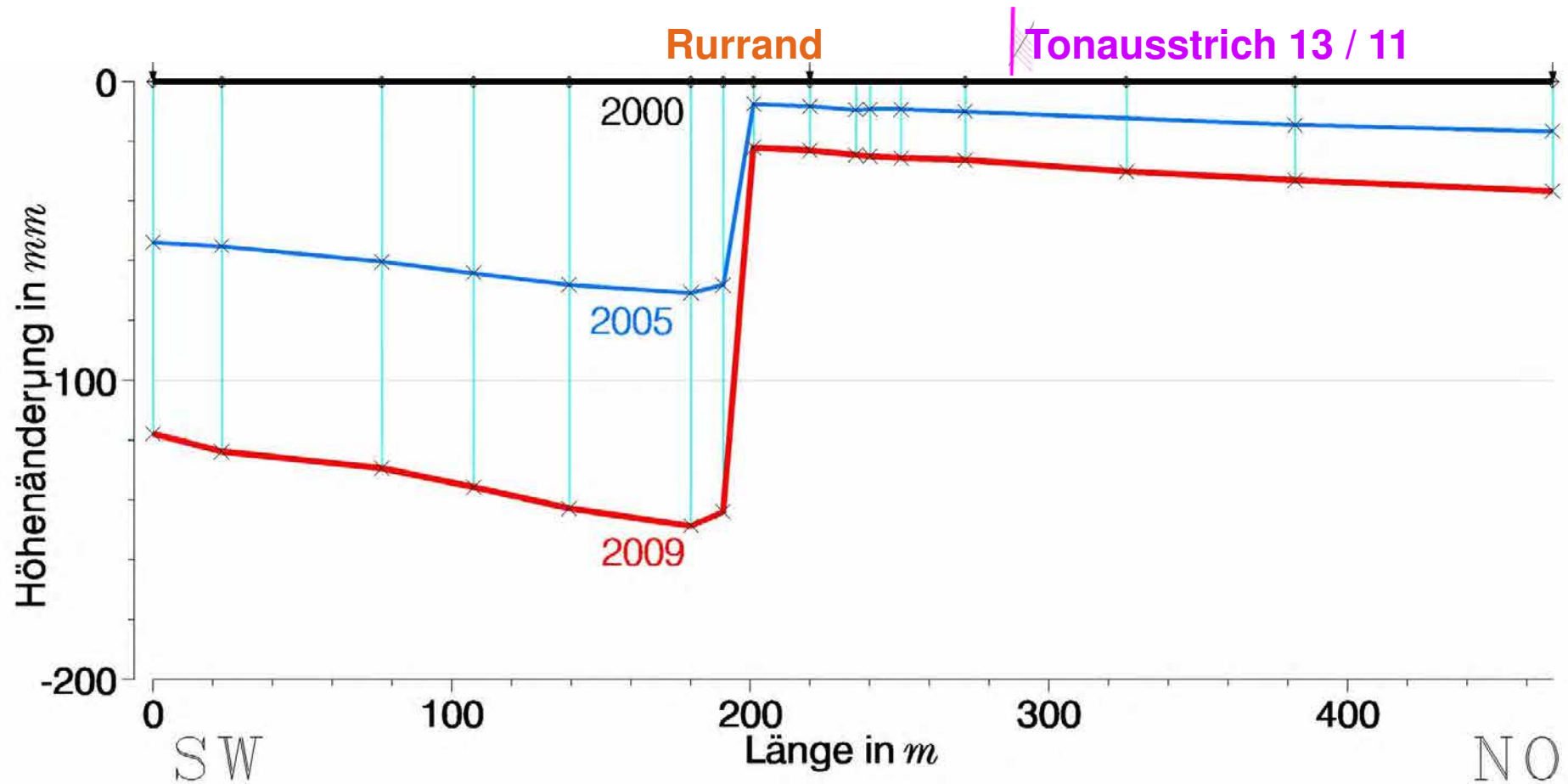
paläoseismische Untersuchung: Rurrand, 1999, Stetternich



paläoseismische Untersuchung Bodensenkung im Bereich der bewegungsaktiven Störung



Tonausstrich Höhenänderungsprofil "Am Stallbusch" in Stetternich



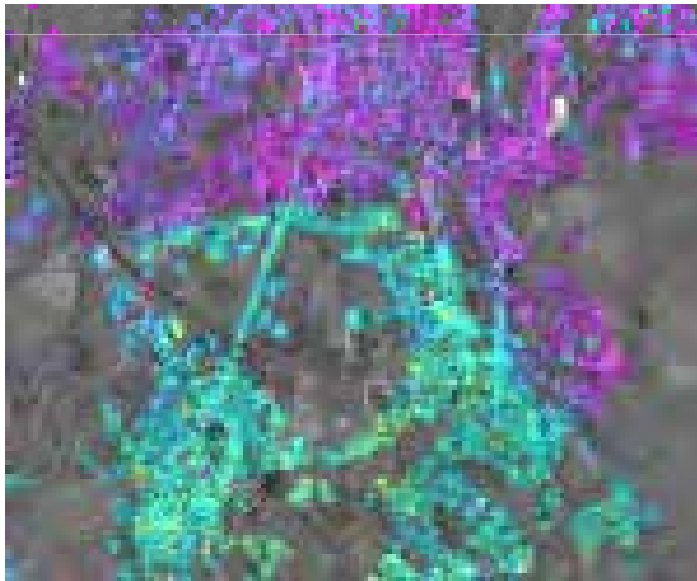
Agenda

1	Auswirkung der Geologie auf die Bodensenkungen
2	Erfassung von Bodenbewegungen
3	zeitlicher Verlauf sumpfungsbedingter Bodenbewegungen
4	3D-Bewegungen an bewegungsaktiven tektonischen Störungen
5	ergänzende Messverfahren

Fernerkundung zur Erfassung von Bodenbewegungen

Ziele und Fragestellungen

1. Räumliche Verdichtung der Punktfelder durch Radarinterferometriedaten
2. Lokalisierung bewegungsaktiver tektonischer Störungen und beeinflusster Auebereiche
3. verbesserte räumliche Eingrenzung beeinflusster Bereiche
4. Bestätigung des zeitlichen Verlaufs der Bodenbewegungen
5. Trennung von Einflussgrößen wird häufig durch zeitlichen Verlauf möglich

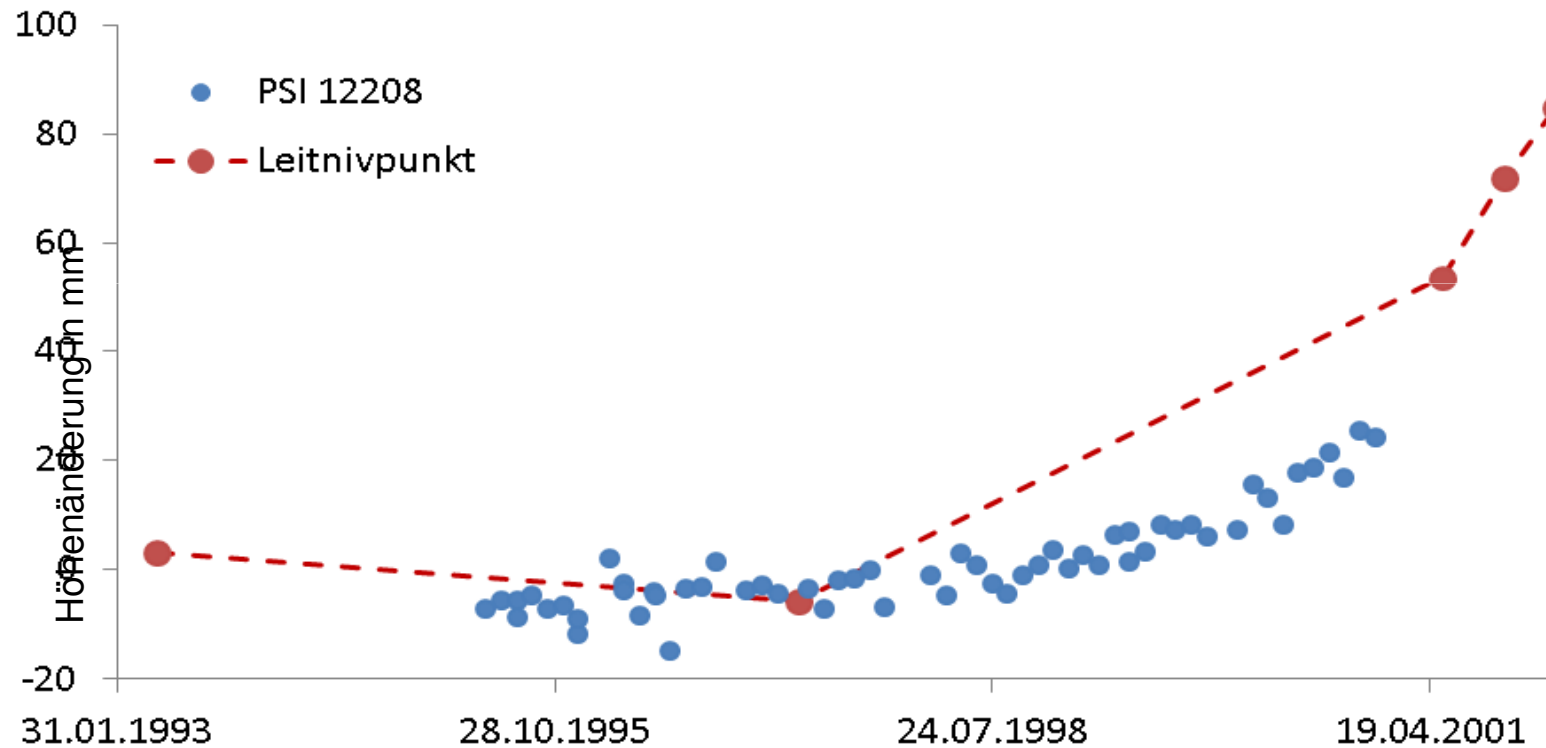


offene Fragen

- Genauigkeit der Radarinterferometrie?
- Trennung Höhe und Lage möglich?
- Kombination verschiedener Messverfahren sinnvoll?
bspw. Nivellement, Radarinterferometrie, GPS...
- Zuverlässigkeit der Messwerte?
- zukünftige Verfügbarkeit von Satelliten?
(für Langzeitbeobachtungen > 10-20 Jahre)

Fernerkundung zur Erfassung von Bodenbewegungen

Anwendungsbeispiel: Trennung von Einflussgrößen



Fazit:

Die Bergschadensbearbeitung im Rheinischen Braunkohlenrevier...

- ist komplex,
- bedarf einer interdisziplinären Bearbeitung,
- wird durch den Erfahrungsaustausch aller Beteiligten weiter optimiert,
- wird intensiv von Hochschulen wissenschaftlich begleitet und
- durch die Anwendung neuester Techniken und Verfahren verbessert.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Beschreibung des großräumigen Bodensenkungsverhaltens durch Bodenbewegungsmodelle

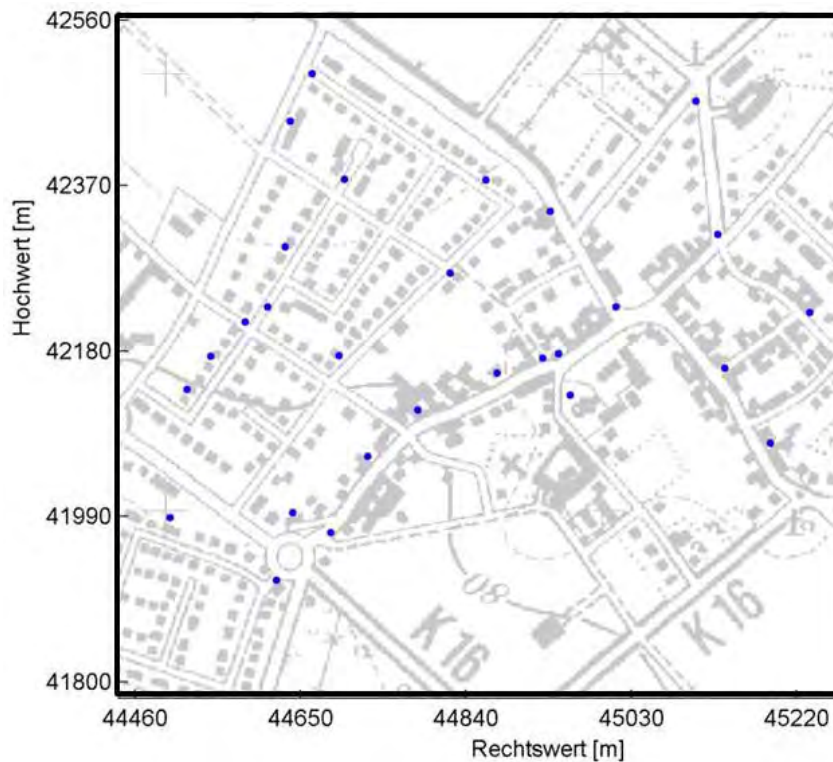
Heiner Kuhlmann

06.03.2013

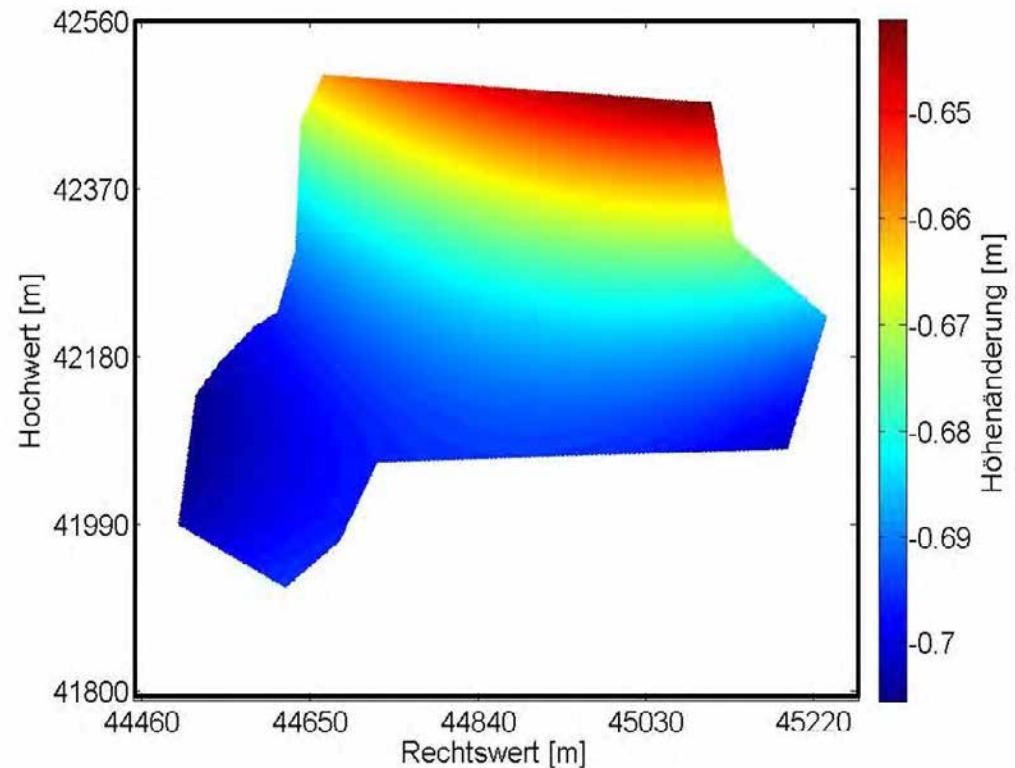
Flächenhafte Setzung durch Sümpfungsmaßnahmen

- Beispiel Heppendorf (Setzungen zwischen 1998 und 2006)

Punktfeld



Flächenhafte Setzungen

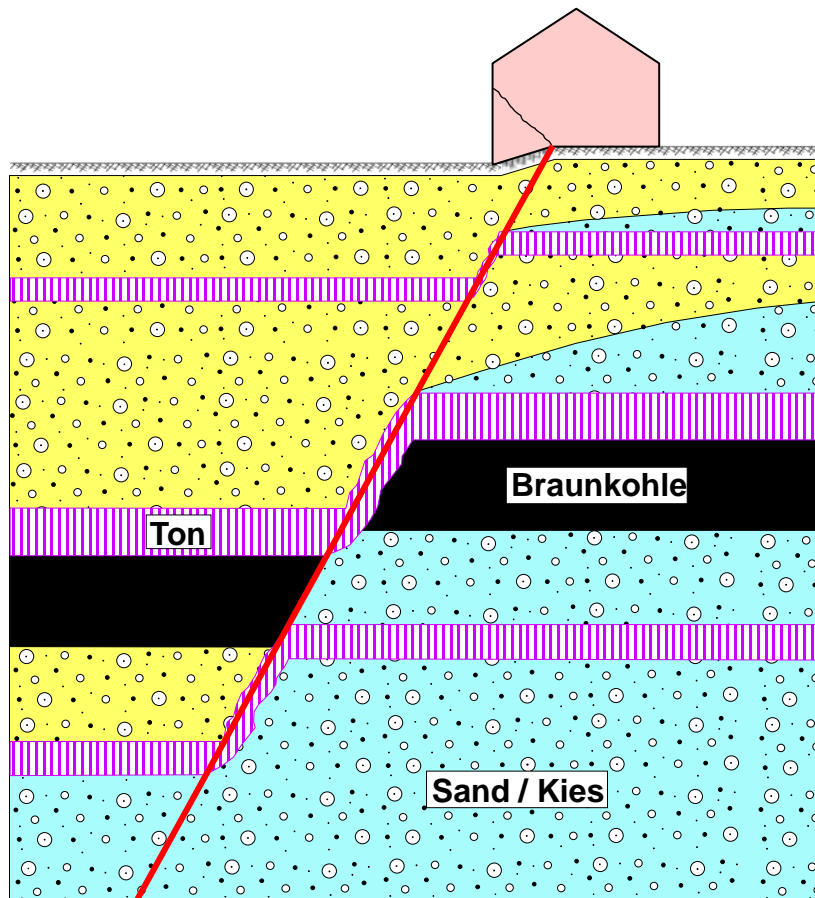


Grundsätzliche Fragestellungen

- **Gibt es eine „gleichförmige“ Bodensenkung?**
 - Absenkung / Geneigte Ebene / Gekrümmte Fläche
 -
- **Gibt es geologische Besonderheiten?**
 - bewegungsaktive tektonische Störung
 - Auengebiete (mit humosen Böden, Grundwasserbeeinflussung)
- **Gibt es kleinräumige „Sonderbewegungen“?**
- **Wie können Messabweichungen von tatsächlichen Bewegungen unterschieden werden?**

Wann können Bergschäden auftreten?

Nur bei geologischen Besonderheiten können unter bestimmten Grundvoraussetzungen Bergschäden durch unterschiedliche Bodenbewegungen auftreten. Diese sind ...

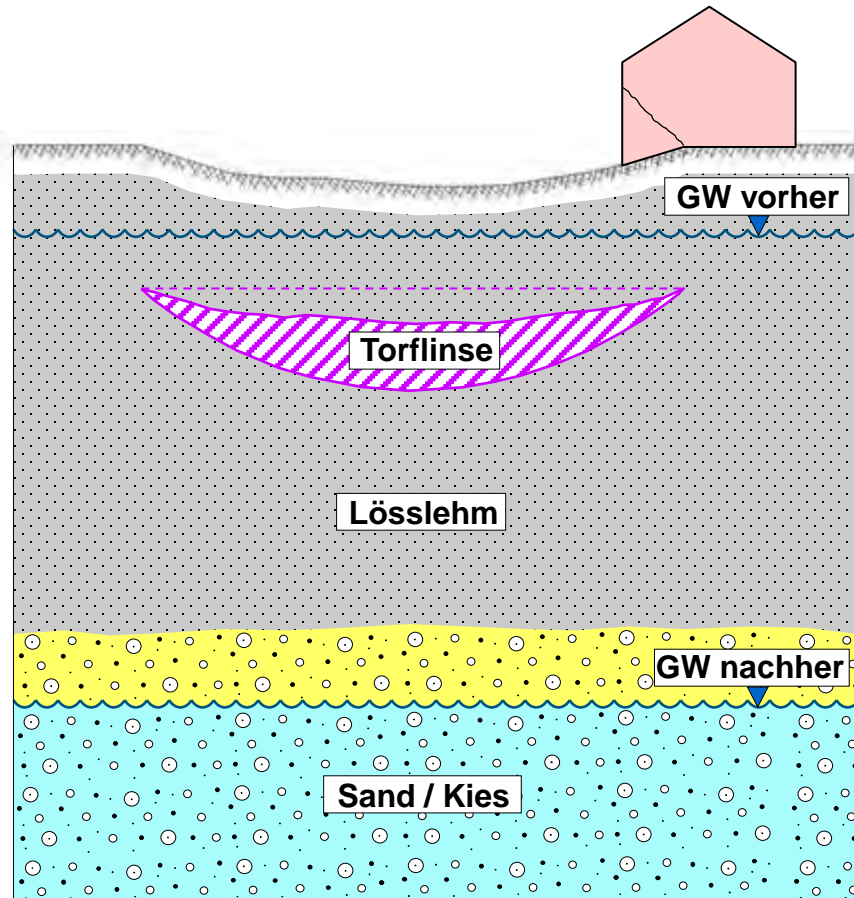


Typ I: Hydrologisch wirksame, tektonische Störungen.

Verhindert eine solche Störung die gleichmäßige Ausbreitung der Grundwasserabsenkung bzw. –entspannung, so kann hierdurch an der Erdoberfläche eine linienförmige, eng begrenzte und stufenartige Absatzbildung entstehen.

Quelle: RWE Power AG

Wann können Bergschäden auftreten?



Typ II: Vom Grundwasser umschlossene Aueböden, die partiell mehr oder weniger humose Bestandteile oder sogar Torfschichten beinhalten.

Werden diese Böden entwässert und somit der Sauerstoffzufuhr ausgesetzt, können sie mit unterschiedlichen, schädlichen Setzungen reagieren.

Sind bauliche Anlagen über einer Absatzausbildung bzw. oberhalb entwässerter humoser Aueböden gegründet, so sind entsprechende Schäden nicht auszuschließen.

Quelle: RWE Power AG

Airborne Laserscanning

- **Messplattform:** Flugzeug / Helikopter
- **Messinstrument:** Laserscanner
- **Bodenauflösung:**
Dezimeter (Helikopter) bis Meter (Flugzeug)
- **Genauigkeit:**
0.05m – 0.2m (Höhe), 0.2m – 1.0m (Lage)
- **Vorteil:** flächenhafte Erfassung

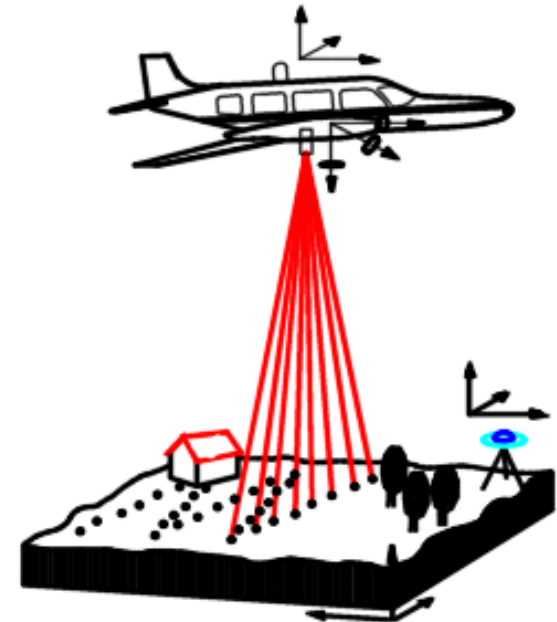


Bild: geoinformatik.uni-rostock.de

Zu ungenau

Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)

- **Messplattform: Satellit**
insb. Terrasar-X, Tandem-X
- **Messinstrument: Radar**
- **Bodenauflösung: 1m / 3m / 10m**
- **Höhengenauigkeit: einige Zentimeter**
mit PSI: mm/Jahr relativ zu „Festpunkten“
- **Vorteil: flächenhafte Erfassung**

Probleme:

- **Unbebaute Fläche: Oberflächenveränderung**
- **Gebäude: nur die Dächer sind sichtbar**
- **Lebensdauer der Satelliten?**

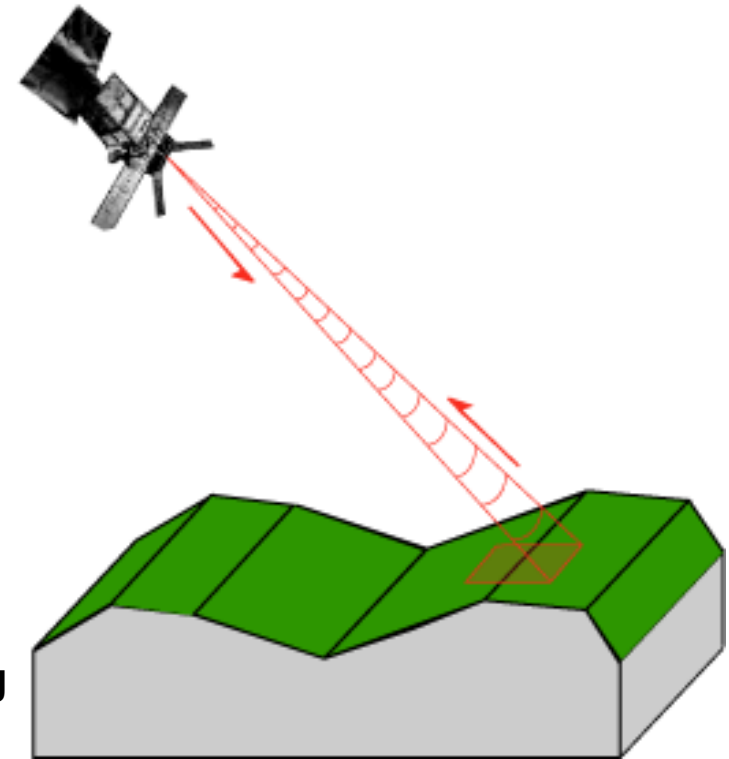


Bild: comet.earth.ox.ac.uk

Könnte interessant werden

Höhennivellement

- Überwachung der Bodensenkungen u.a. durch die RWE Power AG und die Vermessungsverwaltung
- Messinstrument: Präzisionsnivellier
- Messkampagnen: Präzisionsnivellements in regelmäßigen zeitlichen Abständen
- Vermarkung: stabile Höhenbolzen an Häusern

Ergebnis:

- Höhenunterschiede relativ zu einem Ausgangszeitpunkt
- Messgenauigkeit: $\sigma = 1 \text{ mm}$ (Standardabweichung)

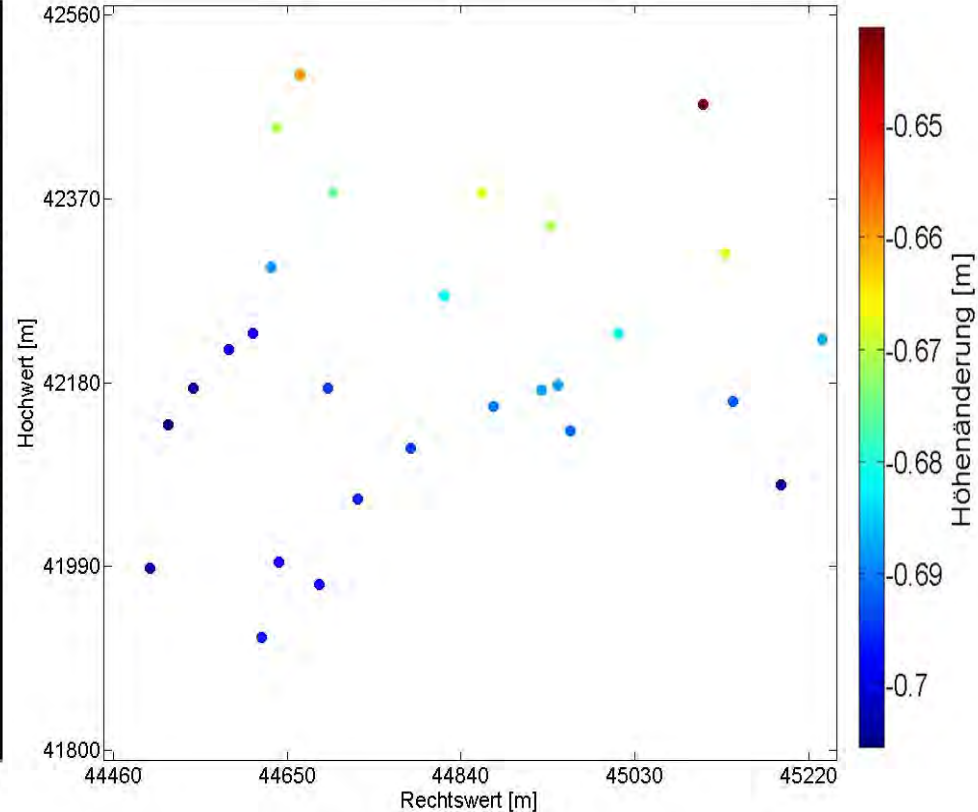
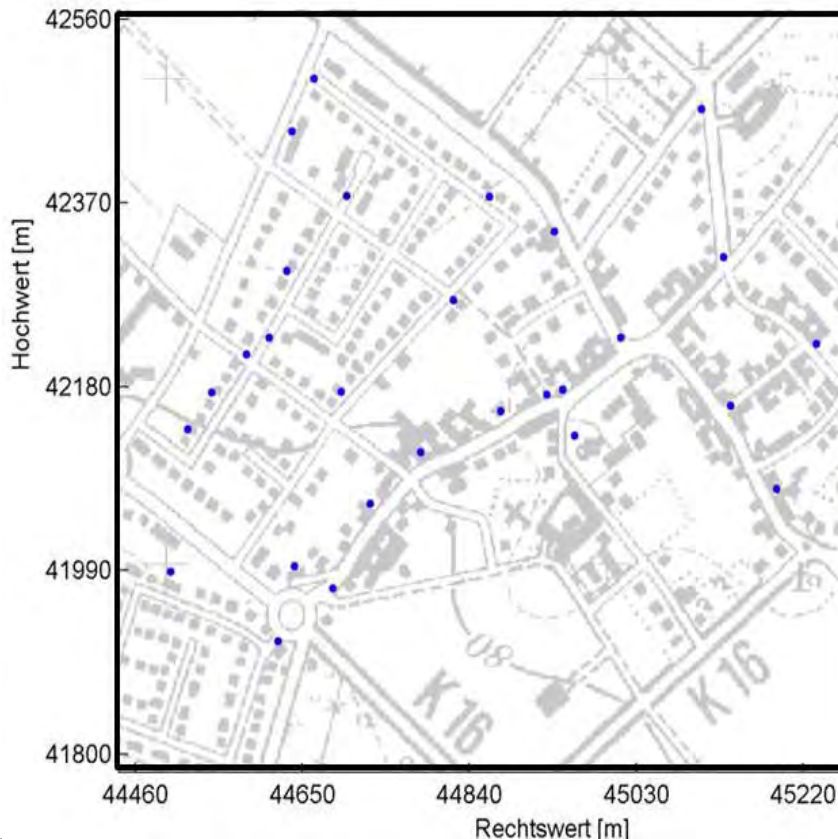


Bild: wikipedia.de

Verwendetes Verfahren

- 28 Messpunkte
- Ausdehnung ca. 800 m x 700 m
- Messkampagnen 1998 u. 2006
- Höhenunterschiede ca. -0.71 m bis -0.64 m
- Zunahme Richtung Süd / Süd-West

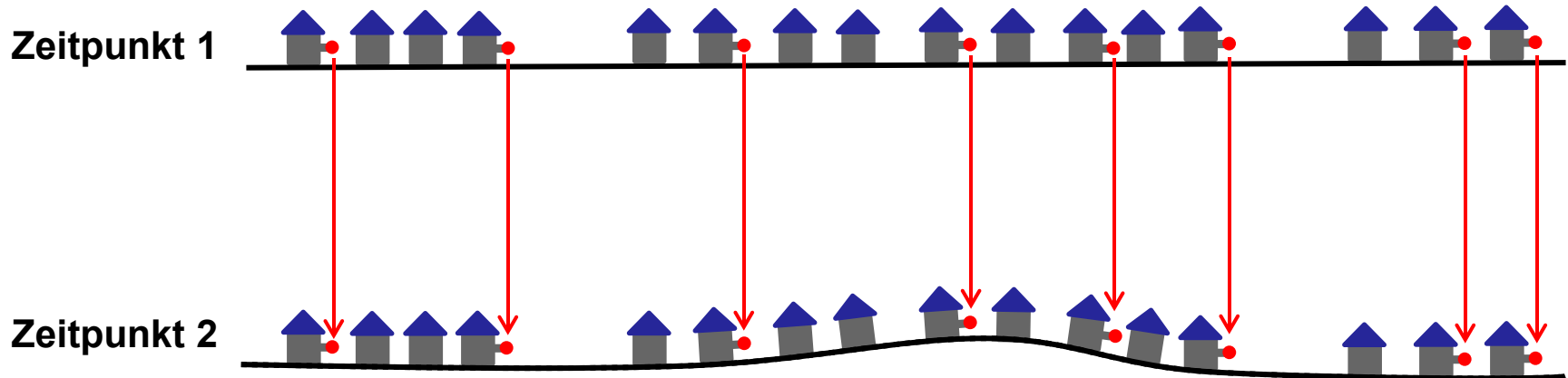
Punktdichte ist abhängig von Komplexität der Bodensenkungen



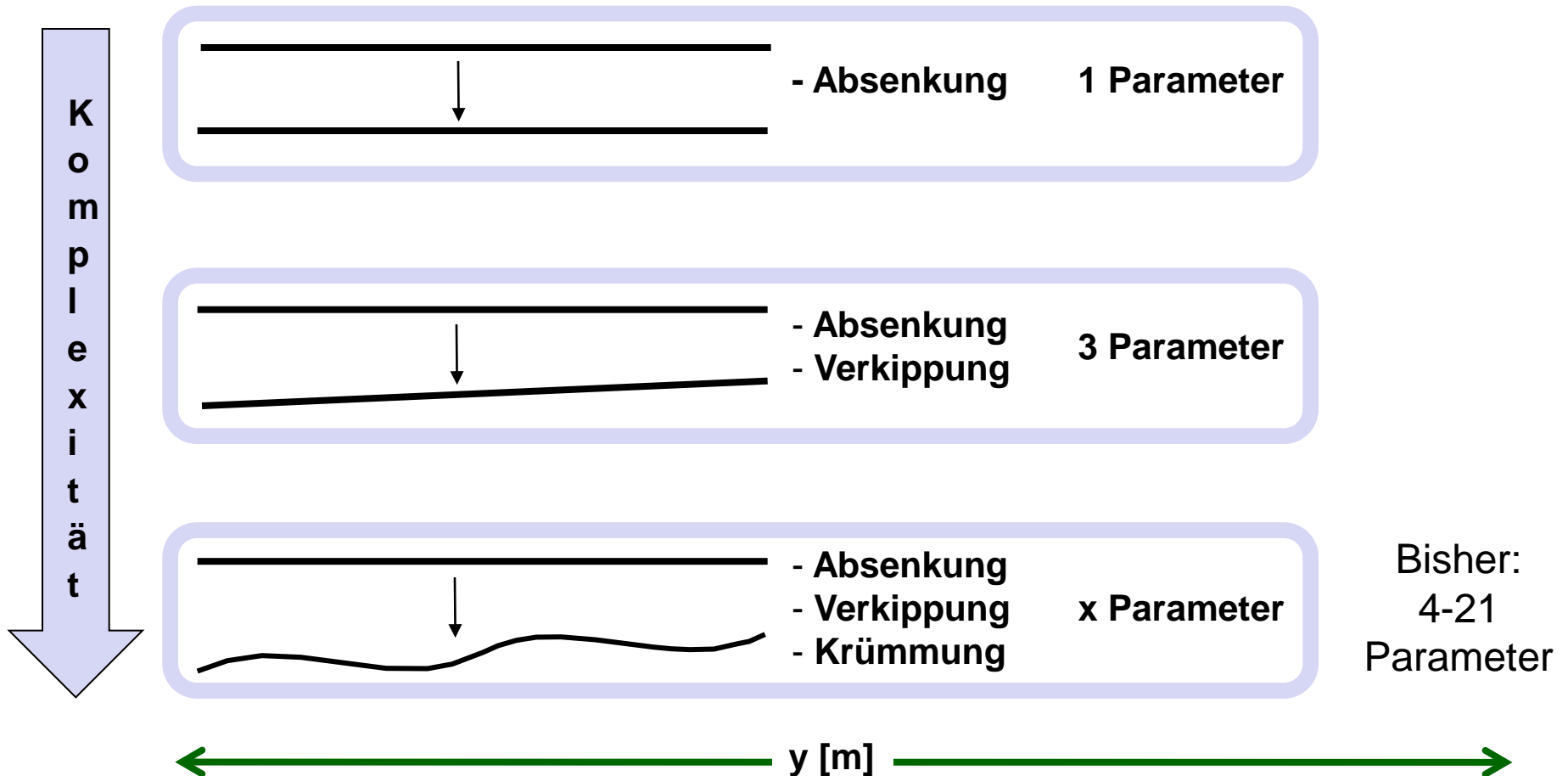
Vorstellung der Auswerteverfahren

Bestimmung von Flächendeformationen

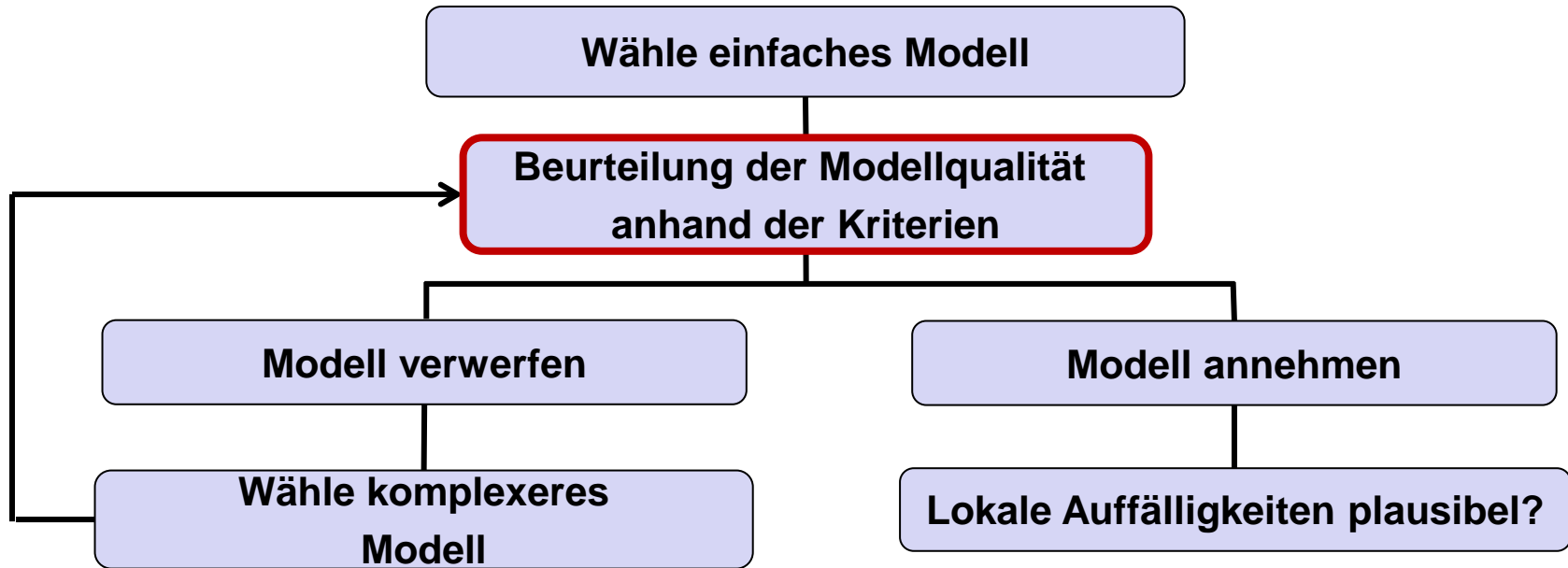
1. Höhennivellement zum Zeitpunkt 1
2. Höhennivellement zum Zeitpunkt 2
3. Bildung von Höhendifferenzen
4. Erstellung eines mathematischen Modells zur flächenhaften Darstellung
5. Übertragung des Modells auf das gesamte Untersuchungsgebiet



Beschreibung der großräumigen Bodenbewegung



Vorgehen bei der Entwicklung des Modells



Vorteile des Vorgehens:

- es gehen keine Vorinformationen ein → hypothesenfrei
- die Übereinstimmung von Modell und Realität ist beurteilbar

Überprüfung der Modellqualität

- **Generelles Problem / Aufgabe:**
Trennung der Messunsicherheiten von tatsächlichen Punktbewegungen

- **Eigenschaften des Nivellements:**

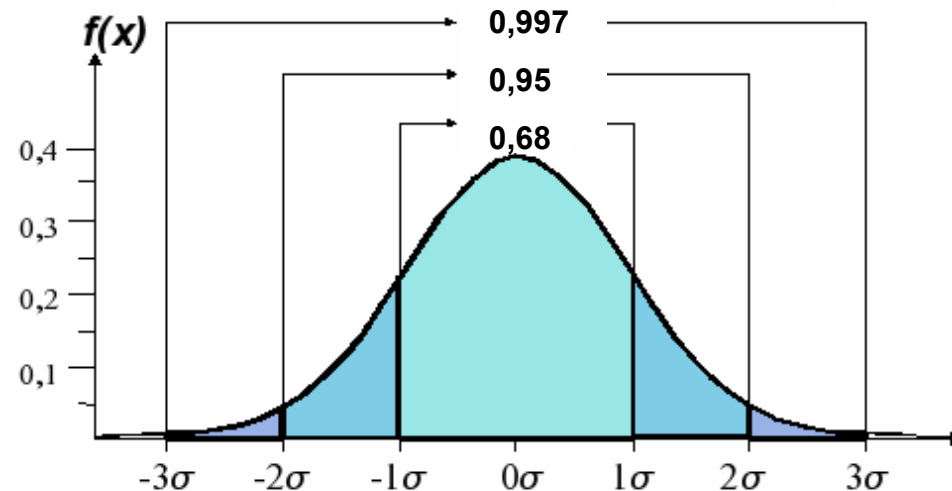
- Genauigkeit $\sigma = 1$ mm
- Zufällige Messunsicherheiten liegen zu **99.7%** im Intervall von $3 \cdot \sigma = 3$ mm

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)$$

- **Festlegung Grenzwert:**

- üblich: 3 mm (99.7%)
- hier: 2.58 mm (99.0%)

➔ **mehr Modellabweichungen
werden als Punktbewegungen
aufgefasst**



Kriterien zur Entwicklung eines geeigneten Modells

- (1) Anzahl auffällige Punkte vs. Gesamtanzahl der Punkte
- (2) Anzahl Parameter vs. Gesamtanzahl der Punkte
- (3) Räumliche Verteilung der auffälligen Punkte
- (4) „Muster“ in den Modellabweichungen der Punkte
- (5) Empirische Standardabweichung s



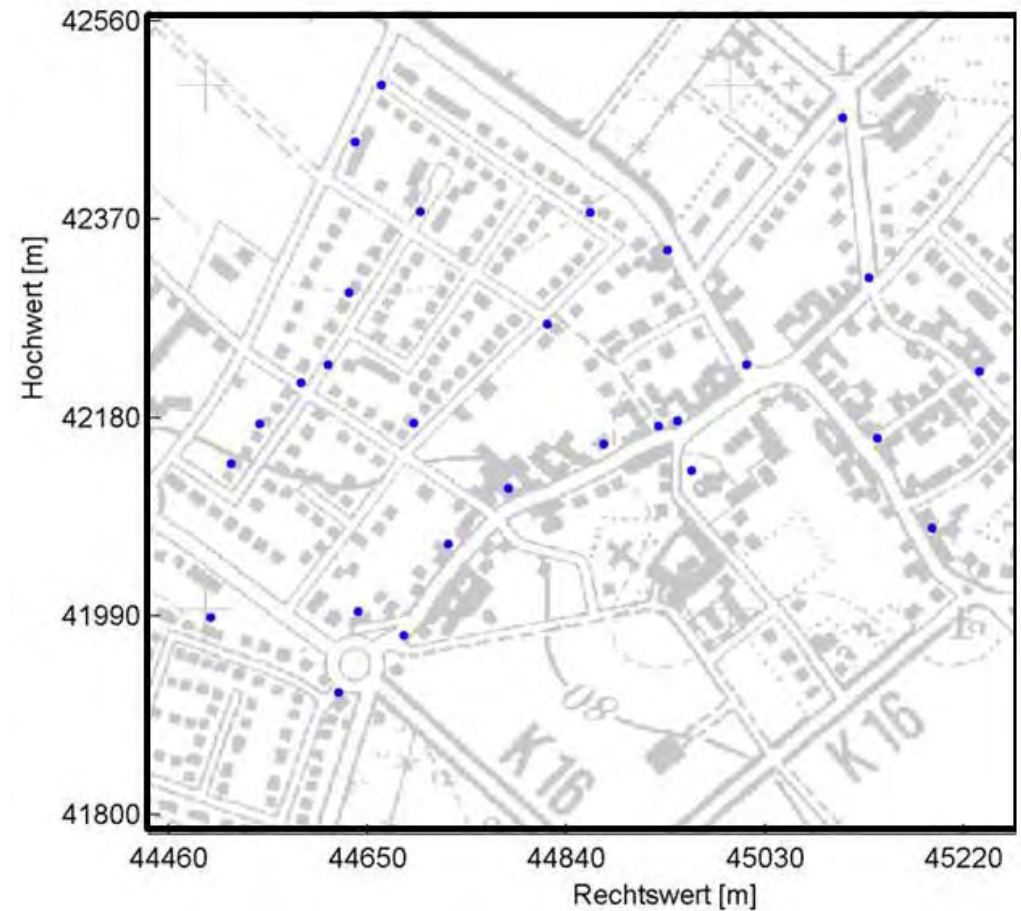
Kriterien müssen für eine erfolgreiche Modellierung erfüllt sein

Fallbeispiele aus Untersuchungsgebieten

Verteilung der Messpunkte

- **28 Messpunkte**
- **Ausdehnung**
ca. 800 m x 700 m
- **Messkampagnen**
1998 u. 2006
- **Homogene**
Punktverteilung

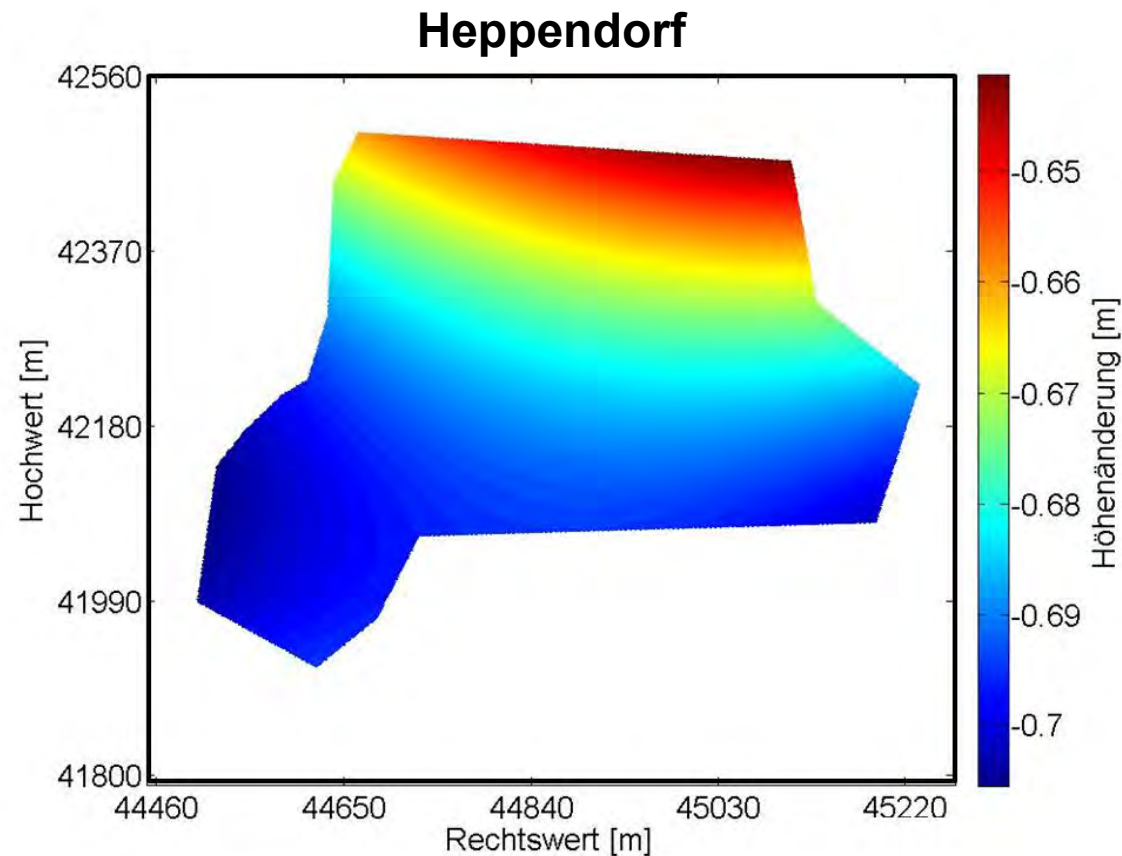
Heppendorf



Mathematische Flächendarstellung

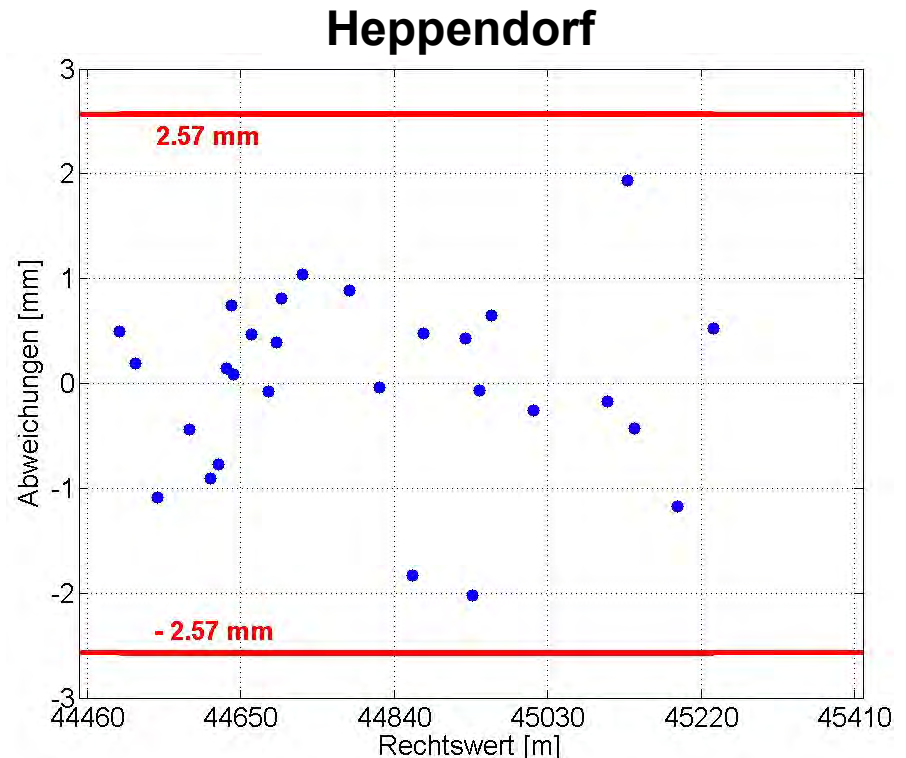
- $P(x,y) = a_{00} + a_{01} \cdot y + a_{02} \cdot y^2 + a_{10} \cdot x + a_{11} \cdot x \cdot y + a_{20} \cdot x^2$

- 6 geschätzte
signifikante Parameter
- Ordnung Polynom 2
- Anzahl Parameter
signifikant kleiner als
Anzahl Beobachtungen



Abweichungen von der Modellfläche

- keine auffälligen Punkte enthalten
- zufällige, unsystematische Streuung der Abweichungen
- Standardabweichung empirisch: $s = 0.9$ mm

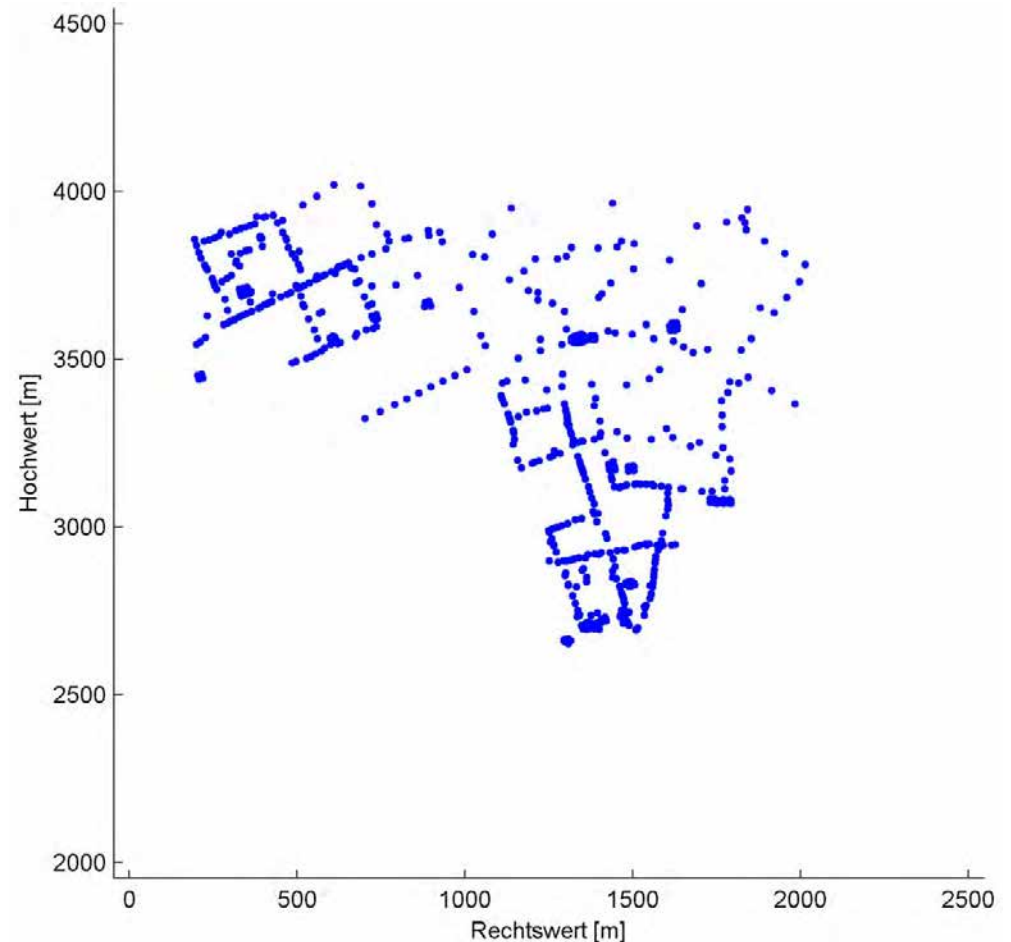


➔ **Alle Kriterien sind erfüllt**

Verteilung der Messpunkte

- **638 Messpunkte**
- **Ausdehnung
ca. 2000 m x 1500 m**
- **Messkampagnen
1999 u. 2007**

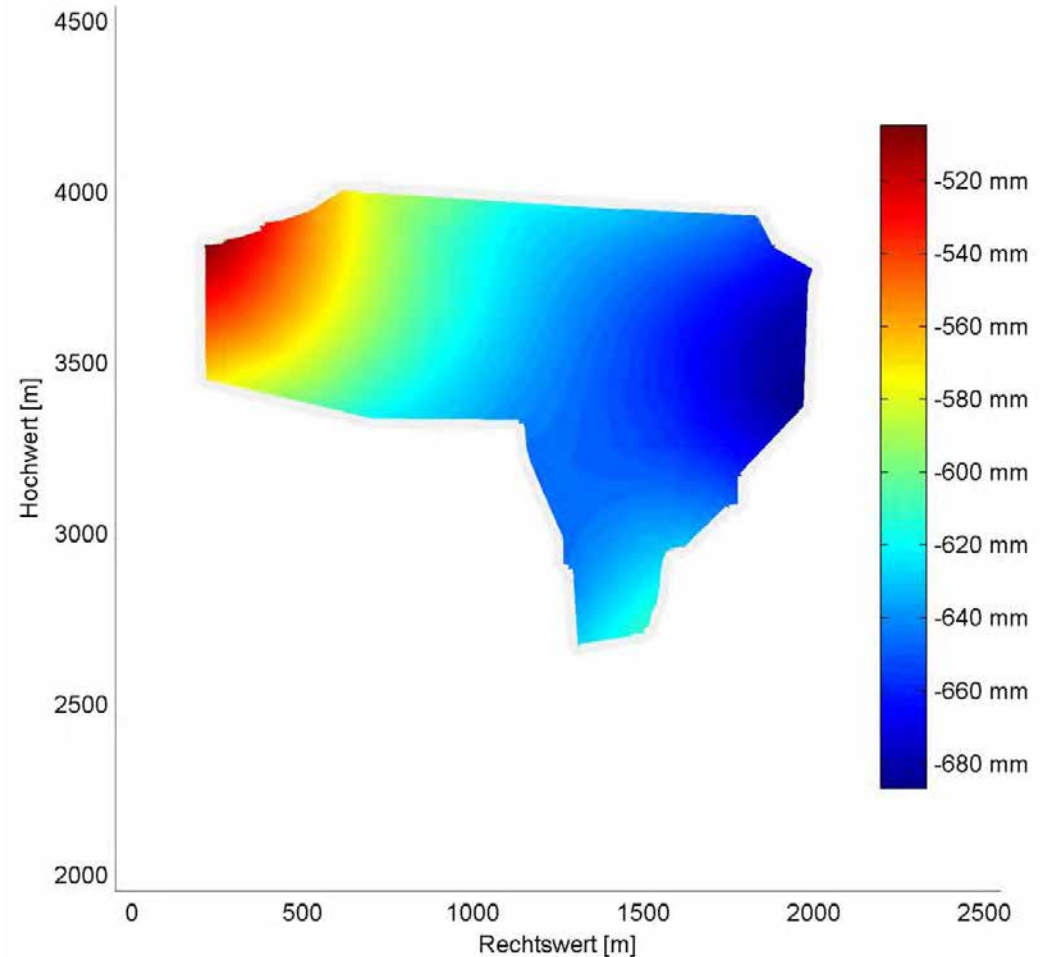
Berrendorf



Mathematische Flächendarstellung

- 20 geschätzte
signifikante Parameter
- Ordnung Polynom: 5
- Anzahl Parameter
signifikant kleiner als
Anzahl Beobachtungen

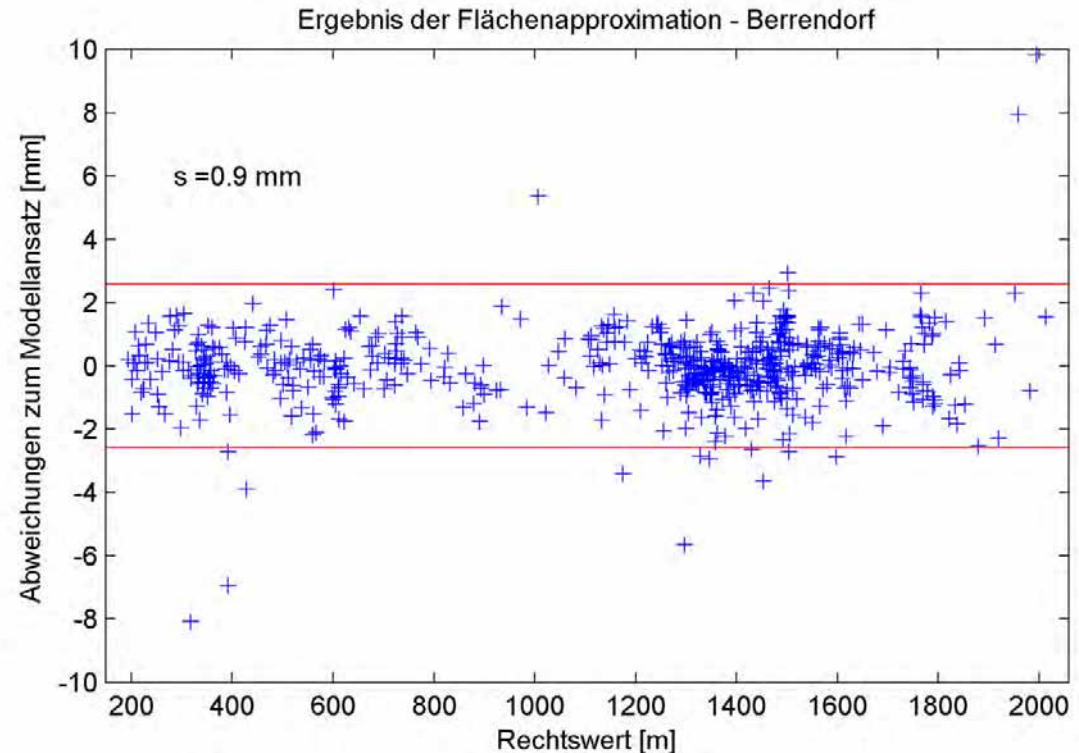
Berrendorf



Abweichungen von der Modellfläche

Berrendorf

- **16 auffällige Punkte** enthalten
- **zufällige, unsystematische Streuung** der Abweichungen
- **Standardabweichung empirisch: $s = 0.9$ mm**

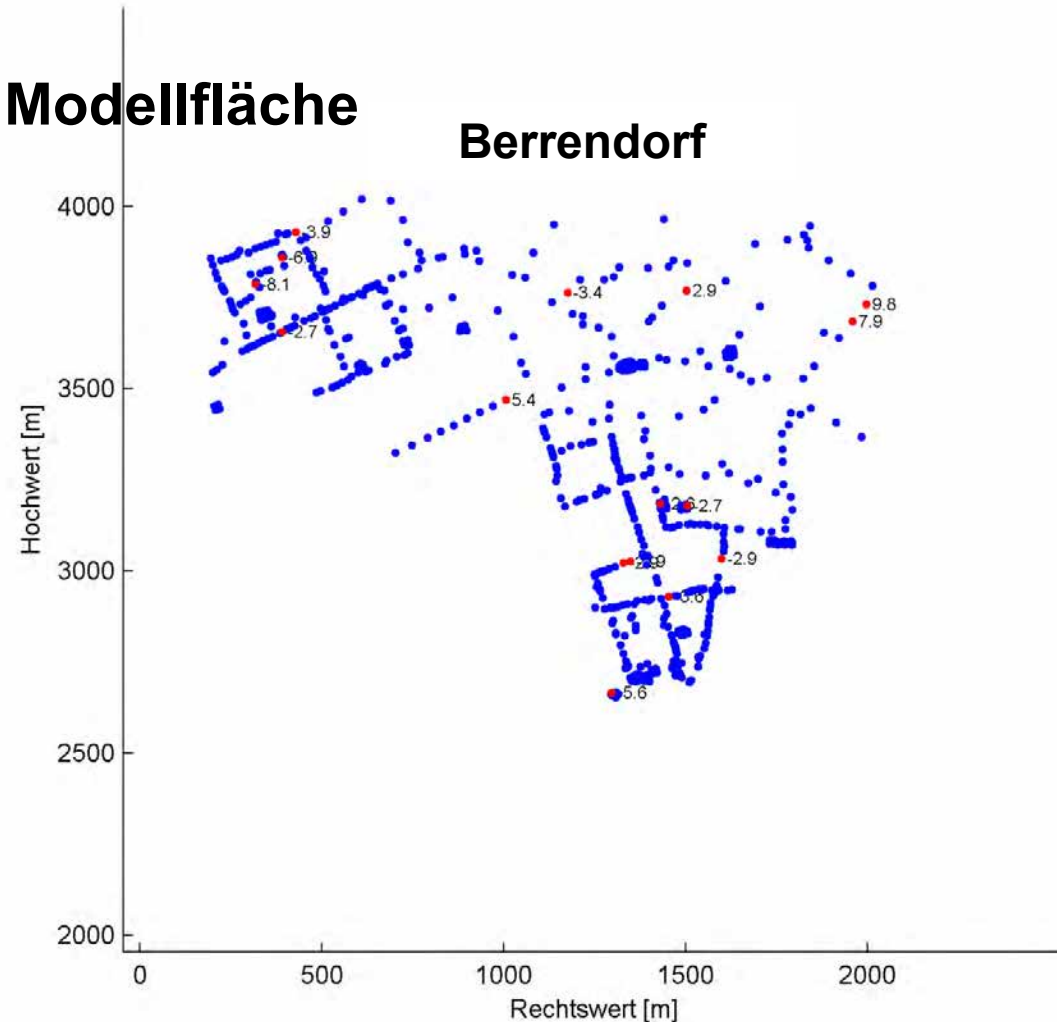


➔ Alle Kriterien sind erfüllt

Ursache für auffällige Punkte: siehe Gutachten Prof. Preuße

Abweichungen von der Modellfläche

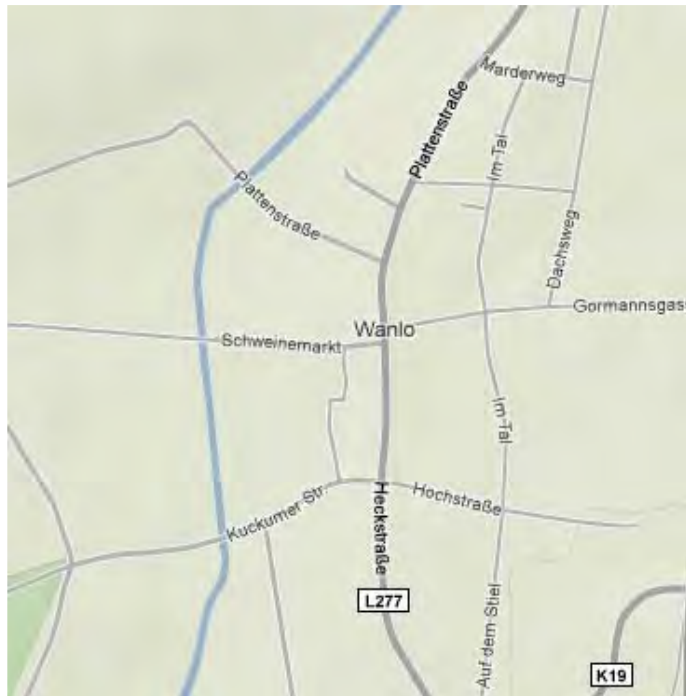
- 16 auffällige Punkte enthalten
- zufällige, unsystematische Streuung der Abweichungen
- Standardabweichung empirisch: $s = 0.9$ mm



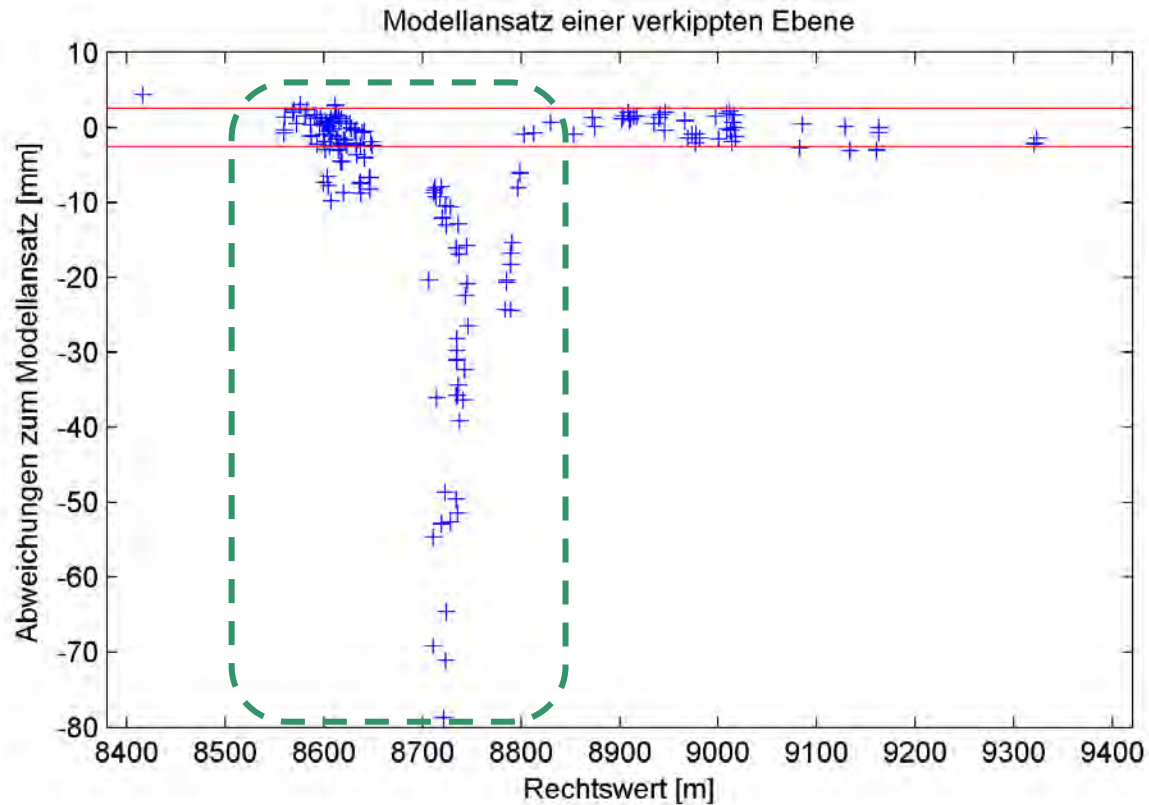
➔ **Alle Kriterien sind erfüllt**

Ursache für auffällige Punkte: siehe Gutachten Prof. Preuße

- 161 Messpunkte
- Messkampagnen: 1996 u. 2008
- Modellansatz: Verkippte Ebene



Wanlo



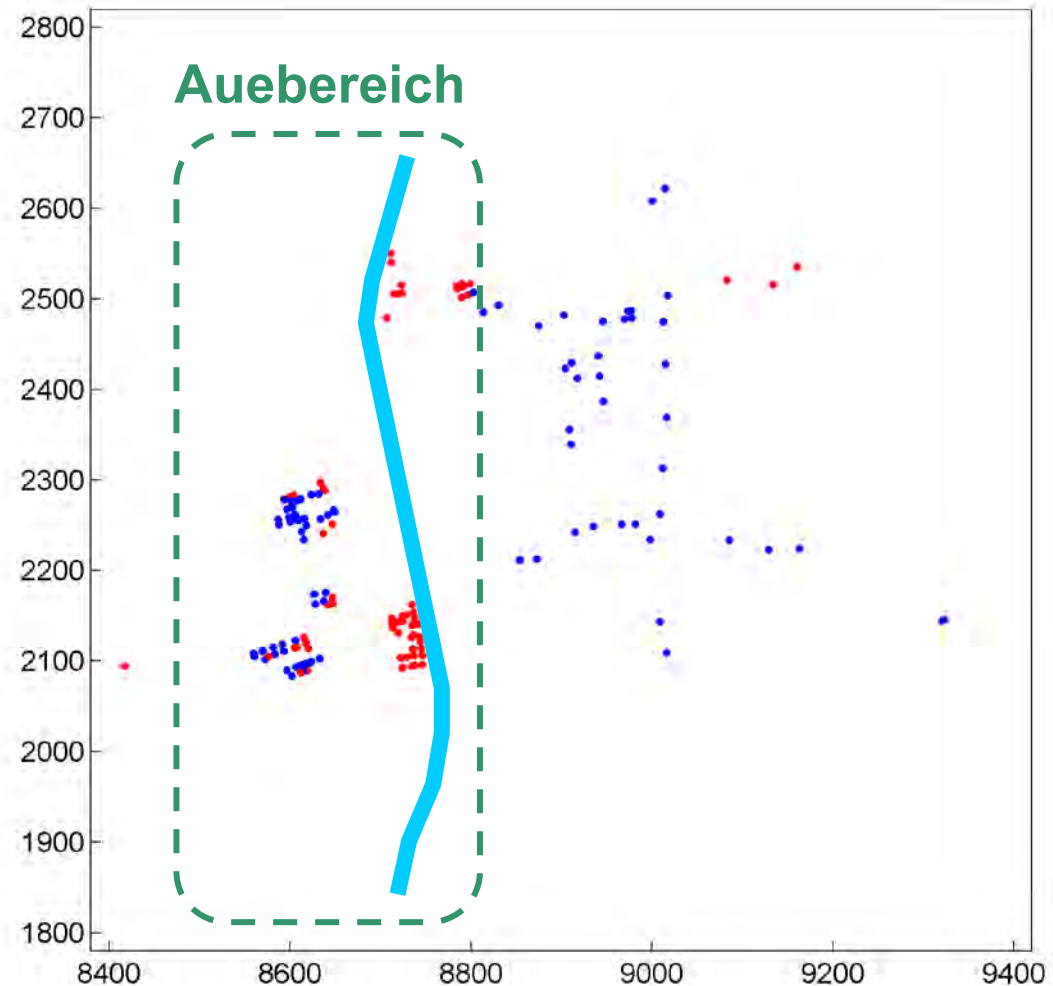
- Modell der Ebene wird für einen Teil der Punkte bestätigt
- **Bewegungsanomalie** im Bereich des grün hervorgehobenen Bereichs
- keine scharfe Abgrenzung möglich

- Informationen über die geologische Sondersituation (Aue) wurden nicht für die Auswertung verwendet

- Eine geologische Sondersituation wurde detektiert

→ Separate Analyse des Auegebietes

Wanlo

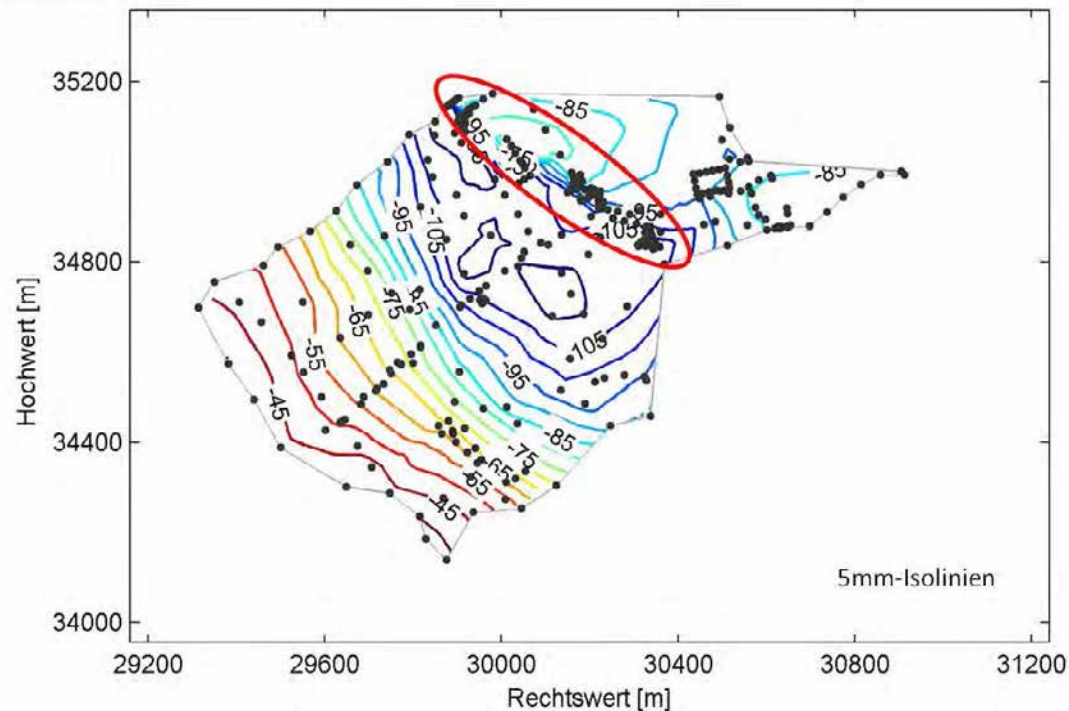


- **Blau:** Abweichungen innerhalb Grenzwert
- **Rot:** Abweichungen außerhalb Grenzwert

Merken

- Höhenmessungen an ca. 200 Punkten in einem Gebiet von 900 m x 1200 m Ausmaß
- Messkampagnen aus den Jahren 1999, 2003, 2009, 2010

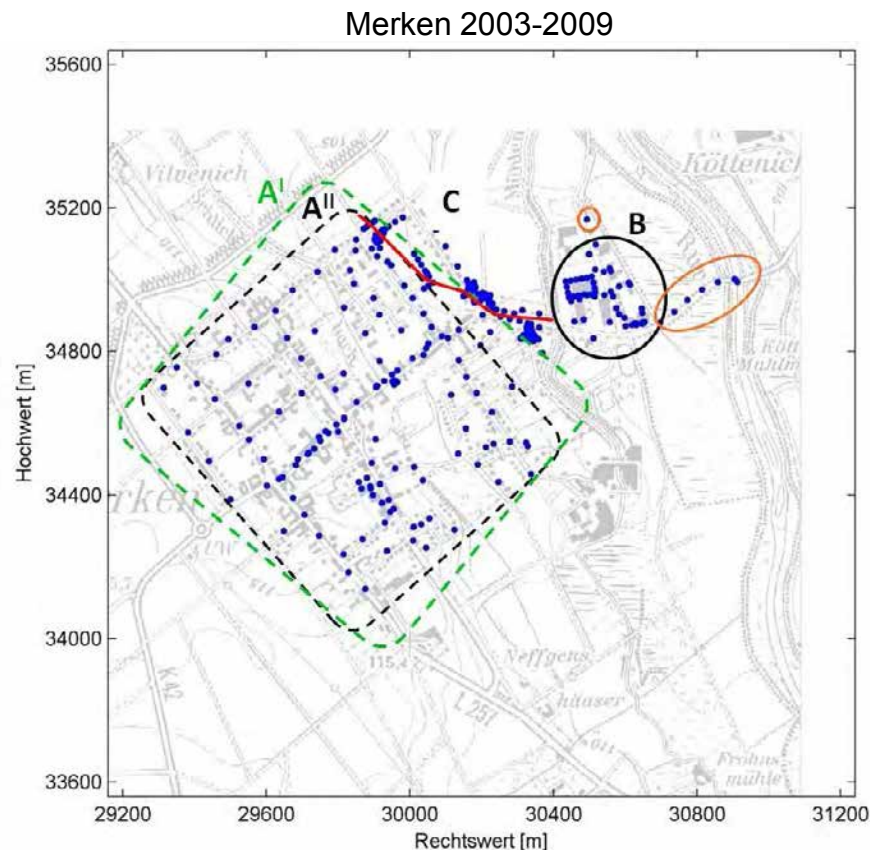
Merken 2003-2009



- Verdichtung der Isolinien im Bereich der roten Ellipse
=> erste Anzeichen für eine bewegungsaktive tektonische Anomalie

Abgrenzung von Teilflächen

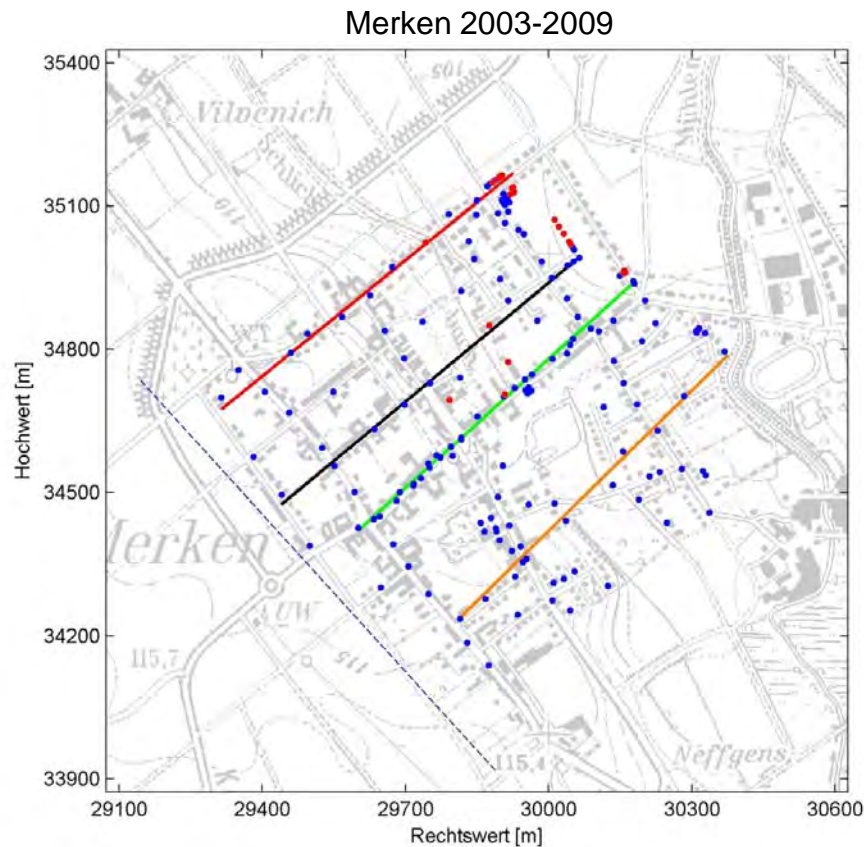
- Beschreibung des Senkungsverhalten des gesamten Gebietes mittels einer Modellfläche ist nicht möglich (wg. Tektonik)



- Abhilfe: Abgrenzung von Teilflächen
=> iterative Anwendung des Flächenansatzes
- Teilbereich A:
 - Zunächst Betrachtung eines Zwischenschrittes mit Teilbereich A^I
 - iteratives Prüfen einzelner Punkte auf Flächenzugehörigkeit

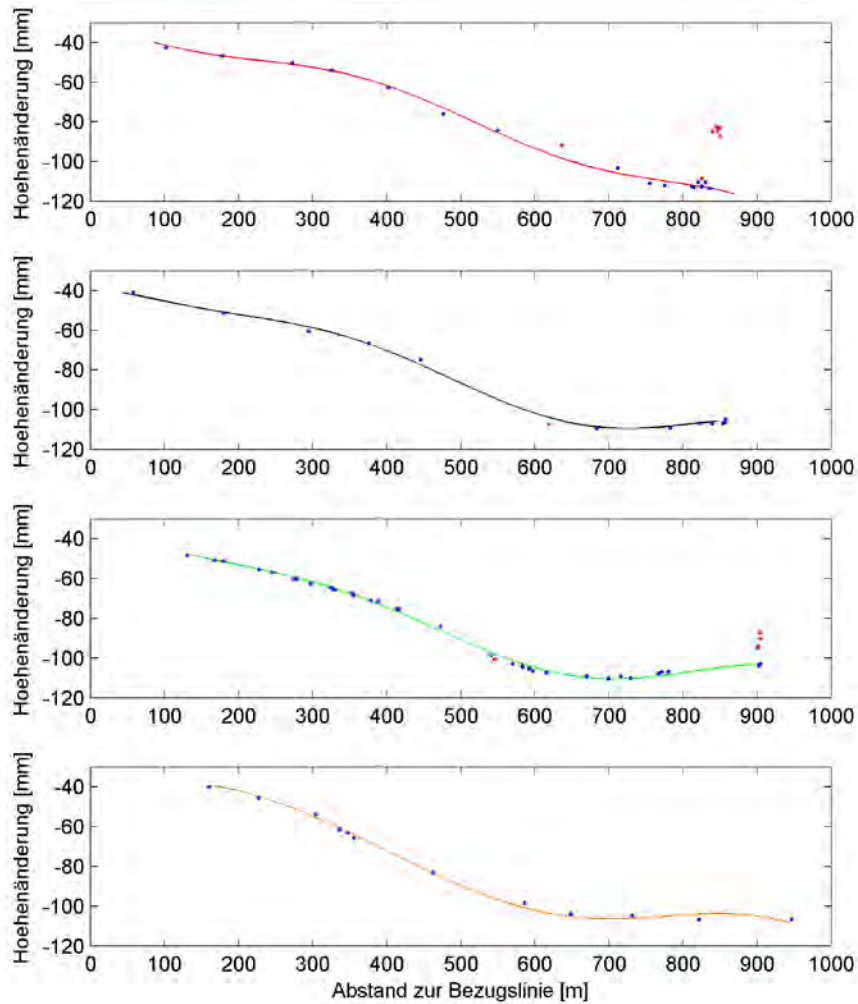
Abgrenzung von Teilflächen

- Prüfen, ob Modell im Teilbereich A^I zur vollständigen Beschreibung des Senkungsverhaltens geeignet ist



- Betrachtung der Höhenänderungen entlang einzelner Profile

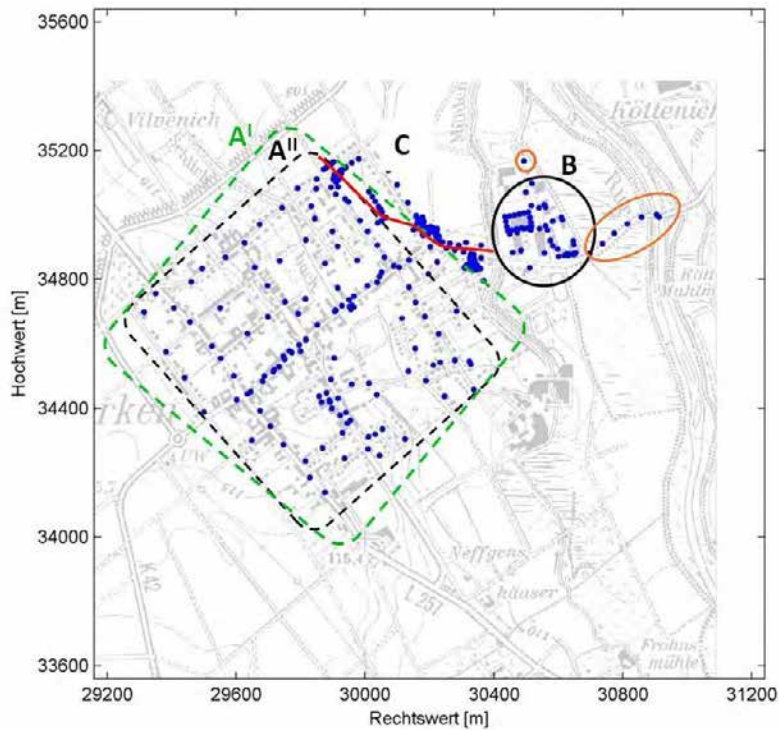
Abgrenzung von Teilflächen



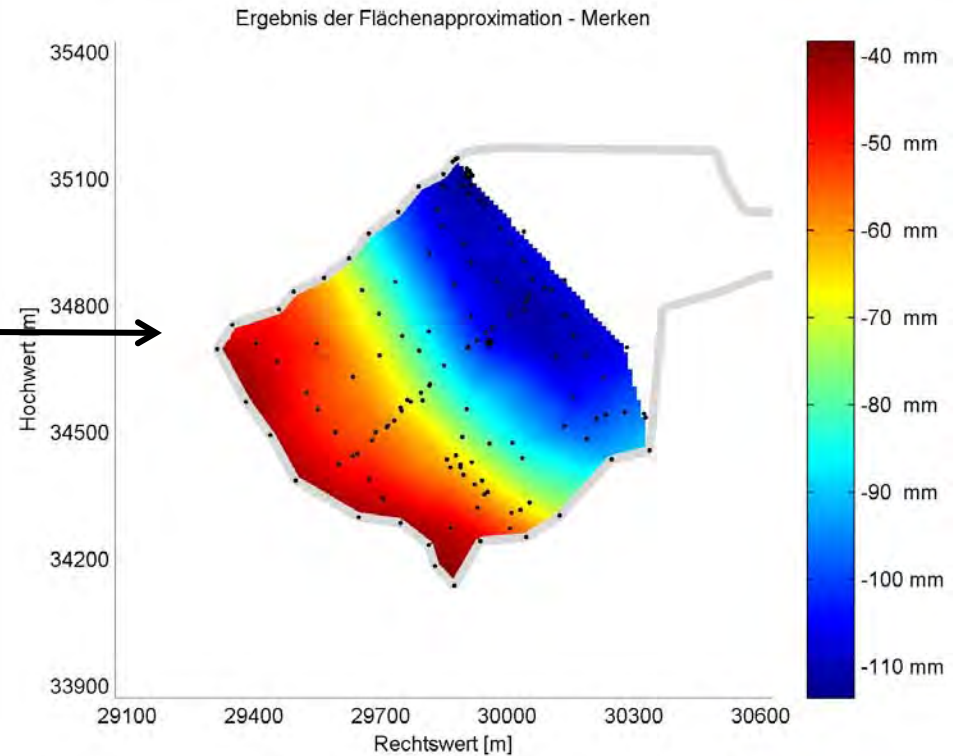
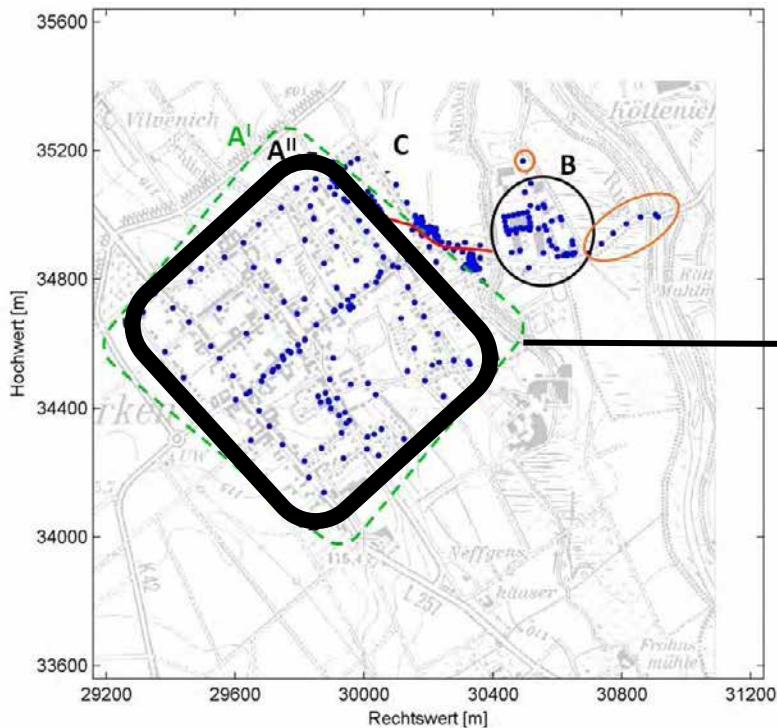
- glatte Modellfläche beschreibt das Senkungsverhalten sehr gut
 - gilt jedoch nicht für Punkte im Bereich der Störzone
- => Detektion von Punkten der Störzone**

Abgrenzung von Teilflächen

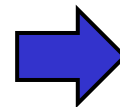
- Ergebnis: Eingrenzung des Teilbereichs A^I auf A^{II}
- Teilbereich B
- Teilbereich C (Punkte der Störzone)



Flächenapproximation - Teilbereich A^{II}

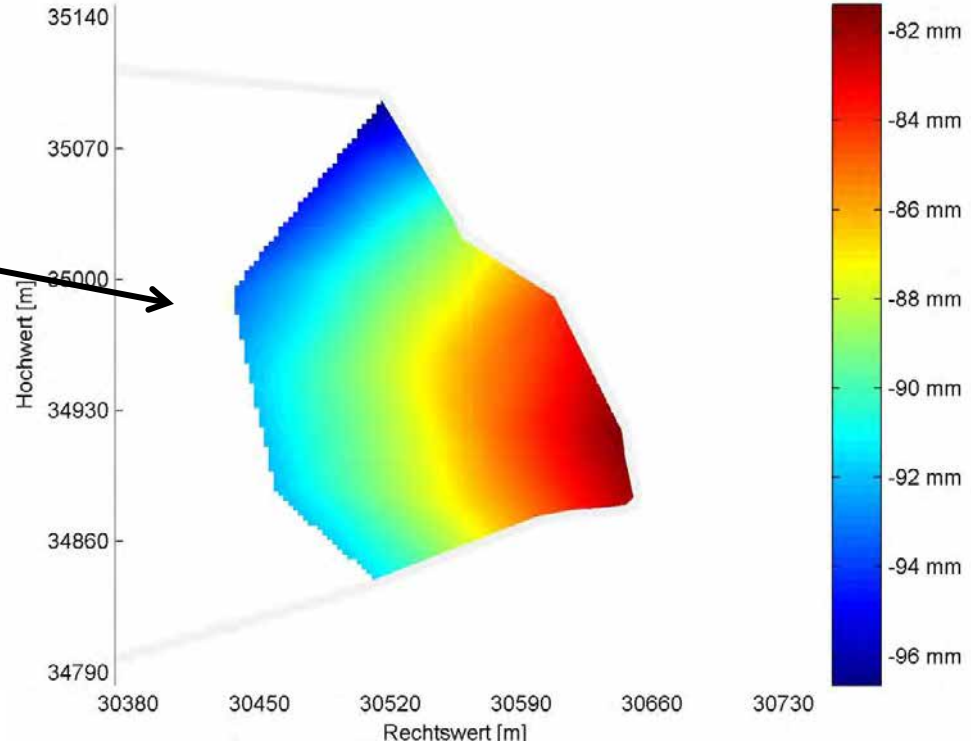
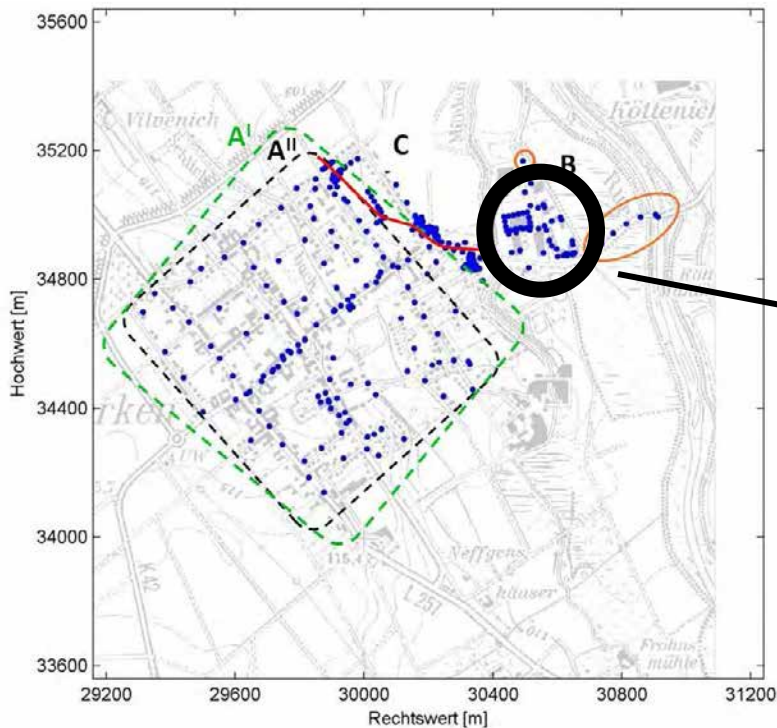


- 21 Parameter / 139 Beobachtungen
- 5 auffällige Punkte (ohne Systematik)
- Abweichungen normalverteilt
- Empirische Standardabweichung $s=1.1\text{mm}$

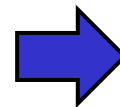


Alle Kriterien sind erfüllt

Flächenapproximation - Teilbereich B

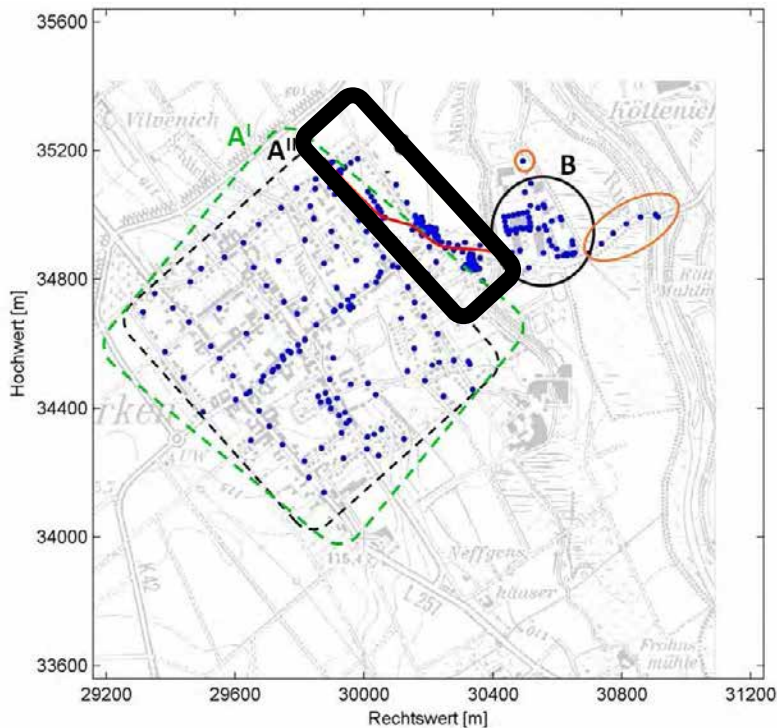


- 4 Parameter / 49 Beobachtungen
- 3 auffällige Punkte (ohne Systematik)
- Abweichungen normalverteilt
- Empirische Standardabweichung $s=0.9\text{mm}$



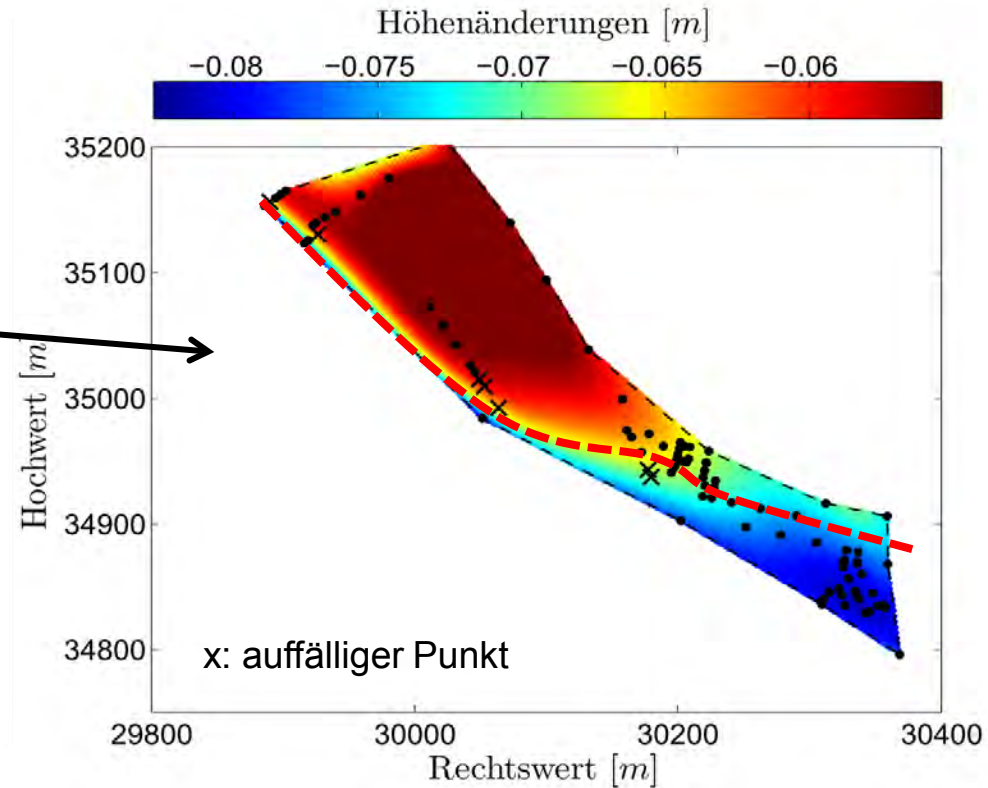
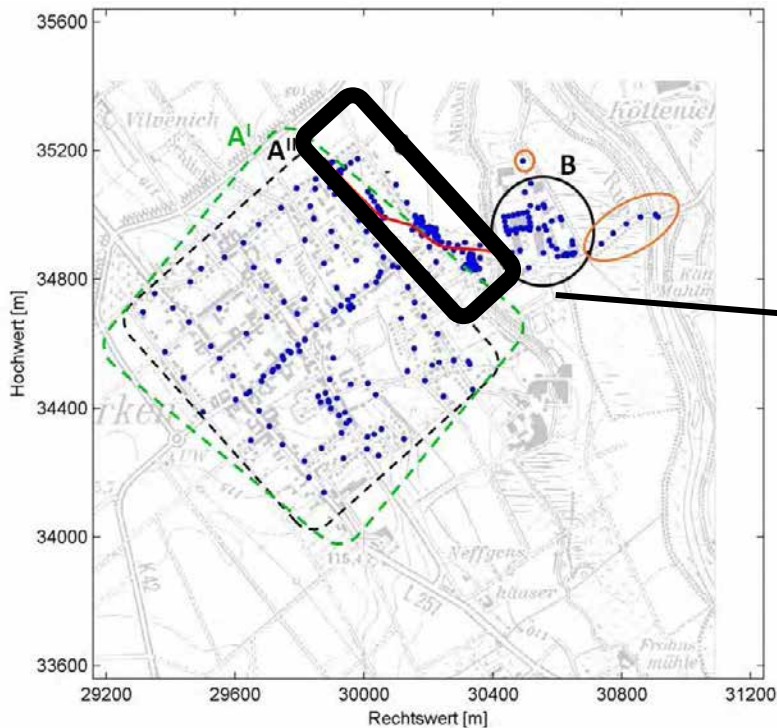
Alle Kriterien sind erfüllt

Flächenapproximation - Teilbereich C (Störzone)



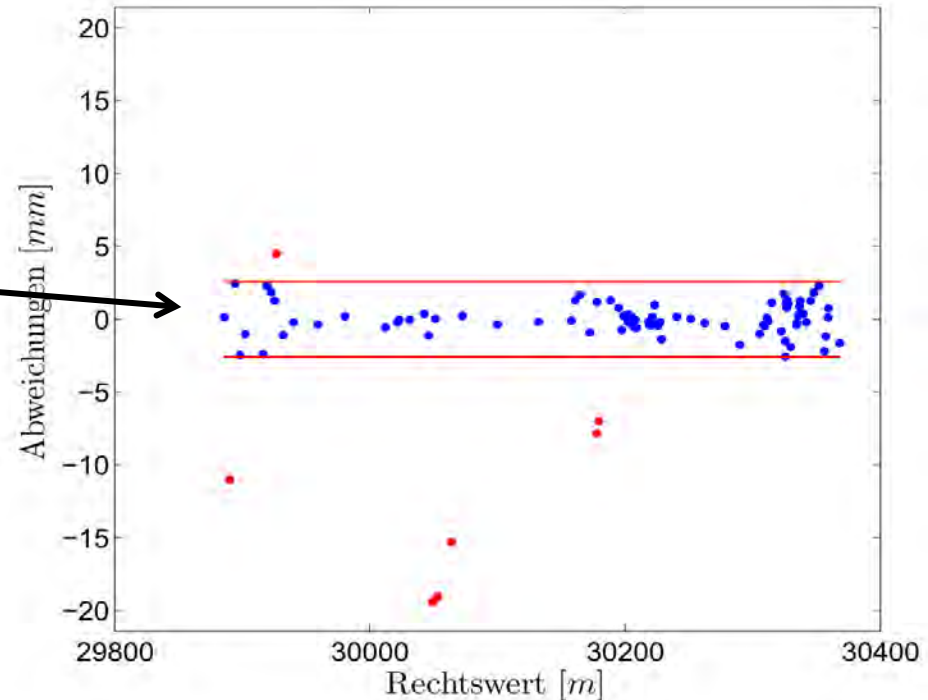
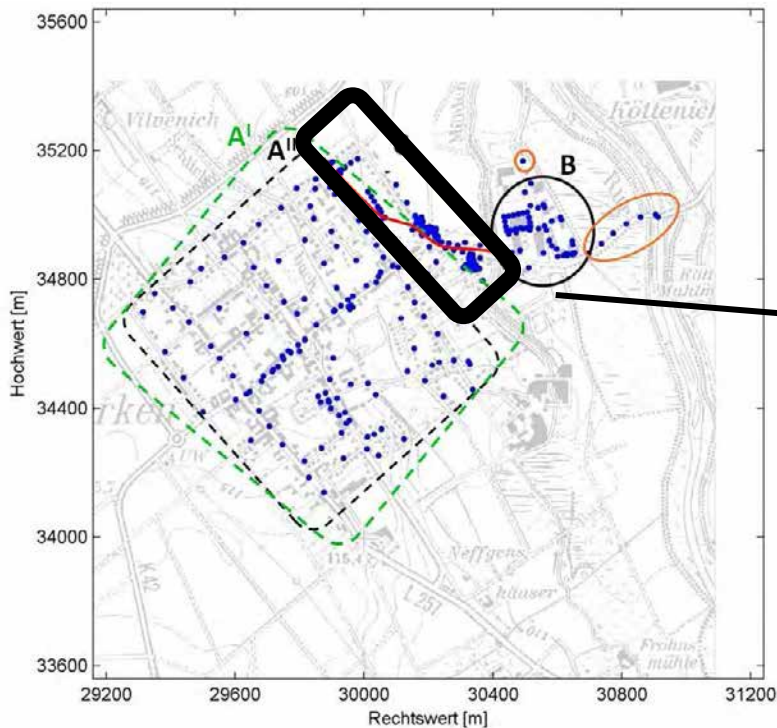
- Teilbereich C liegt beidseitig der Störzone (rote Linie)
⇒ Kein Flächenansatz, sondern evtl. Einzelpunktbeobachtungen
- Zur Veranschaulichung dennoch Versuch der Flächenanalyse

Flächenapproximation - Teilbereich C (Störzone)

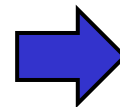


- 14 Parameter / 93 Beobachtungen
- 7 auffällige Punkte (systematische Anordnung entlang Störzone)

Flächenapproximation - Teilbereich C (Störzone)



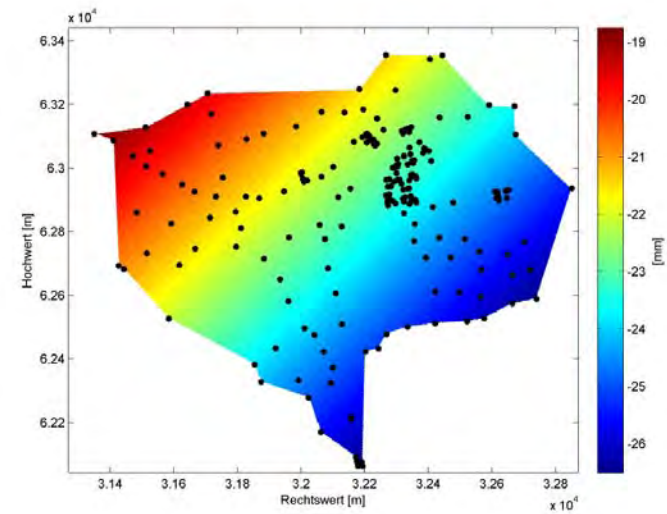
- 14 Parameter / 93 Beobachtungen
- 7 auffällige Punkte (systematische Anordnung entlang Störzone)
- Abweichungen normalverteilt (auffällige Punkte mit systematischer Abweichung)



Nicht alle Kriterien sind erfüllt:
Verwerfung des Flächenansatzes
für diesen Teilbereich mit Störzone

Analyse der Punktverteilung

- Sind insgesamt genug Punkte vorhanden?
- Sind lokal zu viele oder zu wenige Punkte vorhanden?



- Lokale Punktanhäufungen beeinflussen die Bestimmung der Flächendeformationen in höherem Maße
- Es ist schwierig, Aussagen über Bereiche zu treffen, wo wenig Punkte vorhanden sind
- Die Zuverlässigkeit der Aussagen hängt von der Homogenität der räumlichen Punktverteilung ab
- Die Punktzahl sollte entsprechend der Komplexität der Bodenbewegungen steigen

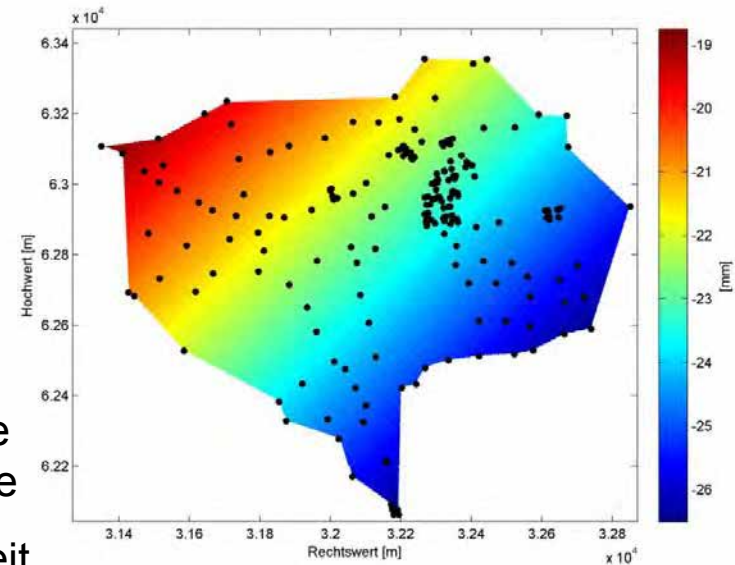
=> Optimierung der Punktverteilung

Homogenisierung / Optimierung der Punktverteilung

=> Wie viele Punkte werden benötigt und wo müssen diese liegen?

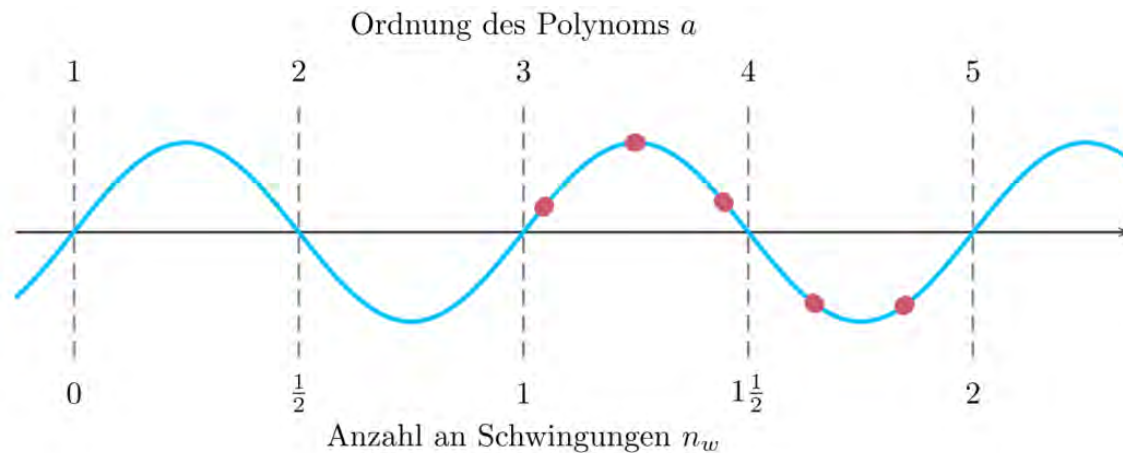
Ansatz:

1. Nehme vorhandene Situation
 - ⇒ Beschreibe „Welligkeit“ (Polynom)
2. Methoden aus Signalverarbeitung / Frequenzanalyse und Ausgleichsrechnung / Zuverlässigkeitstheorie
 - ⇒ Generiere Gitter über das Gebiet in Abhängigkeit der „Welligkeit“
3. In jeder Gitterzelle muss mindestens 1 Punkt liegen



Homogenisierung / Optimierung der Punktverteilung

Frequenzanalyse



- ⇒ Wie viele Punkte brauche ich?
- ⇒ Wo sollten zusätzliche Punkte liegen?

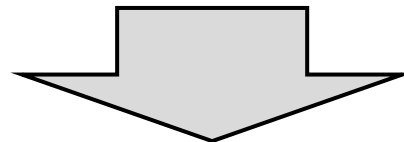
Zuverlässigkeitstheorie

$$\hat{p} = (A^T Q_{ll}^{-1} A)^{-1} A^T Q_{ll}^{-1} l$$

$$\hat{l} = \underbrace{A(A^T Q_{ll}^{-1} A)^{-1} A^T Q_{ll}^{-1}}_H l$$

$$r_i = 1 - [H]_{i,i}$$

- ⇒ Sind die Ergebnisse zuverlässig genug?
- ⇒ Wo muss die Zuverlässigkeit größer werden?

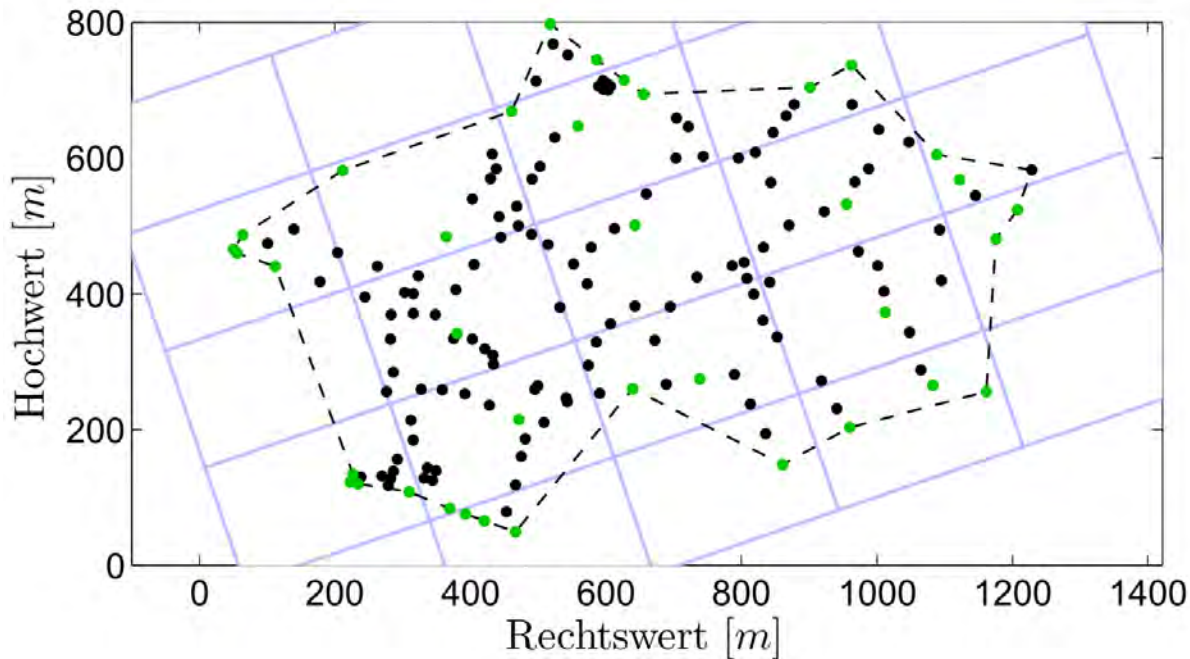


**Erstellung einer optimalen Punktanordnung (Netzkonfiguration)
auf Basis gegebener Daten**

Beispielgebiet Heppendorf (2009-2011)

Ziel:

„In jeder Gitterzelle
sollte ein Punkt
liegen“



- Originale Daten / gegebene Punkte: **schwarz** + **grün** (162)
- Flächenpolynom: Ordnung 2 / 6 Parameter

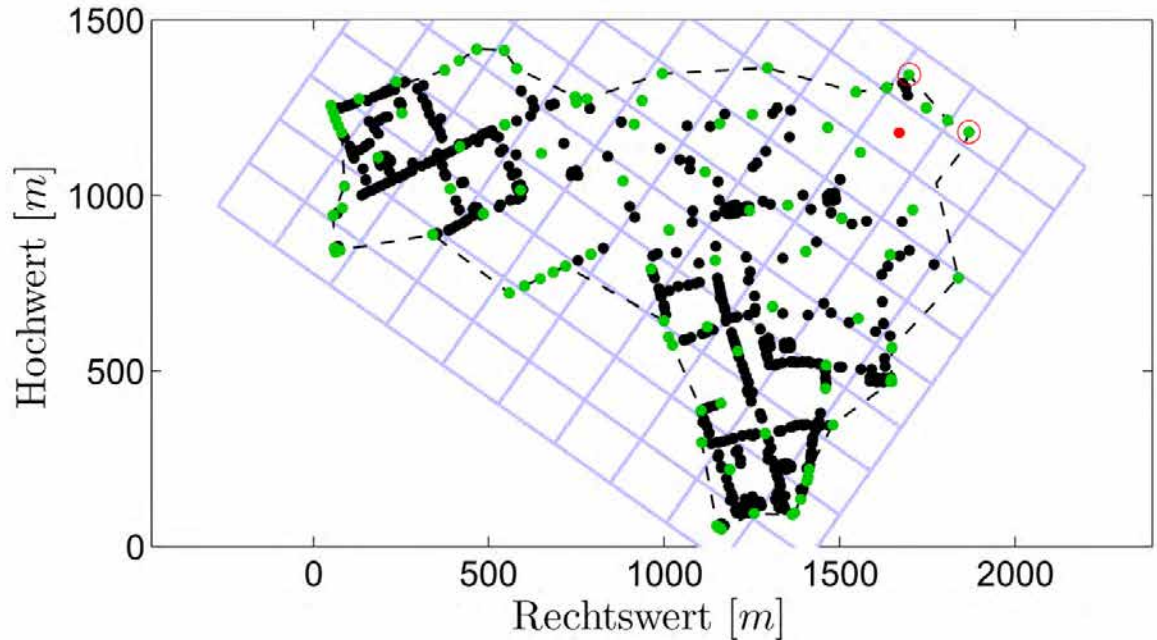
Optimierung

- **schwarz**: Kontrollpunkte (können zur Verifizierung dienen) (125)
- **grün**: optimal verteilte gegebene Punkte (37)

Beispielgebiet Berrendorf (1999-2007)

Ziel:

„In jeder Gitterzelle
sollte ein Punkt
liegen“



- Originale Daten / gegebene Punkte: **schwarz + grün** (638)
- Flächenpolynom: Ordnung 5 / 20 Parameter

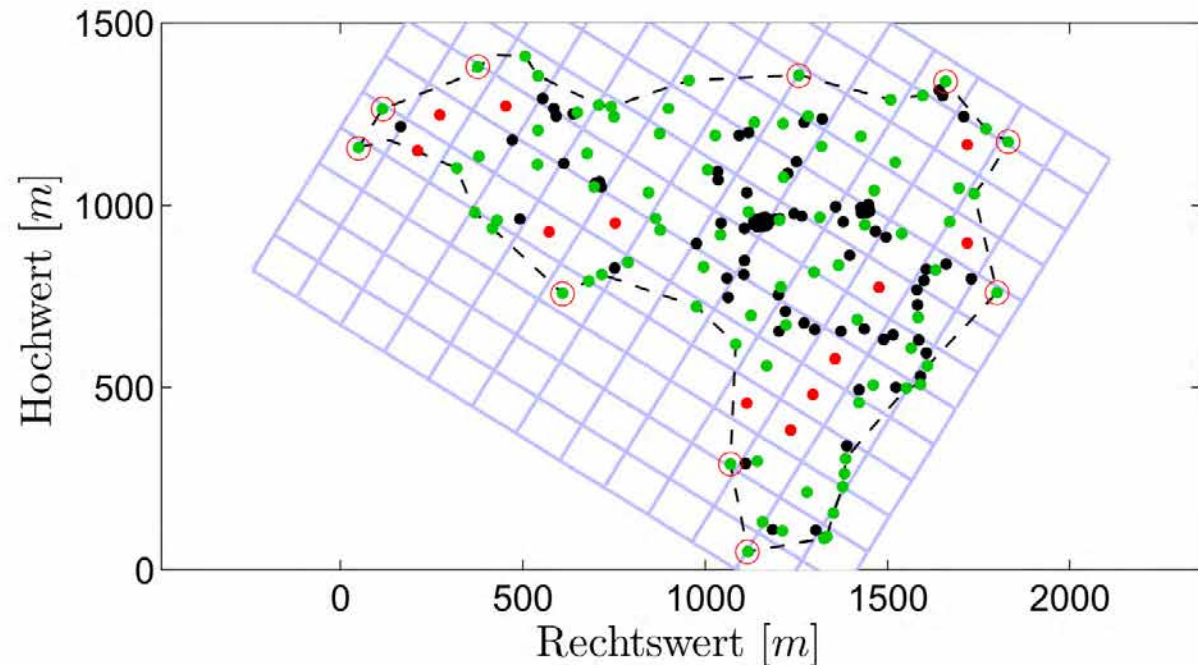
Optimierung

- **schwarz**: Kontrollpunkte (können zur Verifizierung dienen) (546)
 - **grün**: optimal verteilte gegebene Punkte (92)
 - **rot**: hinzuzufügende Punkte (1)
 - **rote Kreise**: hinzuzufügende „Zwillingspunkte“ für optimale Zuverlässigkeit (2)
- } 95

Beispielgebiet Berrendorf (1992-2007)

Ziel:

„In jeder Gitterzelle
sollte ein Punkt
liegen“

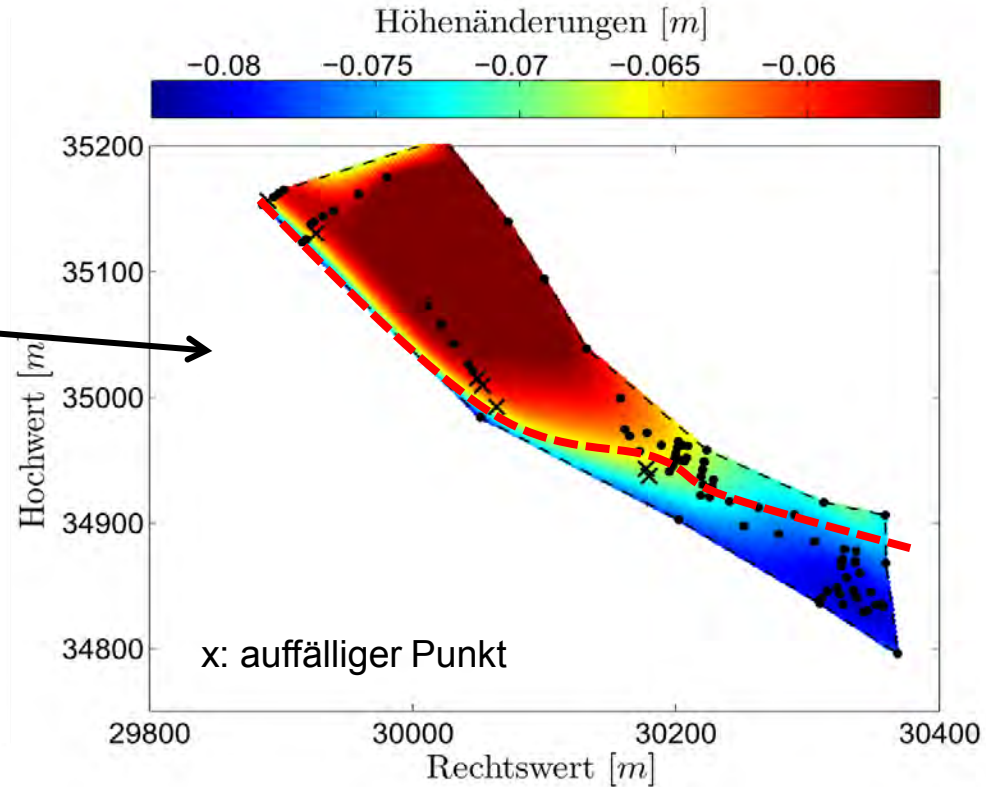
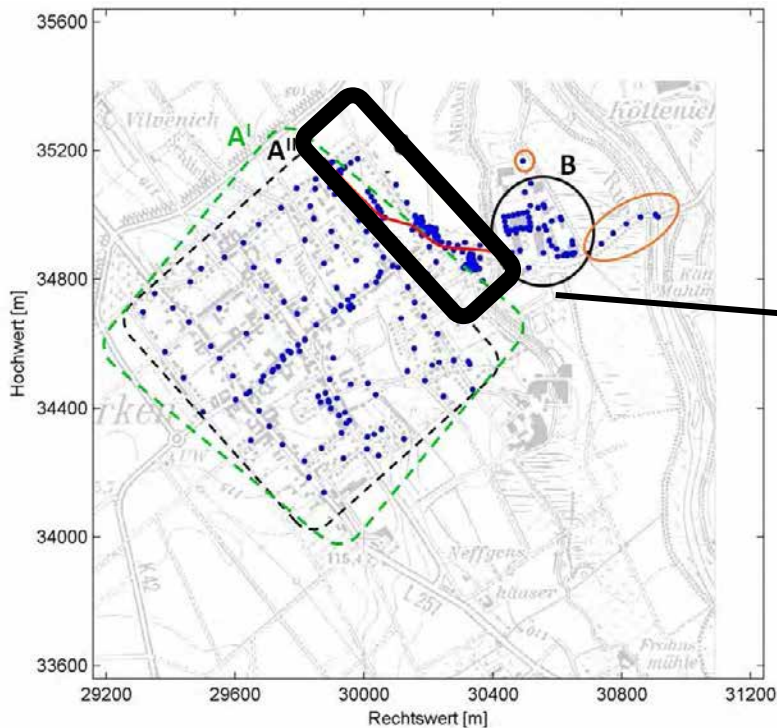


- Originale Daten / gegebene Punkte: **schwarz + grün** (194)
- Flächenpolynom: Ordnung 6 / 21Parameter

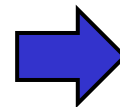
Optimierung

- **schwarz**: Kontrollpunkte (können zur Verifizierung dienen) (110)
 - **grün**: optimal verteilte gegebene Punkte (84)
 - **rot**: hinzuzufügende Punkte (12)
 - **rote Kreise**: hinzuzufügende „Zwillingspunkte“ für optimale Zuverlässigkeit (10)
- } 106

Flächenapproximation - Teilbereich C (Störzone)



- 14 Parameter / 93 Beobachtungen
- 7 auffällige Punkte (**systematische Anordnung entlang Störzone**)
- Abweichungen normalverteilt (**auffällige Punkte mit systematischer Abweichung**)

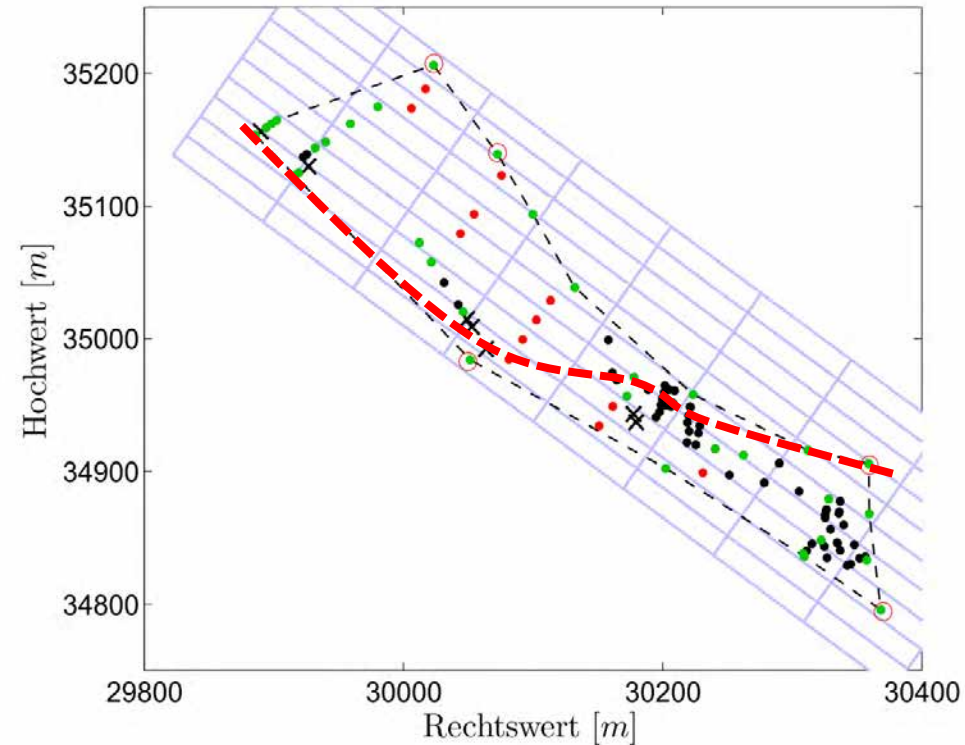


Nicht alle Kriterien sind erfüllt:
Verwerfung des Flächenansatzes
für diesen Teilbereich mit Störzone

Flächenapproximation - Teilbereich C (Störzone)

Analyse der Punktverteilung:

- Zu wenige Punkte im oberen Teilbereich
 - Zwillingspunkte werden dort auch benötigt
 - Auffällige Punkte liegen im Bereich von Punktlücken
- ⇒ von Fläche abweichende Bewegungen können nicht ausgeschlossen werden
- ⇒ keine zufriedenstellende Abgrenzung der Störzone möglich



Dargestellter Flächenansatz für Teilbereich C unzulässig, weil:

- Störzone enthalten
 - Auffällige Punkte liegen entlang Störzone
 - Inhomogene / unzureichende Punktverteilung
- } bereits bekannt
- } zusätzliche Erkenntnis

Können Bodenbewegungsmodelle das Bodensenkungsverhalten im Rheinischen Braunkohlenrevier beschreiben?

- das großräumige Bodensenkungsverhalten kann unter Anwendung des Flächenansatzes modelliert werden
- Verfahren ist gegenüber den Bodensenkungen hypothesenfrei
- die Güte des Modells kann anhand von 5 Kriterien beurteilt werden
 - Ist die Punktdichte ausreichend?
 - Wie groß sind die Modellabweichungen?
 - Sind die Modellabweichungen zufällig verteilt?
- Detektion von Bewegungsanomalien (Tektonik, Aue,...) ist möglich, Schwierigkeiten bei der exakten Abgrenzung der Bruchkanten
- Schlechte Punktverteilungen / zu geringe Punktzahlen können zu einem Versagen des Flächenansatzes führen
- => Analyse der Punktverteilung über neuentwickelte Methode
- => ggf. Übergang zu Einzelpunktbeobachtungen (Verwerfung einer flächenhaften Auswertung)

Ergebnisse der analysierten Punktverteilungen

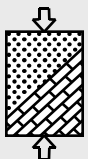
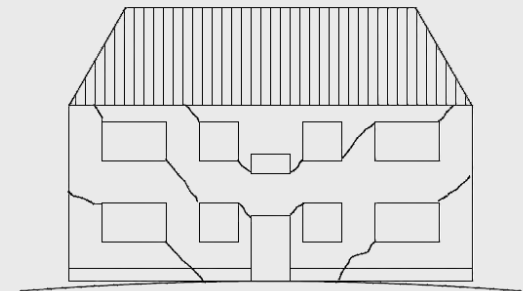
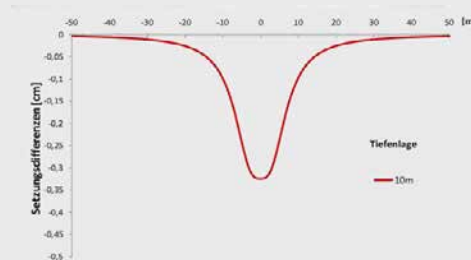
- **Punktanzahl** bisher immer völlig ausreichend
- **Punktverteilung** teilweise optimierbar
- Was bedeuten fehlende Punkte?
 - Aussagekraft schwächer in Bereichen mit optimierbarem Punktfeld
 - Entwickeltes Verfahren ermöglicht **verbesserte und zuverlässige Aussagen**
=> Zusatz zu bisherigen Analysen
- Entwickeltes Verfahren zur Optimierung der Punktverteilung
 - international begutachtet und
 - als Veröffentlichung in Fachzeitschrift akzeptiert:

Christoph Holst, Christian Eling & Heiner Kuhlmann (2013). “**Automatic optimization of height network configurations for detection of surface deformations**”, Journal of Applied Geodesy

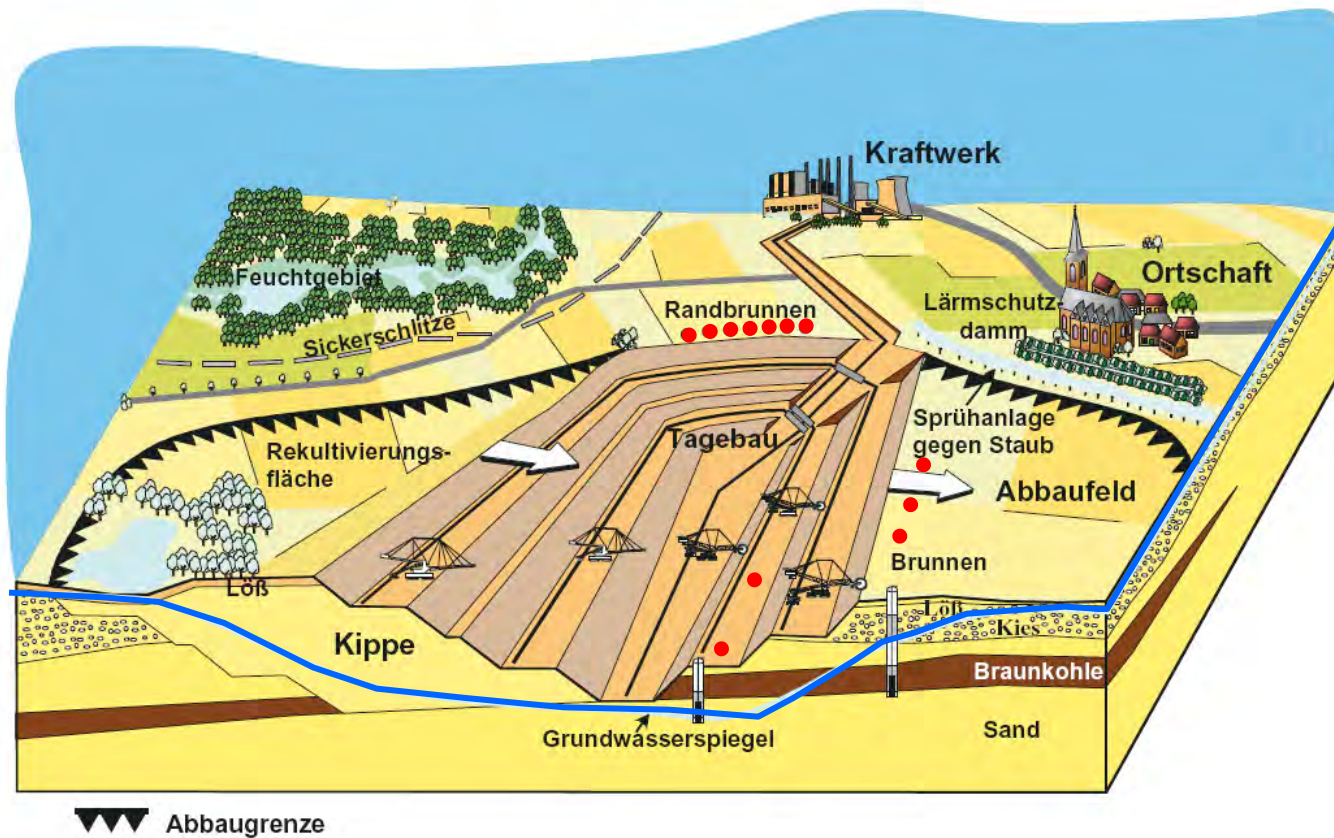
**Vielen Dank
für die Aufmerksamkeit!**

Sümpfungsbedingte kleinräumige Setzungsmulden infolge unregelmäßiger geologischer Schichten im Rheinischen Braunkohlerevier

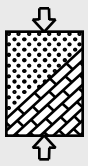
M. Ziegler

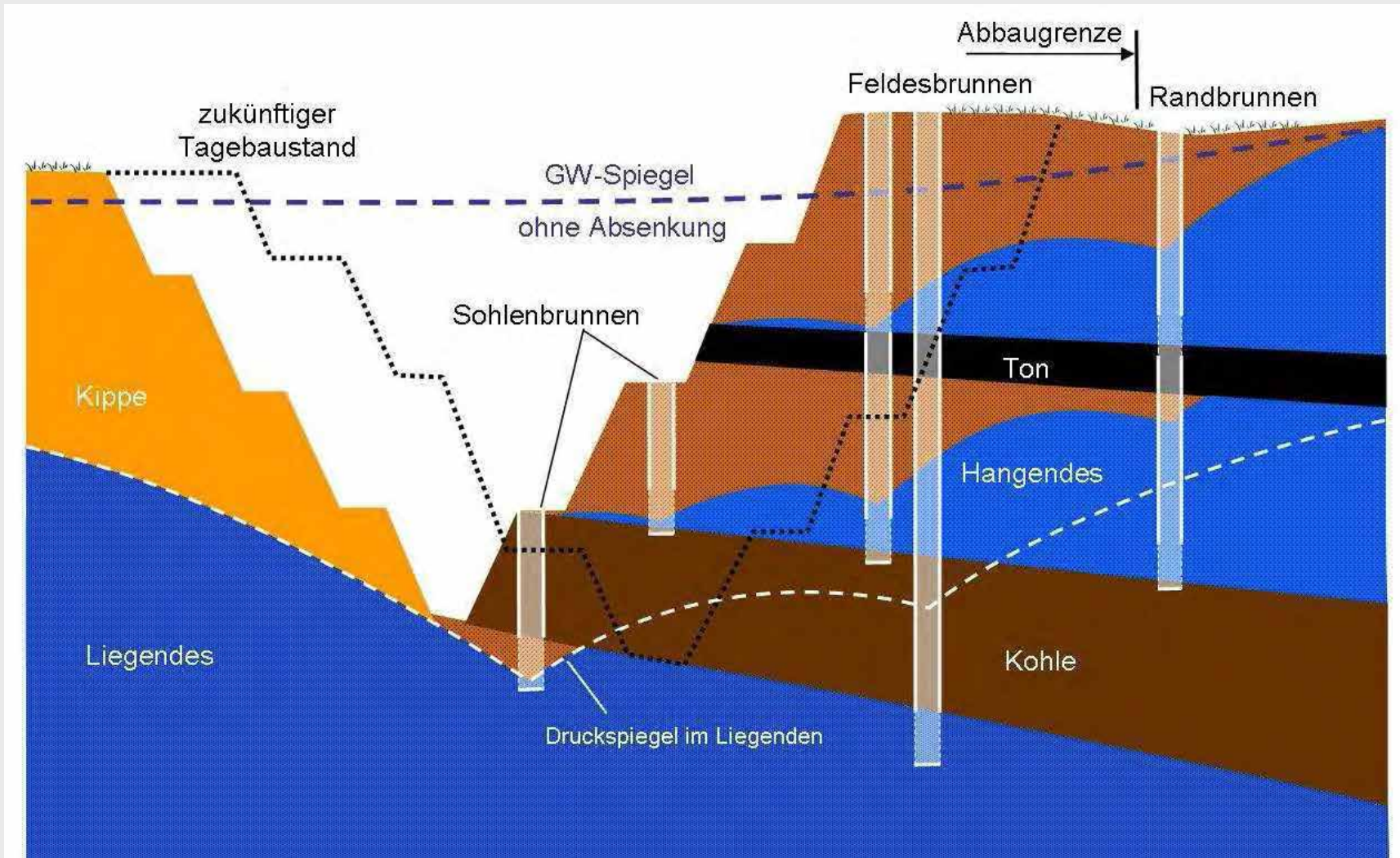


Schema eines Braunkohlentagebaues im Rheinischen Revier

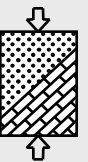


Schema Braunkohletagebau (Quelle Debriv)





Schema der Tagebauentwässerung über gestaffelt angeordnete Tiefbrunnen, Quelle: RWE Power AG



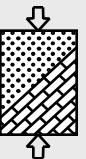
Senkungen infolge Grundwasserabsenkung



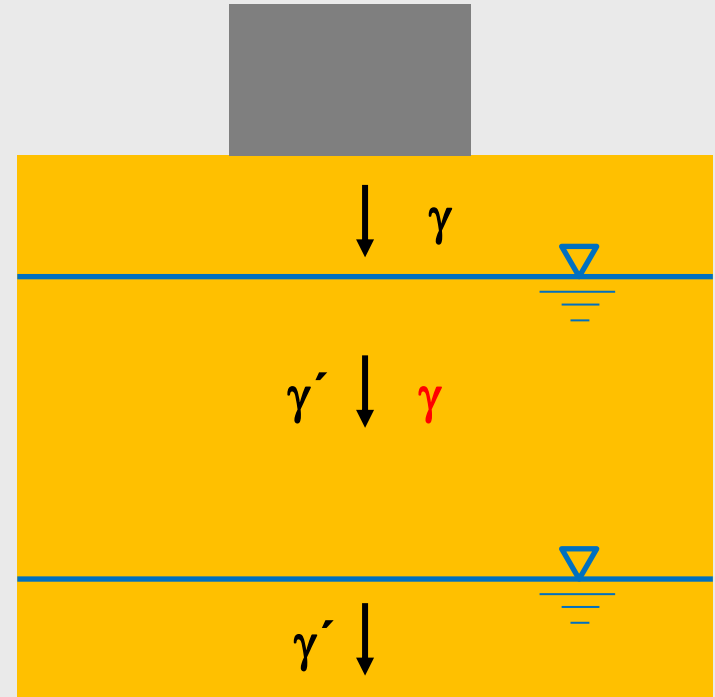
(Poland, J. Ed., 1984)

Vertikale Verschiebungen infolge Entwässerung des Bodens durch

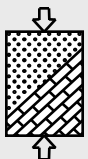
- Bauarbeiten
- Trinkwasserentnahme
- Bewässerung
- Industrie
- Gas- und Ölförderung



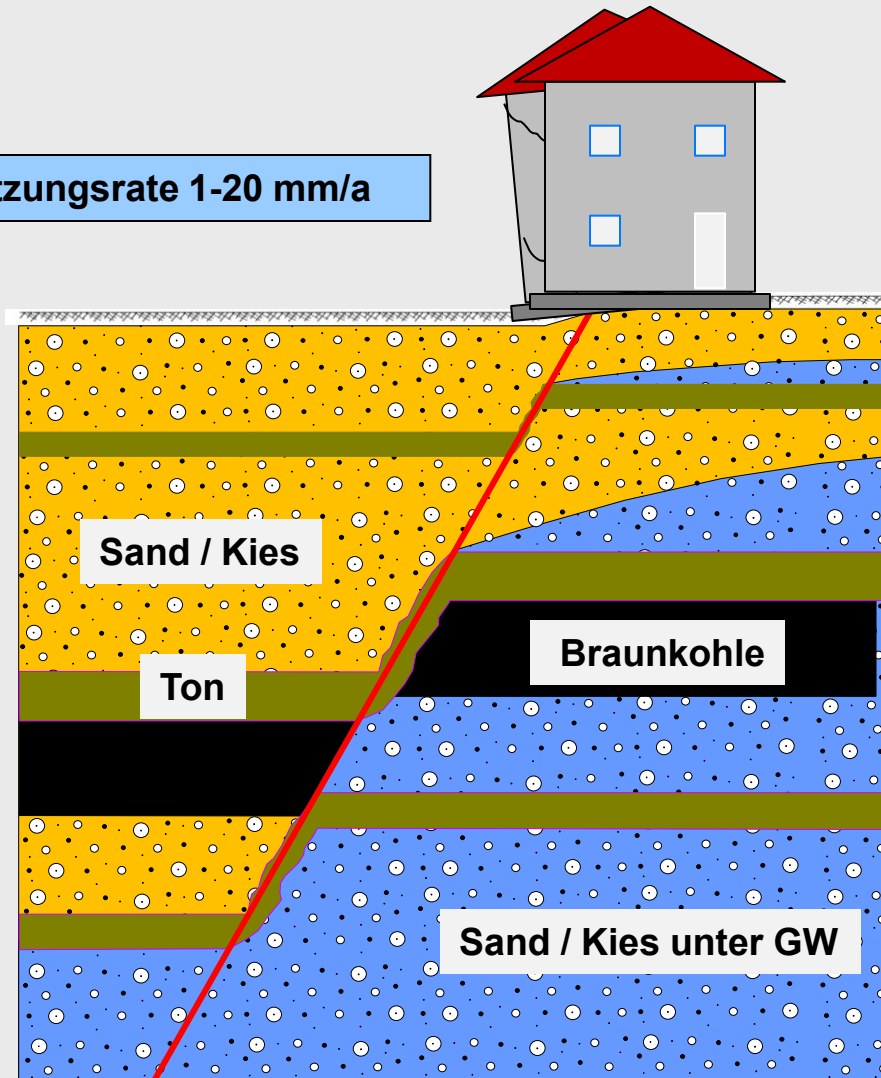
Auswirkung der Grundwasserabsenkung an der Oberfläche



homogene Böden

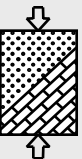


▪ Setzungsrate 1-20 mm/a



(<http://www.ncag.co.za/images/subsidence.jpg>)

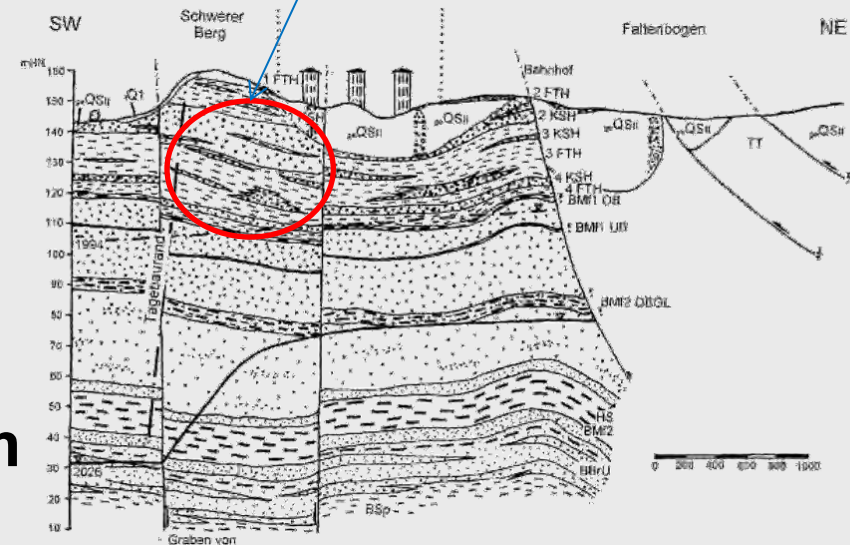
**Lokale Setzungsunterschiede
durch hydrologisch wirksame
tektonisch bedingte Störungen**



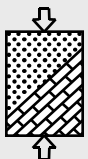
Inhomogenitäten durch Bodenschichtungen

Linsen

- Durch geologische Prozessen bilden sich in Störzonen unregelmäßige Schichten mit großräumigen Linsenstrukturen
- Gegenüber umliegendem Boden mit unterschiedlichem
 - Durchlässigkeitsbeiwert
 - Verformungsmodul

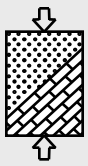
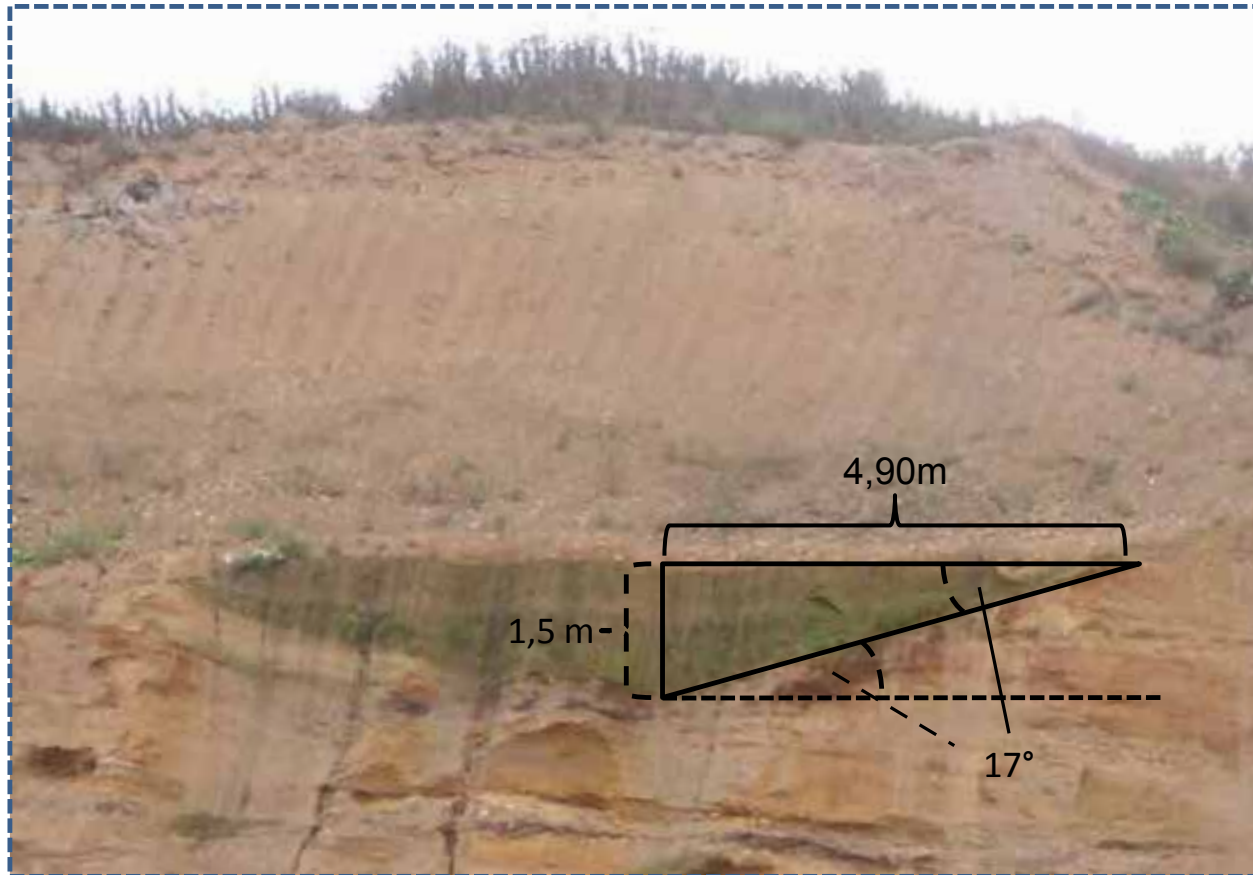


(Wolkersdorfer & Thiem 1999)

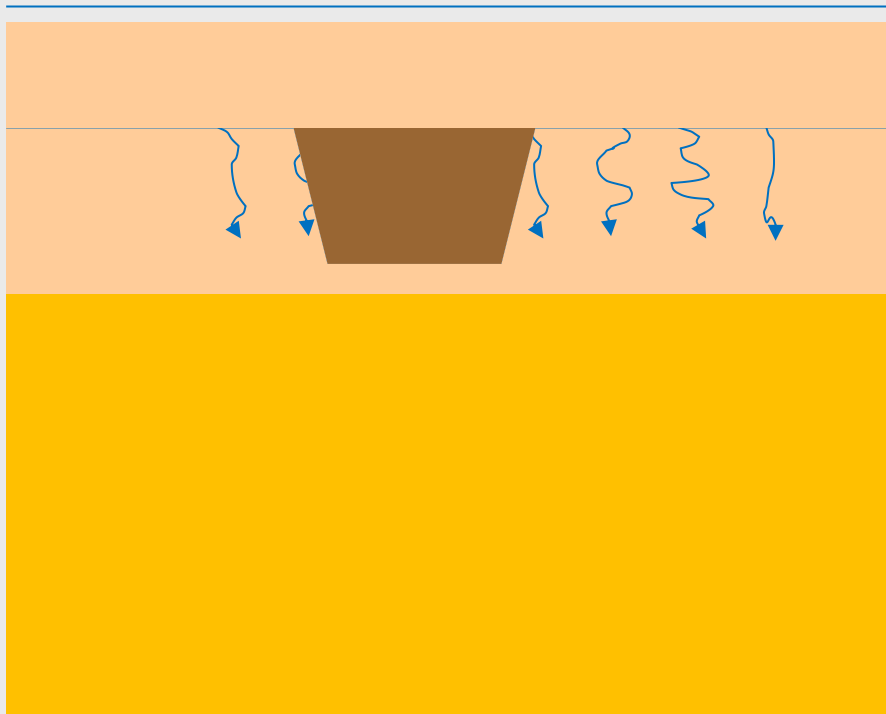


Oberflächennahe Tonlinse

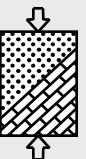
Tonlinse Tagebau Hambach



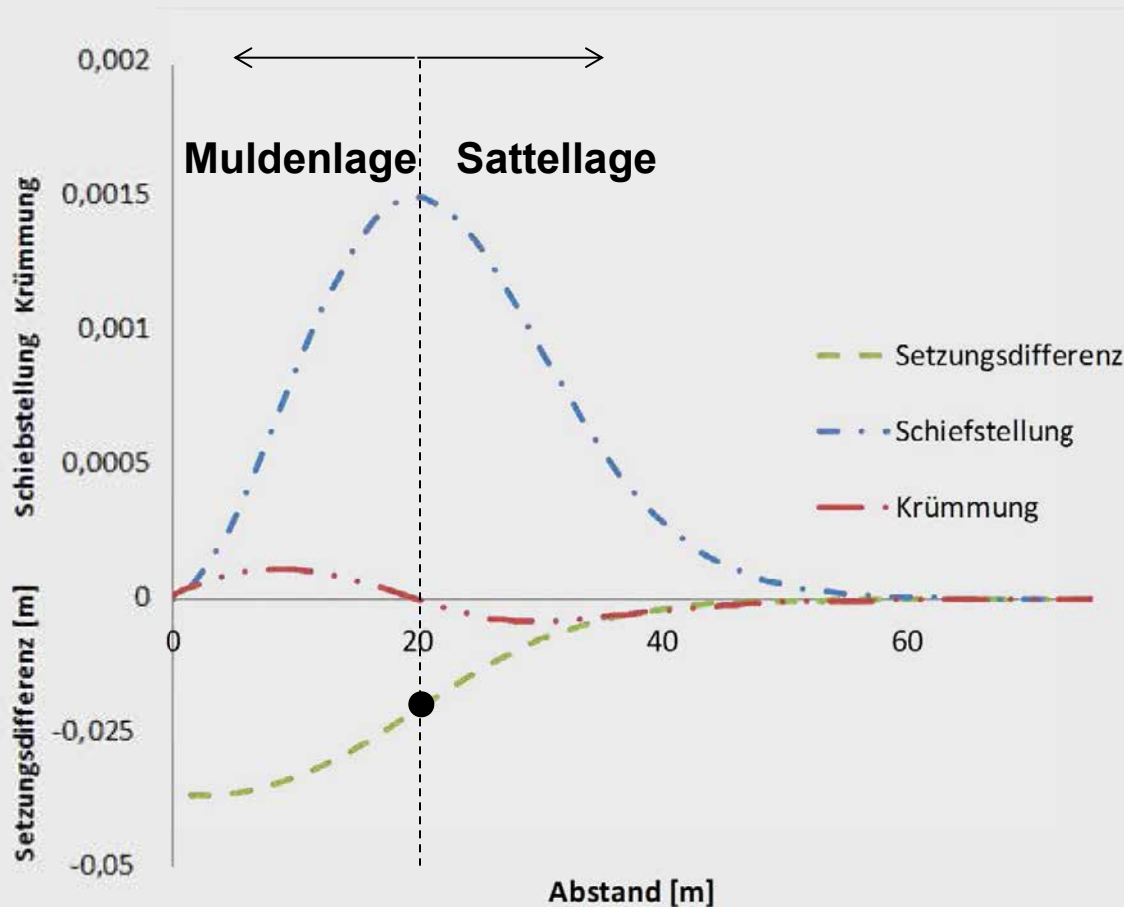
Entstehung von kleinräumigen Tonlinsen



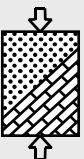
- Durch Sedimentation entstehen neue Bodenschichten
- Durch Bildung von Abflussrinnen erodiert die Oberfläche
- Sedimentation erfüllt das erodierte Volumen
- Durch Sedimentation entstehen wieder neue Bodenschichten



Eigenschaften der Setzungskurve

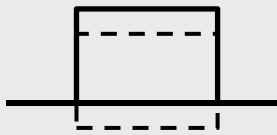


- **S-förmige Setzungskurve**
- **Wendepunkt trennt**
 - Muldenlage
 - Sattellage
- **Schiefstellung**
- **Krümmung**

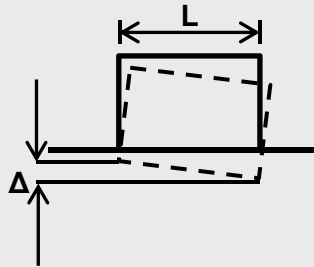


Auswirkung von Senkungen auf Gebäude

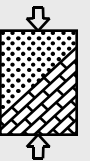
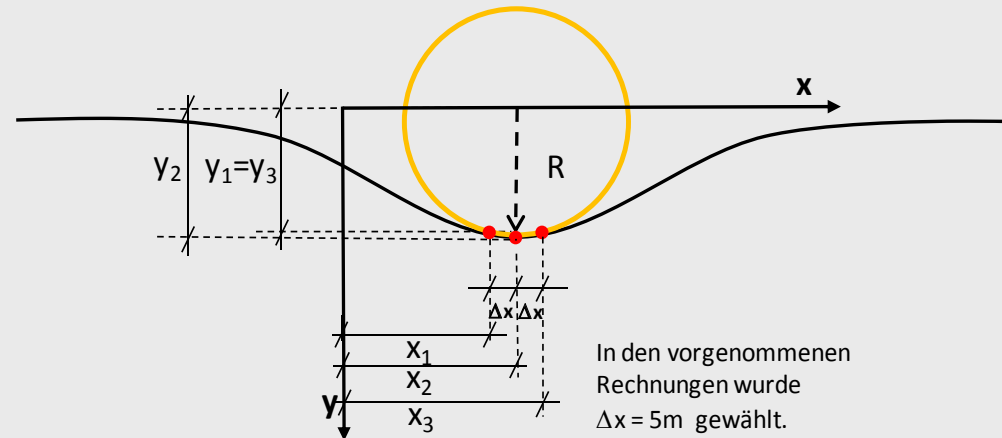
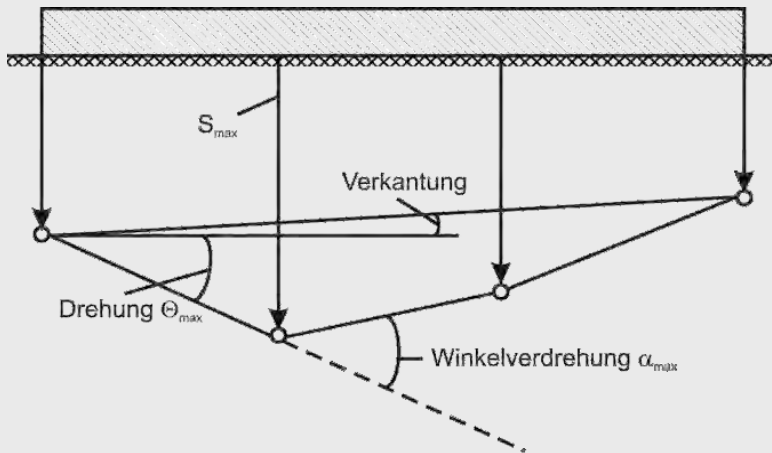
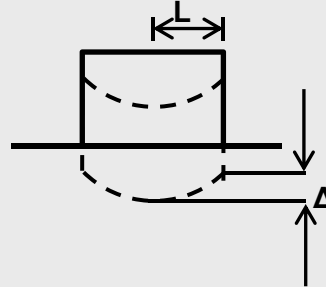
gleichmäßige
Setzung



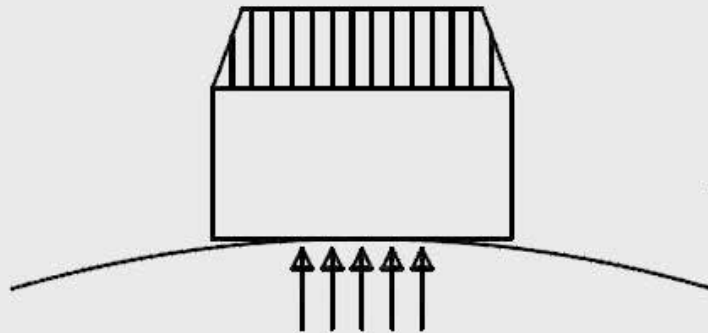
gleichmäßige
Verdrehung



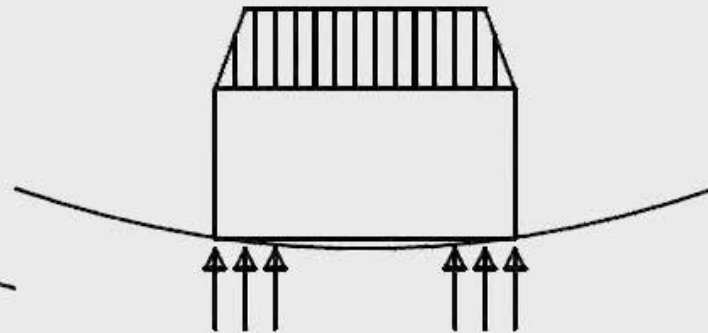
ungleichmäßige
Setzung



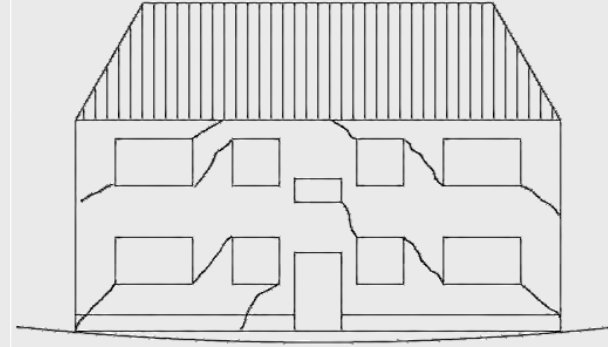
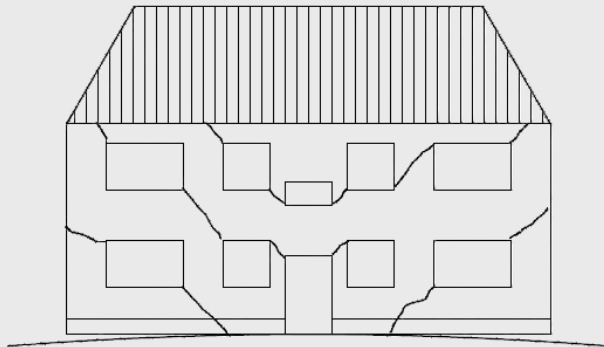
Grenzwerte für Krümmungsradien (in Abhängigkeit der Auflagerung)



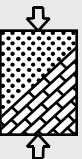
a) Sattellage **<4000m**



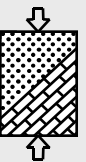
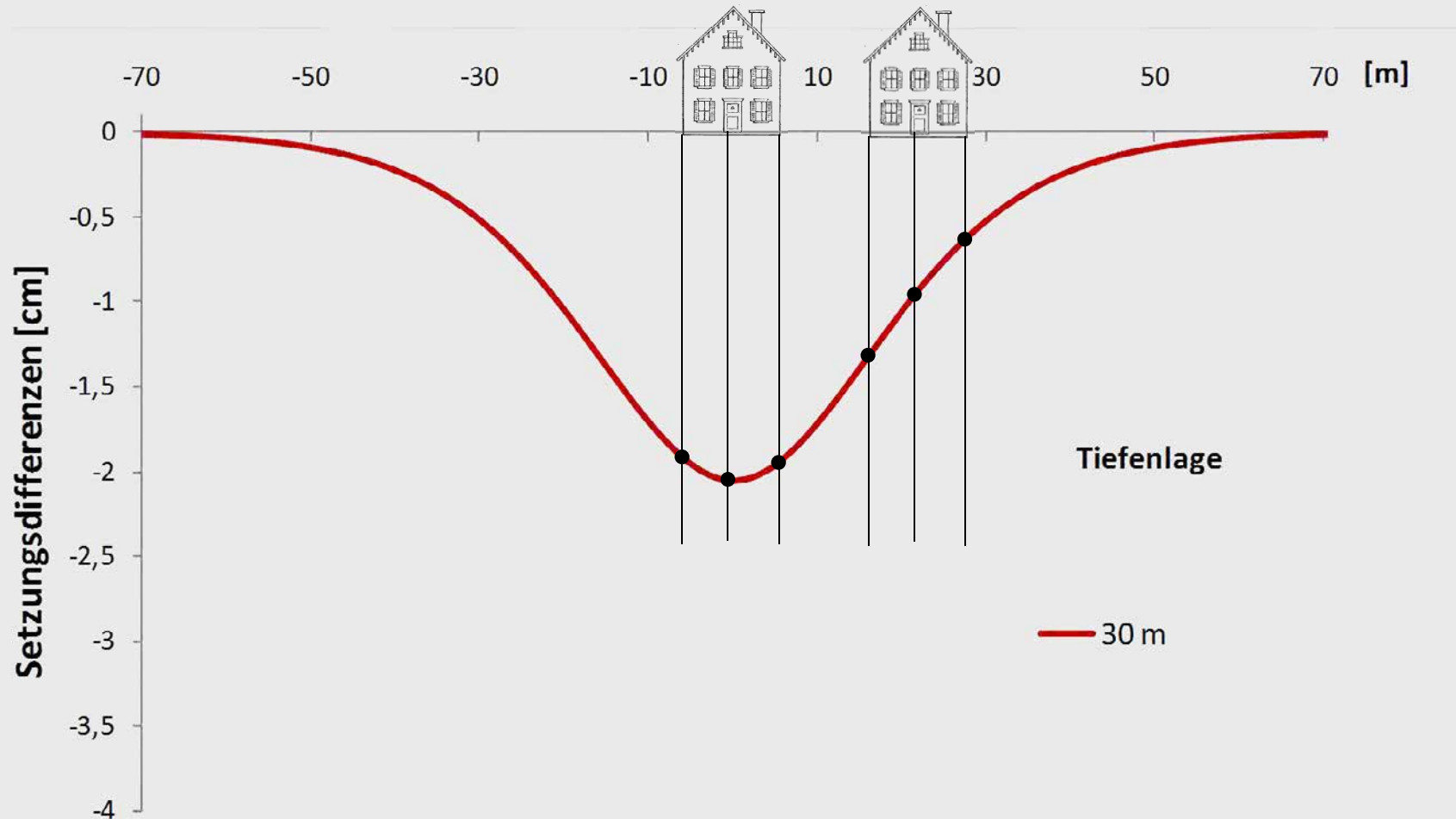
b) Muldenlage **<2000m**



(Schürken und Finke, 2008)



Berechnung von Krümmungsradien



Berechnung von Krümmungsradien

$$A = (x_a, y_a); B = (x_b, y_b) \text{ and } C = (x_c, y_c)$$

$$m_1 = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a} \text{ and } m_2 = \frac{y_c - y_b}{x_c - x_b}$$

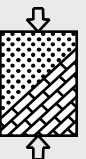
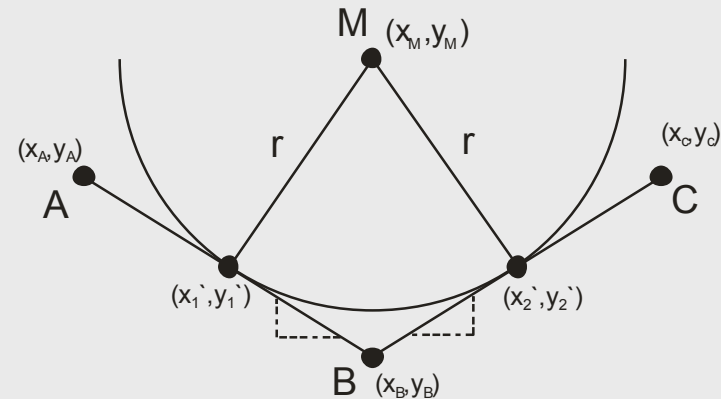
$$x'_1 = \frac{x_a + x_b}{2}; x'_2 = \frac{x_b + x_c}{2}$$

$$y'_1 = \frac{y_a + y_b}{2}; y'_2 = \frac{y_b + y_c}{2}$$

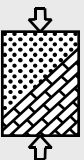
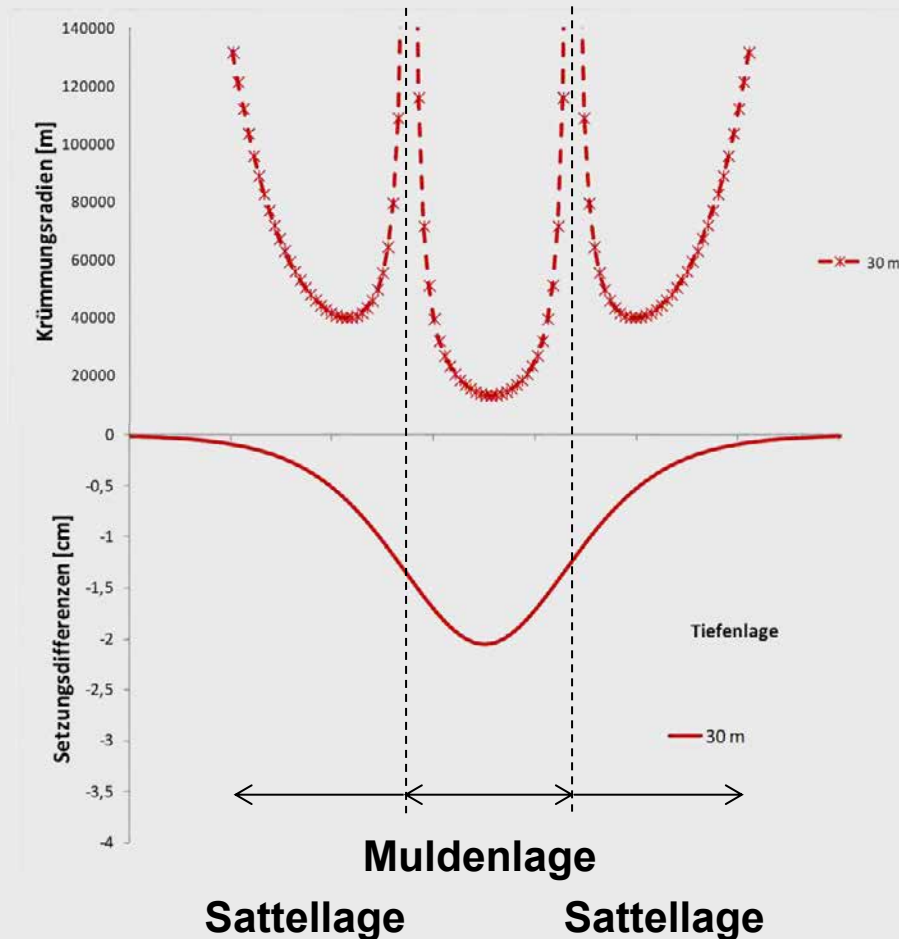
$$x_m = \frac{m_1 \cdot m_2 (y'_1 - y'_2) + m_2 (x'_1 - x'_2)}{(m_2 - m_1) + x'_2}$$

$$y_m = \frac{x_m - x'_2}{m_2} + y'_2$$

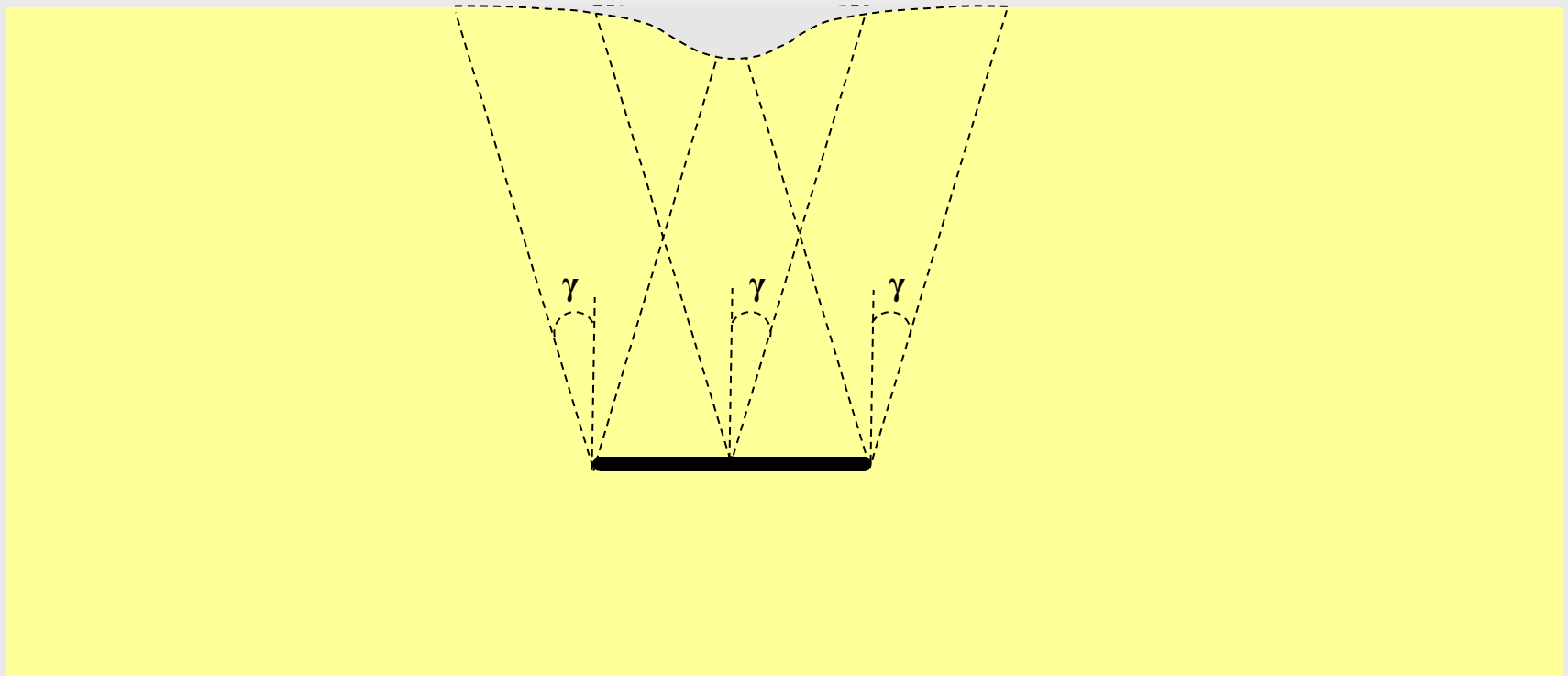
$$R = \sqrt{(x_m^2 + y_m^2)}$$



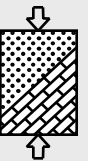
Berechnung von Krümmungsradien



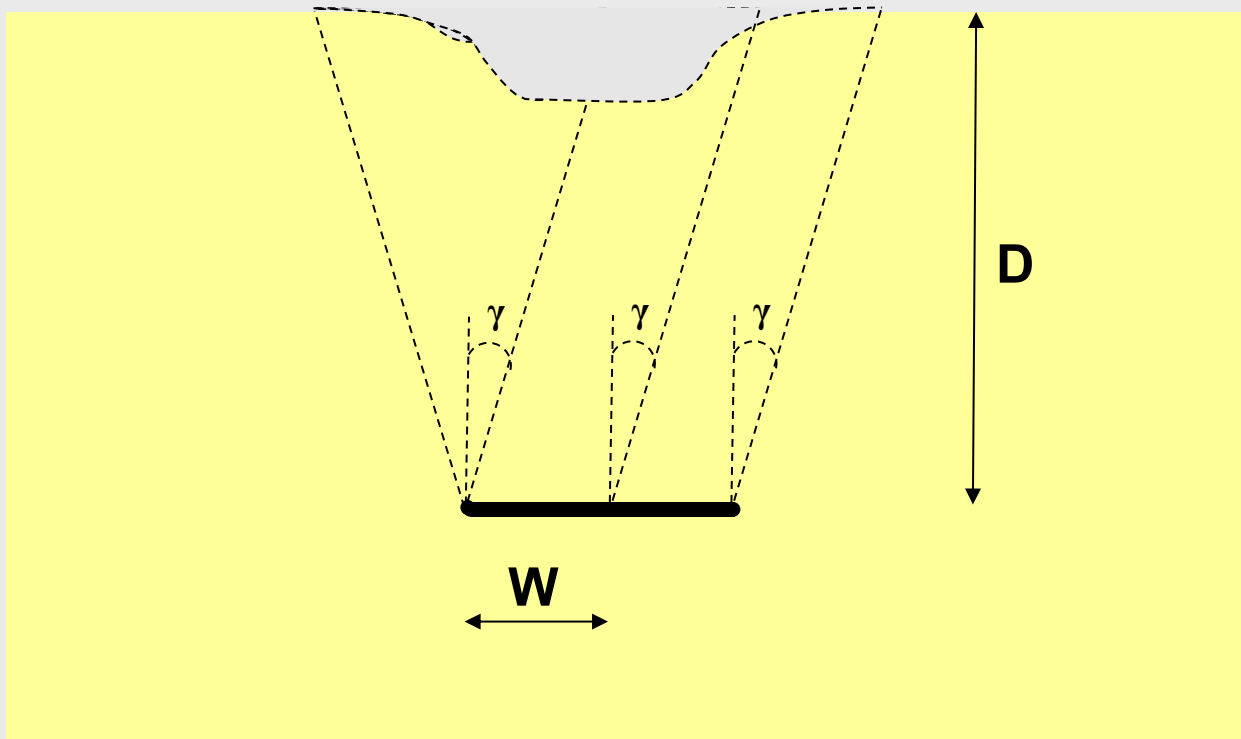
Senkungen bei Untertageabbau



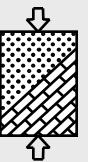
γ
Grenzwinkel



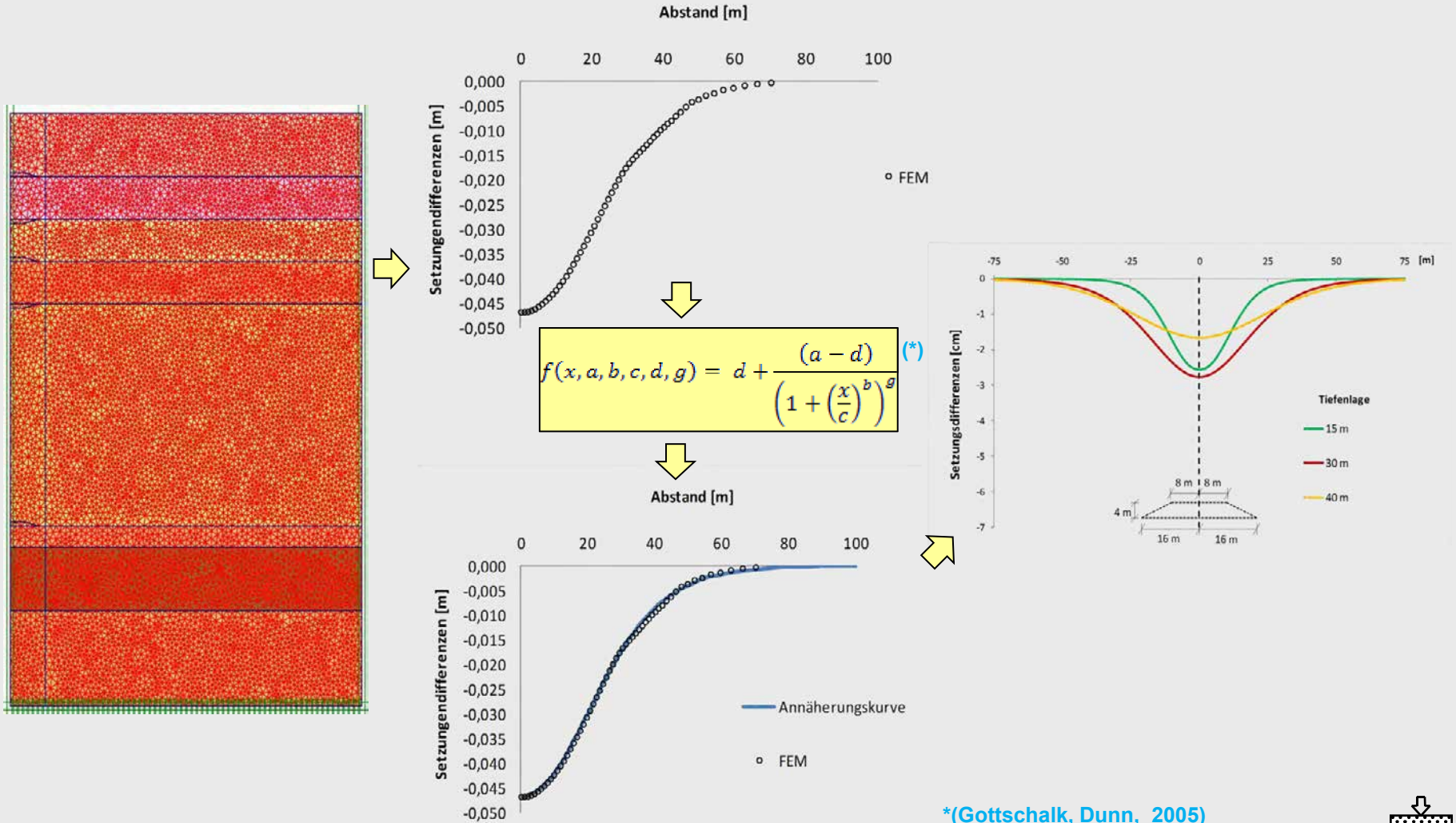
W/D Verhältnisse



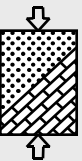
subkritisch
kritisch
superkritisch




Glättung der Setzungskurve für Auswertung



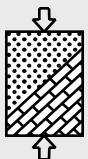
*(Gottschalk, Dunn, 2005)



Was sind tiefliegende Tonlinsen?

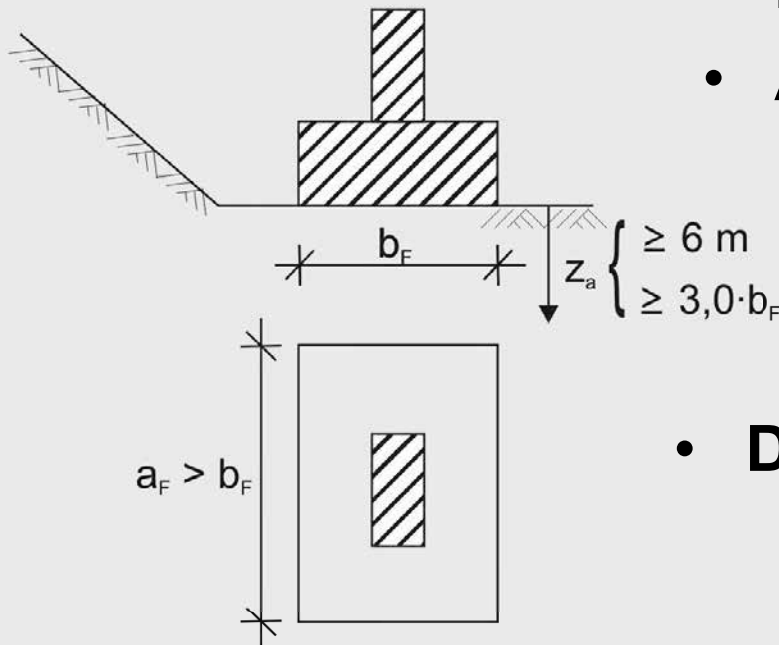
DEUTSCHE NORM		Oktober 2007
DIN EN 1997-2	DIN	
ICS 91.010.30; 93.020	Ersatz für DIN V ENV 1997-2:1999-09 und DIN V ENV 1997-3:1999-10; teilweiser Ersatz für DIN 4020:2003-09	
Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds; Deutsche Fassung EN 1997-2:2007		
Eurocode 7: Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing; German version EN 1997-2:2007		
Eurocode 7: Calcul géotechnique – Partie 2: Reconnaissance des terrains et essais; Version allemande EN 1997-2:2007		
Gesamtumfang 199 Seiten		
Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN		
<small>© DIN Deutsches Institut für Normung e.V. - Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, gestattet. Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin</small>		
<small>Preisgruppe 34 www.din.de www.beuth.de</small>		 9945545

- nur Linsen mit einer Tiefe größer als 10m betrachtet
- warum 10m?
 - GW Spiegel im betrachteten Gebiet erst ab -10m GOK
 - Einflussbereich des Fundaments (nach DIN EN 1997-2)



Aufschlusstiefe für Einzelfundament

a) Einzelfundament



- Annahme für Fundamentbreite $b_f=2$ bis 3m ($3 \cdot 2m=6m$, $3 \cdot 3m=9m$)
- Annahme UK Keller bei -3m

$$z_a = 6m + 3m = 9m$$

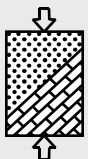
$$z_a = 9m + 3m = 12m$$

- Dicke der untersuchten Tonschicht $d=4m$

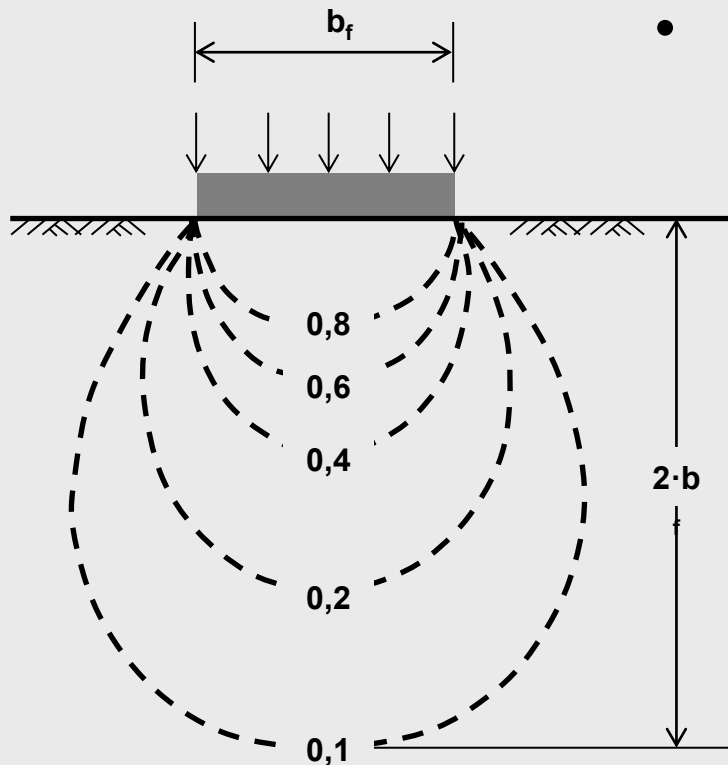
$$z_u = 9m + 4m = 13m$$

$$z_u = 12m + 4m = 16m$$

**Mindesterkundungstiefe
nach DIN 4020**



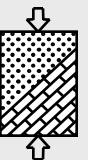
warum $3 b_f$?



- **Spannungverteilung im Boden**

in Tiefe $z=2b$ nur noch 10% der Auflast

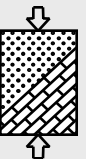
Druckzwiebeln der Spannungsausbreitung



Warum keine Betrachtung hochliegender Tonlinsen oberhalb 10m?

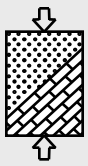
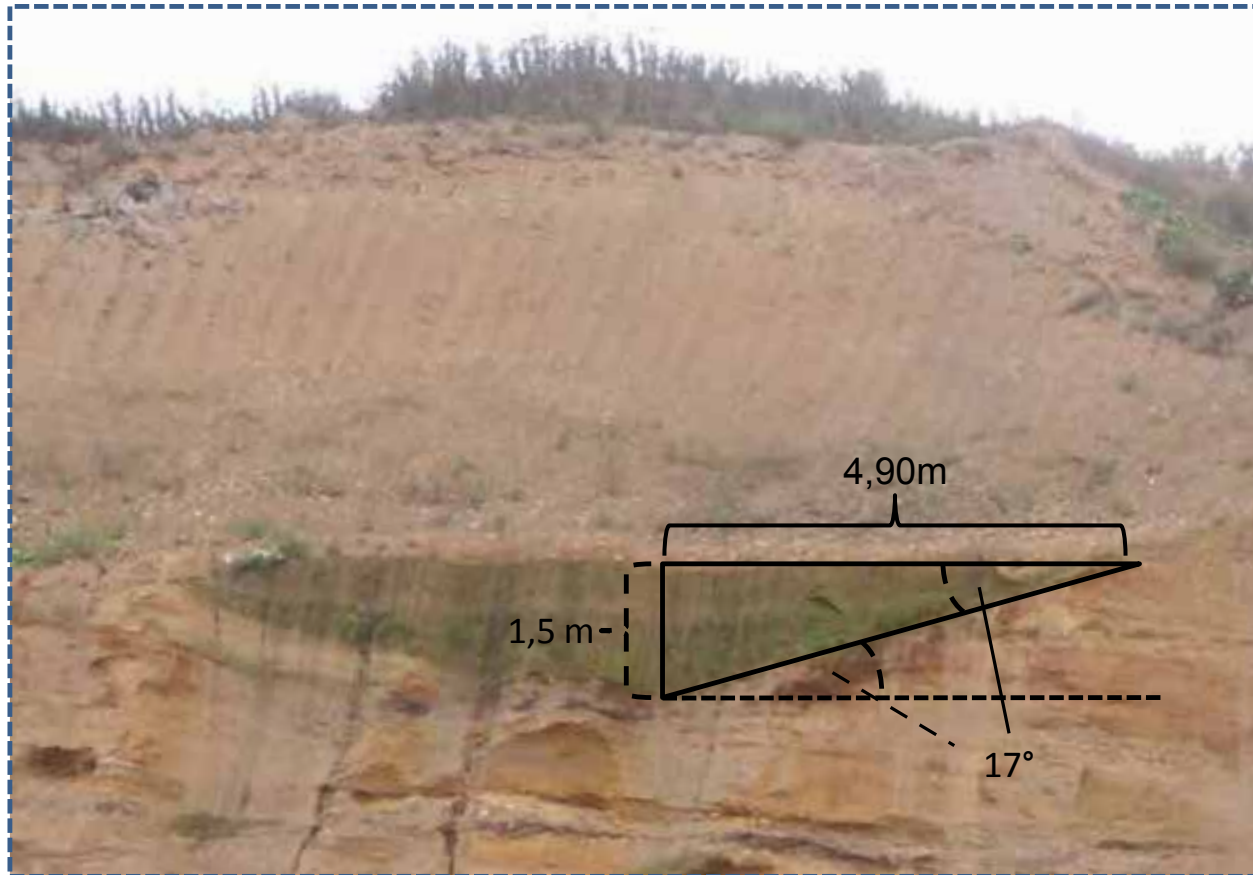


- Sie müssten im Rahmen der normalen Baugrunduntersuchung erkannt werden.

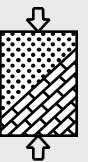
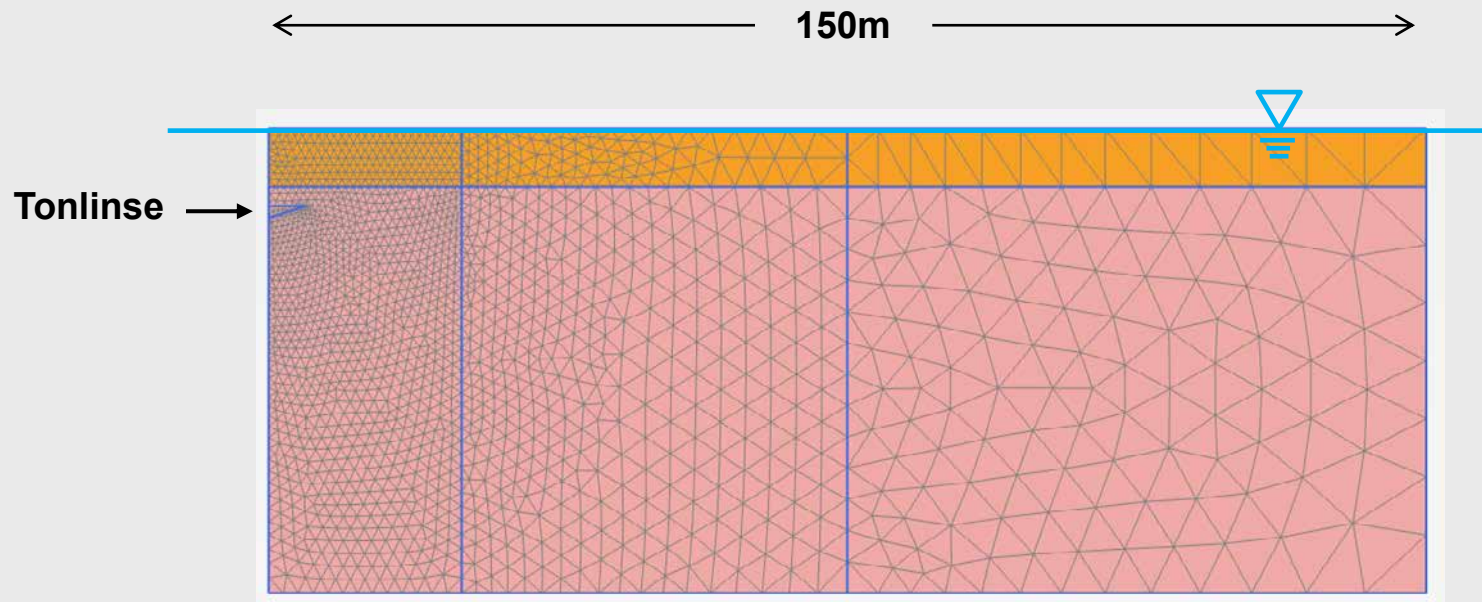


Oberflächennahe Tonlinse

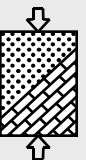
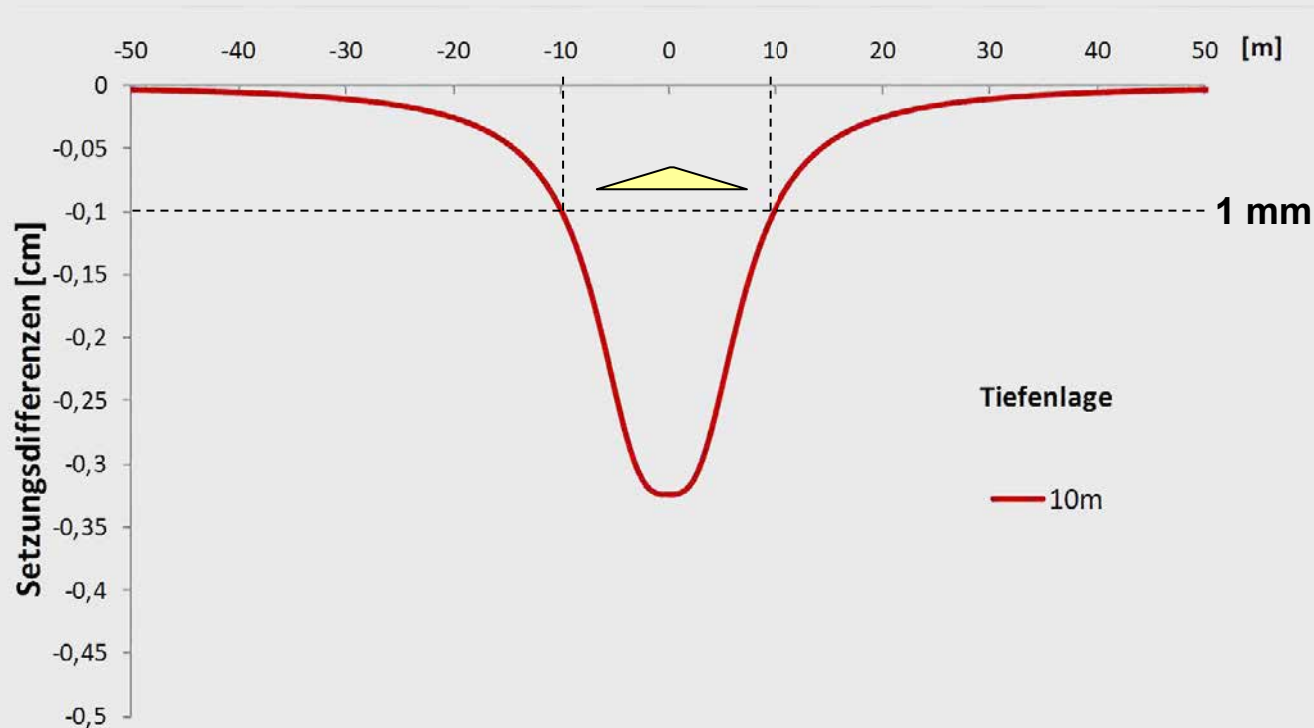
Tonlinse Tagebau Hambach



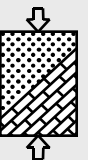
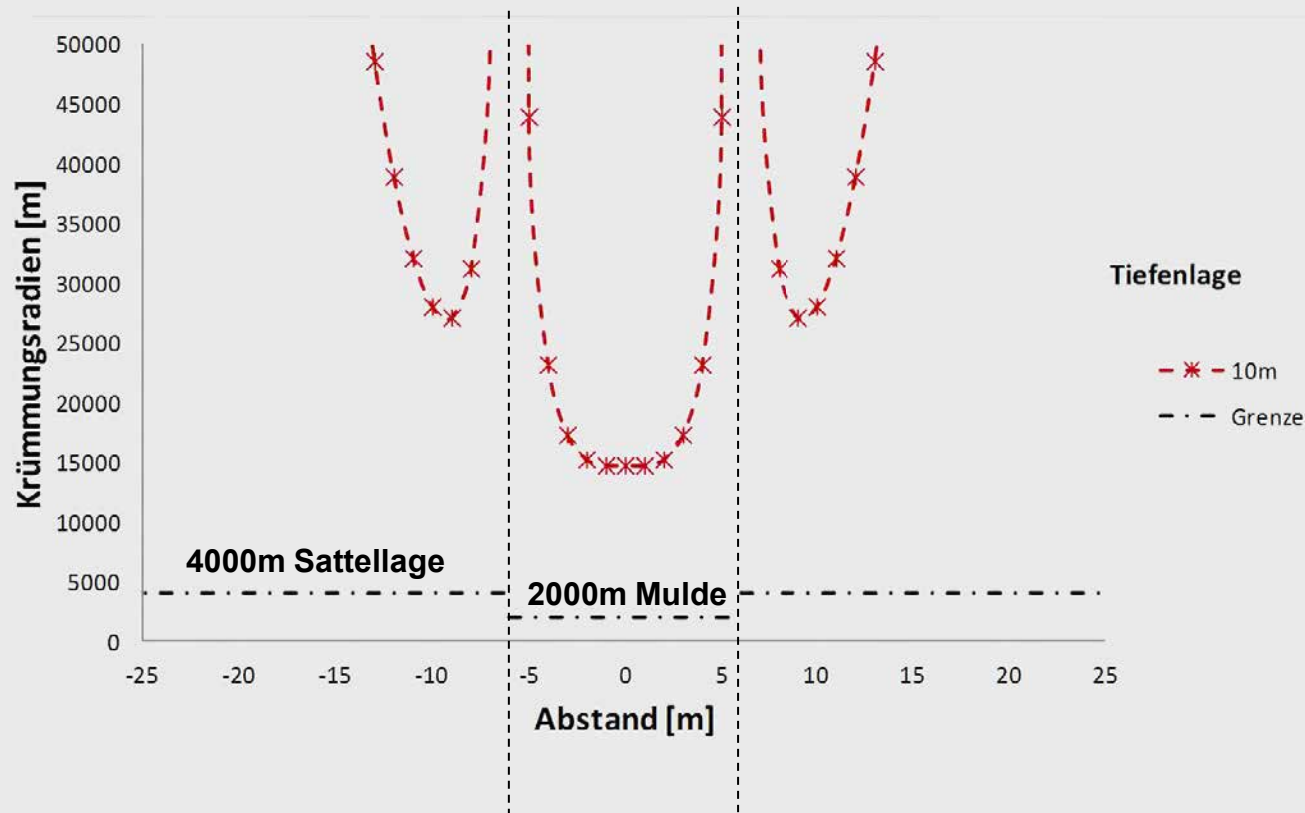
FE-Modell für die Tonlinse in Hambach



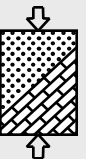
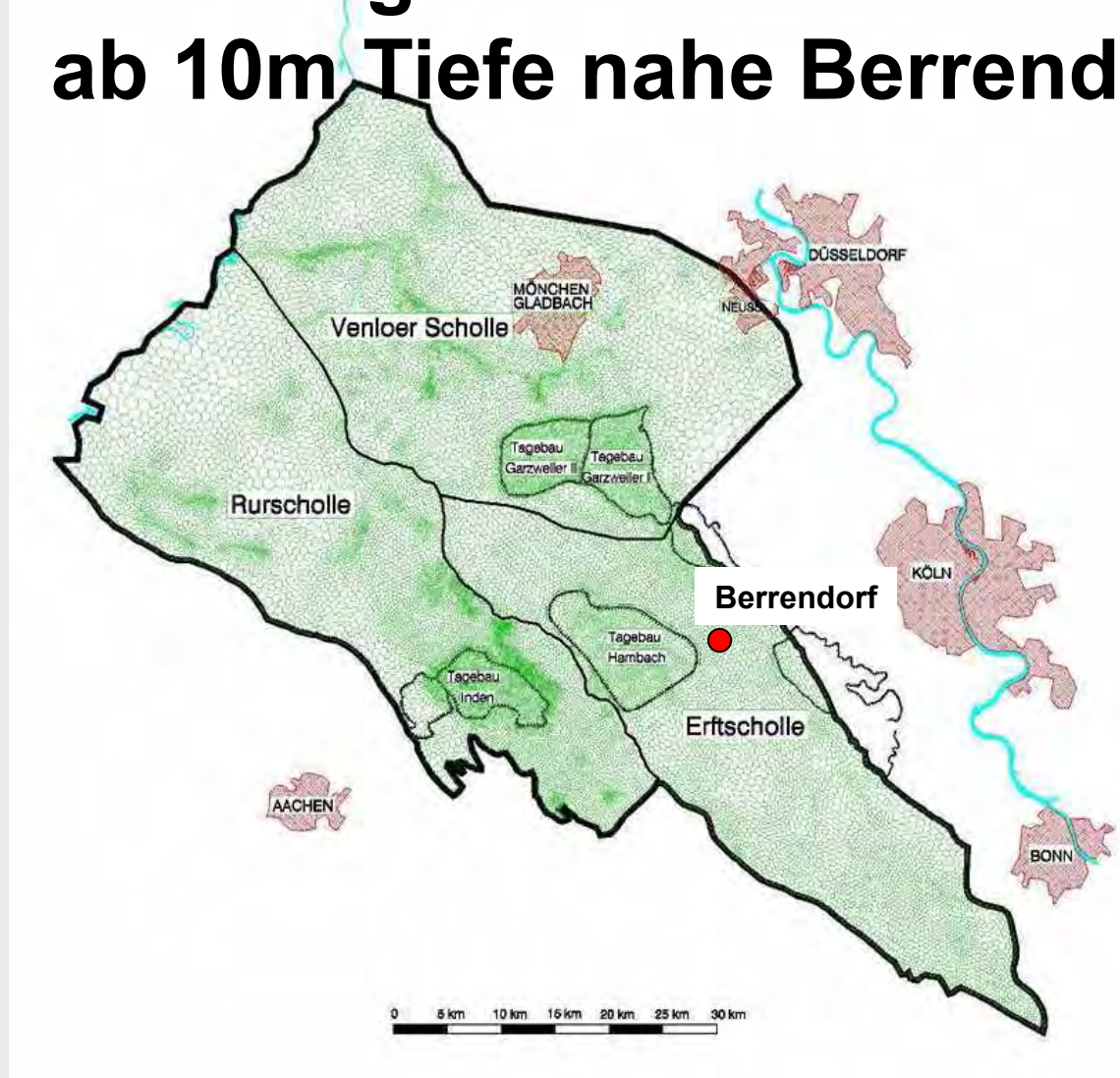
Ergebnisse für Tonlinse Hambach



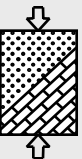
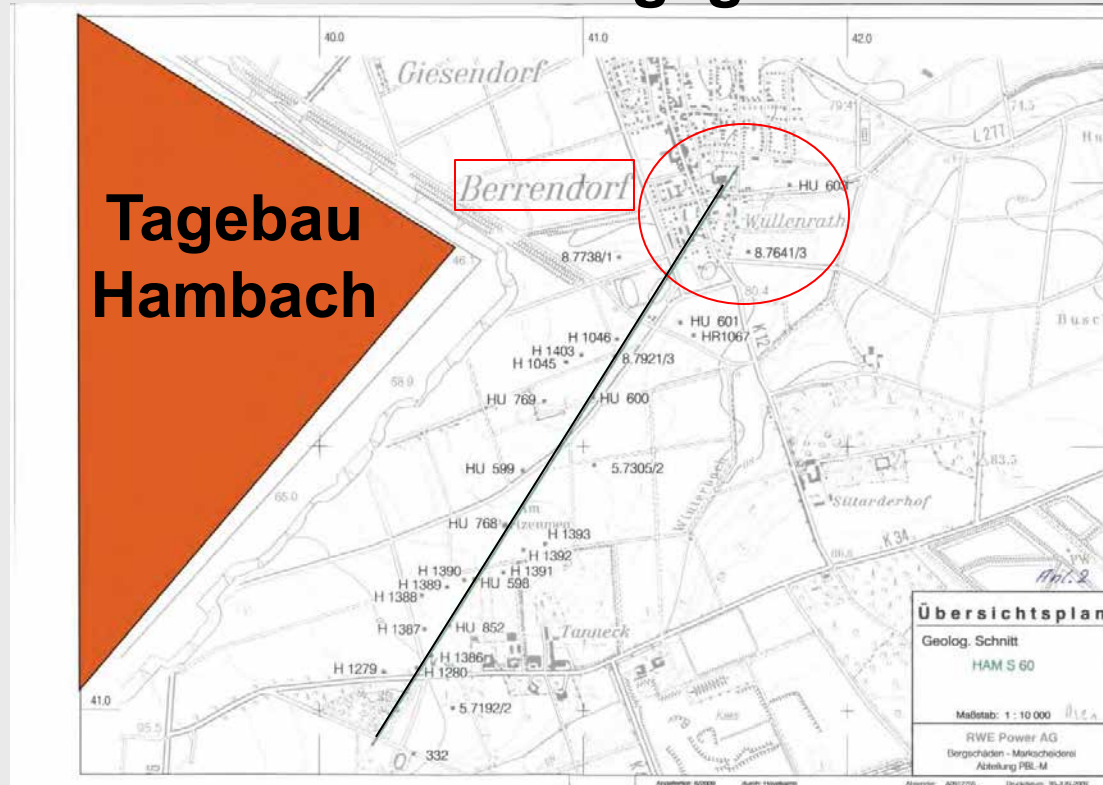
Ergebnisse für Tonlinse Hambach

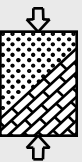


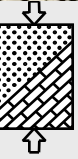
Untersuchung oberflächennaher Linsen ab 10m Tiefe nahe Berrendorf



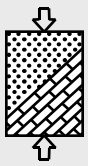
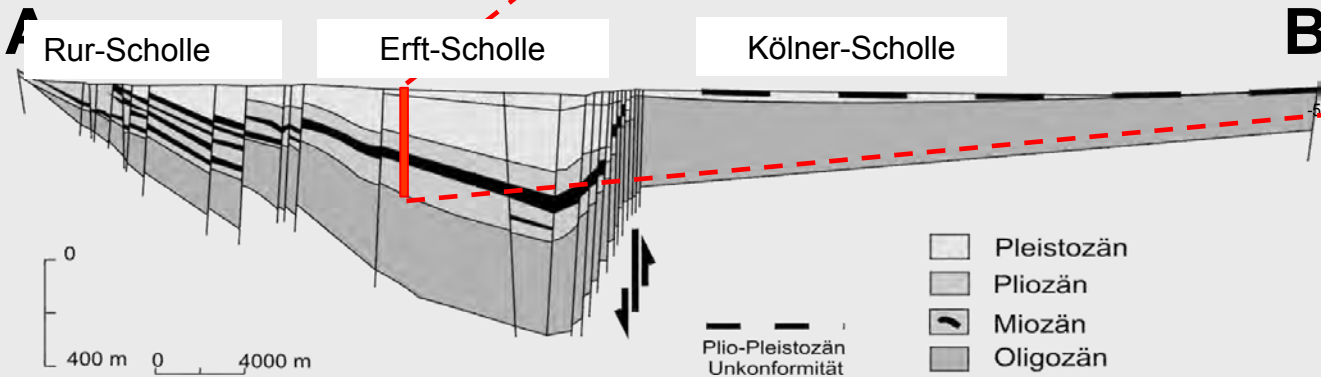
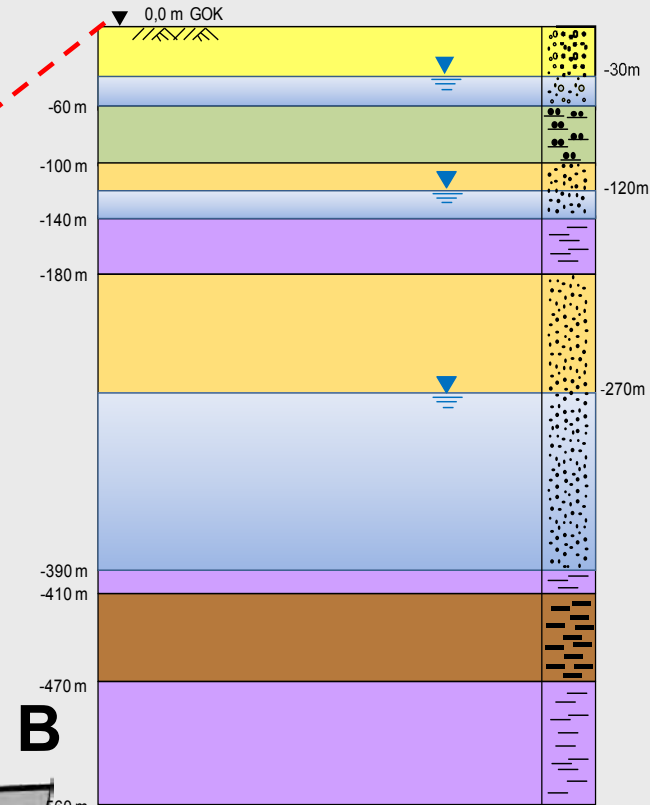
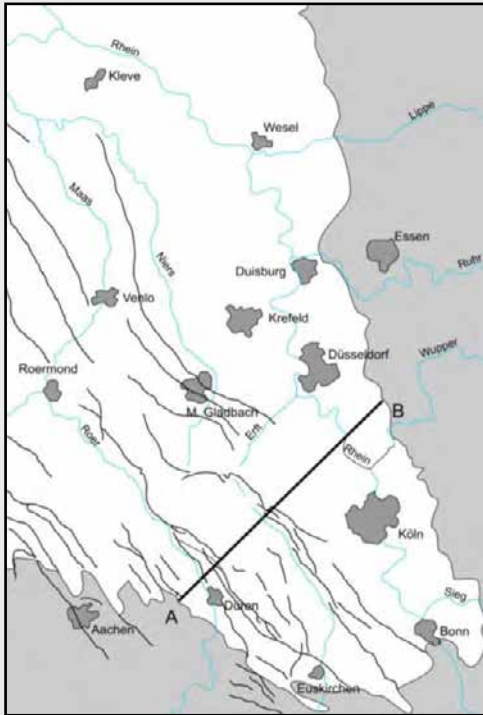
Untersuchungsgebiet







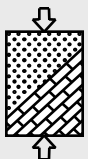
Modell Idealisierung



Stratigraph. Bezeichnung	Horizont	Rurscholle	Nordraum (Venloer Scholle)	Erftscholle
Hauptter.	14-19			GWL 1
Tegelen	13			
Reuverton	12	GWL 1	GWL 1	Stauer 1
	11			
	10			GWL 2
Ob. Rotton	9C	Stauer 1		Stauer 2
Unt. Rotton	9B	GWL 2		GWL 3
	9A	Stauer 2		Stauer 3
	8	GWL 3		GWL 4
Oberflöz-gruppe	7F	Stauer 3	GWL 2	Stauer 4
	7E			GWL 5
	7D			
	7C			Stauer 5
	7B			
	7A			GWL 4
Flöz Garzweiler	6E	Stauer 4		Stauer 6
	6D	GWL 5		GWL 7
Flöz Frimmersd.	6C	Stauer 5	Stauer 2	Stauer 7
Flöz Morken	6B	GWL 6	GWL 3	GWL 8
	6A	Stauer 6	Stauer 3	Stauer 8
	2-5	GWL 7	GWL 4	GWL 9
	1	Stauer 7		Stauer 9
	01-09	GWL 8		GWL 10
Prätertiär		Leakage	Leakage	Leakage

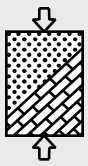
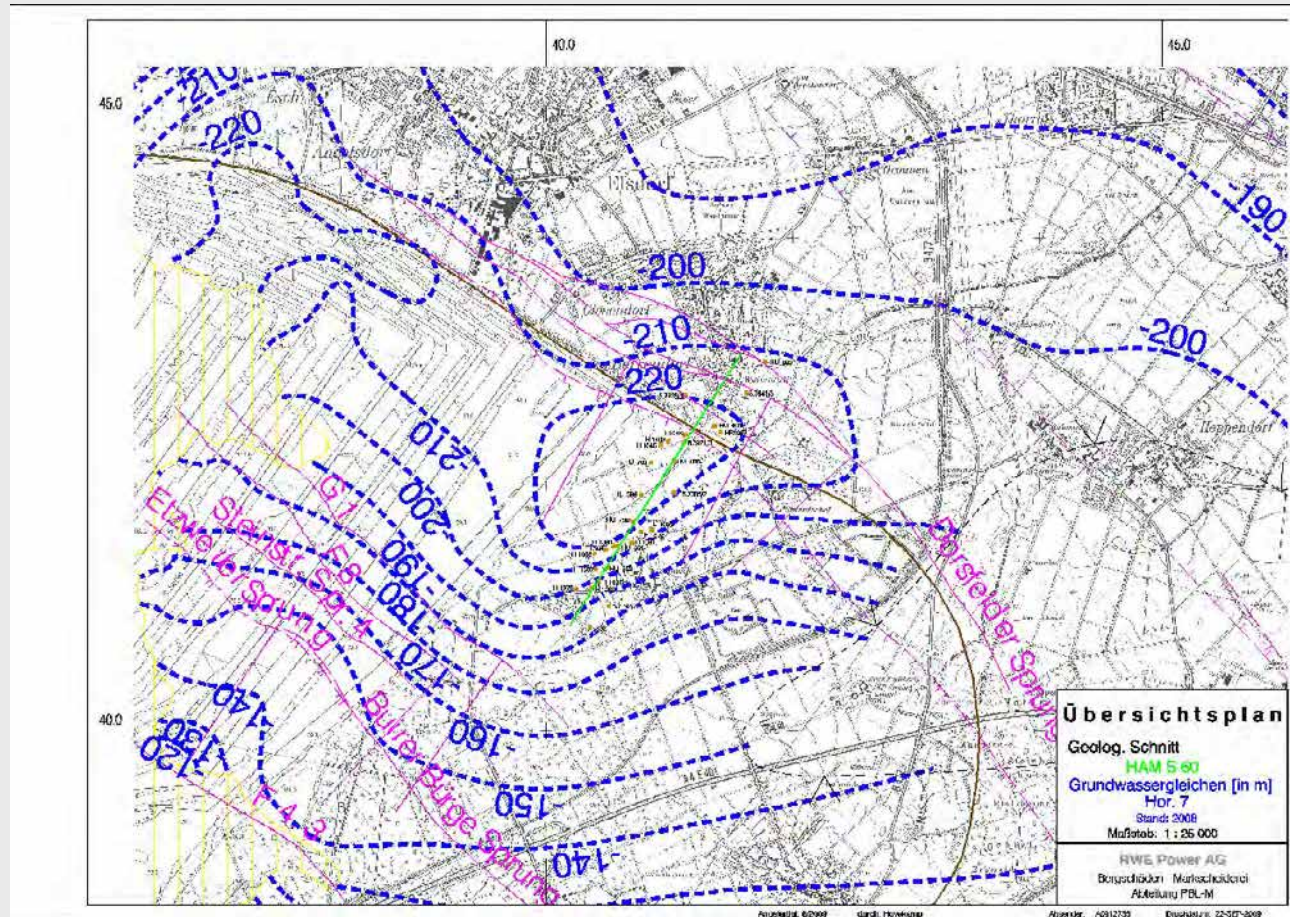


Zuordnung der Horizonte nach Schneider/Thiele zum GW-Modell der RWE-Power

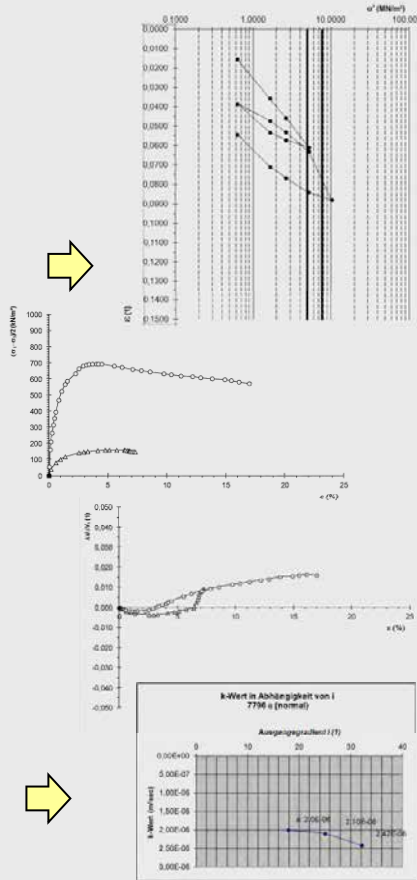


Datengrundlage – hydrogeologische Daten

Grundwassergleichenkarte



Bestimmung der Bodenparameter aus Labor und Datenbank RWE-Power



e, γ, γ'

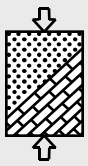
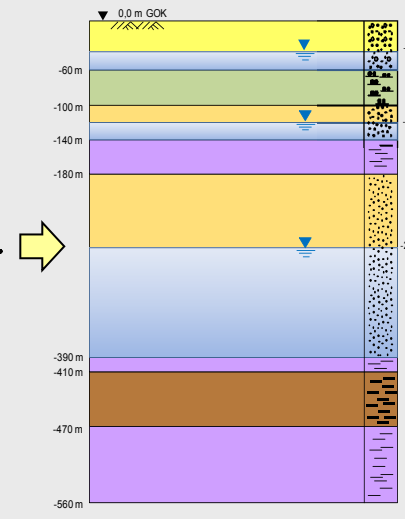
E_s

ν

c'

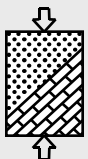
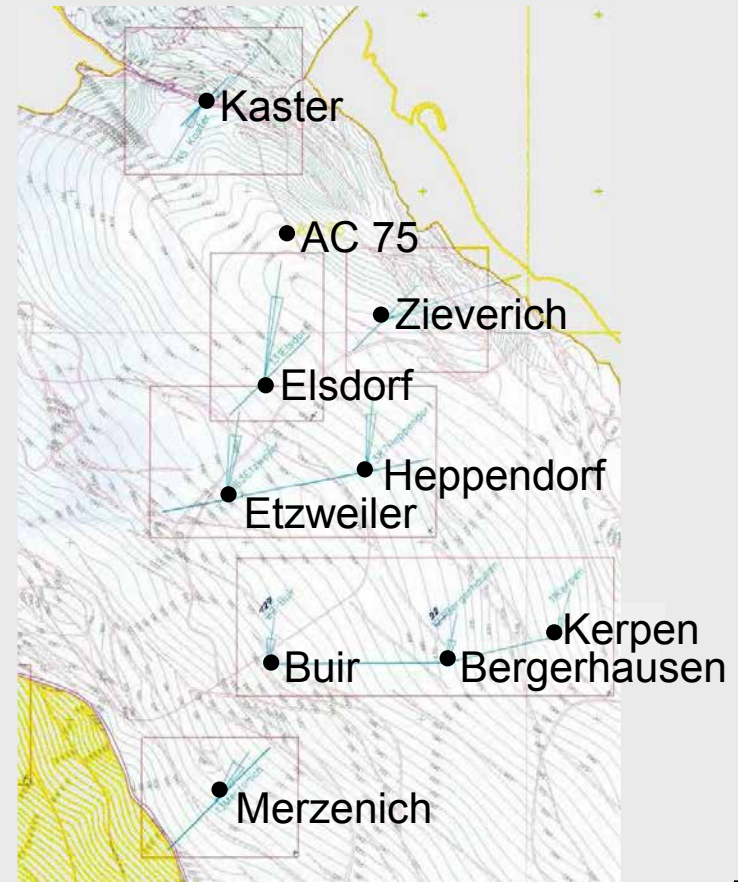
ϕ'

k_f





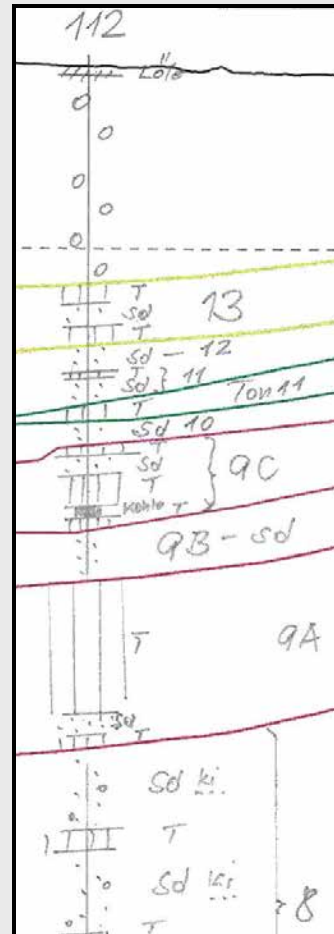
Dissertation Steffen Giese
 Archivserver der Deutschen Nationalbibliothek
<http://d-nb.info/1009789244/34>



Datengrundlage – Geologische Daten

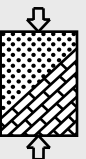


Zieverich

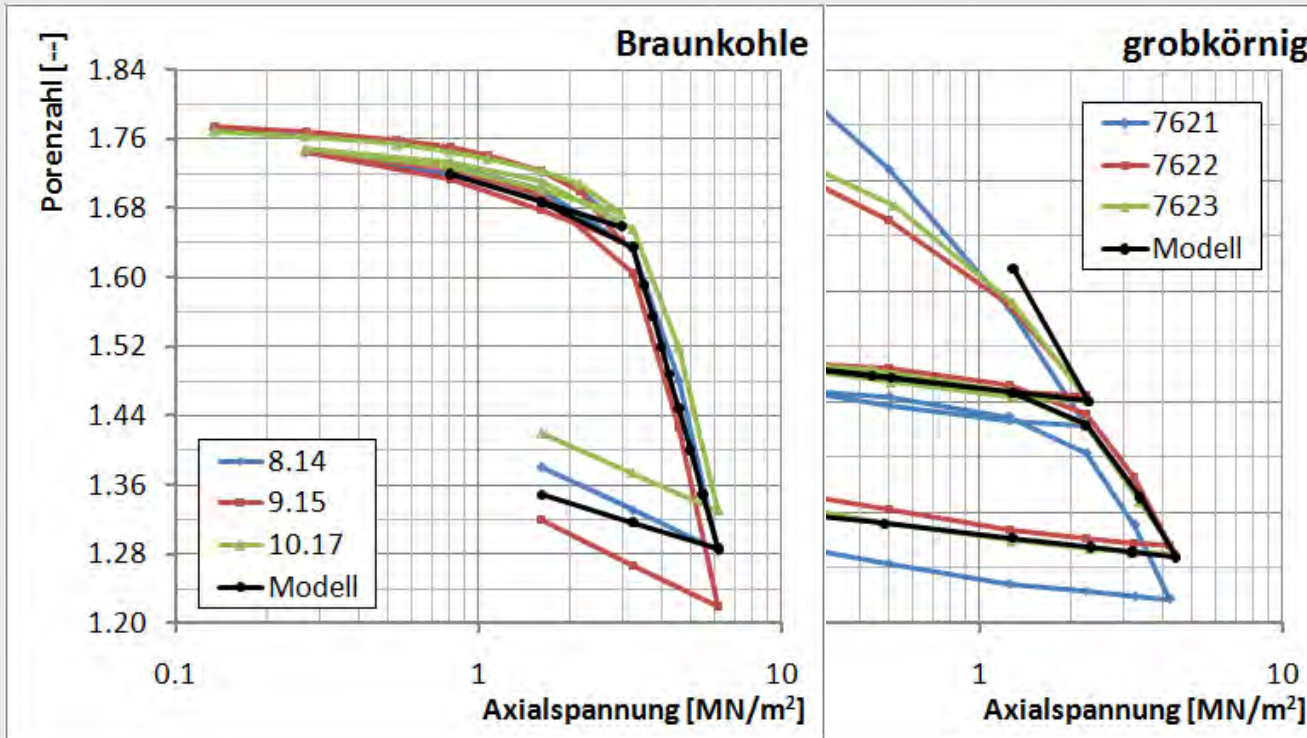


Geologische Profile – Vereinfachung der Schichtung

H		GWM
16		1
13-11		3a
9C		4a
9B		5
9A		5a

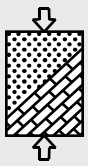


Modifizierte Kompressionsmodelle nach Terzaghi / Klobe

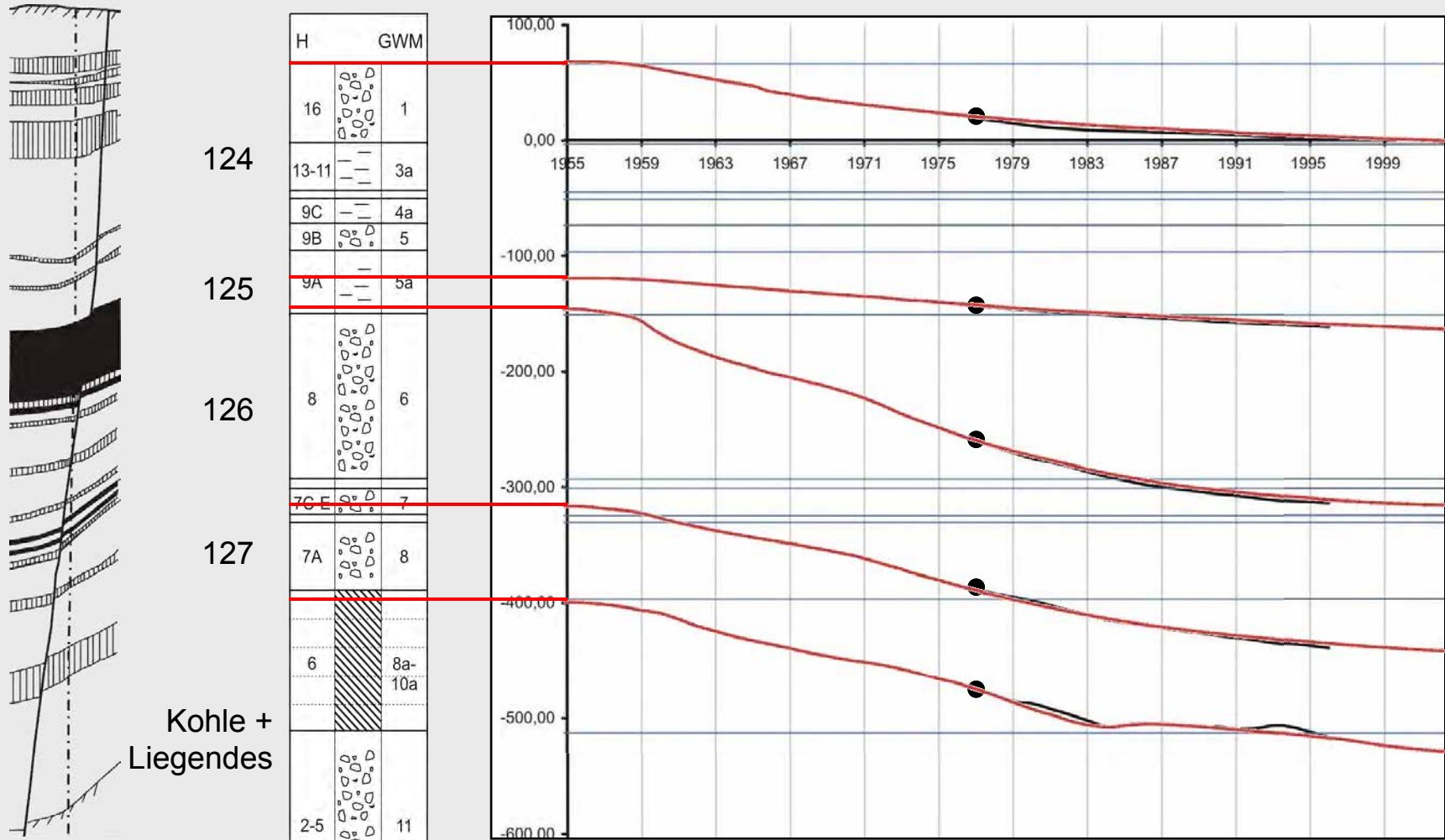


$$\frac{\dot{\sigma}_e}{\sigma_e} = \frac{\dot{e}}{C_C} \quad C_C^* = \begin{cases} C_S + (C_C - C_S) \cdot \exp [\mu \cdot (1 - \frac{\sigma_e}{\sigma'})] & \text{für } \dot{e} \leq 0 \\ C_S & \text{für } \dot{e} > 0 \end{cases}$$

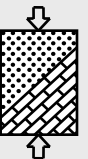
$$\frac{\dot{\sigma}'}{\sigma'} = \frac{\dot{e}}{C_C^*}$$



Setzungskalibrierung am AC 75 – Erft-Scholle



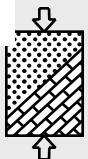
Extensometer-Messungen am Brunnen AC 75



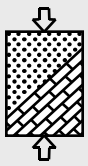
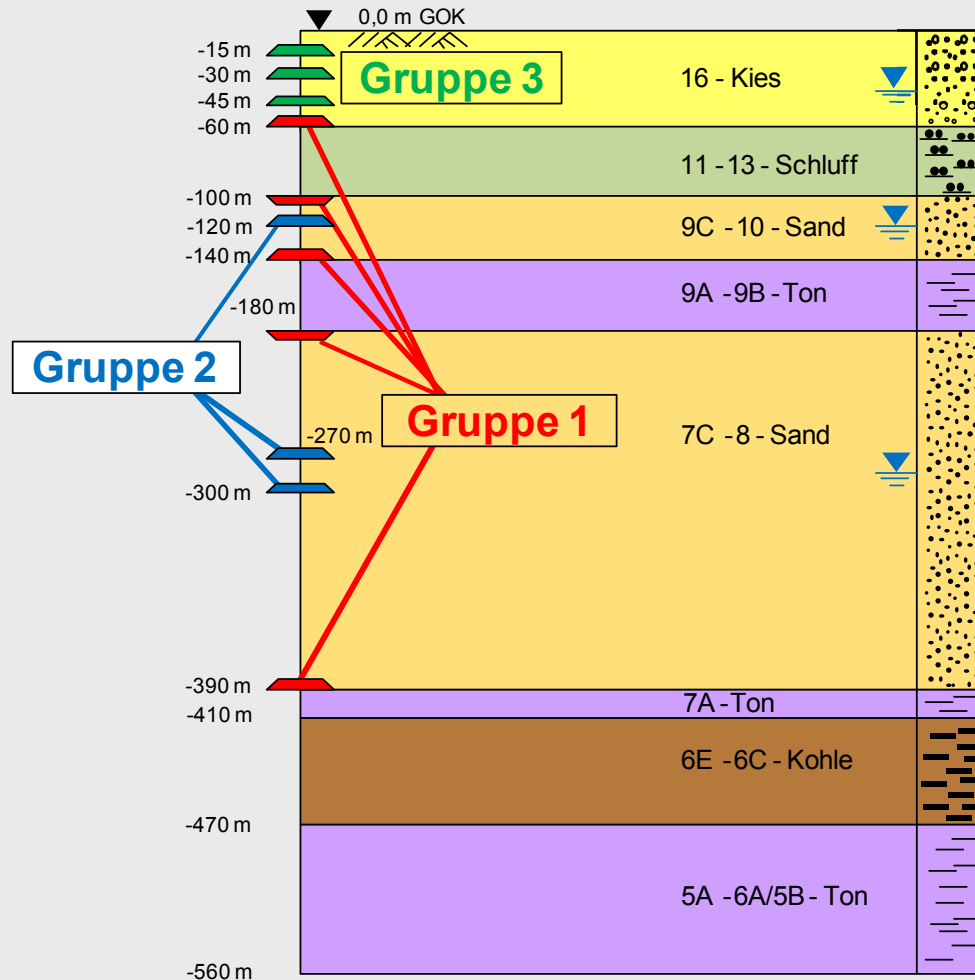
Auszug Liste Bodenproben und zugehörige Parameter

Horizont	Probennr.	Ansprache		Indexversuche							
		Korngrößenverteilung	Plastizität	ρ_s [g/cm ³]	V_{gt} [-]	w [-]	S_r [-]	I_P [-]	I_C [-]	I_A [-]	
Hambach – Erftscholle											
16	7618	$mS + gS, \bar{g}$	–	2.646	–	0.048	0.344	–	–	–	
	7619	$mS + gS, g'$	–		–	0.052	0.226	–	–	–	
	7620	$fG + mG, \bar{s}$	–		–	0.038	0.235	–	–	–	
11	7738.1	U, \bar{i}	TL	2.677	0.042	0.266	1.003	0.258	1.077	0.645	
	7738.2					0.277	0.947				
9A	7733.1	T, \bar{u}, ms'	TA	2.740	0.027	0.224	0.986	0.293	1.177	0.490	
	7733.2	T, \bar{u}, fs'	TA	2.717	0.023	0.201	0.978	0.331	1.146	0.581	
8	7621	$fS + mS$	–	2.643	–	0.070	0.251	–	–	–	
	7622	$fS + mS$	–		–	0.059	0.203	–	–	–	
	7623	$fS + mS$	–		–	0.051	0.197	–	–	–	
7	7624.1	T, u	TA	2.625	0.087	0.232	1.030	0.542	1.062	0.678	
	7624.2	T, fu	TA	2.687		0.223	1.006	0.456	1.033	0.633	
	7625	T, \bar{u}	TA	2.642		0.112	0.281	0.959	0.331	0.882	0.509
	7626	T, fu'	TA	2.575		0.323	0.317	0.930	0.539	0.931	0.643
6B	7722.1	$T + U$	TM	2.662	0.013	0.152	0.931	0.179	1.278	0.338	
	7722.2					0.143	0.918				
5	7677.1	$U + T$	TL	2.657	0.046	0.177	0.918	0.108	1.248	0.235	
	7677.2					0.174	0.943				
Inden – Rurscholle											
9C	7728.1 + .3	fS, \bar{u}, t	TA	2.633	–	0.143	0.568	0.408	0.994	1.569	
	7728.2 + .4	U, \bar{i}, fs	TA	2.635	–	0.213	0.837	0.308	1.032	0.906	
9A	7727.2	U, \bar{i}, fs	TM	2.650	0.028	0.206	0.904	0.190	0.885	0.528	
	7727.3	T, \bar{u}	TA	2.650	0.031	0.243	0.958	0.436	1.186	0.692	

Tabelle 6.3 Ergebnisse von Indexversuchen an den Lockergesteinsproben

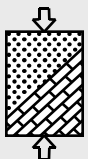
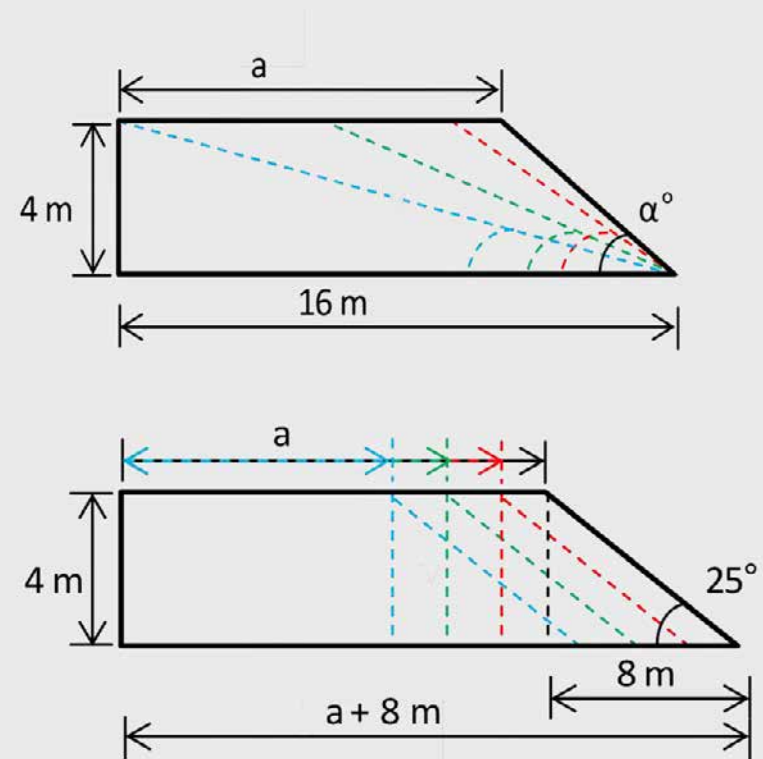


Untersuchte Tonlinsen

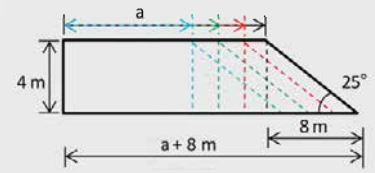
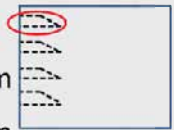
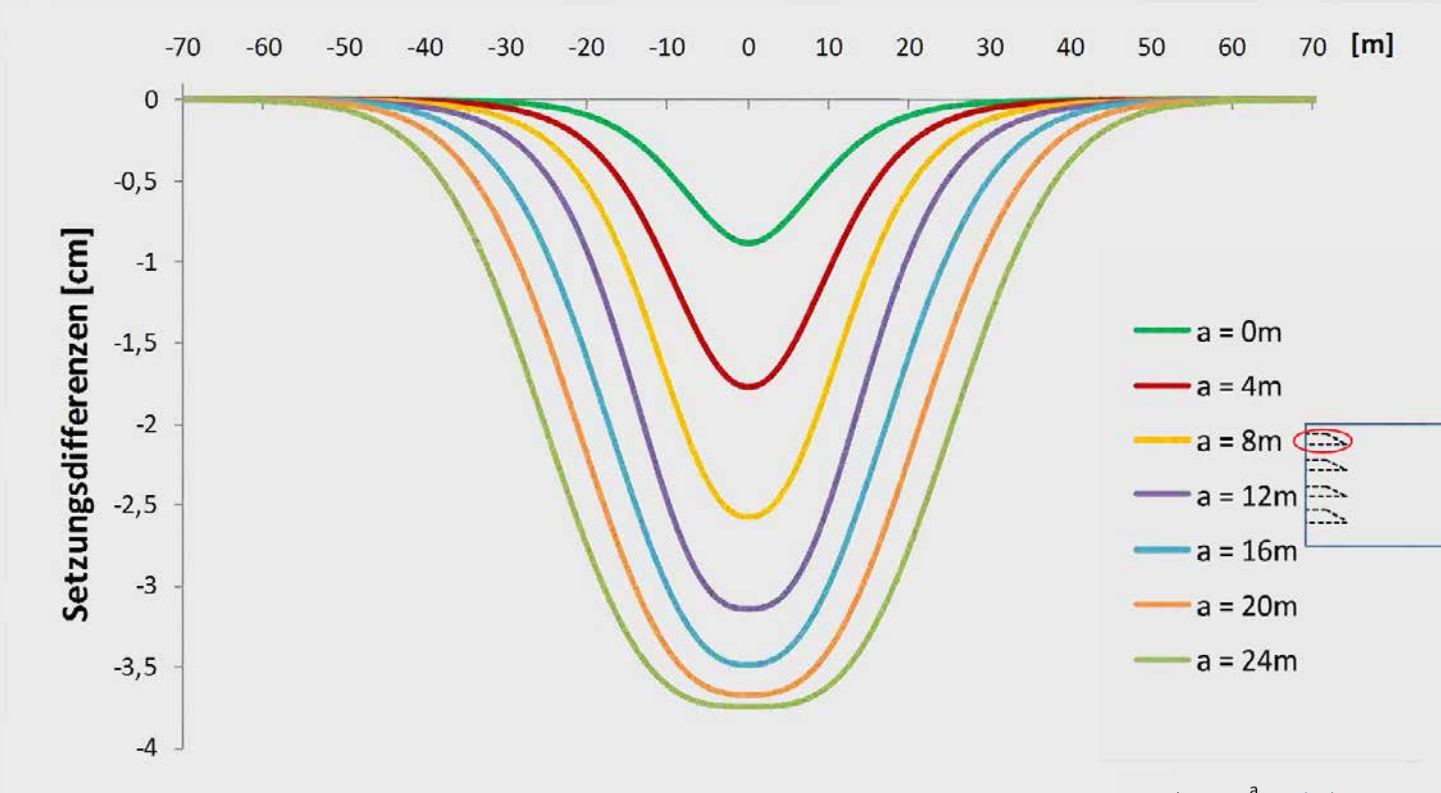


Variation der Tonlinsengeometrie

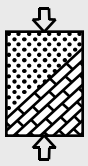
- **Variation der Geometrie innerhalb realistischer Grenzen**
 - Breite
 - Neigung
- **Sensitivitäts - Analyse durch Auswertung des Krümmungsradius**



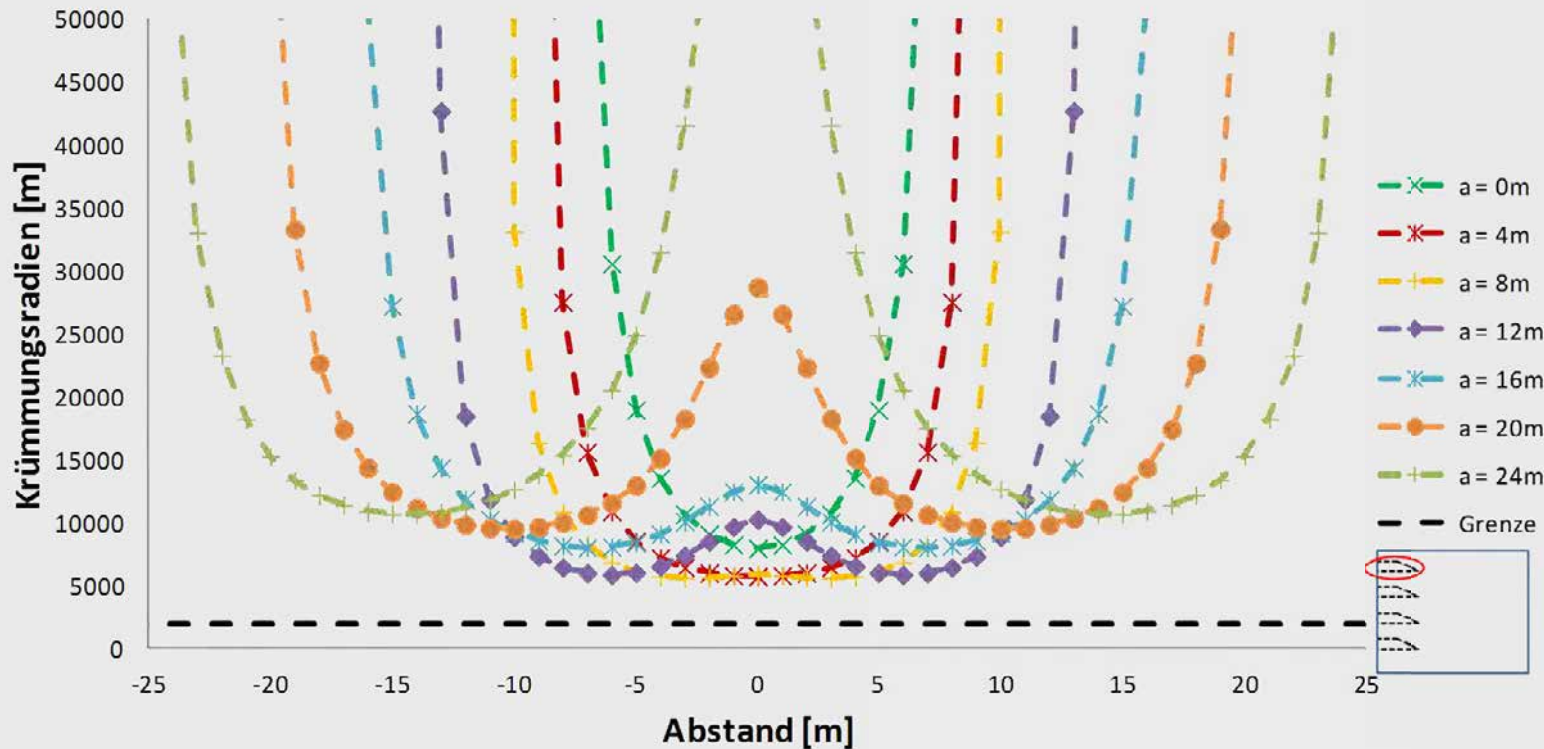
Sensitivitätsanalyse für verschiedene Breiten



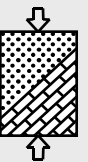
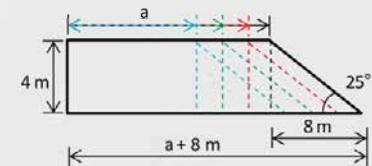
Setzungsdifferenzen



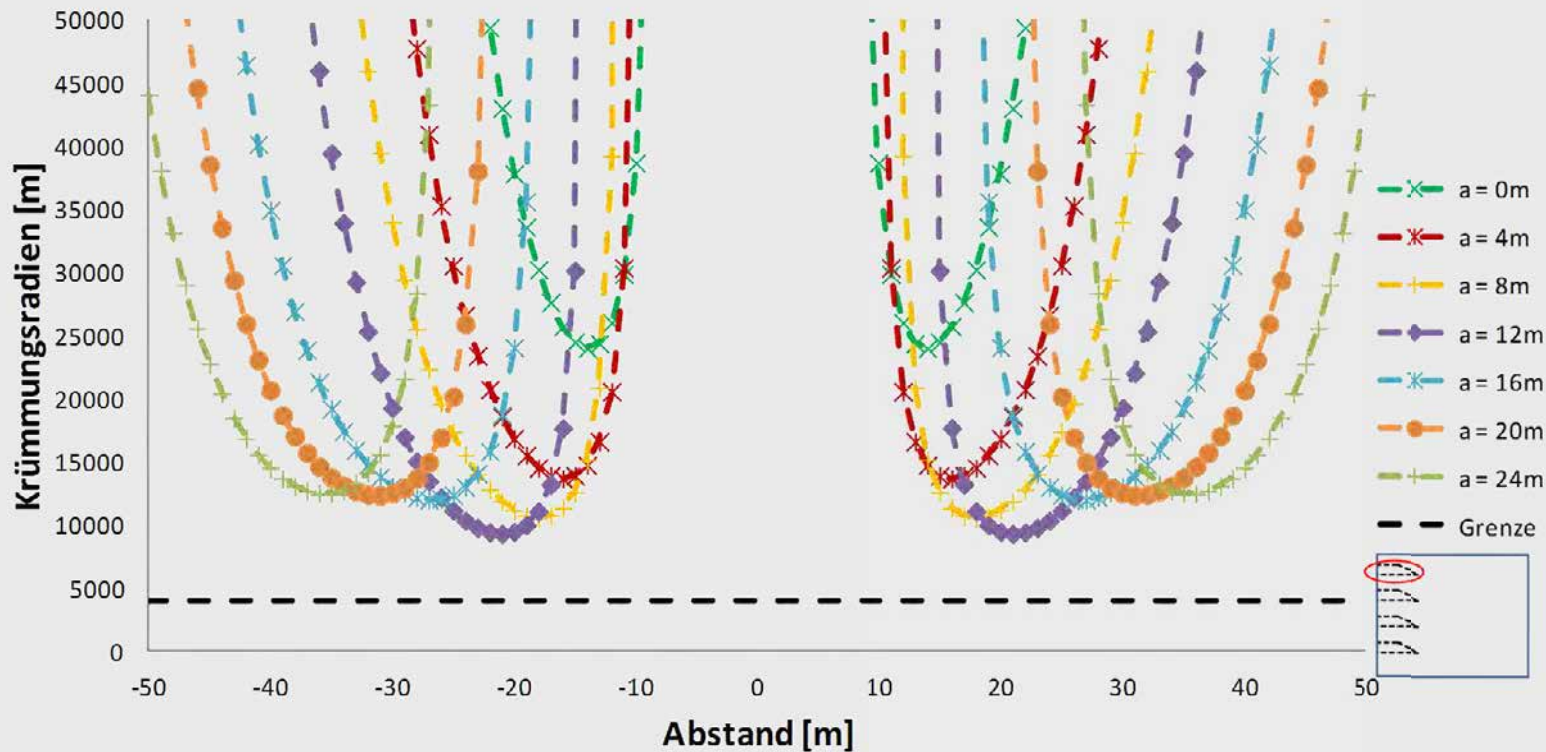
Sensitivitätsanalyse für verschiedene Breiten



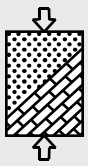
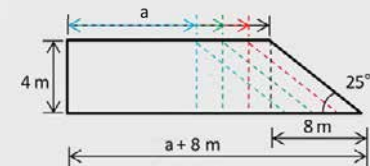
Krümmungsradien/ Muldenlage



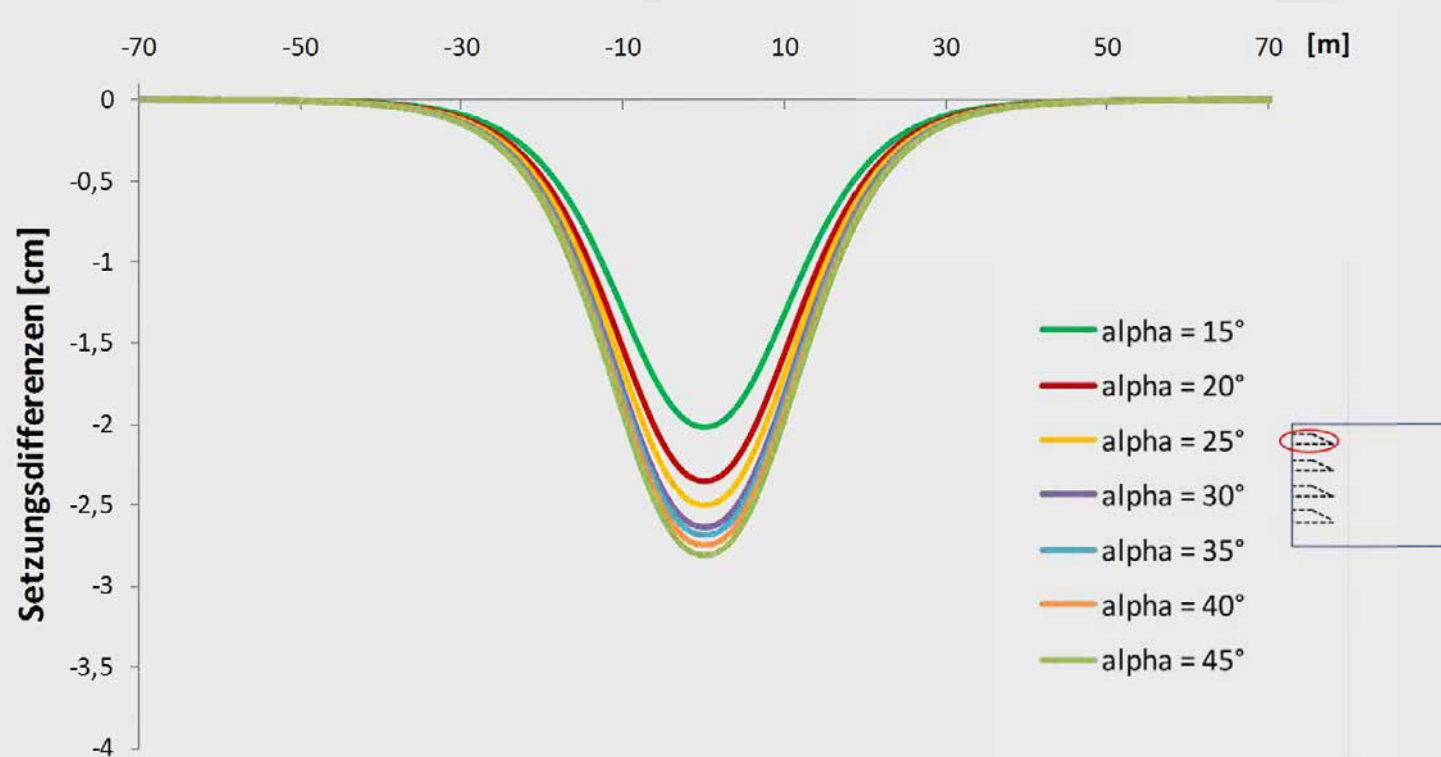
Sensitivitätsanalyse für verschiedene Breiten



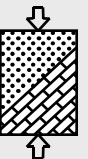
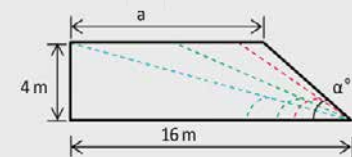
Krümmungsradien/ Sattellage



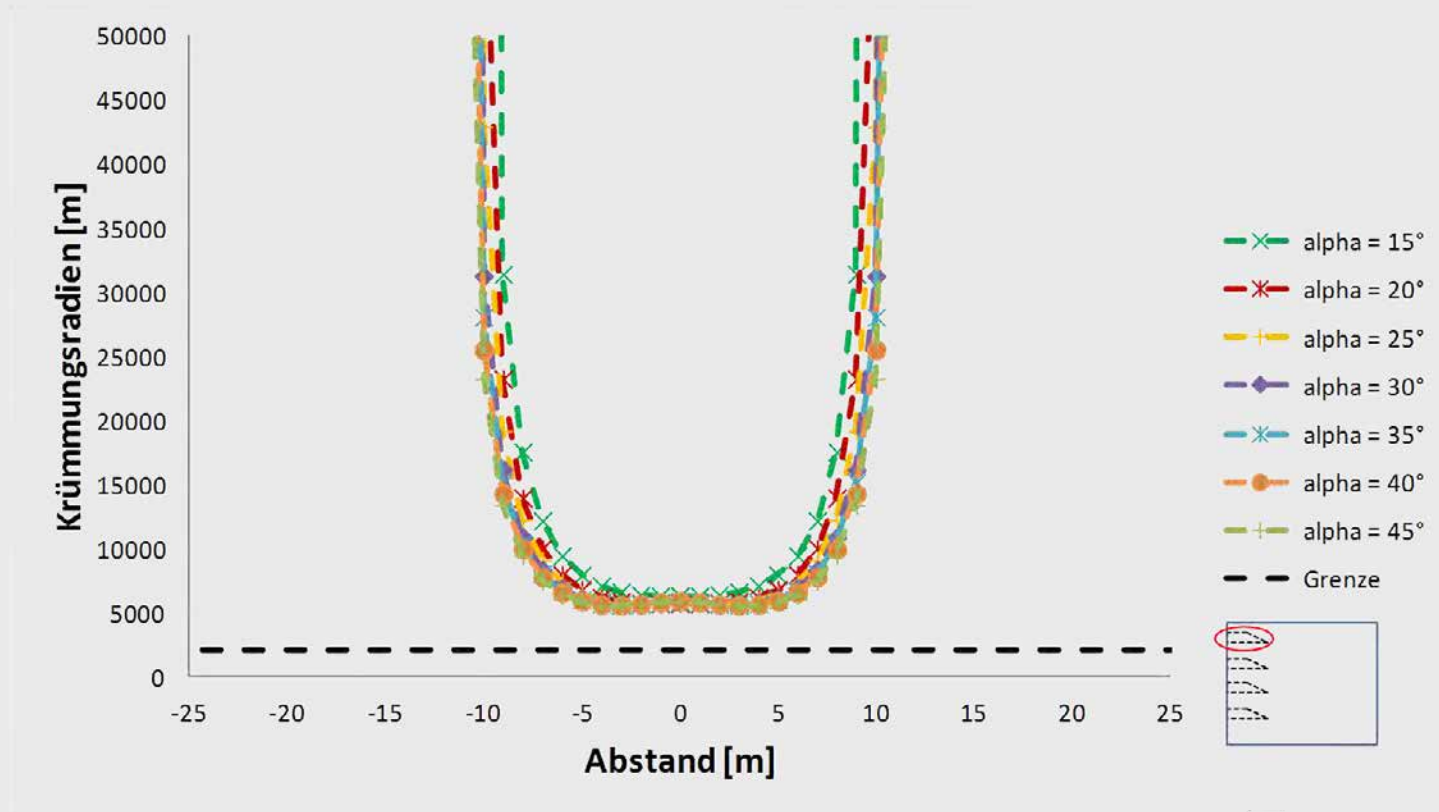
Sensitivitätsanalyse für verschiedene Winkel



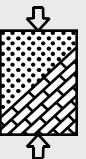
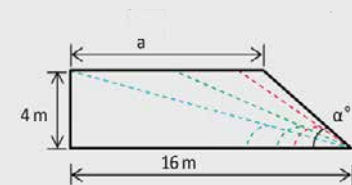
Setzungsdifferenzen



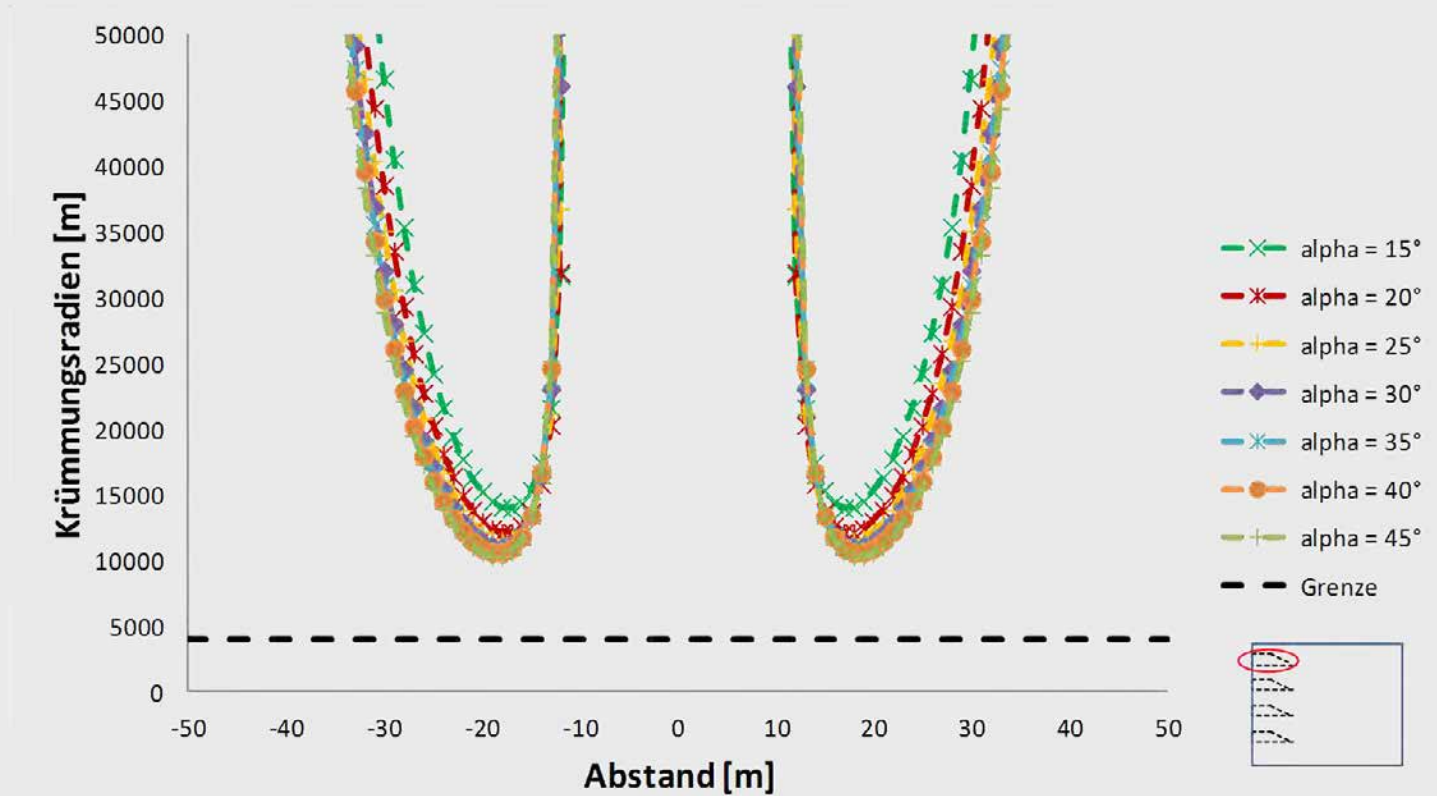
Sensitivitätsanalyse für verschiedene Winkel



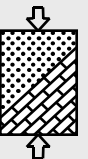
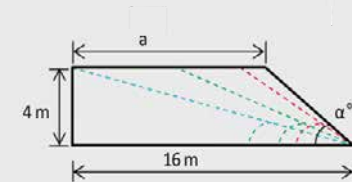
Krümmungsradien/ Muldenlage



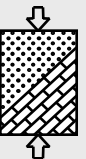
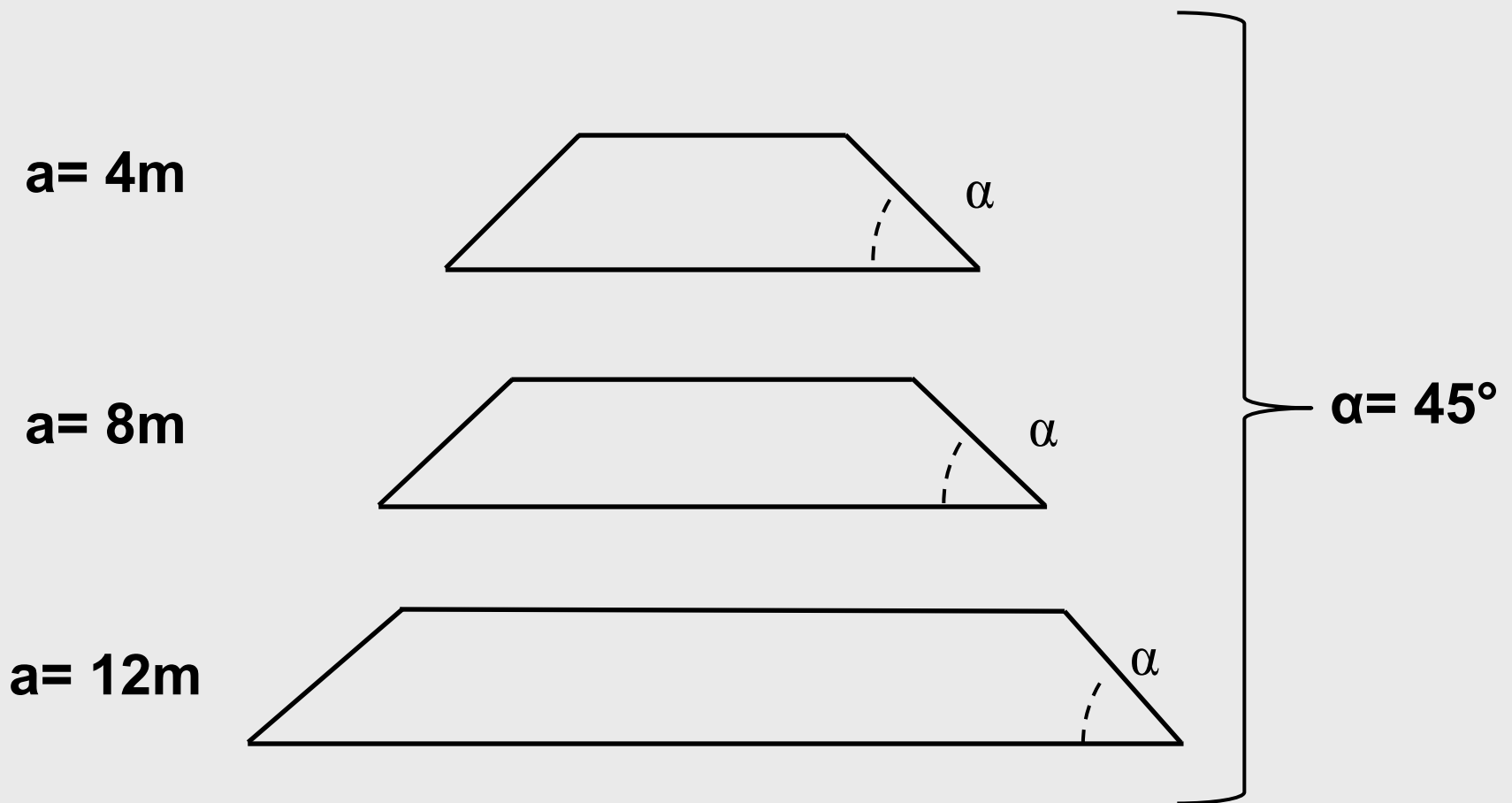
Sensitivitätsanalyse für verschiedene Winkel



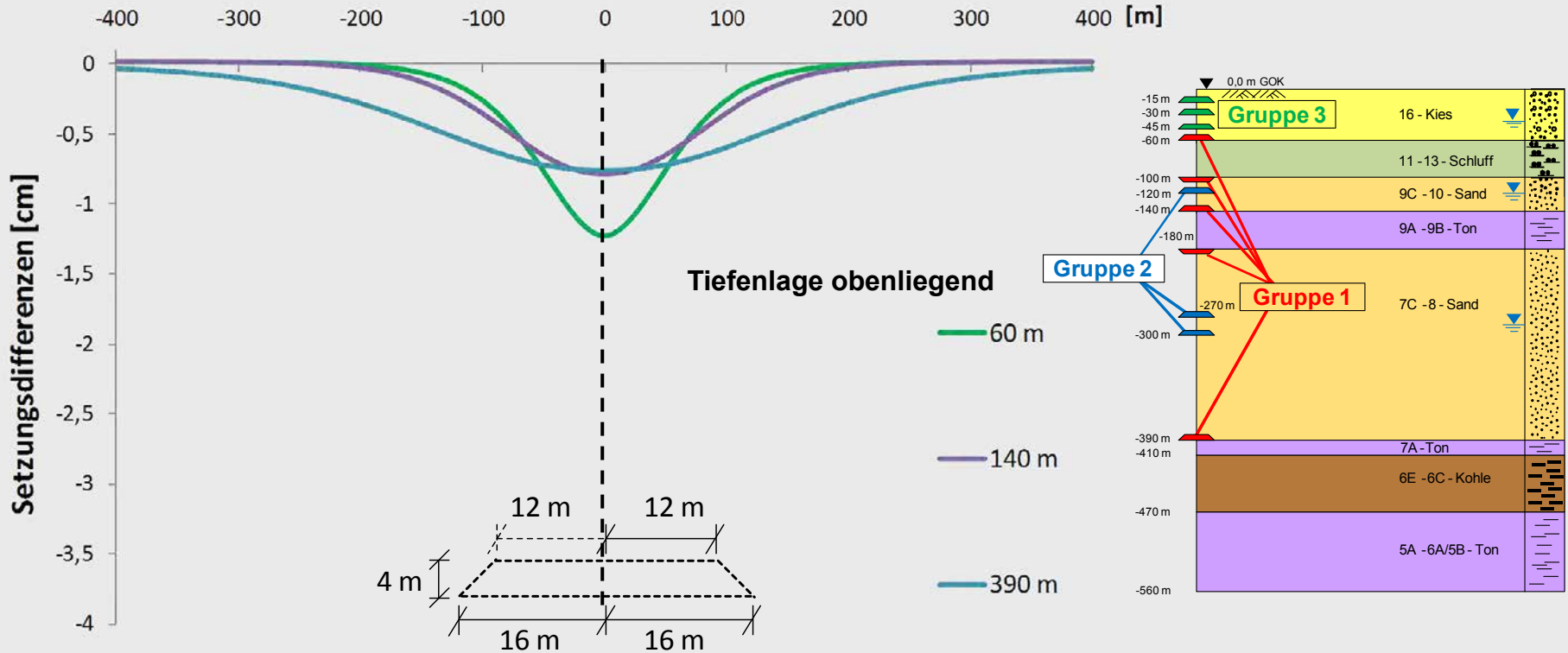
Krümmungsradien/ Sattellage



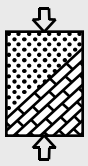
Variation der Tonlinsenbreite über die Tiefe



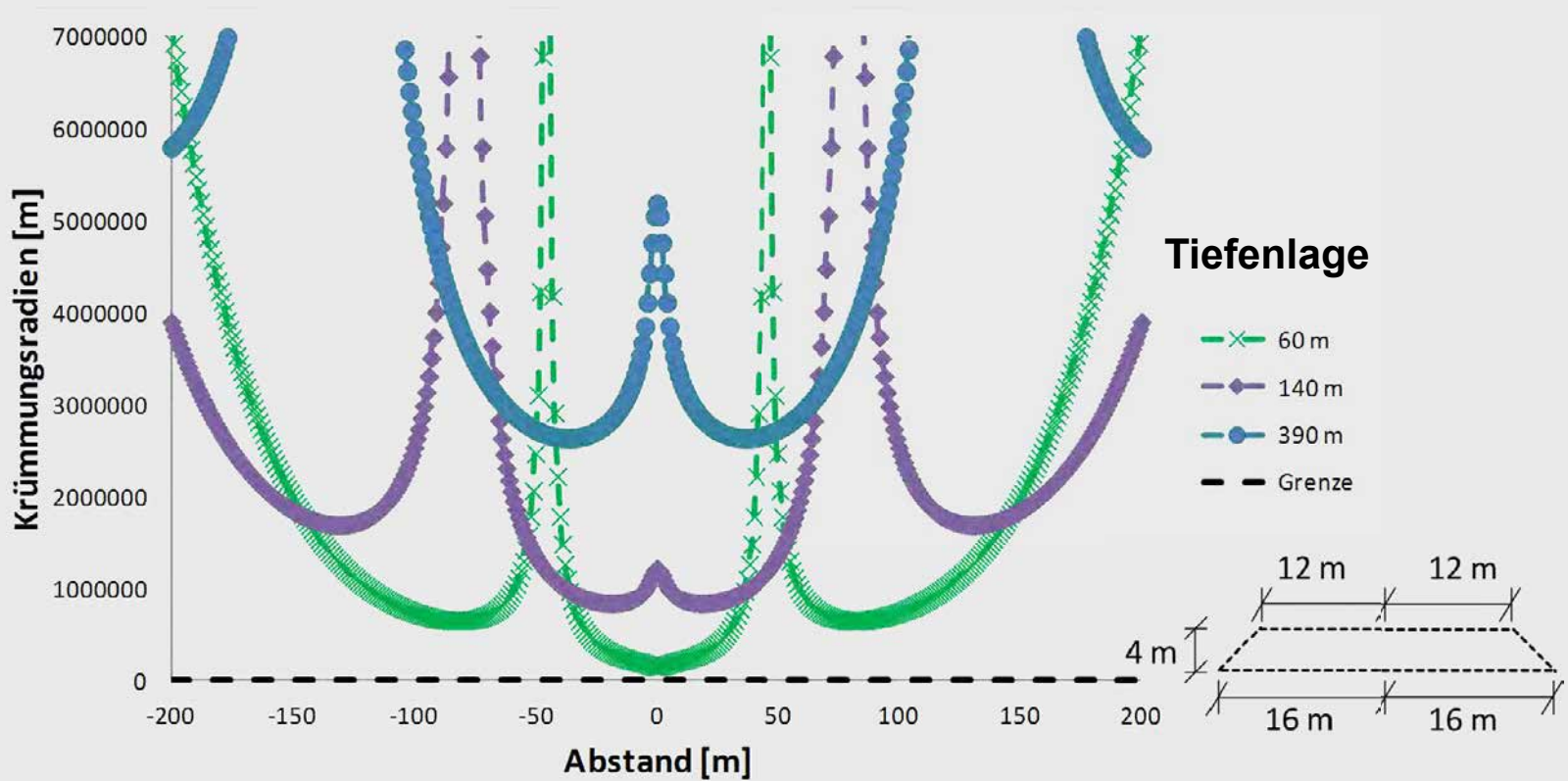
Gruppe 1



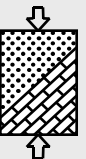
Setzungsdifferenzen



Gruppe 1



Krümmungsradien Mulden- und Sattellage



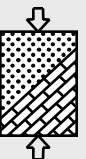
Zusammenfassung Gruppe 1

Muldenlage			
Tiefe/Breite	4 m	8 m	12 m
60 m	501800	220950	156300
100 m	465400	273450	192500
140 m	1833450	1163300	844150
180 m	1821000	1105000	796300
390 m	6689900	3759150	2636500
Sattellage			
Tiefe/Breite	4 m	8 m	12 m
60 m	1433250	918800	654250
100 m	1122450	665475	536500
140 m	3707450	2343400	169350
180 m	3730750	2295850	1595650
390 m	13999500	7979000	5616300

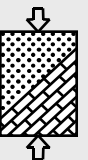
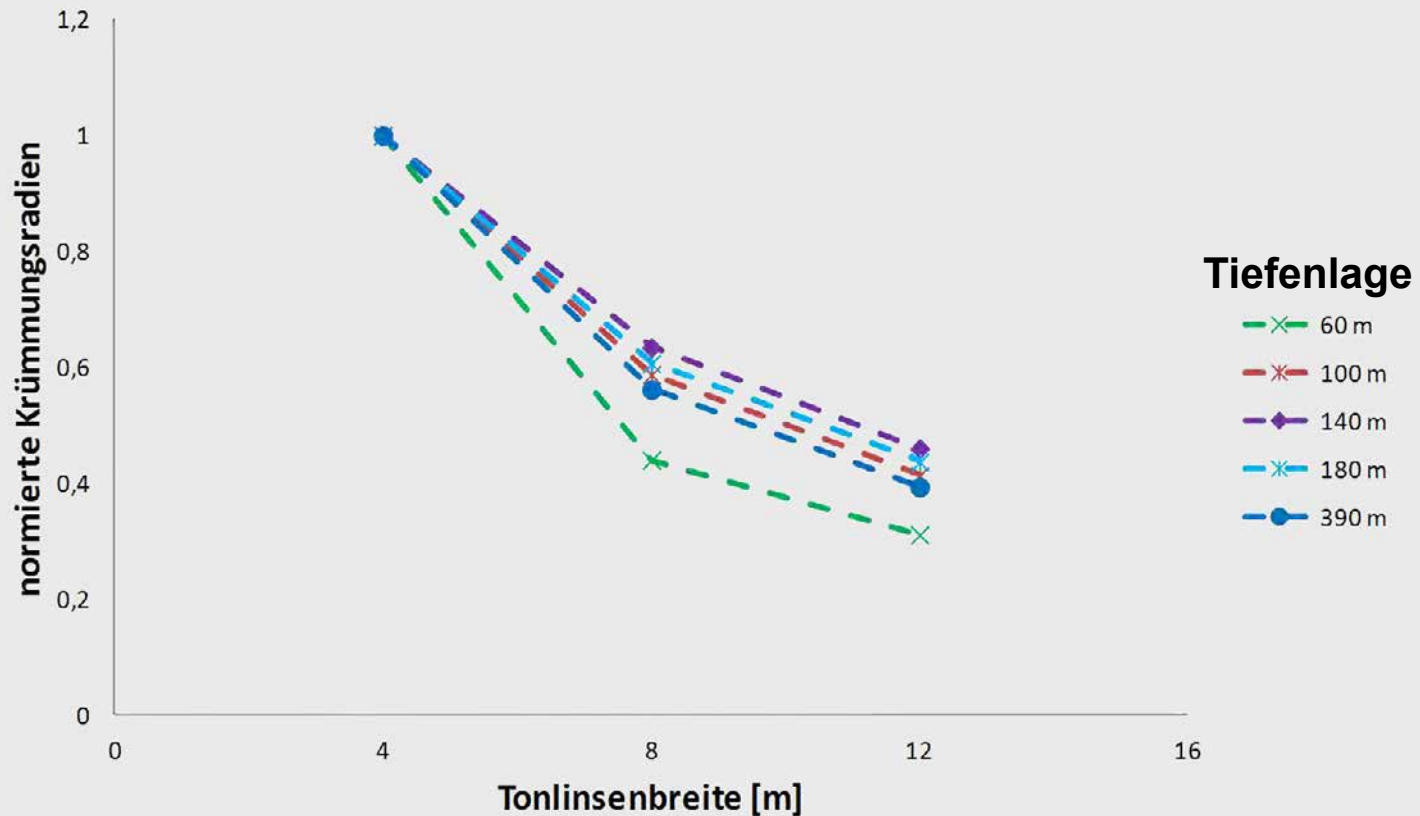
Grenzwert 2000m

Grenzwert 4000m

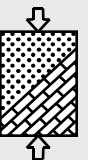
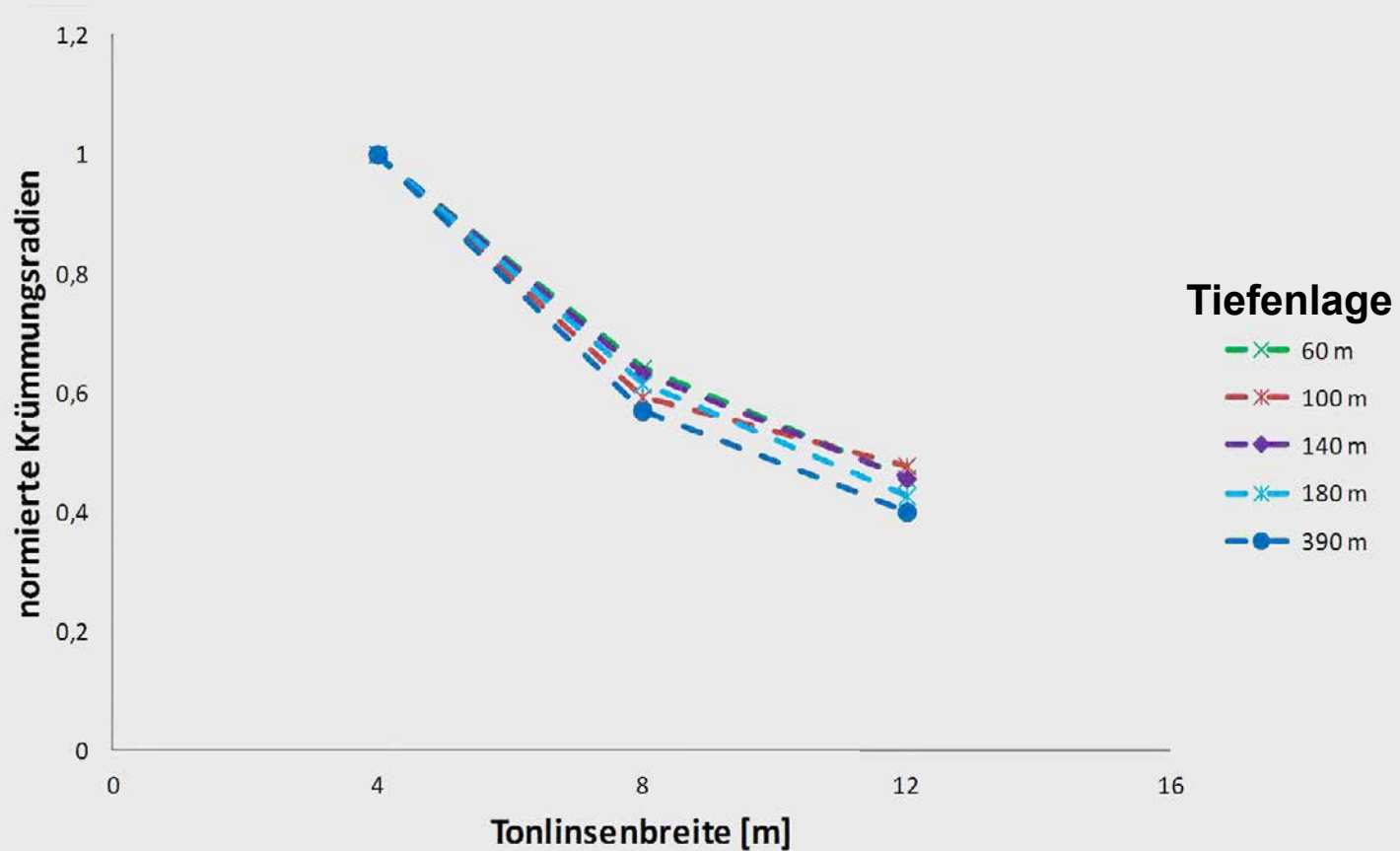
Berechnete Krümmungsradien



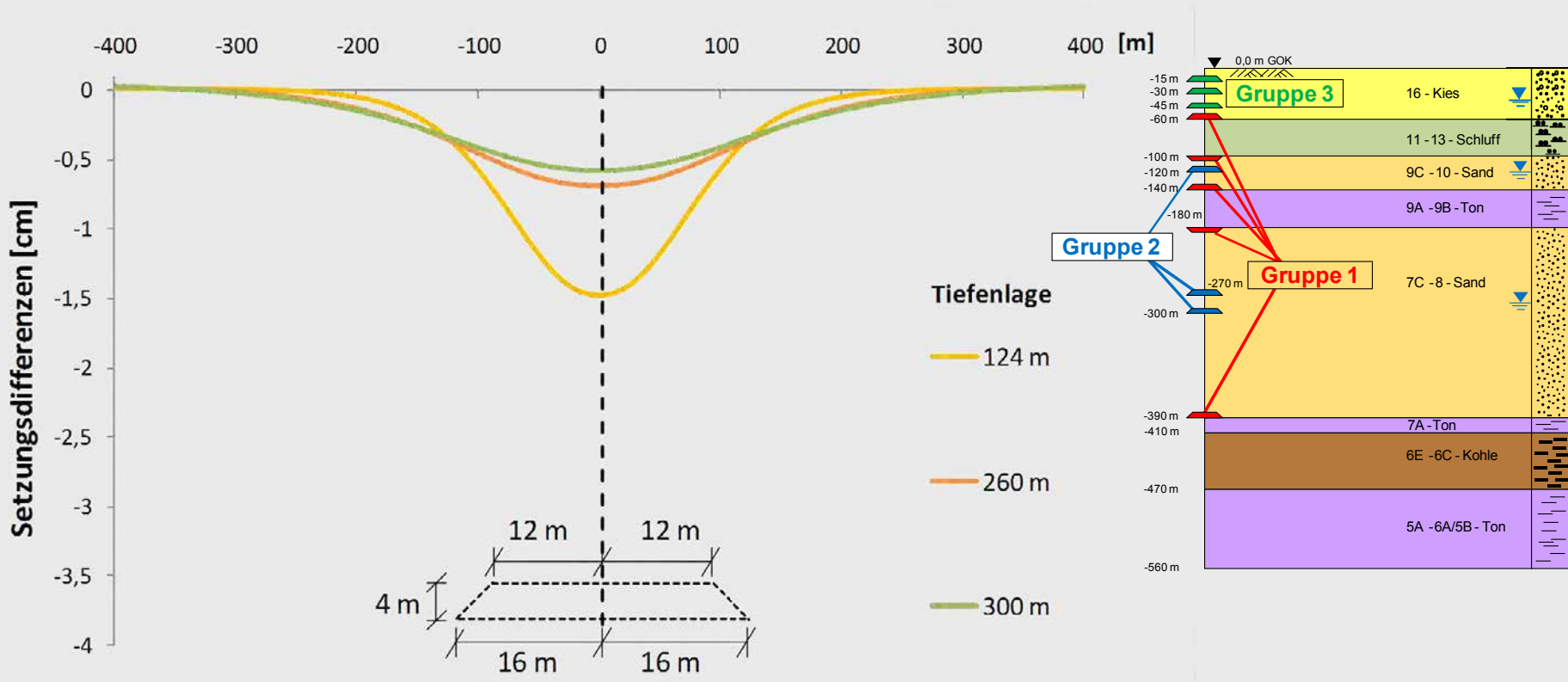
Gruppe 1 (Muldenlage)



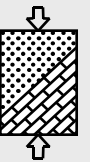
Gruppe 1 (Sattellage)



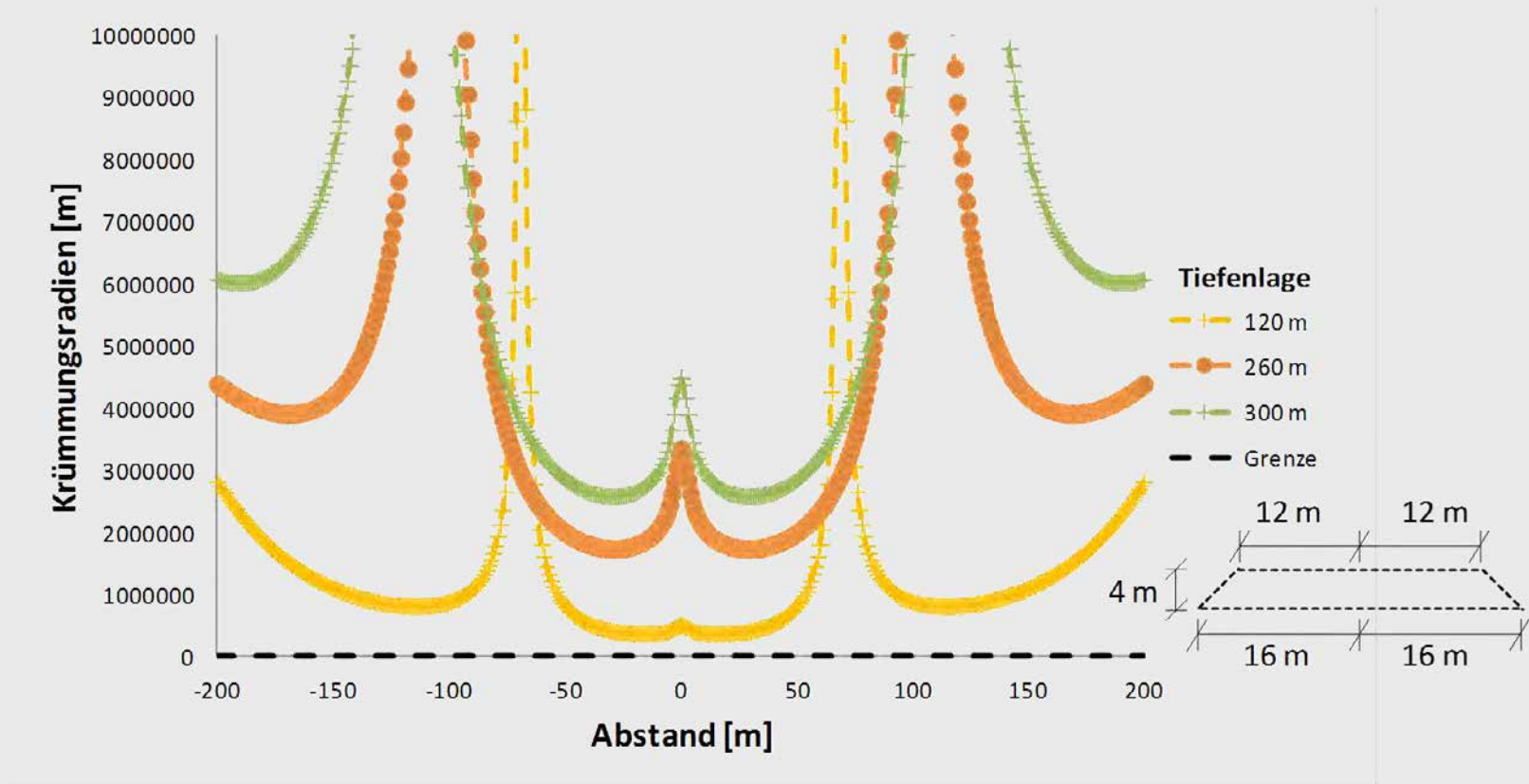
Gruppe 2



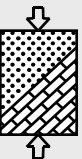
Setzungsdifferenzen



Gruppe 2



Krümmungsradien Mulden- und Sattellage

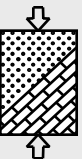


Zusammenfassung Gruppe 2

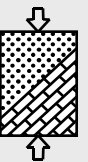
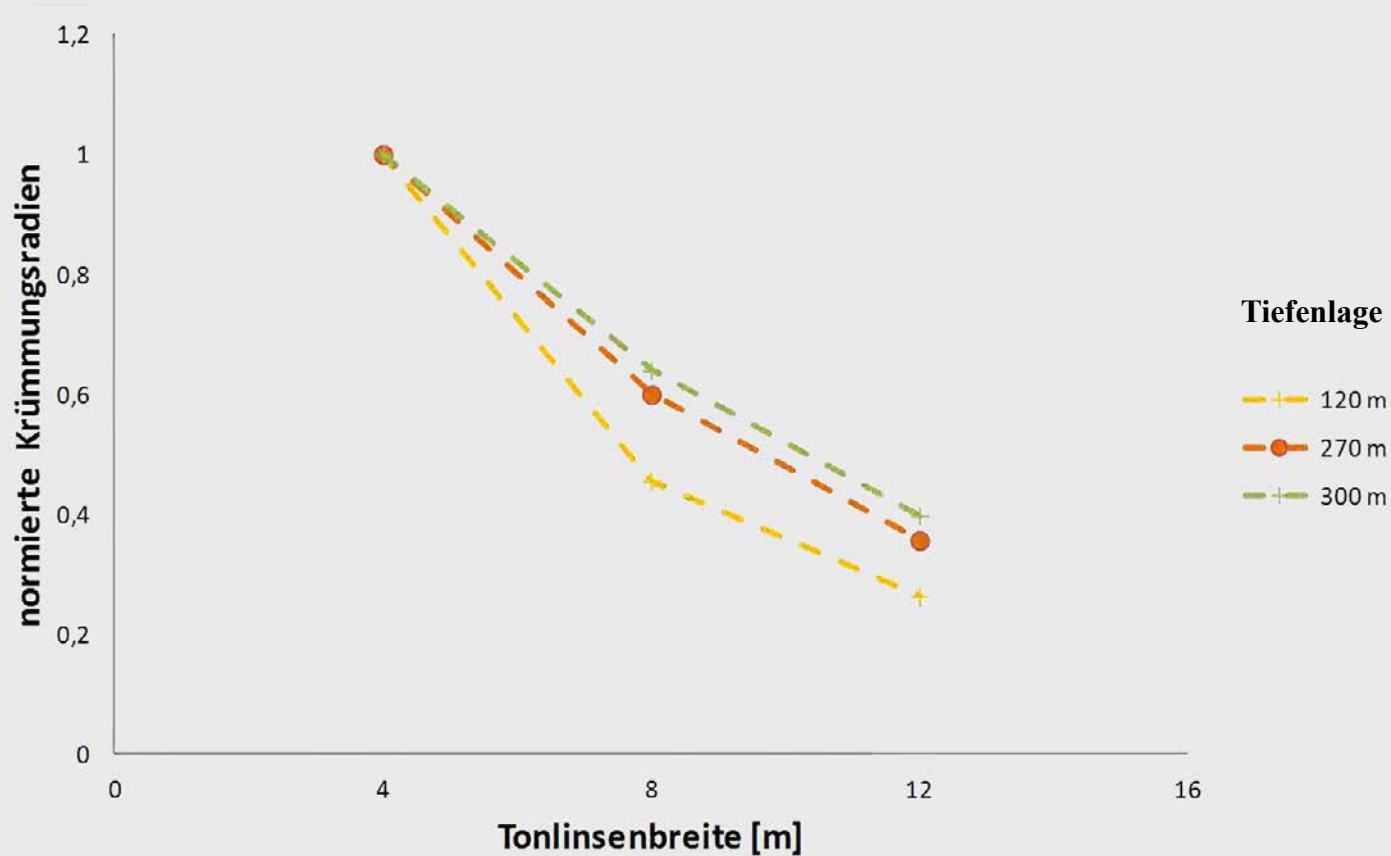
Muldenlage			
Tiefe/Breite	4 m	8 m	12 m
120 m	1403750	639300	369700
270 m	4877850	2925800	1741700
300 m	6483500	4145800	2582700
Sattellage			
Tiefe/Breite	4 m	8 m	12 m
120 m	3166150	1428300	814250
270 m	12184900	5931500	3914850
300 m	19249300	9525450	3836900

Grenzwert 2000m

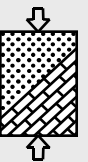
Grenzwert 4000m



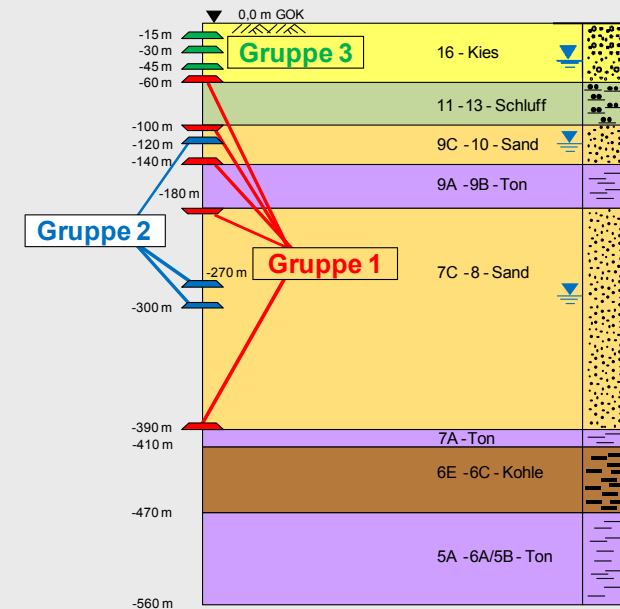
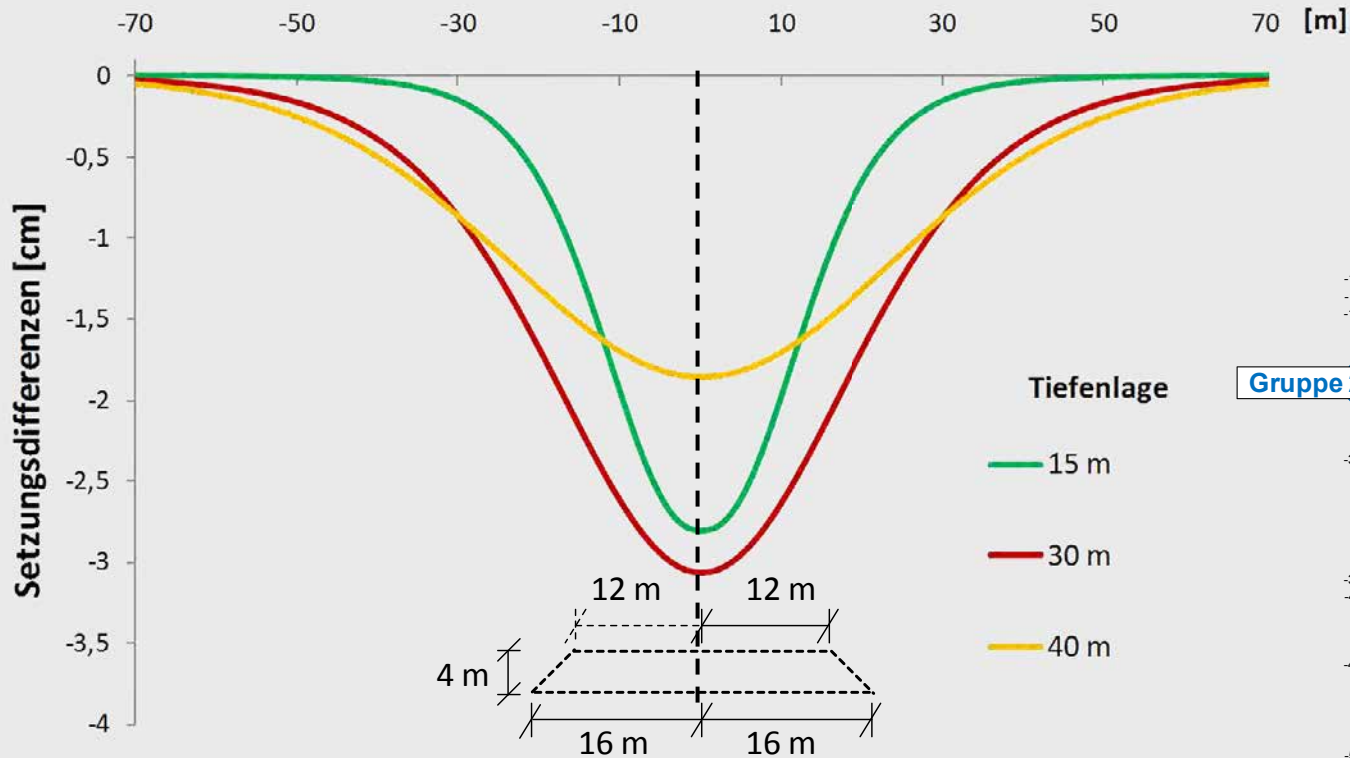
Gruppe 2



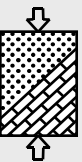
Gruppe 2



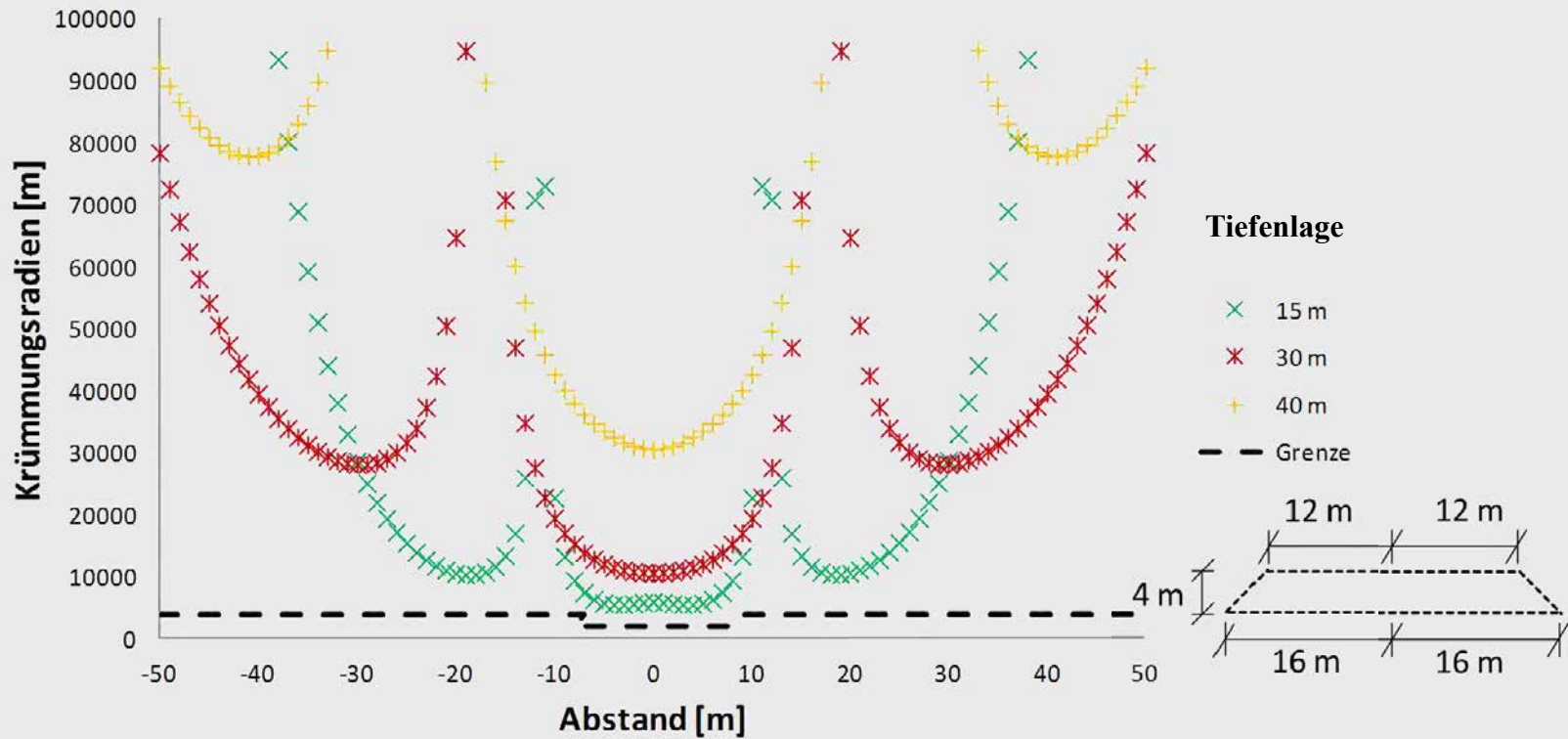
Gruppe 3



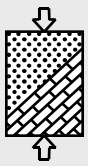
Setzungsdifferenzen



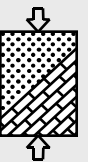
Gruppe 3



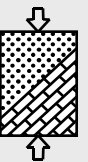
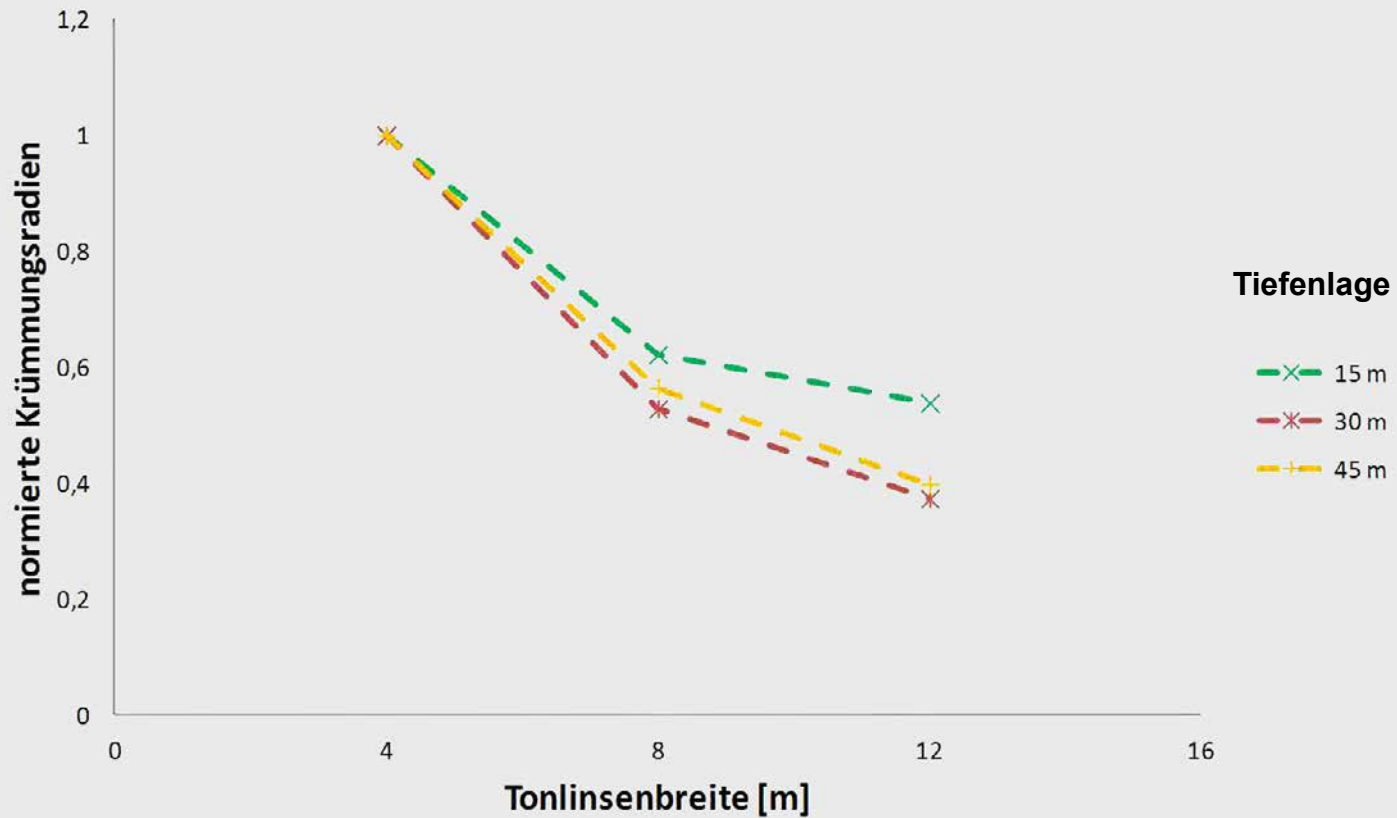
Krümmungsradien Mulden- und Sattellage



Gruppe 3



Gruppe 3

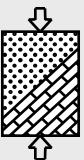


Zusammenfassung Gruppe 3

Muldenlage			
Tiefe/Breite	4 m	8 m	12 m
15 m	6850	5000	5500
30 m	20600	12900	10650
45 m	62700	38100	30600
Sattellage			
Tiefe/Breite	4 m	8 m	12 m
15 m	19270	12000	10350
30 m	75250	39750	28150
45 m	195000	110100	77800

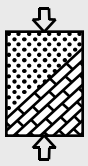
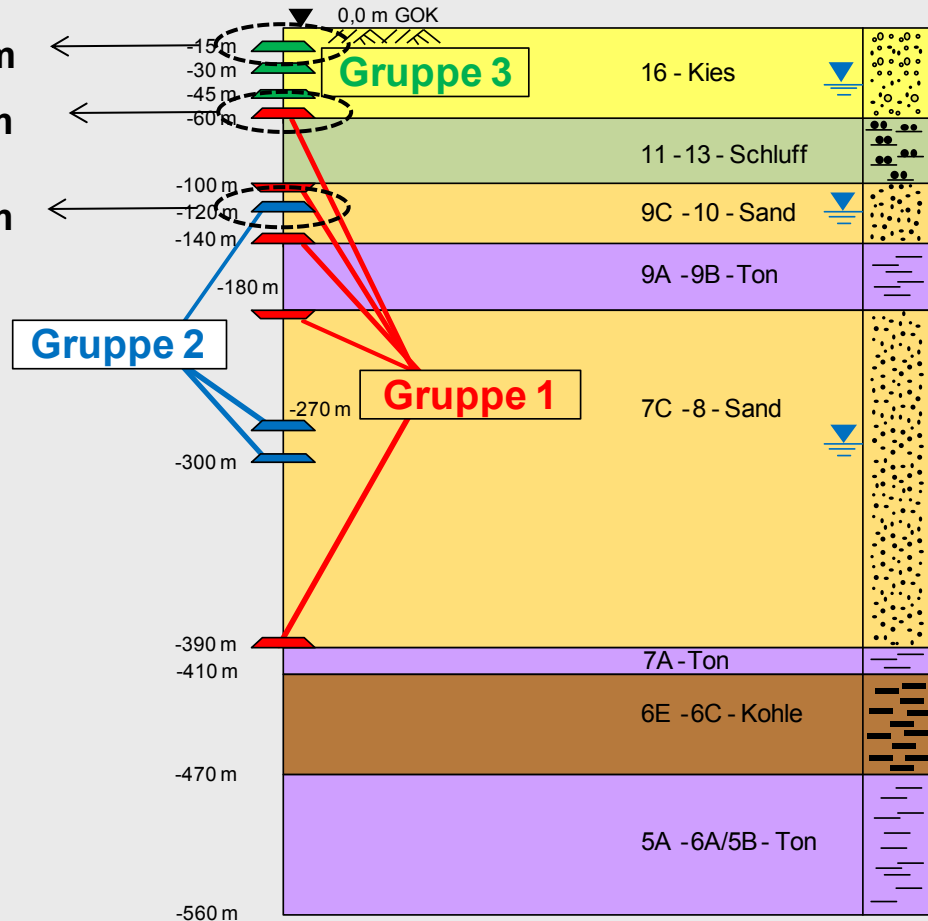
Grenzwert 2000m

Grenzwert 4000m



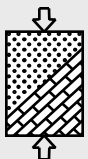
Maßgebender Fall

Muldenlage		Sattellage	
ist	Grenze	ist	Grenze
5500m	2000m	10300m	4000m
15500m	2000m	65000m	4000m
369000m	2000m	814000m	4000m



Fazit

- **Untersucht wurden Tonlinsen unterhalb der gründungsrelevanten Tiefe von 10m.**
- **In vorlaufenden Untersuchungen wurde die ungünstigste Geometrie der Tonlinsen bestimmt.**
- **Die kleinsten berechneten Krümmungsradien sind auch unter den angenommenen auf der sicheren Seite liegenden Annahmen noch mindestens 2.5- mal größer als der zulässige Grenzwert.**
- **In keinem der untersuchte Fälle ist daher unter den gegebenen Randbedingungen mit Schäden an Gebäuden zu rechnen.**



RWE Power AG

Sachverständigenkolloquium 6. März 2013

Schloss Paffendorf

Ursachen und Indikation von Setzungsschäden an Gebäuden

Prof. Dr.-Ing. K. J. Witt

Bauhaus-Universität Weimar



Ursachen und Indikation von Setzungsschäden an Gebäuden

- *Einführung*
- Setzungen und Hebungen
- Einwirkungsbedingte Ursachen
 - Laständerungen
 - Erschütterungen
- Widerstandsbedingte Ursachen
 - Schrumpfen / Quellen
 - Aufweichen
 - Zersetzung/Verwitterung
 - Erosion
- Zusammenfassung



Schiefer Turm von Dausenau

Neigung 5,24°, Überhang 2,46 m

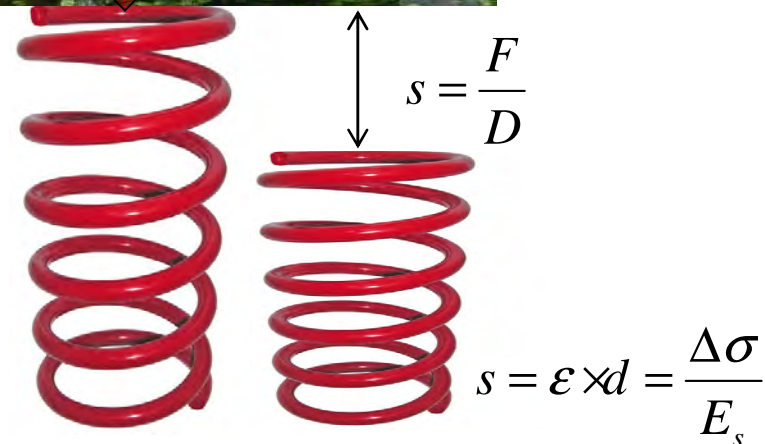
Ursachen und Indikation von Setzungsschäden an Wohngebäuden



Setzungen



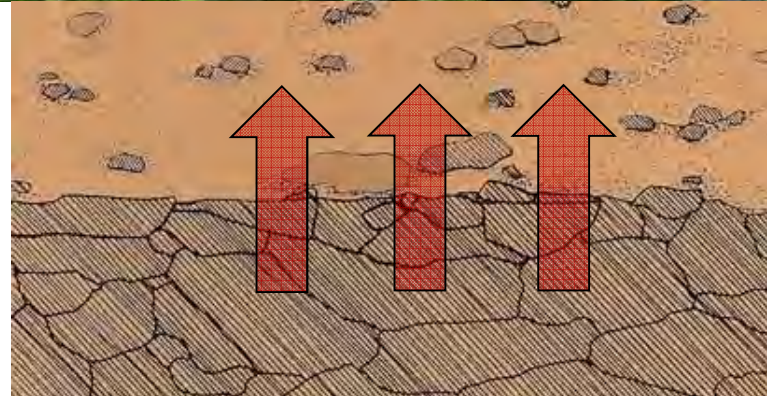
*Kompression durch Zusatzlast
Schrumpfen von Böden
Vernässung bindiger Böden
Bodenentzug, Erosion
Grundwasserabsenkung
Zersetzung organischer Anteile*



Hebung



*Quellen bindiger Böden
Frost*



Verträglichkeit von Relativsetzungen

DIN EN 1992 (Eurocode 2): Setzungen sind Einwirkungen



β

$$\tan \beta_{\max} = 1/150 ; \beta_{\max} = 0,38^\circ$$

Verträglichkeit von Relativsetzungen

Potentieller Schaden <i>Bjerrum, 1963</i>	β_{\max}
Grenzwert Mauerwerk, Risse in Wand	1/150
Gefährdung der Struktur, allgemein	1/150
Erkennbare Neigung bei hohen Gebäuden	1/250
Risse in tragenden Wänden	1/300
zuverlässige Rissvermeidung	1/500
Strukturprobleme ausgesteifter Rahmen	1/600

Fundamentabstand 6 m: 1/150 \rightarrow $\Delta s = 40$ mm

Verträglichkeit von Relativsetzungen

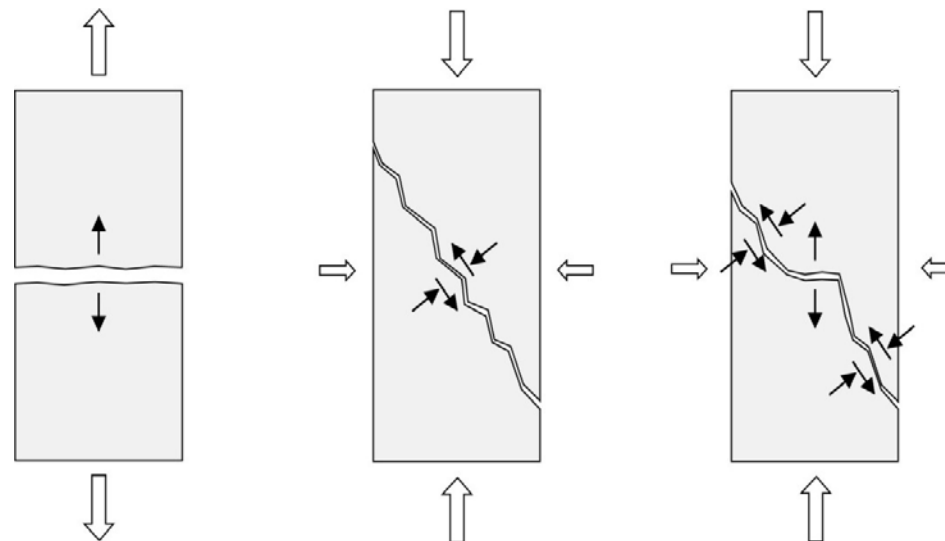
Grenzwerte EC Standardisierung	Größe
Zielwert Streifenfundament	< 50 mm
Zielwert Einzelfundament	< 25 mm
Größe Setzung Einzelfundamente	50 mm
Größe Relativsetzung Einzelfundamente	20 mm
Relativsetzung Rahmen, flexible Wände/Fassade	10 mm
Größe Schiefstellung	1/500

Fundamentabstand 6 m 1/500 $\rightarrow \Delta s = 12 \text{ mm}$

Analyse der Ursachen von Setzungsschäden

... *Grundsätzlich* ist das Gebäude in seiner Gesamtheit zu betrachten, die Interaktion der Tragstruktur mit dem Baugrund. Denn die Ursache von Setzungsschäden ist nie allein der Baugrund, sondern immer die wechselseitige Beeinflussung von Gründung und Bauwerk.

Am Anfang steht die Analyse der Tragstruktur der Risse in ihrer lokalen und zeitliche Ausprägung



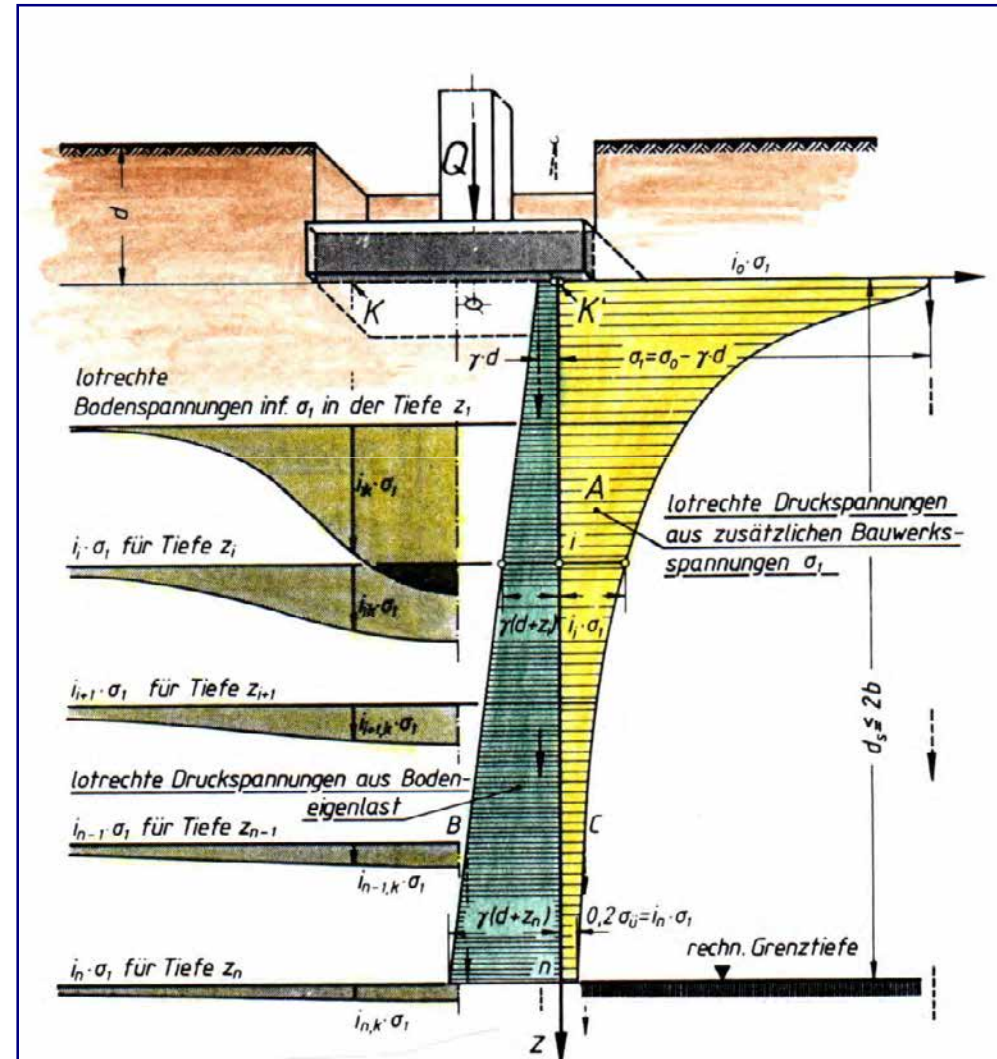
Setzungen infolge Zusatzlast

Steifemodul $E_s = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$

Setzung $s = \sum \frac{\Delta\sigma_i}{E_{s_i}} di$

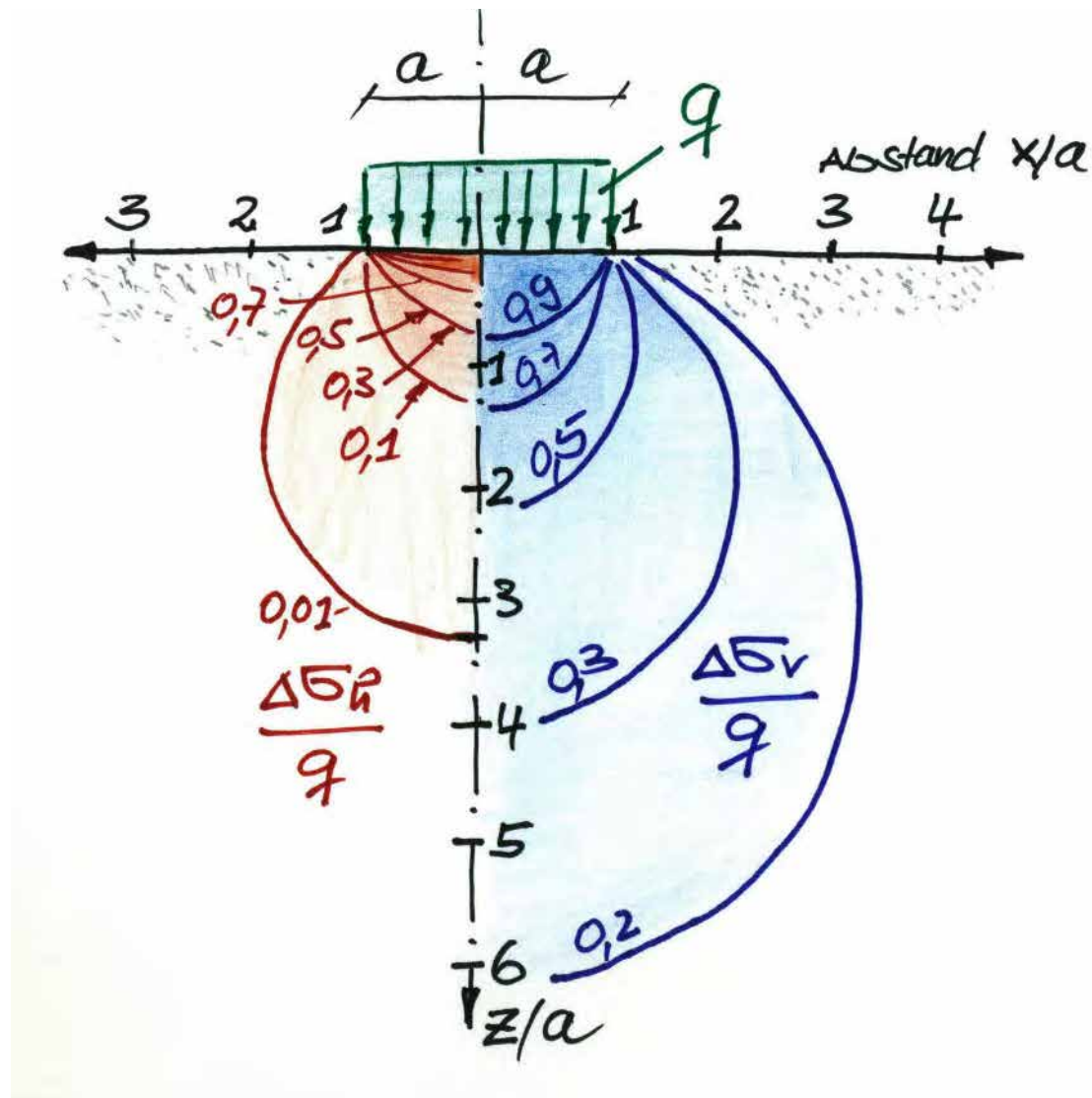
z.B.: Kies.. $E_s = 80-150 \text{ MN/m}^2$

Löblehm $E_s = 8-15 \text{ MN/m}^2$

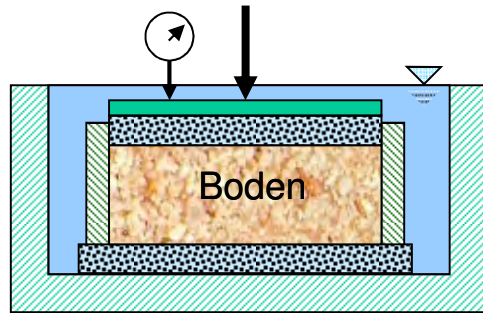


Setzungen infolge Zusatzlast

Lastausbreitung unter Streifenfundament

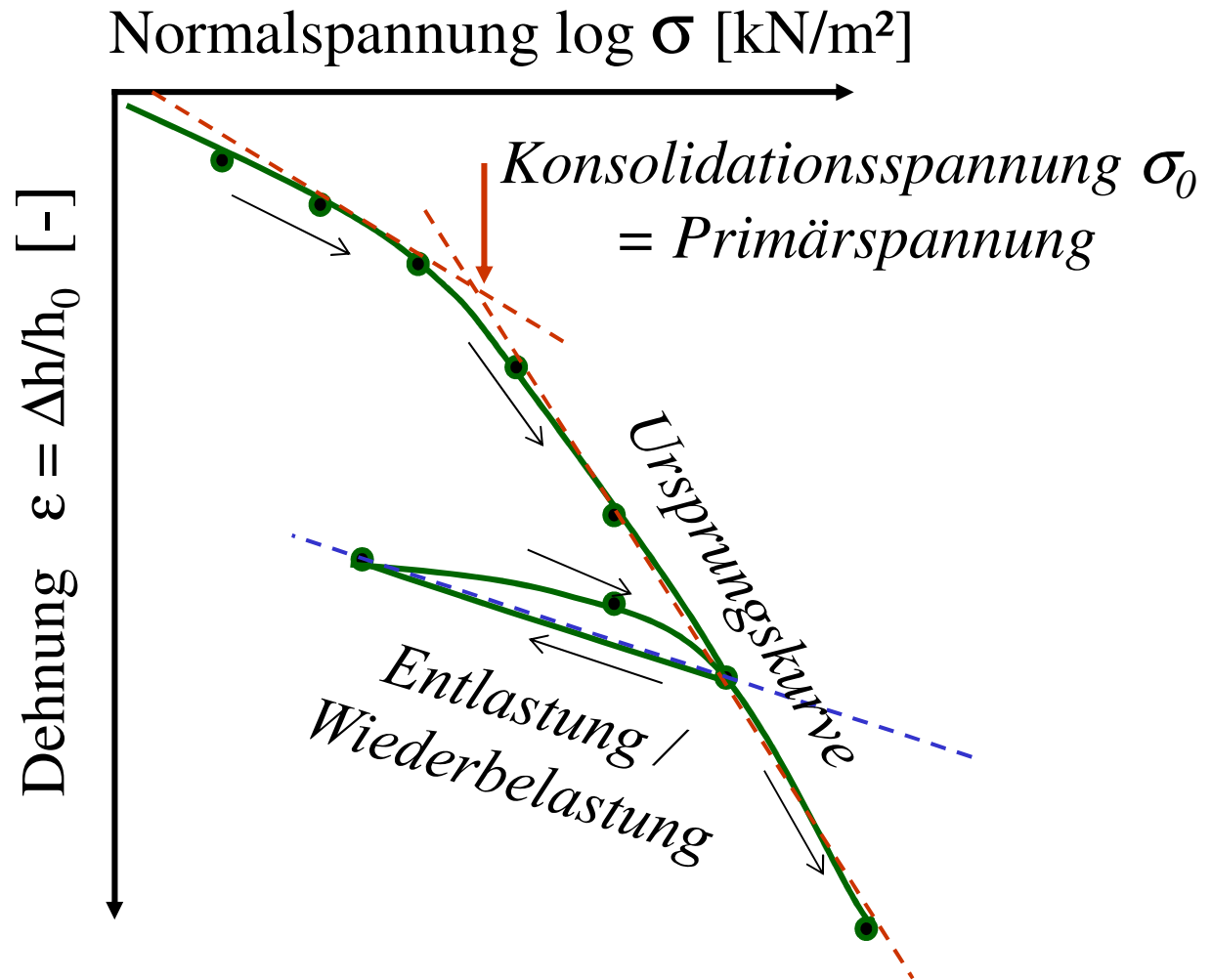


Setzungen infolge Zusatzlast

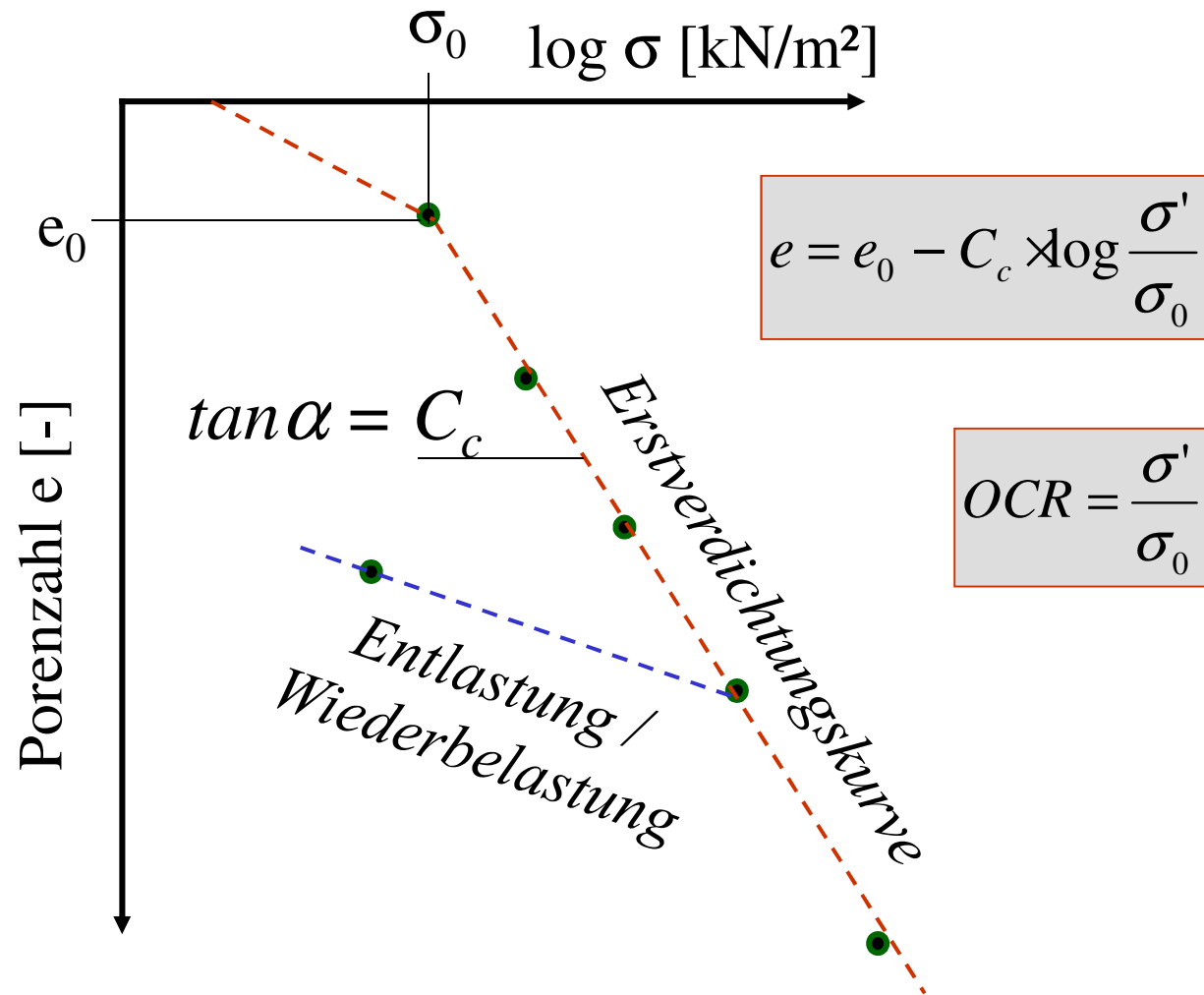
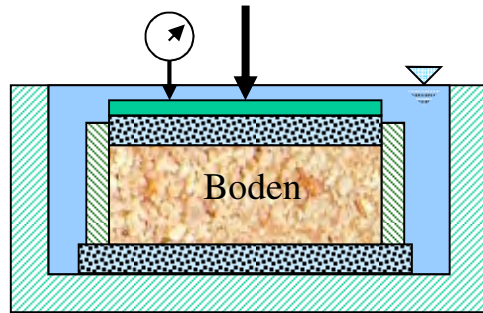


Steifemodul

$$E_s = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$



Setzungen infolge Zusatzlast

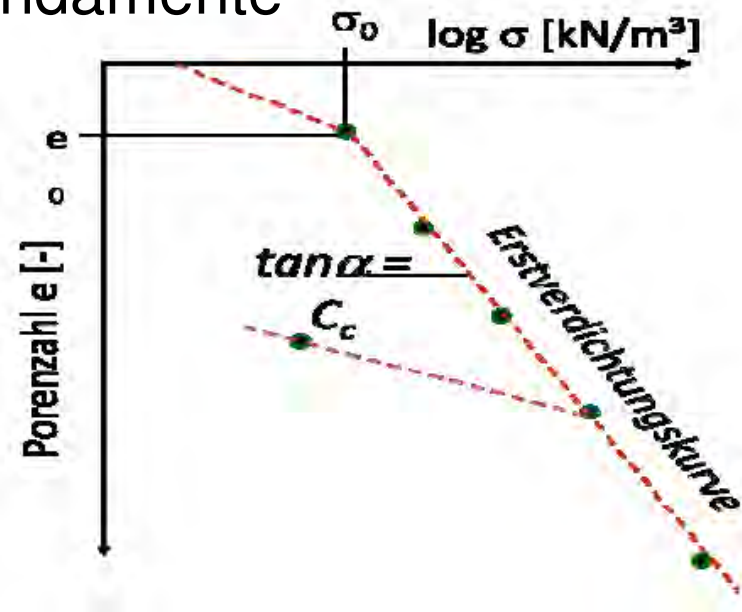


Setzungen infolge Zusatzlast und Spannungsänderungen

Ursachen von Zusatzlasten/Entlastungen

- Nutzungsänderungen im Bauwerk
- Erhöhte äußere Einwirkungen, Wind/Schnee
- Alterung der Tragstruktur
- Setzungen benachbarter Fundamente
- Nachbarbebauung
- Abgrabungen §909 BGB
- Grundwasserabsenkung,
Grundwasseranstieg

→ ... alles hat seine Wirkung



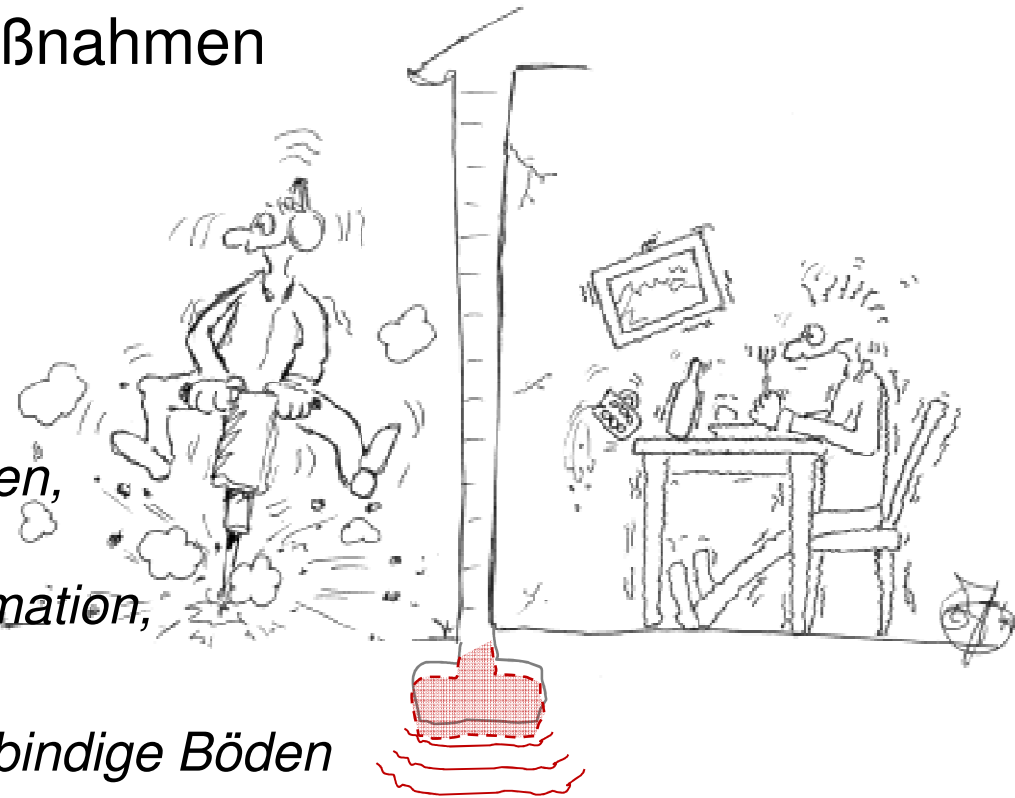
Setzungen infolge Erschütterungen

durch benachbarte Baumaßnahmen
durch Verkehr
durch Maschinen

Effekt

*Aufhebung effektiver Spannungen,
Trägheitskräfte
Akkumulation plastischer Deformation,
Verflüssigung*

problematisch vorwiegend nichtbindige Böden



DIN 4150-3:1999-02 : Erschütterungen im Bauwesen - Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen

http://www.bvfs.at/htm/u/Sch_ers.htm

Setzungen infolge Zusatzlast oder Erschütterungen

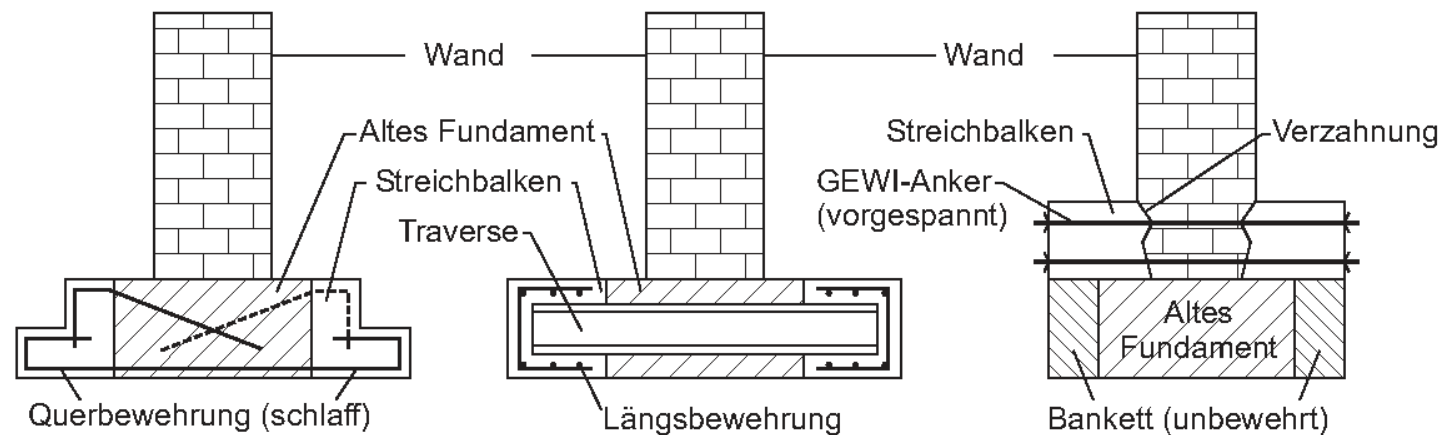
Indikation

Es besteht kein grundsätzliches Tragfähigkeitsproblem

Verbreiterung der Fundamente (vorher)

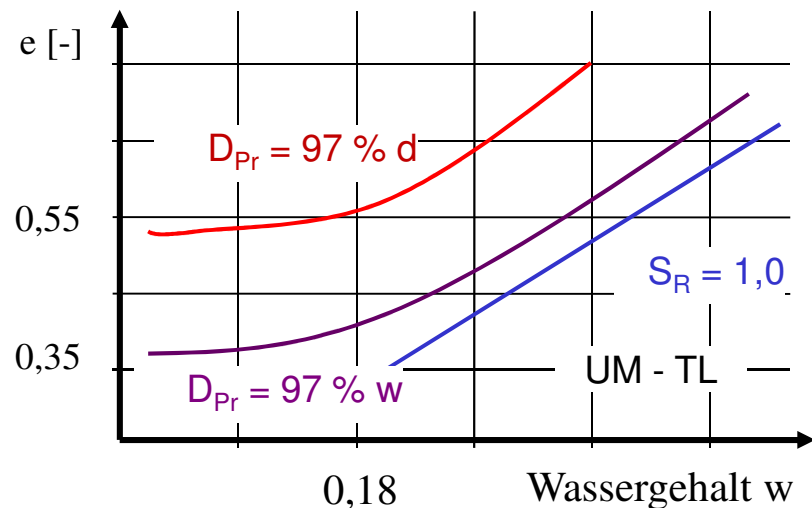
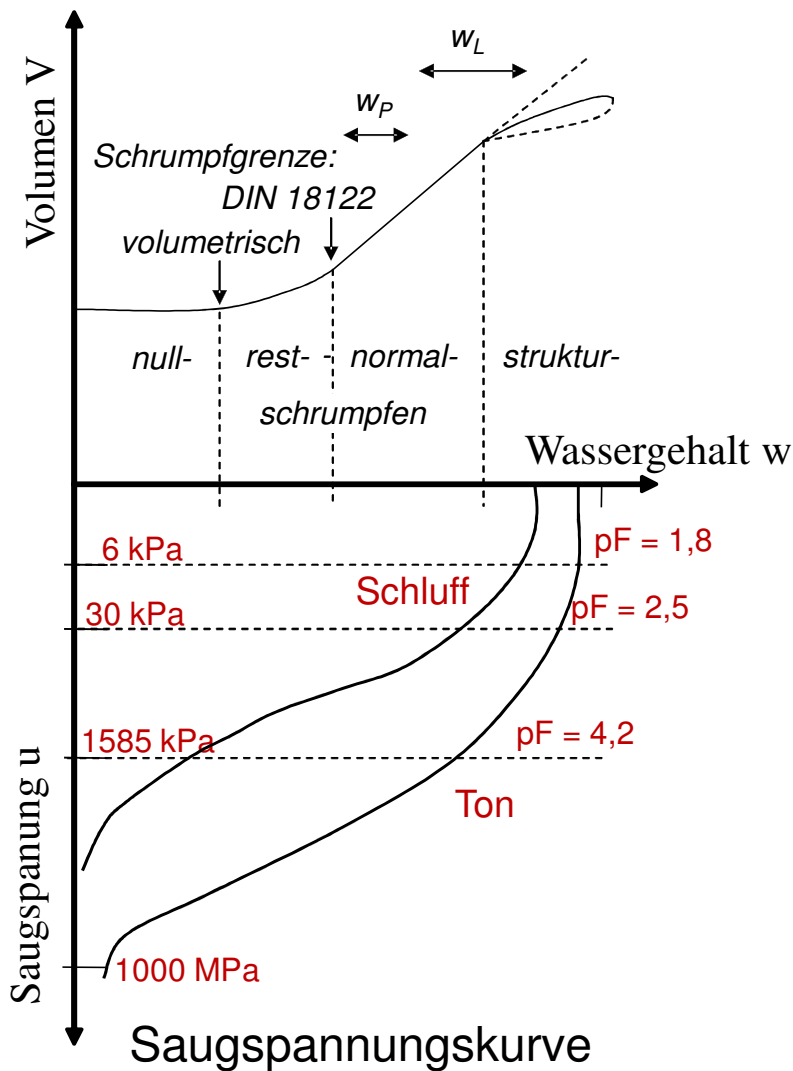
Akzeptieren der Setzungen nach Abklingen (nachher)

Hebungsinjektionen (nachher)

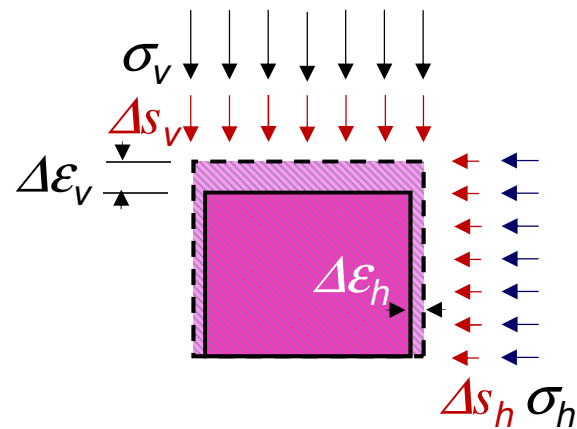


Schrumpfen und Quellen bindiger Böden

bodenmechanische Effekte

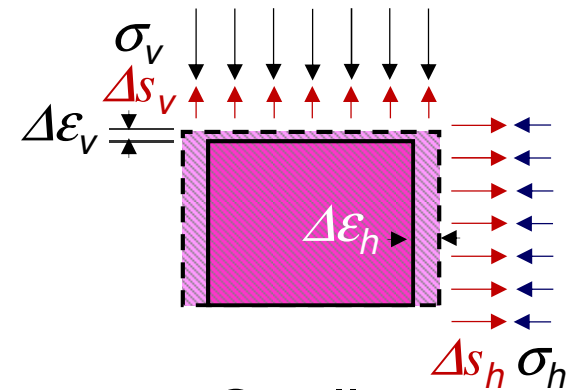


Schrumpfen und Quellen bindiger Böden *zyklische Effekte*



Schrumpfen

$$\varepsilon_v > \varepsilon_h$$



Quellen

$$\varepsilon_h > \varepsilon_v$$

Bodenphysikalische Ursache

Thermisch induzierte Feuchteschwankungen

Feuchteentzug durch Vegetation → S_R nimmt ab

Bewässerung durch Infiltration → S_R nimmt zu

Schrumpfen und Quellen bindiger Böden

sensible Böden

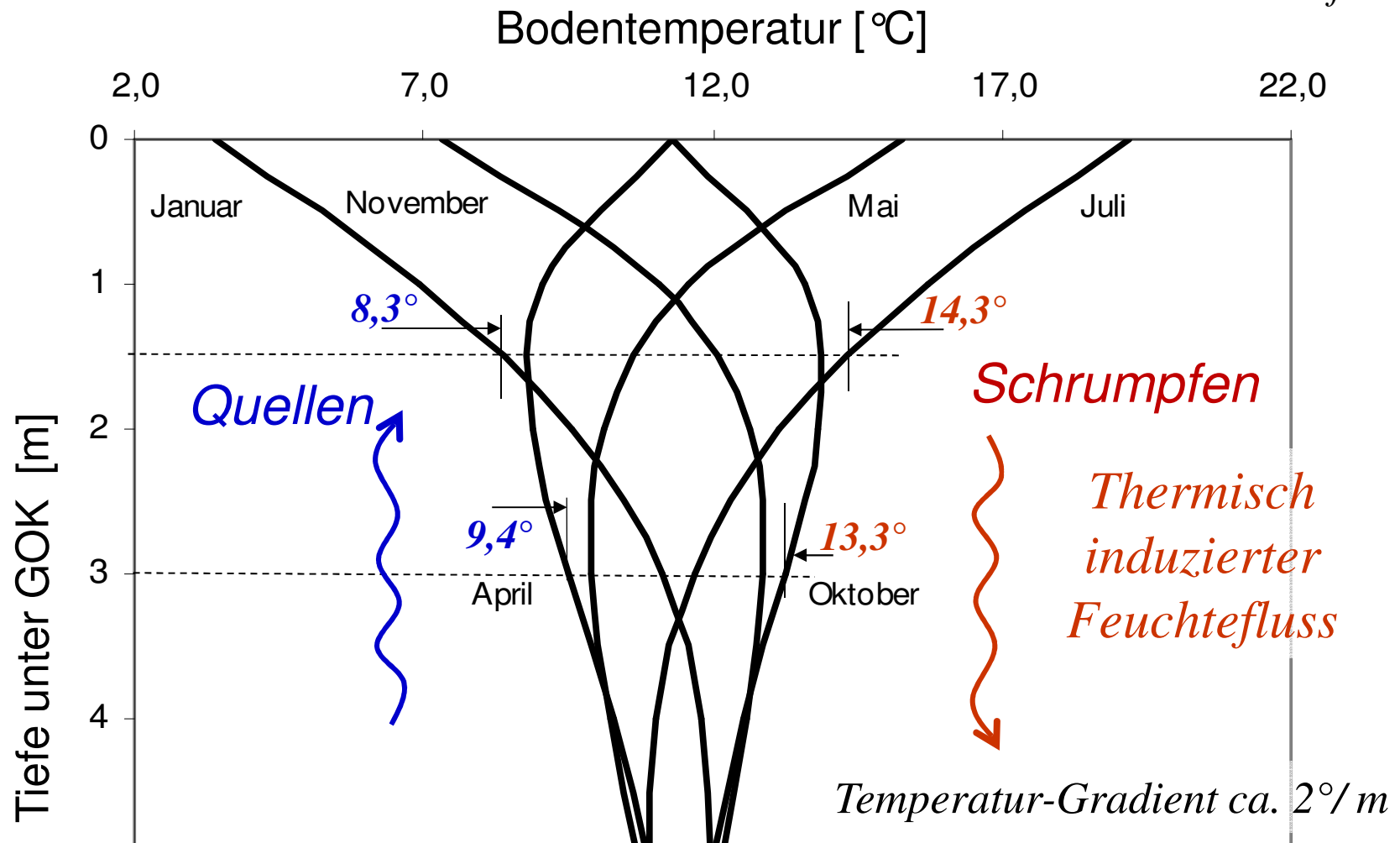
Tongehalt < 0,002 mm [%]	Plastizitätszahl $I_P = w_L - w_P$ [%]	Quell- Schrumpfpotential	Gruppe
> 60	> 35	Sehr hoch	TA, OT
> 50	> 25	hoch	TM, TA
< 30	< 30	mittel	TM, OU
< 20	< 12	gering	TL, UL, SU

Quellen sulphathaltiger natürlicher Böden und Recyclingbaustoffe

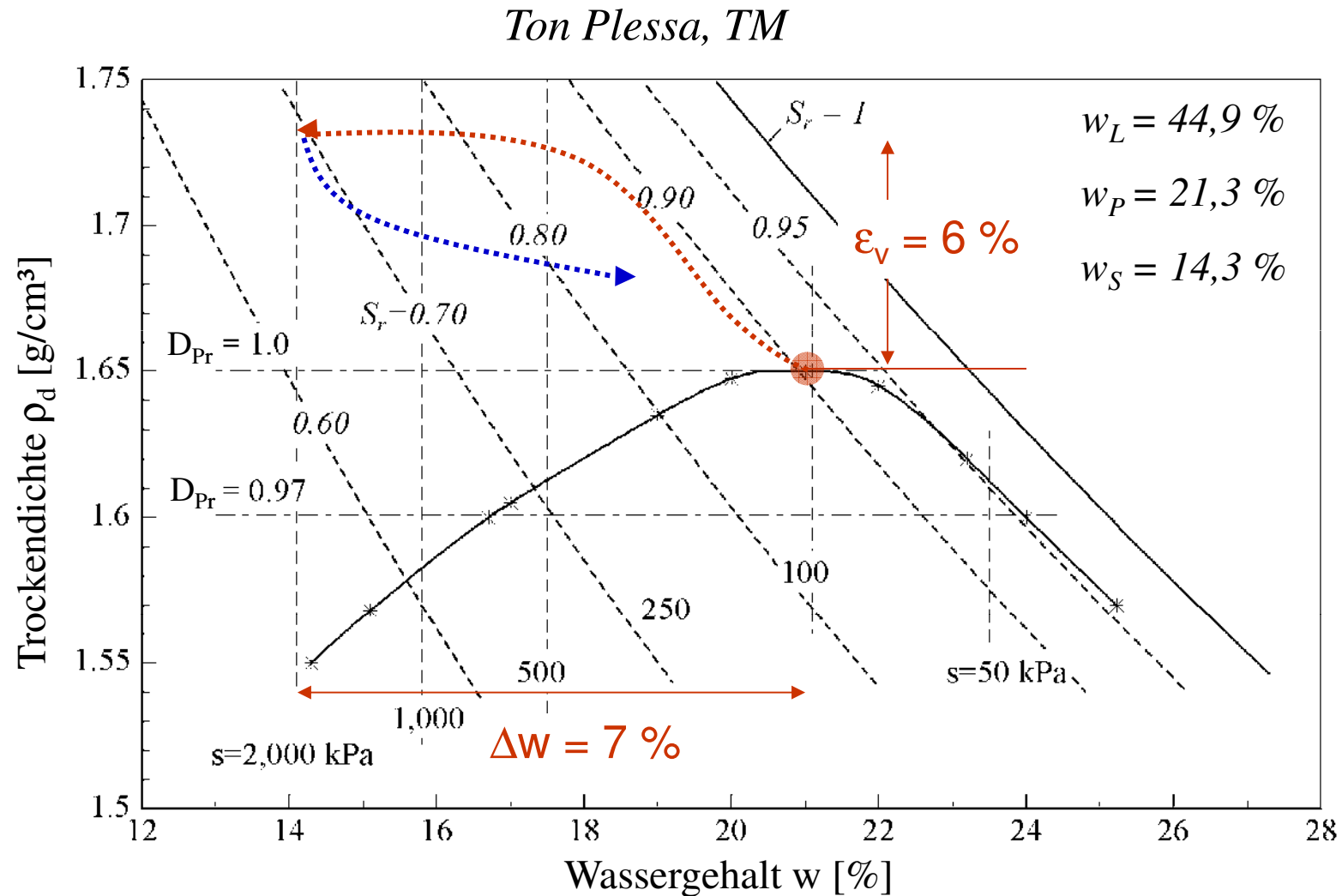
Temperaturverlauf im Boden

30-jähriges Mittel

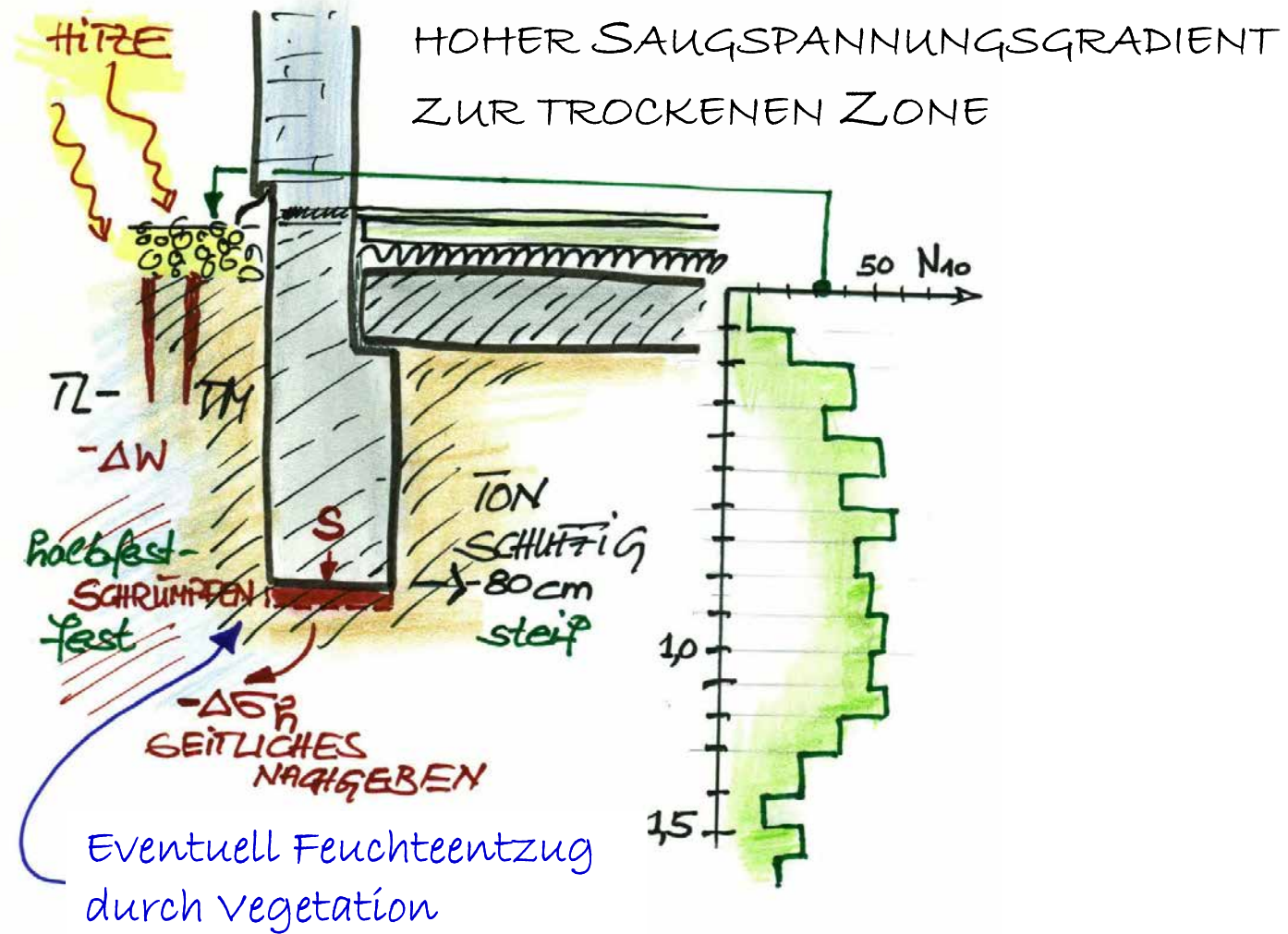
Wetterdaten DWD,
Düsseldorf



Trocknen bindiger Böden

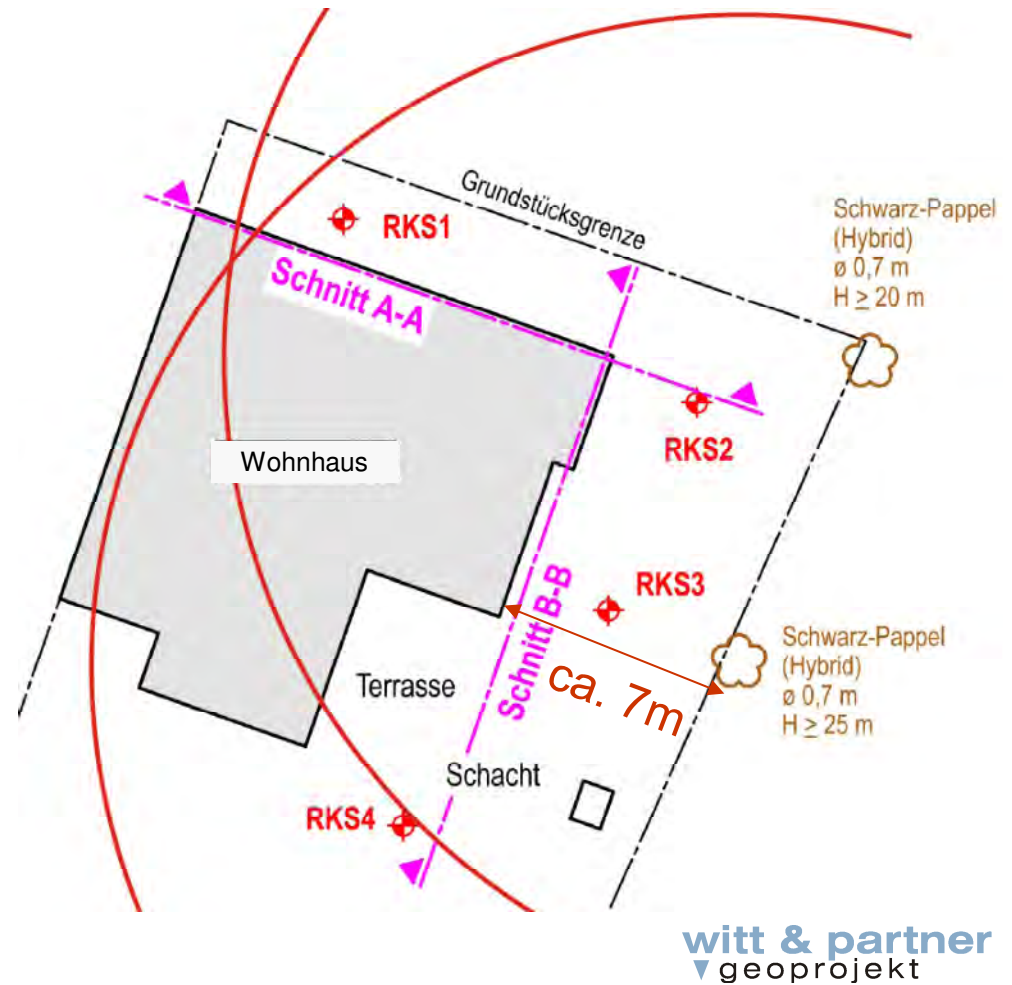


Thermisch und spannungsinduzierter Feuchtefluss Ursache



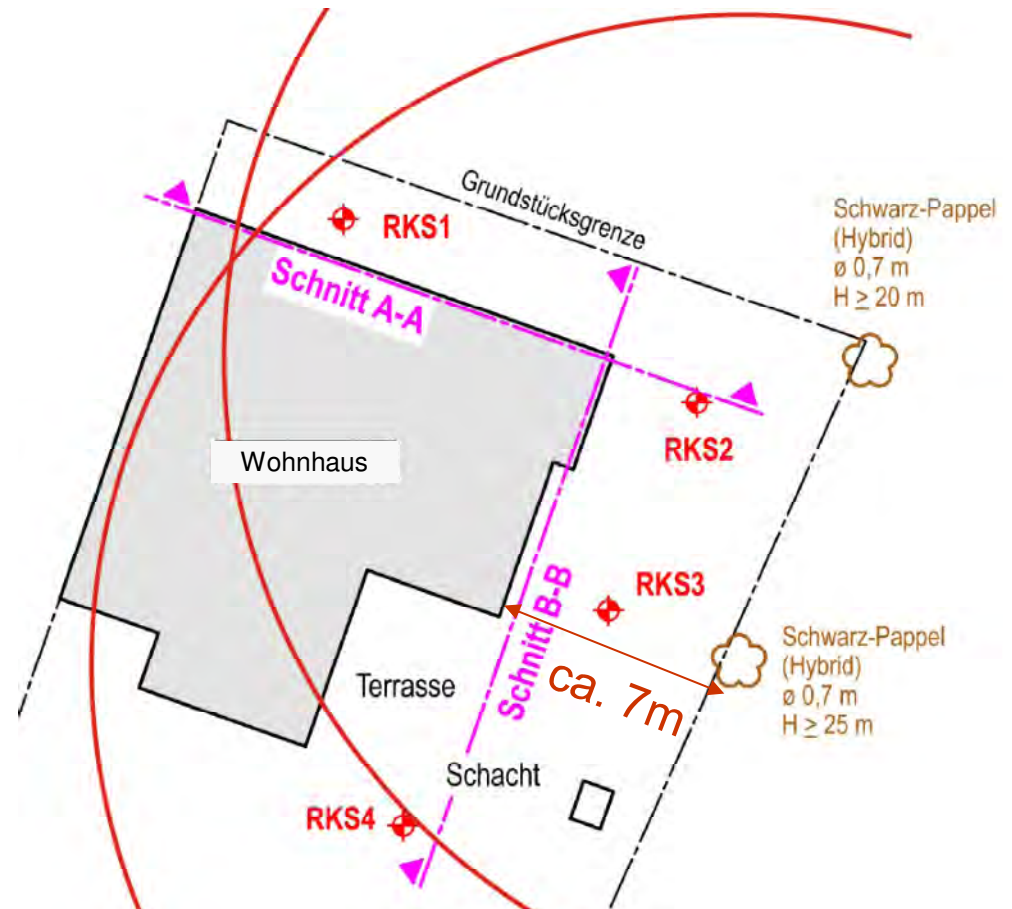
Feuchteentzug durch Vegetation

Beispiel

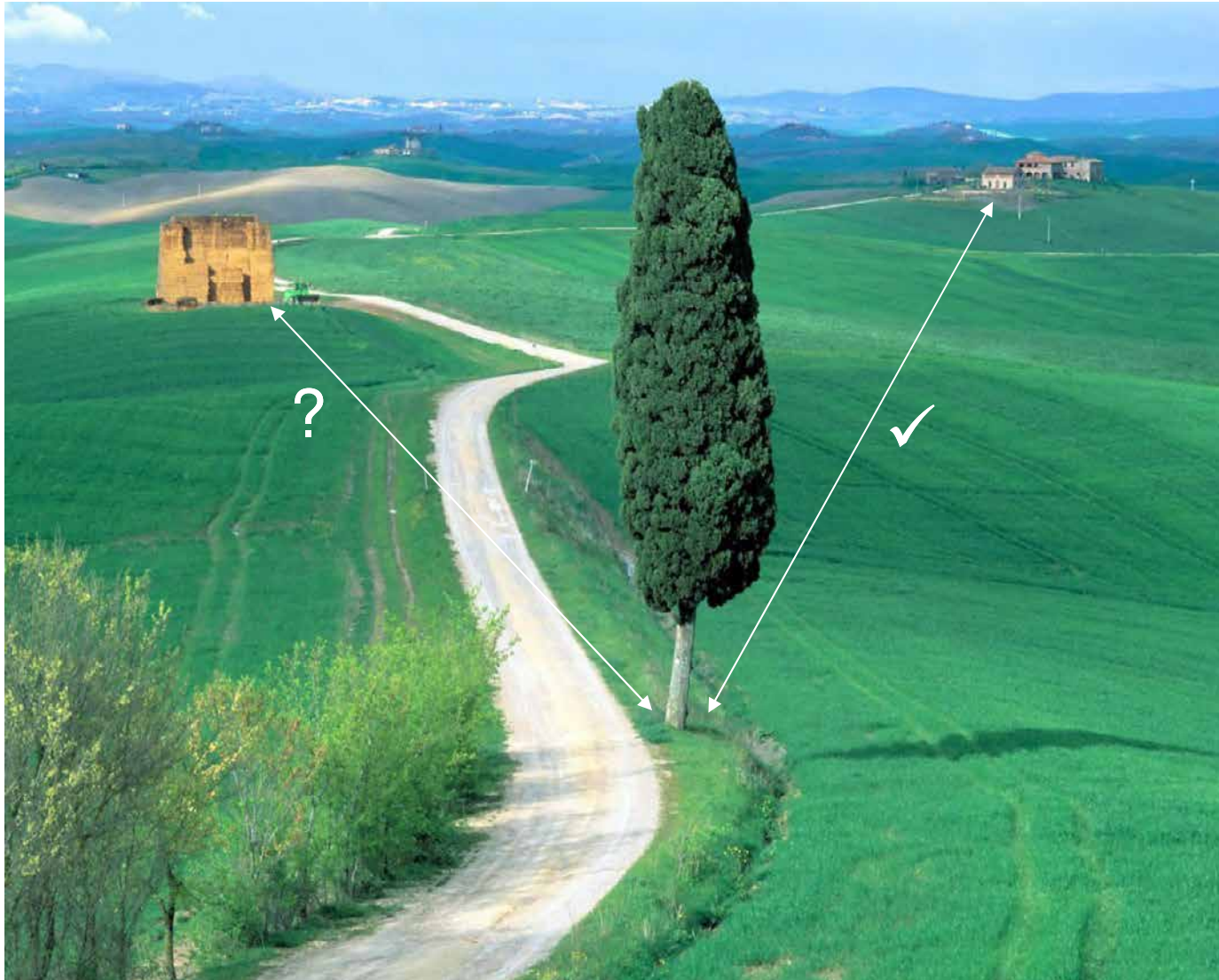


Feuchteentzug durch Vegetation

Beispiel



Feuchteentzug durch Vegetation *sicherer Abstand ?*



Feuchteentzug durch Vegetation



Sicherer Mindestabstand	[m]
Weide	30
Pappel	25
Roßkastanie	20
Esche, Linde, Ahorn	17
Buche	13
Obstbäume, Kirsche, Apfel, Weißdorn	10

Bullivant, R. A. u. Bradbury, H. W. 1996: Underpinning. Blackwell Science

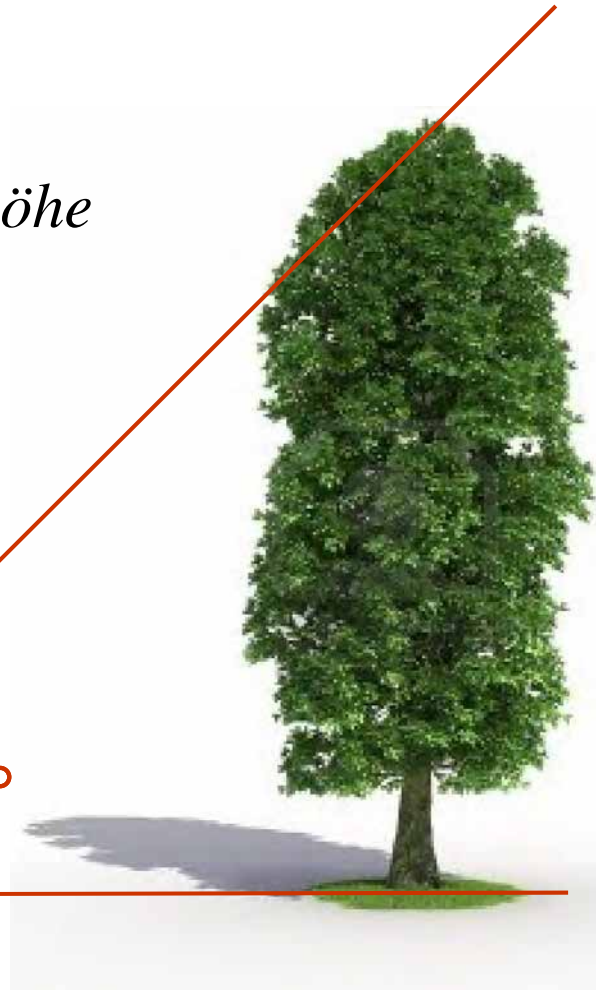
Feuchteentzug durch Vegetation *sicherer Abstand*

Faustregel

Mindestabstand = Baumhöhe



45°



Schrumpfen und Quellen

Indikation

Strategie

Vermeidung von unverträglichen Feuchteschwankungen
in der Lastzone der Gründung

Tiefergründung traditionell (DIN 4123)

Hebungsinjektion nach Schrumpfen

Bewässerung bei Schrumpfen

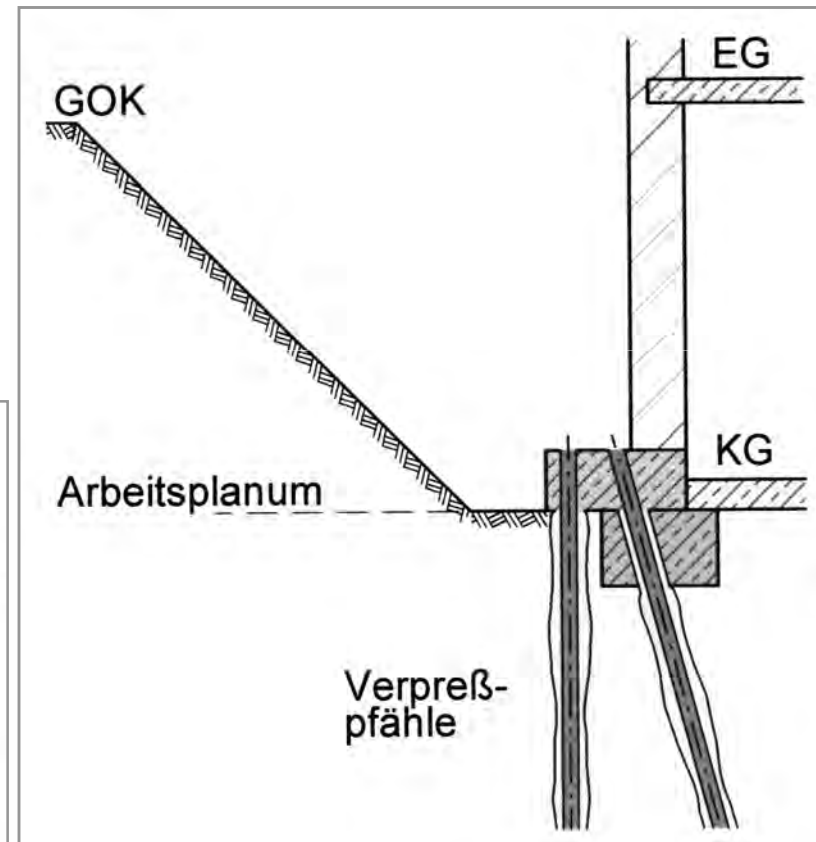
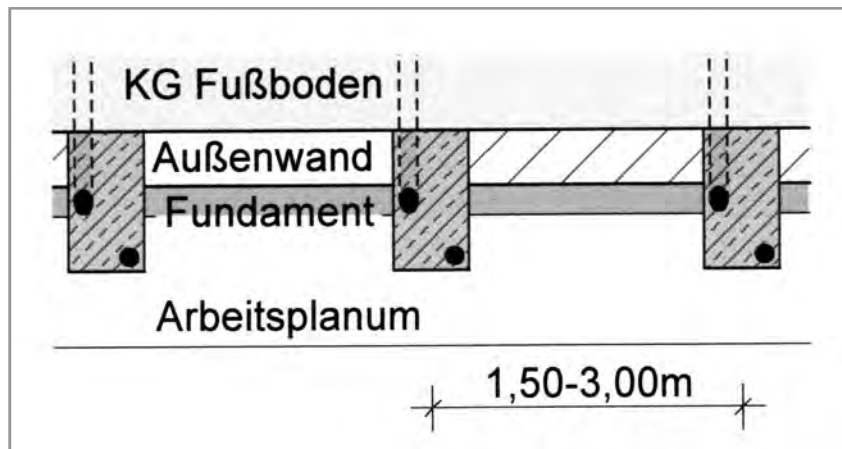
Nachgründung mit Pfählen (bei Quellen zugfeste Verbindung)

Wurzelsperre bei Vegetationseinfluss

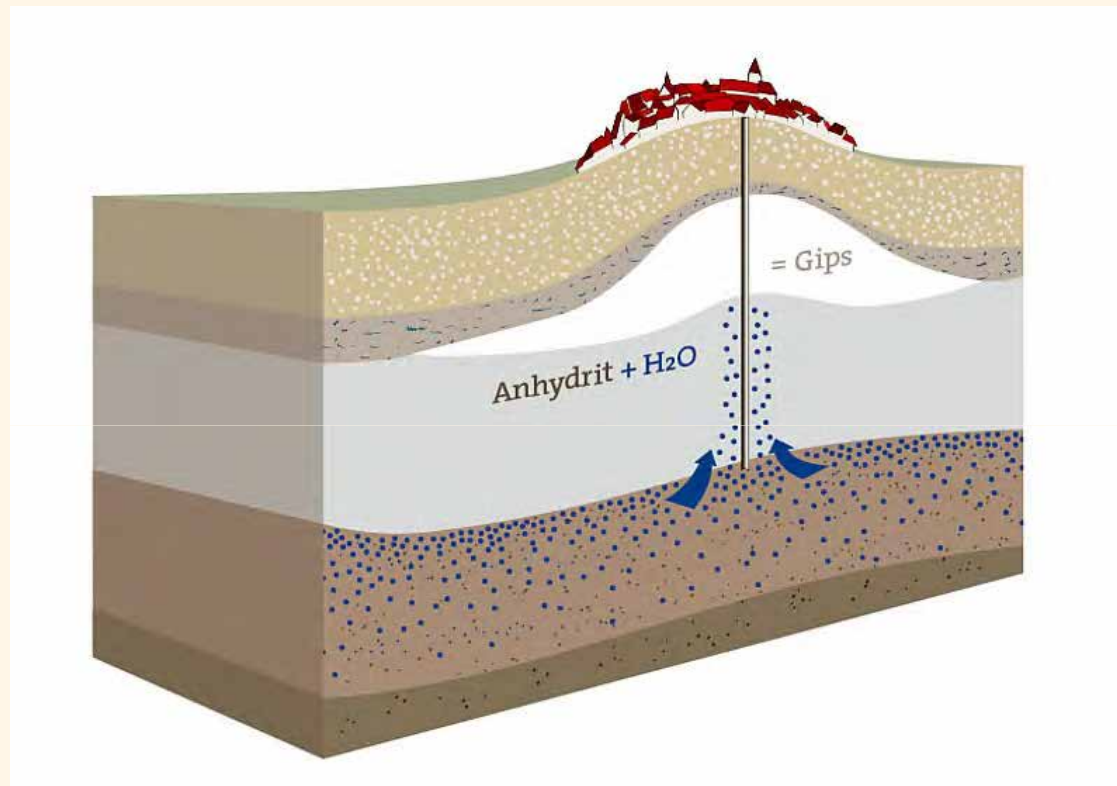
Entfernen oder Rückschnitt der Vegetation

Schrumpfen und Quellen Indikation

Kurzer Balken (Außen)

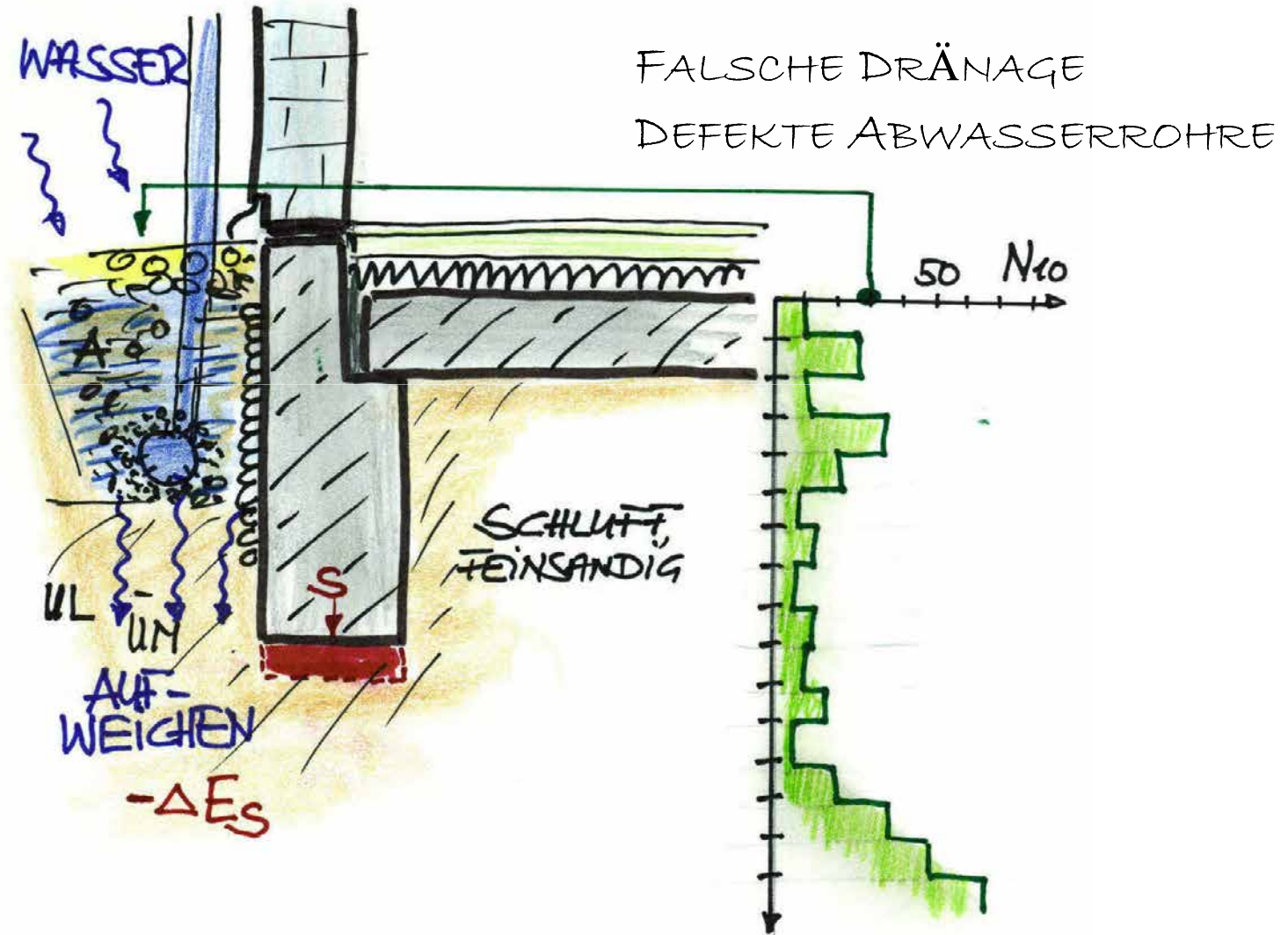


Quellen natürlicher Bodenschichten

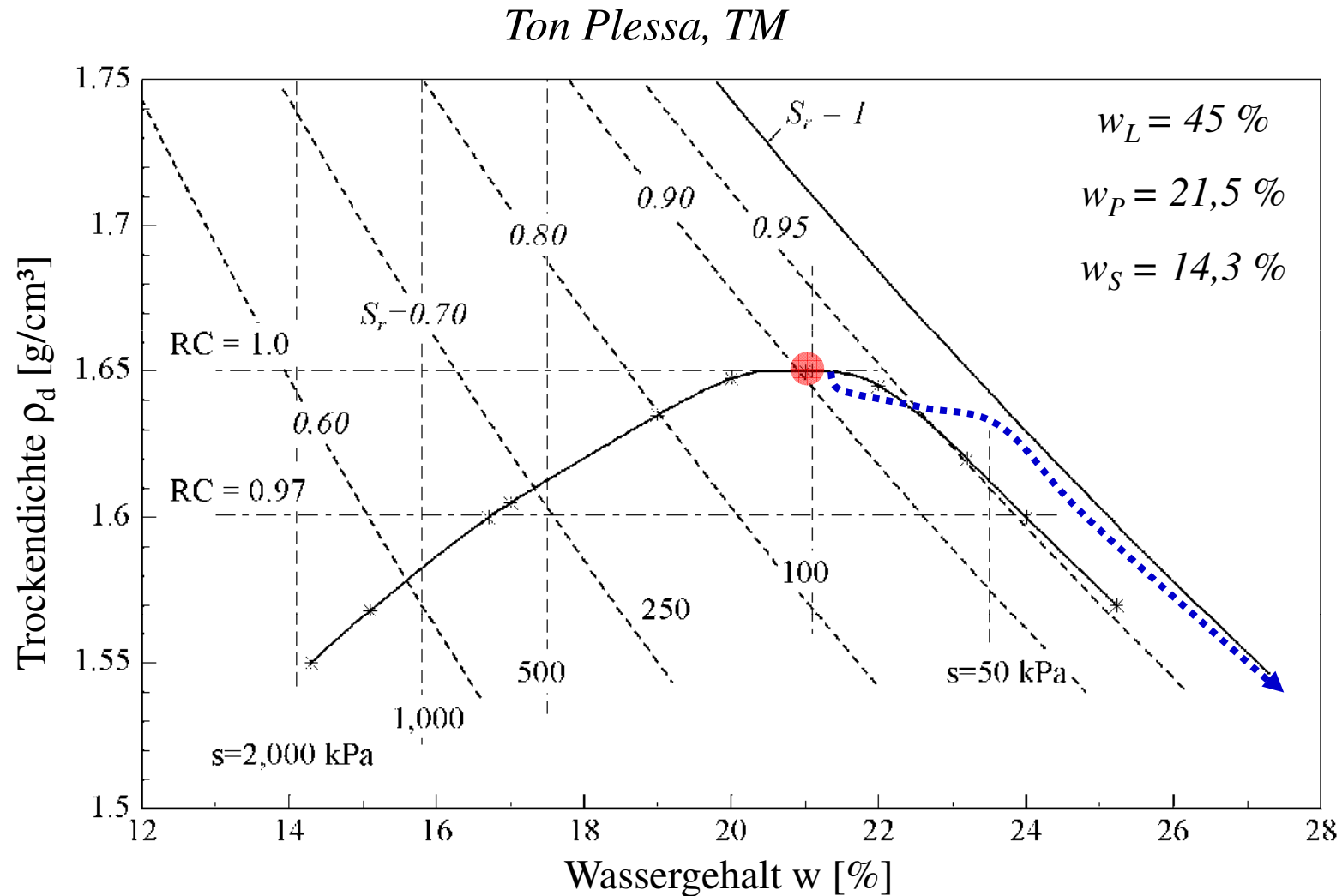


*(Erd-) wärmende GrüÙe aus
Staufen im Breisgau*

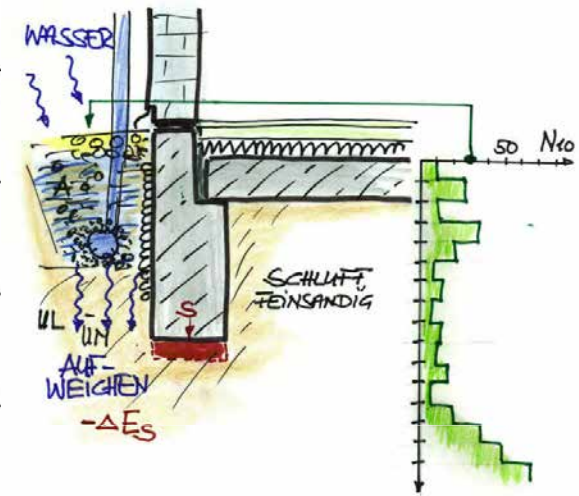
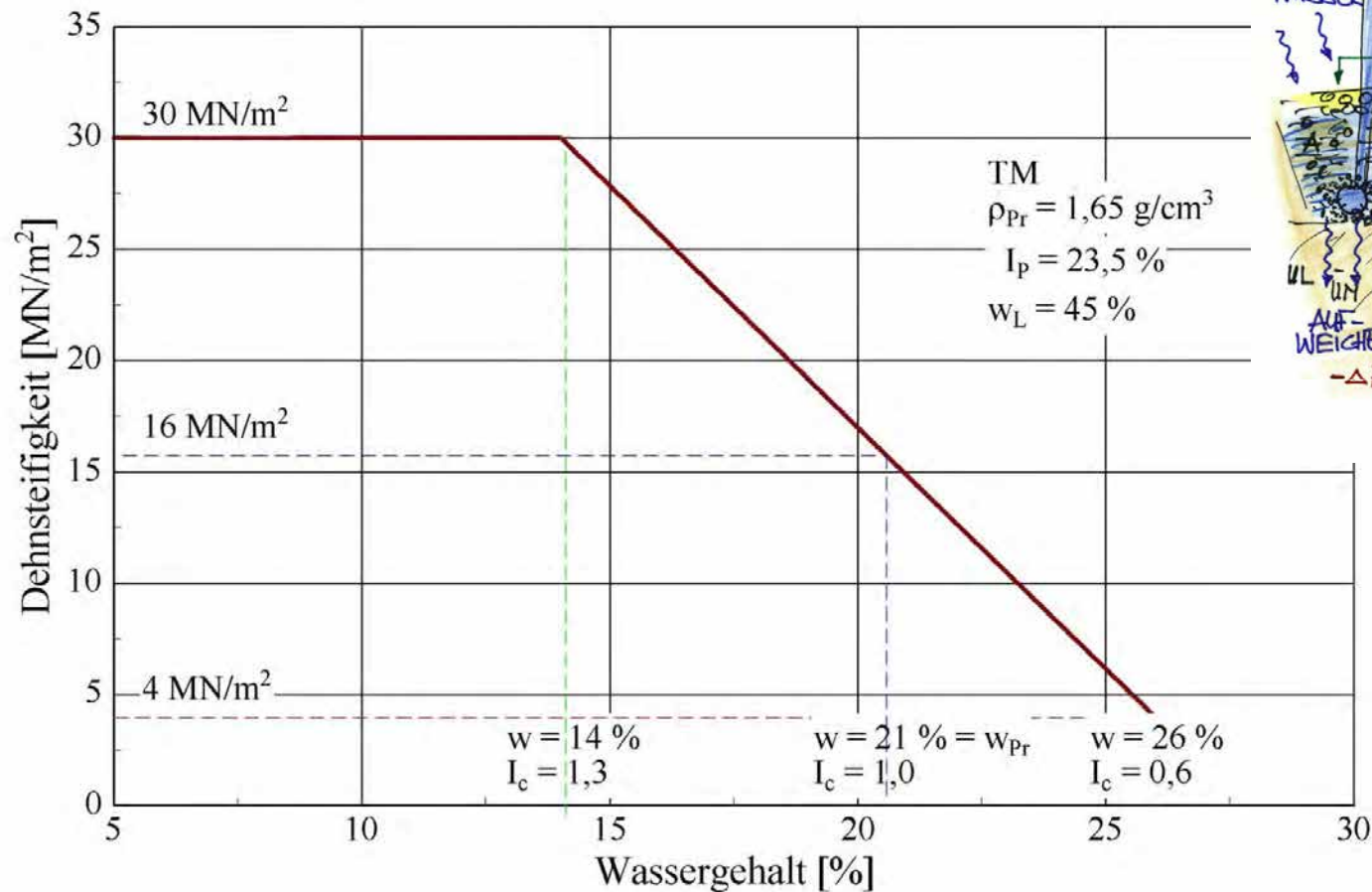
Vernässung schwach bindiger Böden Ursache



Vernässung schwach bindiger Böden



Vernässung schwach bindiger Böden



Besonders empfindlich sind leichtplastische und gemischtkörnige Böden mittlerer Wasserdurchlässigkeit

Vernässung schwach bindiger Böden

Indikation

Strategie

Tiefergründung in tragfähigen Baugrund

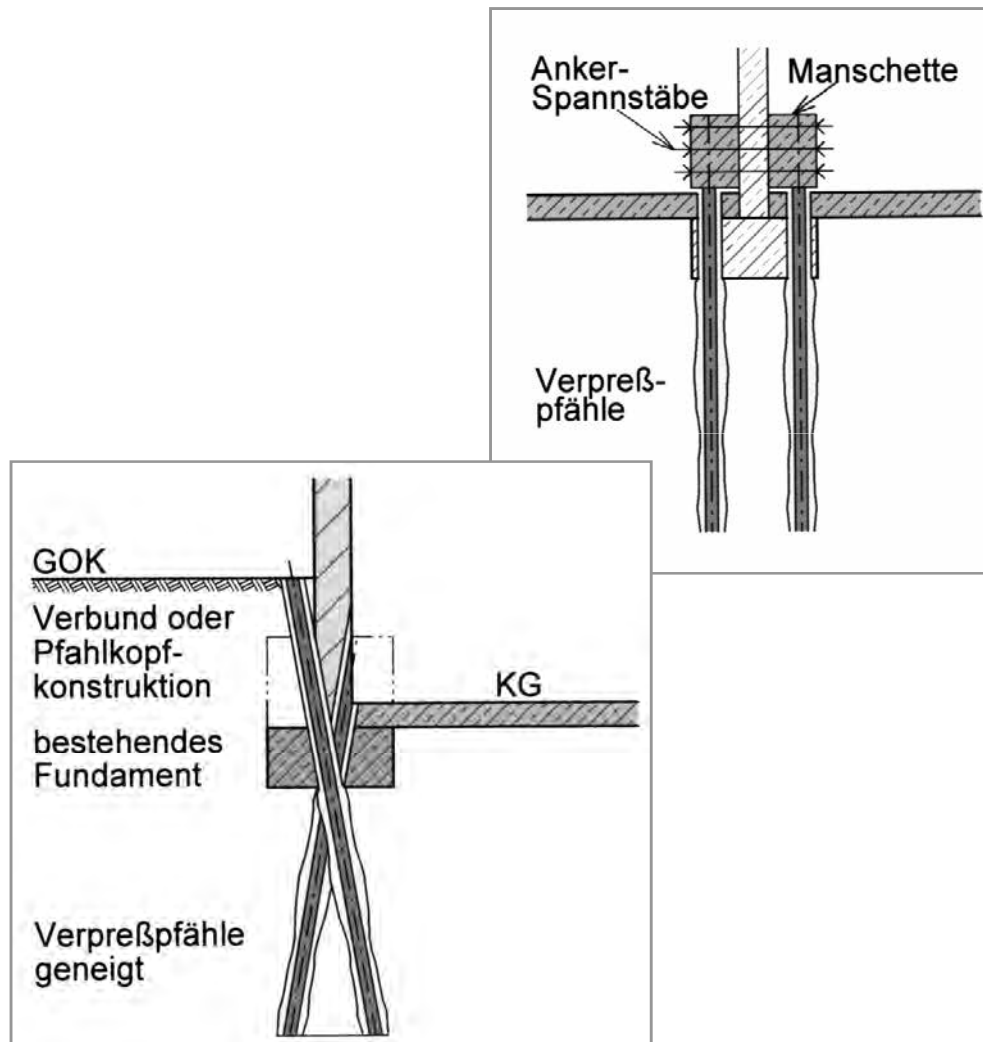


Vernässung schwach bindiger Böden



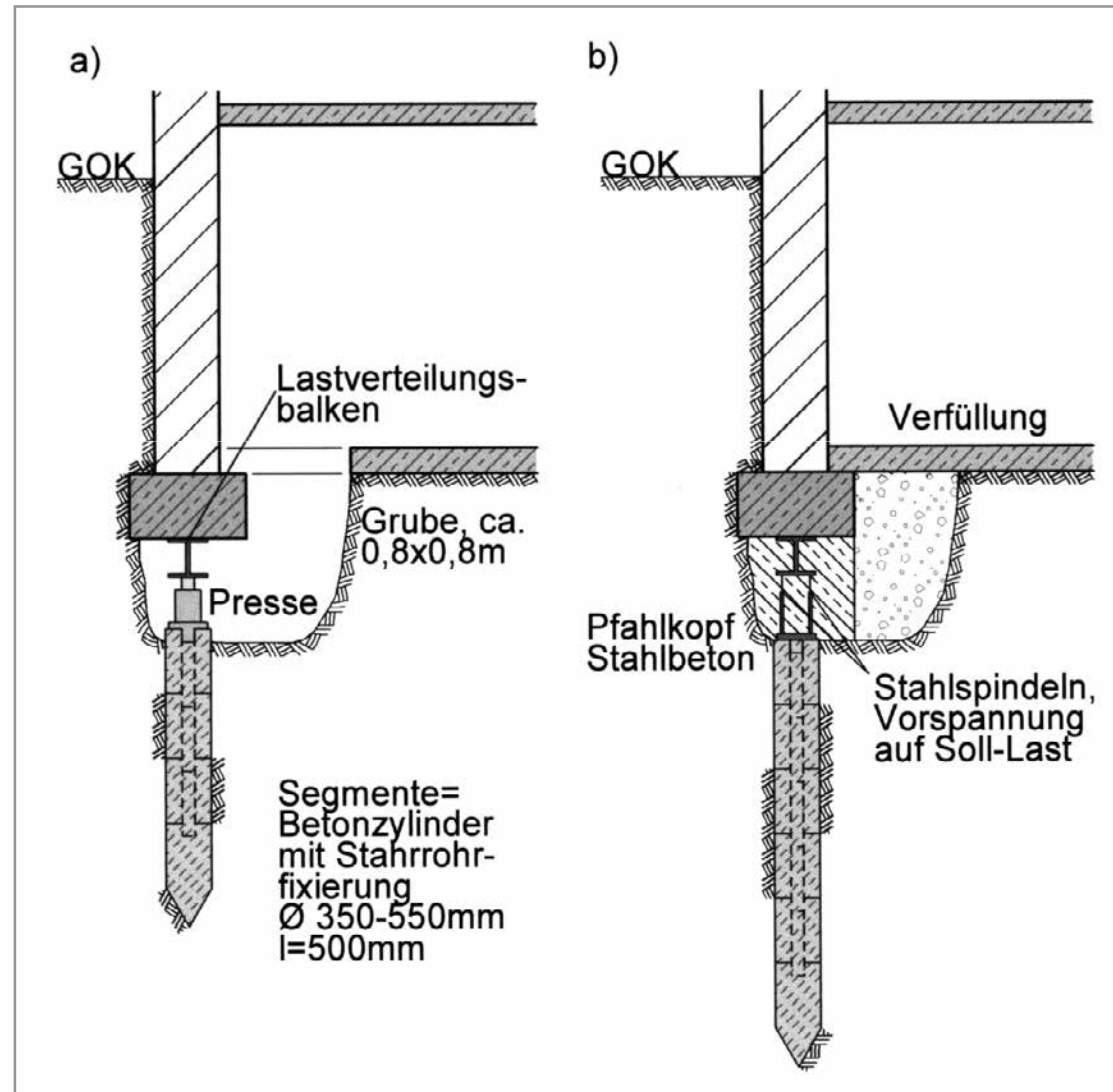
Vernässung schwach bindiger Böden

Indikation



Vernässung schwach bindiger Böden *Indikation*

*Segmentpfähle,
z. B. System Erka*



Vernässung schwach bindiger Böden

Segmentpfähle, System Erka



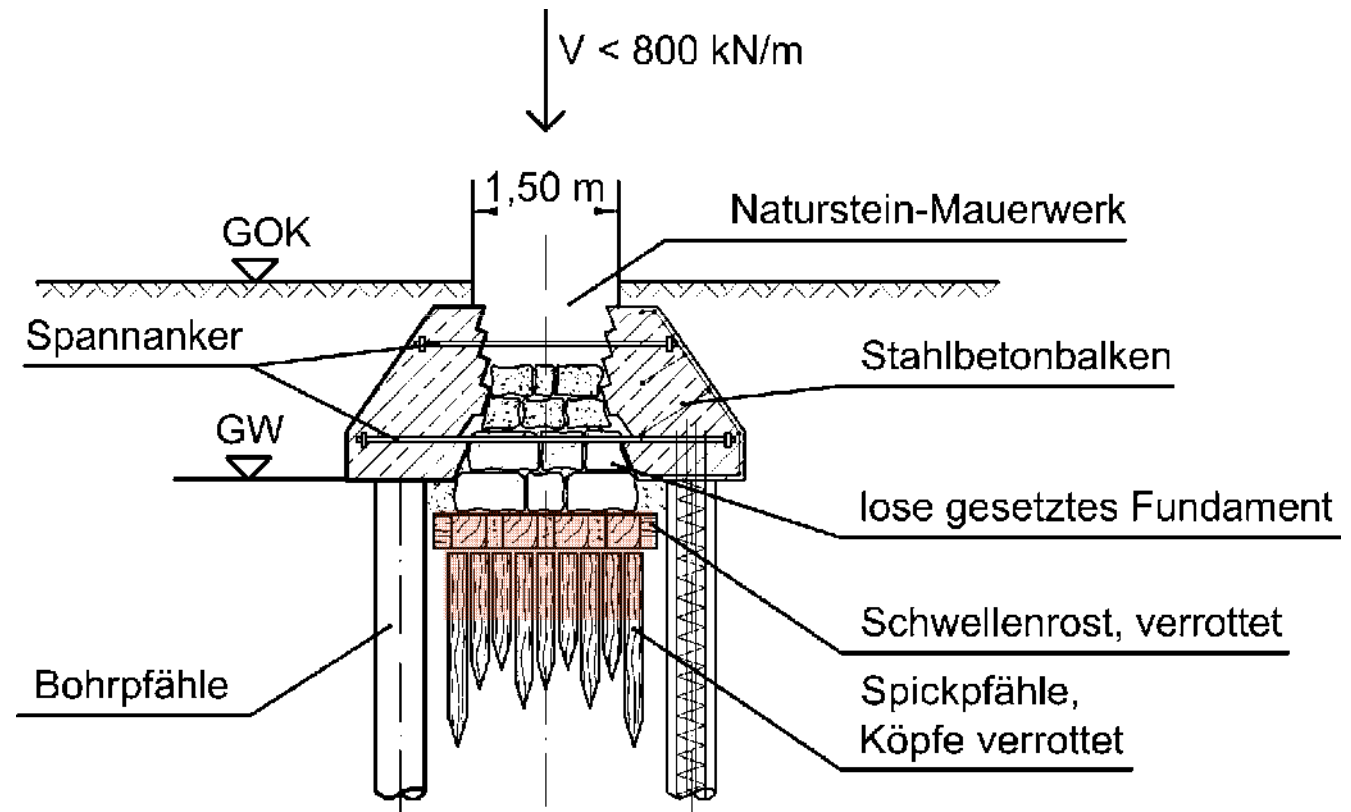
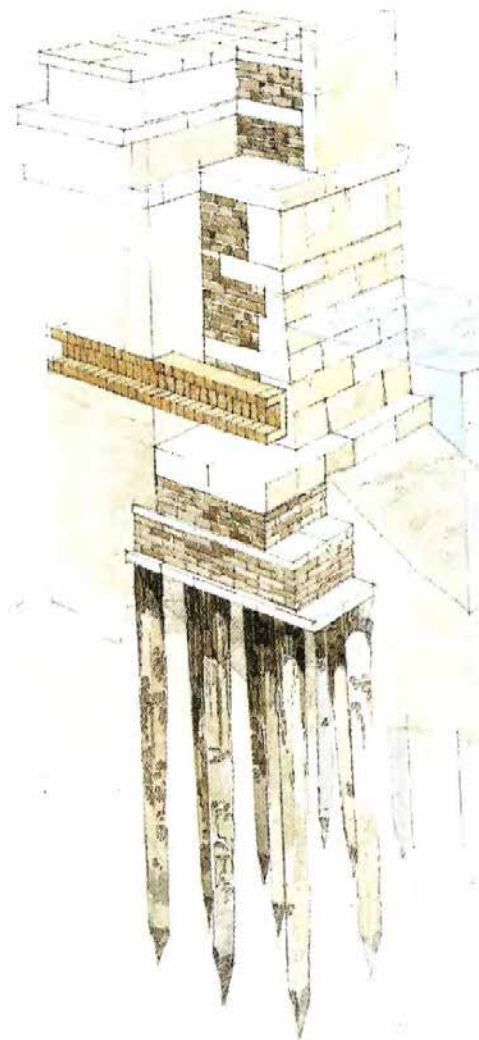
Zersetzung organischer Böden



Zersetzung von Torf und organischen Böden bei Grundwasserabsenkung



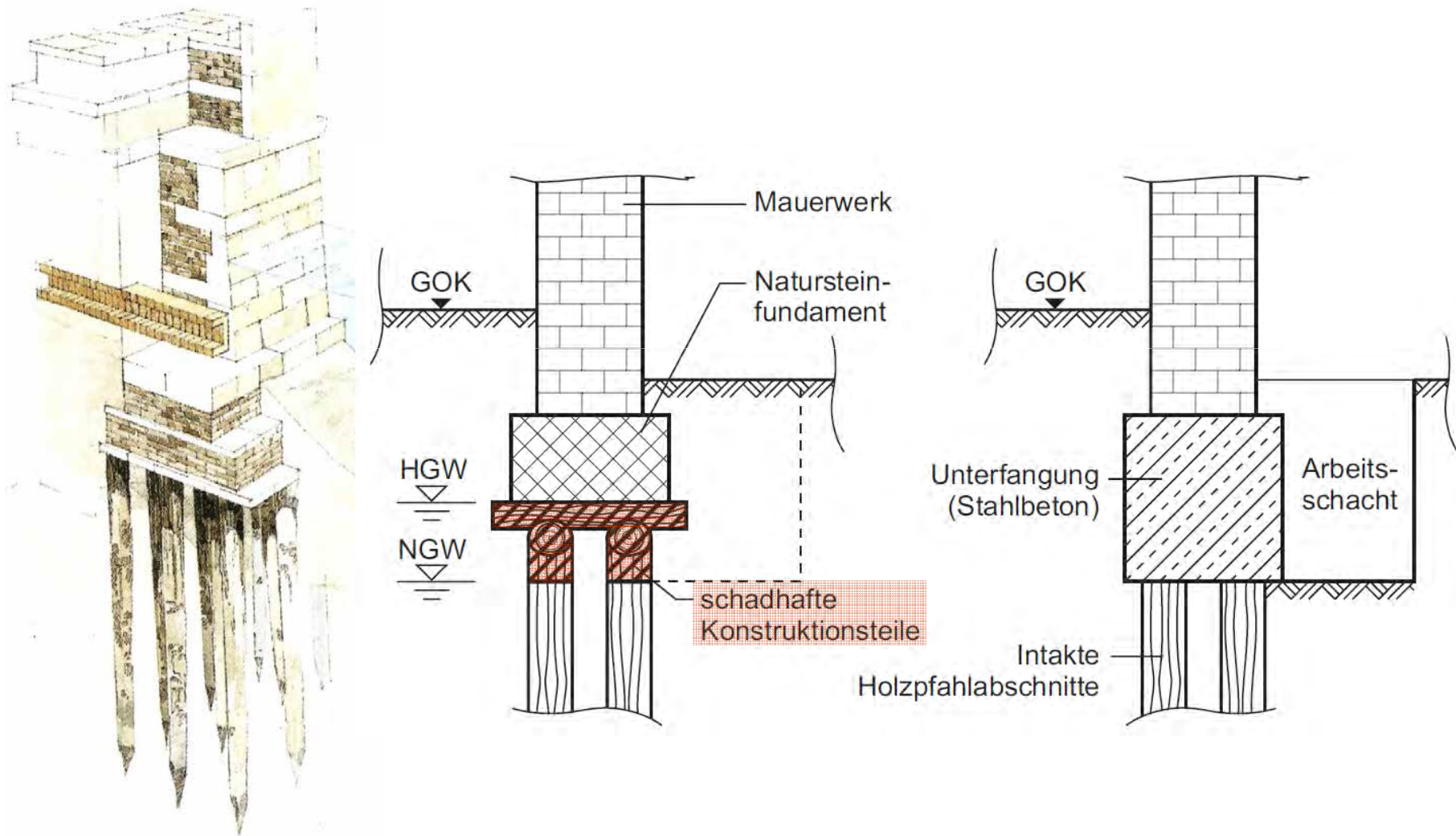
Schäden an Holzpfahlgründungen bei Grundwasserschwankungen



da Mosto, J., Fletcher, C.: *The Science of Saving Venice*

Witt, K. J. 2009 *Unterfangung und Verstärkung von Gründungen. Grundbau-Taschenbuch, Teil 2, Ernst&Sohn, S. 199ff*

Schäden an Holzpfahlgründungen bei Grundwasserschwankungen



da Mosto, J., Fletcher, C.: *The Science of Saving Venice*,

Witt, K. J. 2009 *Unterfangung und Verstärkung von Gründungen. Grundbau-Taschenbuch, Teil 2, Ernst&Sohn, S. 199ff*

Weitere Ursachen

Frost

Hangkriechen

Erdfälle

Bergbau

Untergrunderosion



Schmalkalden 2011



Eisenach/Tiefenort, 2010

Subrosion, Auslaugung

... der schiefste Kirchturm steht in Bad Frankenhausen



<http://www.kyffhaeuser-nachrichten.de>

Zusammenfassung

Es gibt charakteristische last- und verformungsbedingte Ursachen von Setzungsschäden an Gebäuden,

....wie z. B. Laständerungen, Alterung der Tragstruktur, Erschütterungen, Frost, Vernässung, Austrocknung, Zersetzung und Erosion des Baugrundes, Erosion, Auslaugung, großräumige Bodenbewegungen.....

Aber es gibt keine Standardlösungen für die Beseitigung von Setzungsschäden an Gebäuden

Zusammenfassung

Die Bewertung, Behandlung und Beseitigung von Setzungsschäden an Gebäuden hat drei technische Ebenen

I Analyse des Schadens

II Identifikation der Ursache

III Planung einer angemessenen, nachhaltigen Lösung

... Grundsätzlich ist das Gebäude in seiner Gesamtheit, in seiner Interaktion der Tragstruktur mit dem Baugrund zu betrachten. Denn die Ursache von Setzungsschäden ist nie allein der Baugrund, sondern immer die wechselseitige Beeinflussung von Gründung und Bauwerk

Ursachen und Indikation von Setzungsschäden an Gebäuden



Foto: <http://www.fauststadt-staufen.de>

Bestimmung organischer Böden

Universität Siegen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard A. HERRMANN

Gliederung des Vortrages

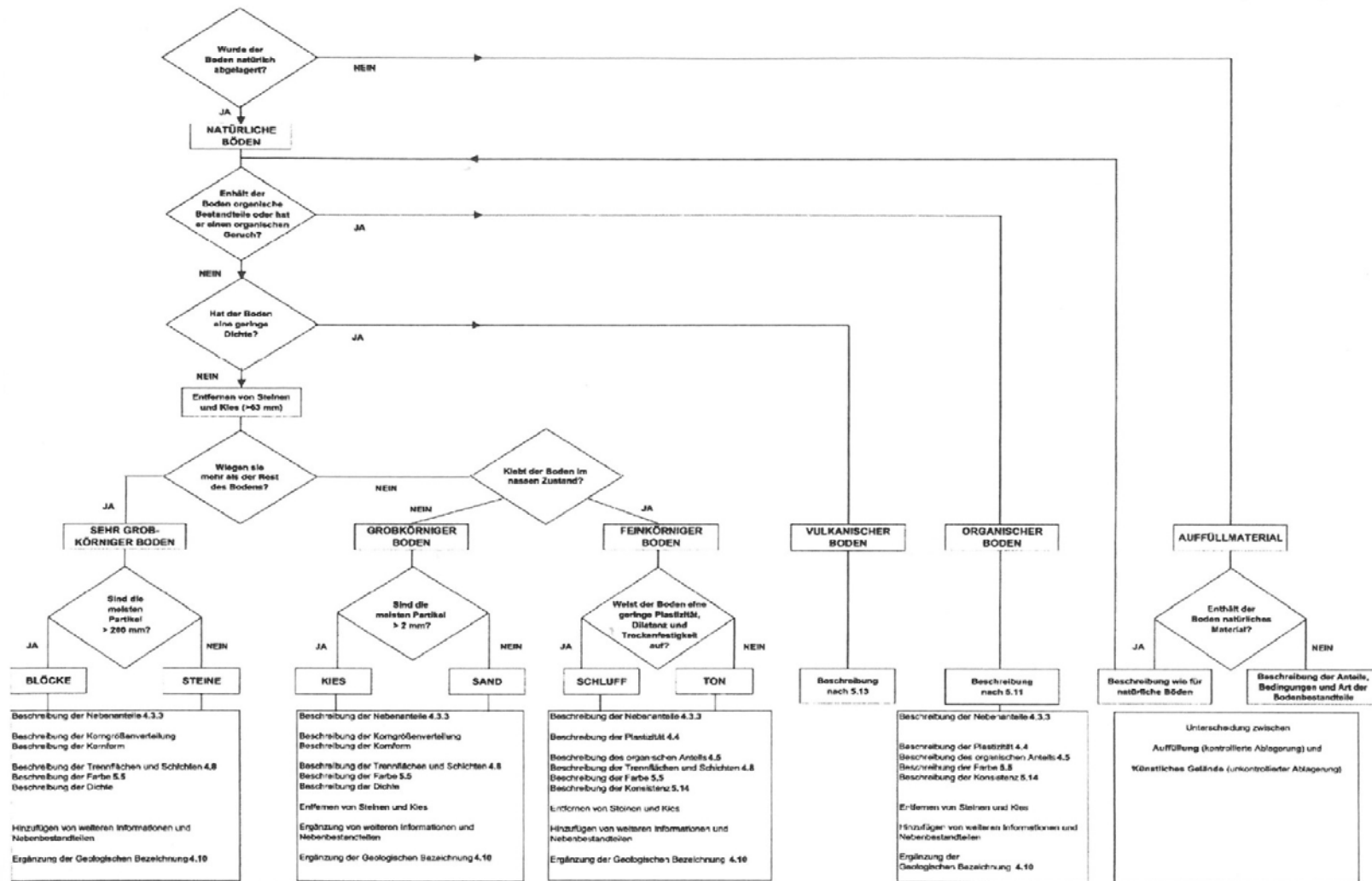
- Begrifflichkeiten
- Klassifizierung von organischen Böden
- Bestimmung von organischen Bestandteilen - Verfahren
- Zusammenhang von Glühverlust und organischen Anteilen
- Zusammenhang von organischen Anteilen und Setzungen
- Flussdiagramm zur Bodenansprache
- Fazit
- Quellen

Begrifflichkeiten

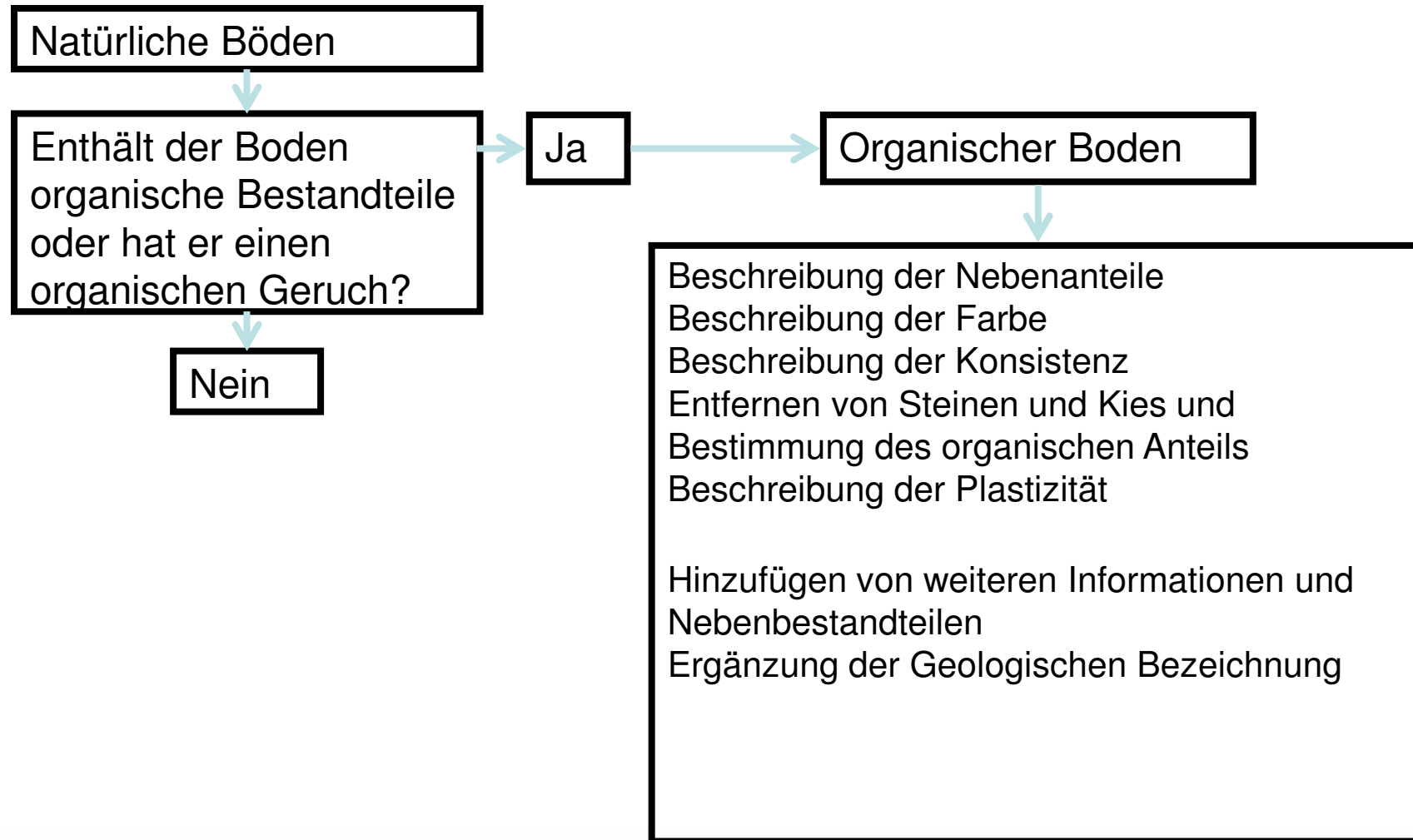
Humusgehalt bzw. organische Substanz (bodenkundliche Definitionen)

- Zur organischen Substanz der Böden gehören alle in und auf dem Mineralboden befindlichen, abgestorbenen, pflanzlichen und tierischen Substanzen sowie deren organische Umwandlungsprodukte, die einem stetigen Abbau-, Umbau- und Aufbauprozess unterliegen und als Humus bezeichnet werden (Scheffer und Schachtschabel 1998).
- Nach France-Harrar (1967) wird nur der zersetzte organische Anteil im Boden als Humus bezeichnet

Klassifizierung von organischen Böden nach DIN EN ISO 14688-1



Klassifizierung von organischen Böden nach DIN EN ISO 14688-1



Klassifizierung von organischen Böden

- Die Autoren Pietsch und Schneider bestätigen 1982 basierend auf Arbeiten von 1955 und eigenen Versuchen den bautechnisch relevanten Bereich für bindige Böden ab einem Wert von $> 5 \%$ organischer Bestandteile.
- Für nichtbindige Böden nennen sie hier einen Wert von $> 3 \%$.
- Die Ergebnisse von 1955 waren bereits in die DIN 1054:1976 eingeflossen
- Vergleichsweise sind Böden nach der ungarischen Norm (Kezdi – einer der Gründungsväter d. wissenschaftlichen Bodenmechanik) als organisch zu beschreiben, wenn der Glühverlust $> 10 \%$ beträgt.

Klassifizierung von organischen Böden

- Sicherheit in der Geotechnik: In der DIN 1054 2010-12 „Baugrund-Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – ergänzende Regelungen zur DIN EN 1997-1“ findet man folgenden Hinweis:

„Nichtbindige Böden bzw. bindige Böden werden als Böden mit organischen Beimengungen bezeichnet, wenn der Massenanteil organischer Beimengungen (Glühverlust) **bei nichtbindigen Böden mehr als 3 % und bei bindigen Böden mehr als 5 %** beträgt.

Dementsprechend sind die Böden der Bodengruppe OU, OT und OH nach DIN 18196 2006-06 Tabelle 4 zuzuordnen.“

Klassifizierung von organischen Böden

Sp	Definition und Benennung						7	8			Anmerkungen ^a											Sp								
	Zelle		Korngruppen	Korn-großen-Massen-anteil	Korn-durch-messer	Lage zur A-Linie (siehe Bild 1)		Gruppen	Kurzzichan Gruppen-sym-bol	Erkennungsmerkmale (u. a. für Zeilen 15 bis 22)			Beispiele	Bautechnische Eigenschaften					Bautechnische Eignung als											
	Hauptgruppen									Trocken-festigkeit	Reaktion beim Schüttel-versuch	Plastizität beim Knet-versuch		Sicherfestigkeit	Verdichtungslängigkeit	Zusammenrückbarkeit	Durchlässigkeit	Erosionsempfindlichkeit	Frostempfindlichkeit	Baugrund für Fundamente	Baustoff für									
18	feinkörnige Böden	über 40 %	-	-	J _n > 7 % und oberhalb der A-Linie	Ton	leicht plastische Tone	w _L < 35 %	TL	mittlere bis hohe	keine bis langsame	leichte	Geschiebemergel Banderton	-0	-0	0	+	-	-	0	-	-0	++	-	-	18				
19							mittelpastische Tone	35 % ≤ w _L ≤ 50 %	TM	hohe	keine	mittlere	Loesslehm, Secton, Beckenton Keuper-ton	-	-	-0	++	-0	-0	0	-	-0	+	+	+	+	+	+	19	
20							ausgeprägt plastische Tone	w _L > 50 %	TA	sehr hohe	keine	ausgeprägt	Terras, Lauenburger Ton, Beckenton	-	-	-	++	0	+0	-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20
21	organogene ^e und Böden mit organischen Beimengungen	über 40 %	-	-	J _n ≥ 7 % und unterhalb der A-Linie	nicht brenn- oder nicht schwerbar	Schluffe mit organischen Beimengungen und organogene ^e Schluffe	35 % ≤ w _L ≤ 50 %	OU	mittlere	langsame bis sehr schnelle	mittlere	Seekreide Kieselgur Mutterboden	-0	-	-0	+0	-	-	-	-	-	-	-	-	21				
22							Tone mit organischen Beimengungen und organogene ^e Tone	w _L > 50 %	OT	hohe	keine	ausgeprägt	Schlick, Klei terhärtete Kohlotone	-	-	-	++	-0	-0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22
23							bis 40 %	-	-	-	grob- bis gemischtkörnige Böden mit Beimengungen humoser Art		OH	Beimengungen pflanzlicher Art, meist dunkle Färbung, Modergeruch, Glühverlust bis etwa 20 % Massenanteil			Mutterböden Paläoböden	0	0	0	0	+0	-0	-	0	-	-	-	-	23
24							-	-	-	-	grob- bis gemischtkörnige Böden mit kalkigen, kieselfigen Bildungen		OK	Beimengungen nicht pflanzlicher Art, meist helle Färbung, leichtes Gewicht, große Porosität			Kalk- Luftsand Wiesenkalk	+	0	0	0	0	+0	-0	0	-0	-	-	-	-

Spalte 10		Spalte 11		Spalten 12 bis 15			Spalten 16 bis 21		
-	sehr gering	--	sehr schlecht	-	sehr groß	-	ungeeignet		
-	gering	-	schlecht	-	groß	-	weniger geeignet		
-0	mäßig	-0	mäßig	-0	groß bis mittel	-0	mäßig brauchbar		
0	mittel	0	mittel	0	mittel	0	brauchbar		
+0	groß bis mittel	+0	gut bis mittel	+0	gering bis mittel	+0	geeignet		
+	groß	+	gut	+	sehr gering	+	gut geeignet		
++	sehr groß	++	sehr gut	++	vernachlässigbar klein	++	sehr gut geeignet		

Klassifizierung von organischen Böden

- OU – Schluffe mit organischen Beimengungen und organogene Schluffe $35 \% \leq w_L \leq 50 \%$
- OT – Tone mit organischen Beimengungen und organogene Tone $w_L > 50 \%$
- OH – grob- bis gemischtkörnige Böden mit Beimengungen humoser Art
Beimengungen pflanzlicher Art, meist dunkle Färbung, Modergeruch, Glühverlust bis etwa 20 % Massenanteil

Klassifizierung von organischen Böden - insitu -

Bodenansprache - Personal

- vor Ort an der Entnahmestelle
- an einer frischen Probe
- Fachkraft
- Qualifizierter Techniker, z.B. Fachkraft nach DIN EN ISO 22475-1 „Bohrgeräteführer“
- Verantwortlicher Fachmann, z.B. Bauingenieur, Geologe

Klassifizierung von organischen Böden - insitu -

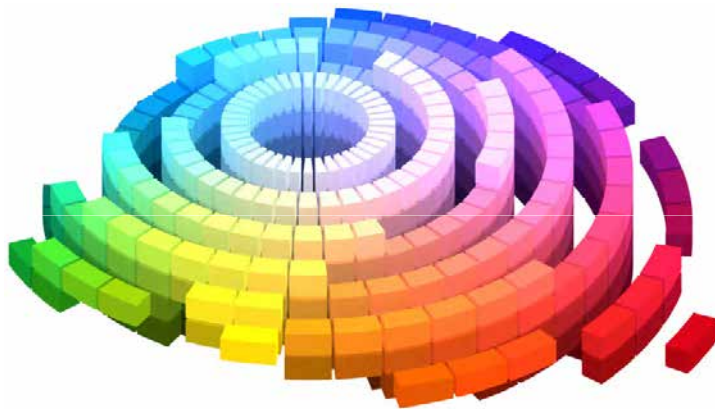
Bodenansprache - Farbansprache

- Böden, die organische Bestandteile enthalten weisen im Allgemeinen eine typische, je nach Anteil der organischen Bestandteile, graue bis schwarze Färbung auf.



Klassifizierung von organischen Böden - insitu -

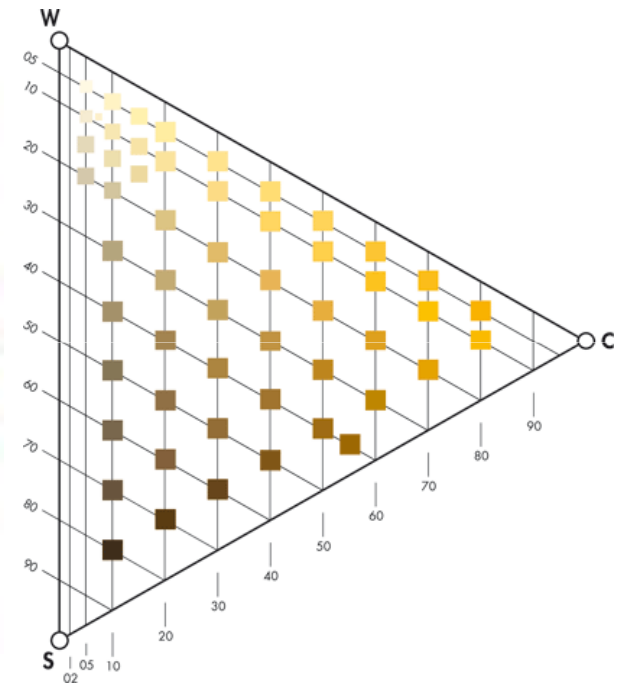
Bodenansprache - Farbansprache



Munsell Color System



RAL



Natural Color System

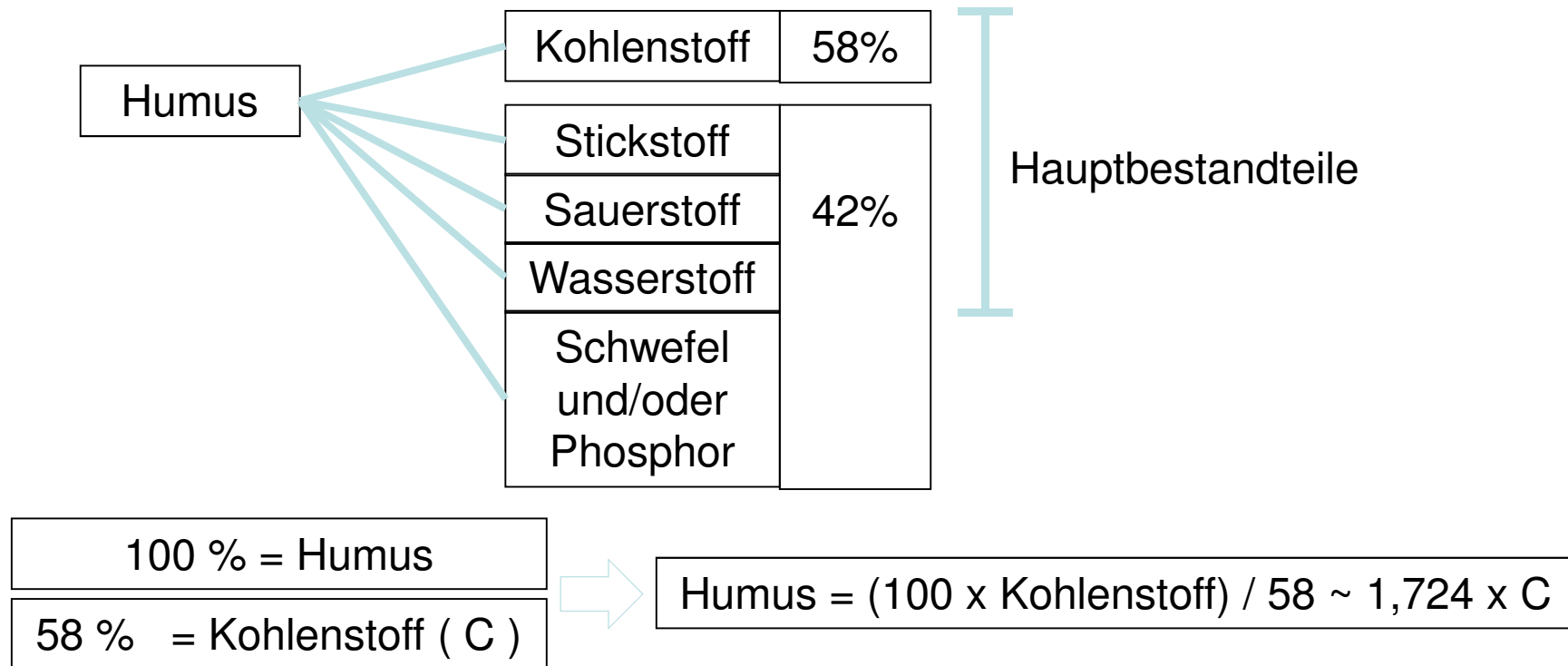
sharkD, colourfeeling –wikipedia / nsccolour.com

Klassifizierung von organischen Böden - insitu -

Bodenansprache – Olfaktometrische Ansprache

- Organische Böden weisen im frischen, feuchten Zustand einen deutlich moderigen Geruch auf, der durch Erhitzen der feuchten Probe noch besonders kenntlich gemacht werden kann. Verwesende faulige organische Bestandteile im Boden erkennt man an dem typischen Geruch von Schwefelwasserstoff, der durch Übergießen der Probe mit verdünnter Salzsäure verstärkt werden kann. (DIN EN ISO 14688-1)

Zusammensetzung von Humus



Klassifizierung von organischen Böden nach DIN EN ISO 14688-2

Boden	Organischer Anteil % der Trockenmasse (≤ 2 mm)
schwach organisch	2 bis 6
mittel organisch	6 bis 20
stark organisch	> 20

Klassifizierung von organischen Böden nach DIN 4022-1 (1987-zurückgezogen)

Benennung	Sand und Kies		Ton und Schluff	
	organischer Anteil (Humusgehalt – Massenanteil) [%]	Farbe	organischer Anteil (Humusgehalt – Massenanteil) [%]	Farbe
schwach organisch (schwach humos nach DIN 4022)	1-3	grau	2-5	Mineral- farbe
organisch (humos nach DIN 4022)	>3-5	dunkel- grau	>5-10	dunkel- grau
stark organisch (stark humos nach DIN 4022)	>5	schwarz	>10	schwarz

Bestimmung organischer Bestandteile - Laboruntersuchungen -

Verbrennung ↑
↓ Oxidationsverfahren

- Glühverlust (Bestimmung **org. Bestandteile**)
- Nasse Oxidation mit Wasserstoffsuperoxid (Bestimmung **org. Bestandteile**)
- Bestimmung der organischen Bestandteile durch Oxidation und Titration (Chromat-Methode; Bestimmung des organischen Kohlenstoffs C_{org})
- Trockene Oxidation (Dennstedt-Methode; Bestimmung von C_{org})
Die Dennstedt-Methode ist vergleichbar mit der Bestimmung des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) nach DIN ISO 10694 für Bodenbeschaffenheit - TOC

Bestimmung organischer Bestandteile - Laboruntersuchungen: Glühverlust -

- Bei der Auswertung wird also angenommen, dass die organischen Bestandteile eines Erdstoffes verbrannt werden können. Das Gewicht der Asche ist unbedeutend; der Verlust ist also ein Maß für den Gehalt an organischen Bestandteilen.
- Enthält die Probe neben organischen Bestandteilen Karbonate (Kalk), so müssen diese vorher mit verdünnter Salzsäure entfernt werden.
- Beim Ausglühen entweicht auch das gebundene Wasser der Probe (gerade bei Tonanteilen im Boden)
 - Ist also der Gehalt an org. Bestandteilen gering, dann ist der Glühverlust keine kennzeichnende Größe. In solchen Fällen sind verschiedene Oxidationsverfahren anzuwenden.
(Zitat: Kézdi; Handbuch der Bodenmechanik 1971)

Bestimmung organischer Bestandteile - Laboruntersuchungen: Oxidation -

- Bei diesem Verfahren werden die organischen Bestandteile bei hoher Temperatur in einem Sauerstoffstrom verbrannt. Der Kohlenstoff des organischen Stoffes wird dadurch in CO_2 bzw. H_2O verwandelt. Diese Gase werden aufgefangen und es wird der Kohlenstoffgehalt (C_{org} - Wert) gemessen.
- Der Gesamtgehalt an organischen Bestandteilen ergibt sich, indem dieser C-Wert mit 1,72 multipliziert wird.

100 % = Humus	⇒	Humus = (100 x Kohlenstoff) / 58 ~ 1,724 x C
58 % = Kohlenstoff (C)		

Gehalt an organischen Bestandteilen - nach Biczok -

Boden	Glühverlust [%]	Organischer Gehalt [%]	Verhältnis Glühverlust / Organ. Gehalt
grauschwarzer Schluff	17,4	9,1	1,91
humoser Ton	7,4	1,7	4,35
humoser Schluff	7,7	1,8	4,28
organischer Ton	10,8	6,3	1,71
humoser Mehlsand	6,4	4,5	1,42
humoser Sand	3,9	2,3	1,69

Gehalt an organischen Bestandteilen - Universität Siegen -

Boden	Glühverlust [%]	Organischer Gehalt [%]	Verhältnis Glühverlust / Organ. Gehalt
Boden 1: Rhein. Schluff	1,47	0,21	7,00
Boden 2: stark organ. Schluff	22,86	11,90	1,92
Versuchsboden 1	4,90	3,67	1,34
Versuchsboden 2	7,60	4,83	1,57
Versuchsboden 3	18,62	9,97	1,87

Bestimmung organischer Bestandteile

Nach der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft „Humus – Leben aus dem Boden“ von **2011** gilt folgendes:

- Als Maß für den Humusgehalt gilt der organisch gebundene Kohlenstoff (C_{org}).

Dies **ersetzt** die frühere Definition: **Humus = $C_{org} \times 1,72$**

Zur Ermittlung des C_{org} wird vom Gesamtkohlenstoff (C_t) der anorganische Kohlenstoff ($C_{Carbonat}$) abgezogen.

$$C_{org} = C_t - C_{Carbonat}$$

Was beinhaltet der Glühverlust also?

- Nach DIN EN 1997-2 2010 bezieht sich der Glühverlust gewöhnlich auf Böden mit geringem oder keinem Ton- und/oder Karbonatanteil
- Ist ein höherer Anteil von Ton und/oder Karbonat vorhanden, kann ein größerer Glühverlust auf diesen Umstand zurückgeführt werden.
- Das Handbuch „Eurocode 7 - Geotechnische Bemessungen“ Band 2 „Erkundung und Untersuchung“ gibt bei dem Unterpunkt „Bestimmung organischer Anteile“ folgenden Hinweis:

„Andere geeignete Versuche können ebenso verwendet werden!“

Zusammenhang von Glühverlust und organischem Anteil

- Anhand von Untersuchungen wurde bereits mehrfach versucht, eine Abhängigkeit zwischen Glühverlust und dem wahren humosen Anteil zu ermitteln (z.B. Pietsch/Schneider, 1982).
- Mit der Bestimmung des organischen Anteils durch eine trockene Oxidation wurde folgender Zusammenhang abgeleitet:

$$\mathbf{OB = 100 - 1,04 (100 - Vgl)}$$

OB = Anteil der organischen Bestandteile im Boden

Vgl = Im Glühversuch ermittelter Glühverlust

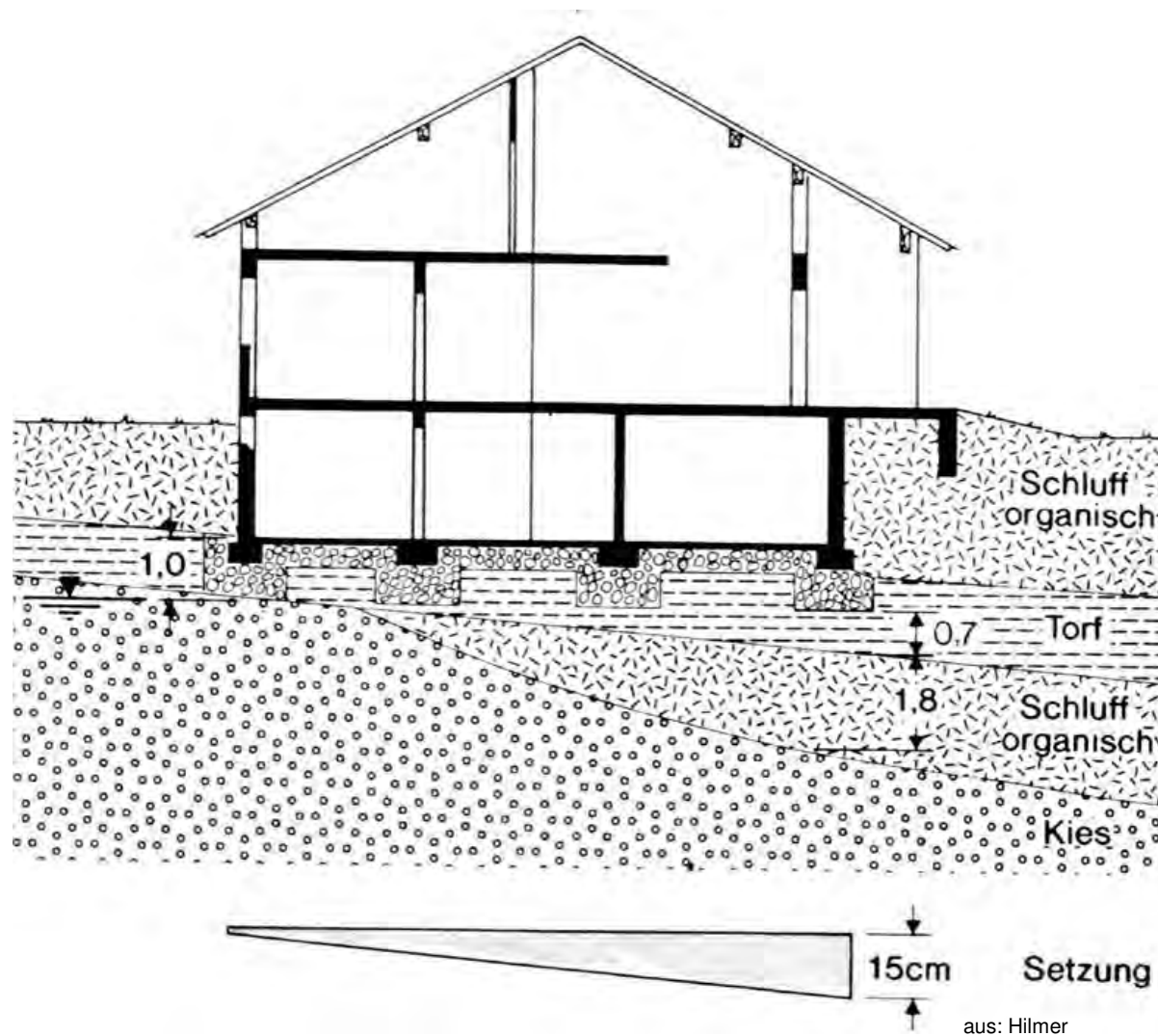
Zusammenhang organischer Anteile und Setzungen

- In der fachspezifischen Literatur konnte keine Literaturstelle gefunden werden, die auf eine Ableitung der 3 % bzw. 5 % Grenze organischer Anteile hinweist.

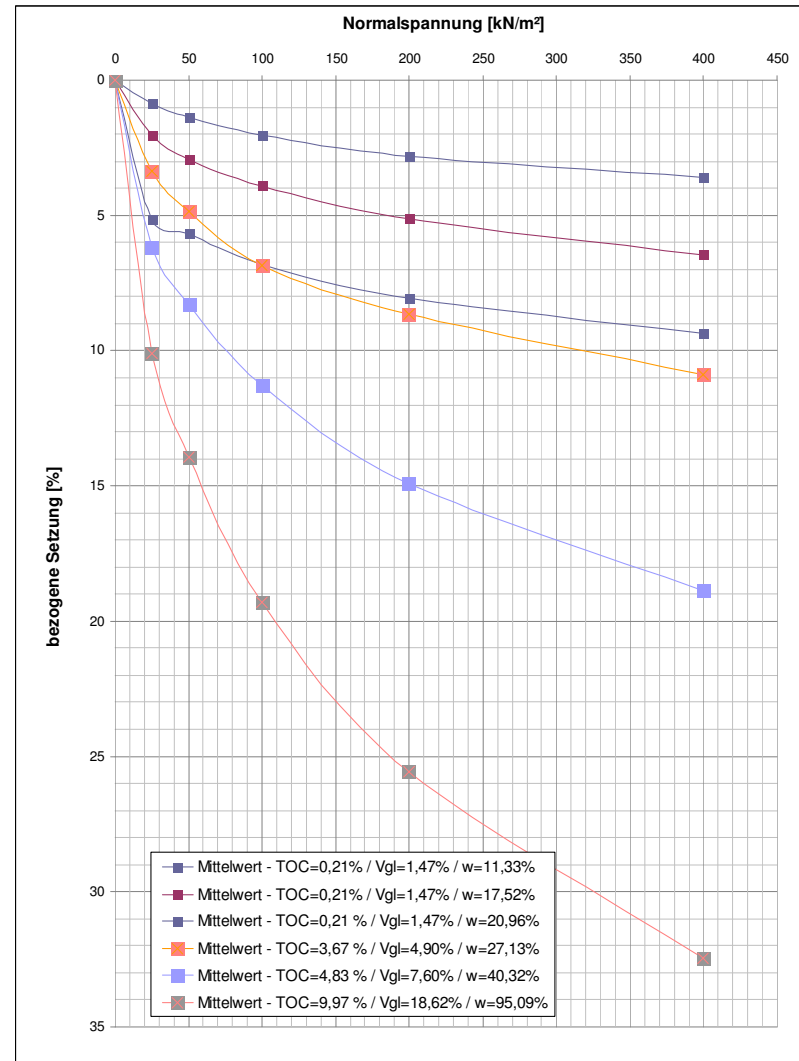
Im wissenschaftlichen Ansatz ist aber davon auszugehen, dass die organischen Anteile im Boden bei Überschreitung der Grenze „schwach organisch“ (also $> 5\%$) einen Einfluss auf das Korngerüst bzw. die Kompressibilität sowie Scherfestigkeit ausüben.

- Das heißt im Umkehrschluss, so lange der organische Anteil im Boden auf das Korngerüst keinen Einfluss hat, kann sich eine Mineralisierung der organischen Anteile ohne eine Volumenverminderung der Schicht vollziehen!

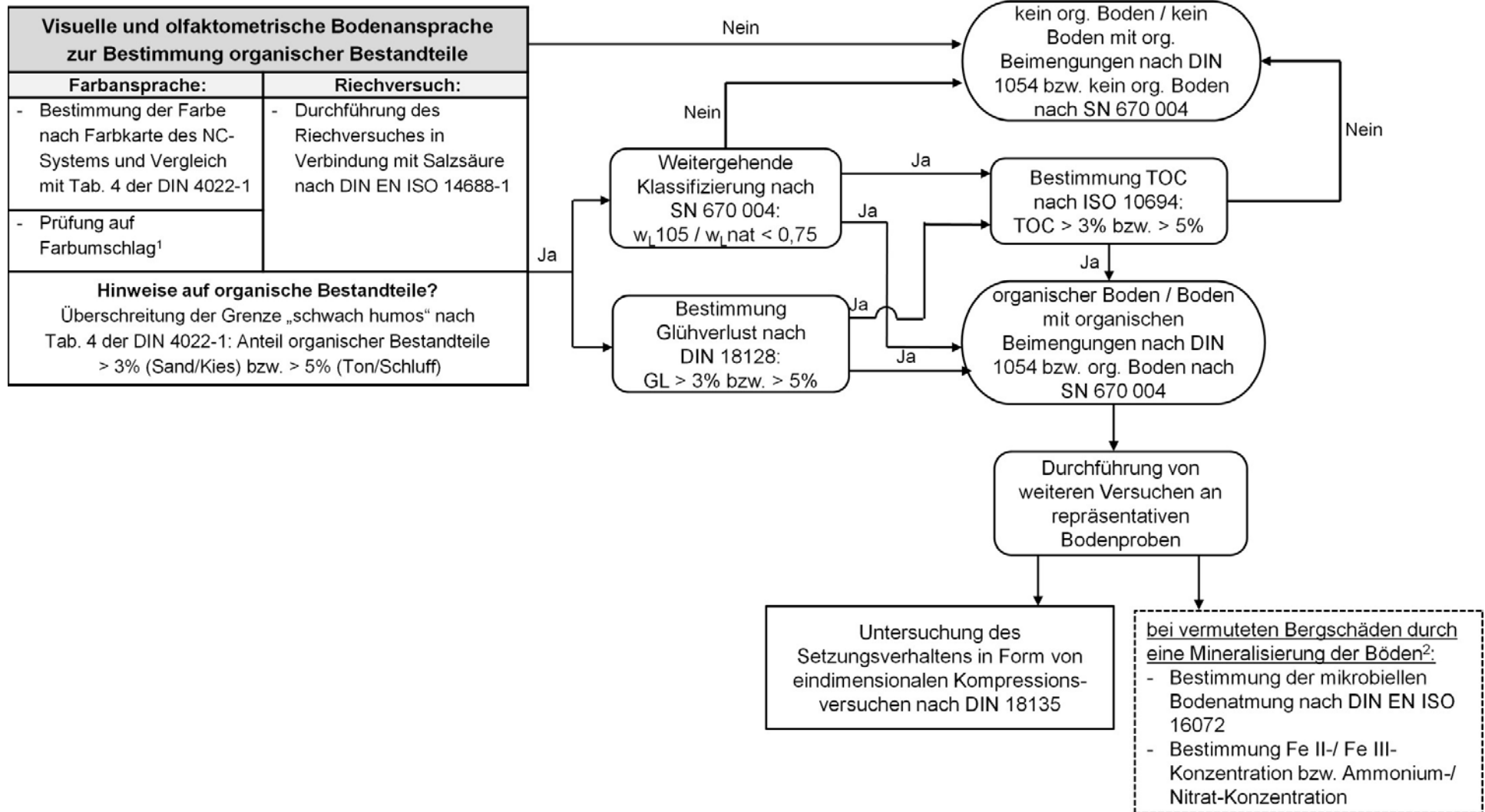
Zusammenhang organ. Anteile und Setzungen



Zusammenhang organ. Anteile und Setzungen



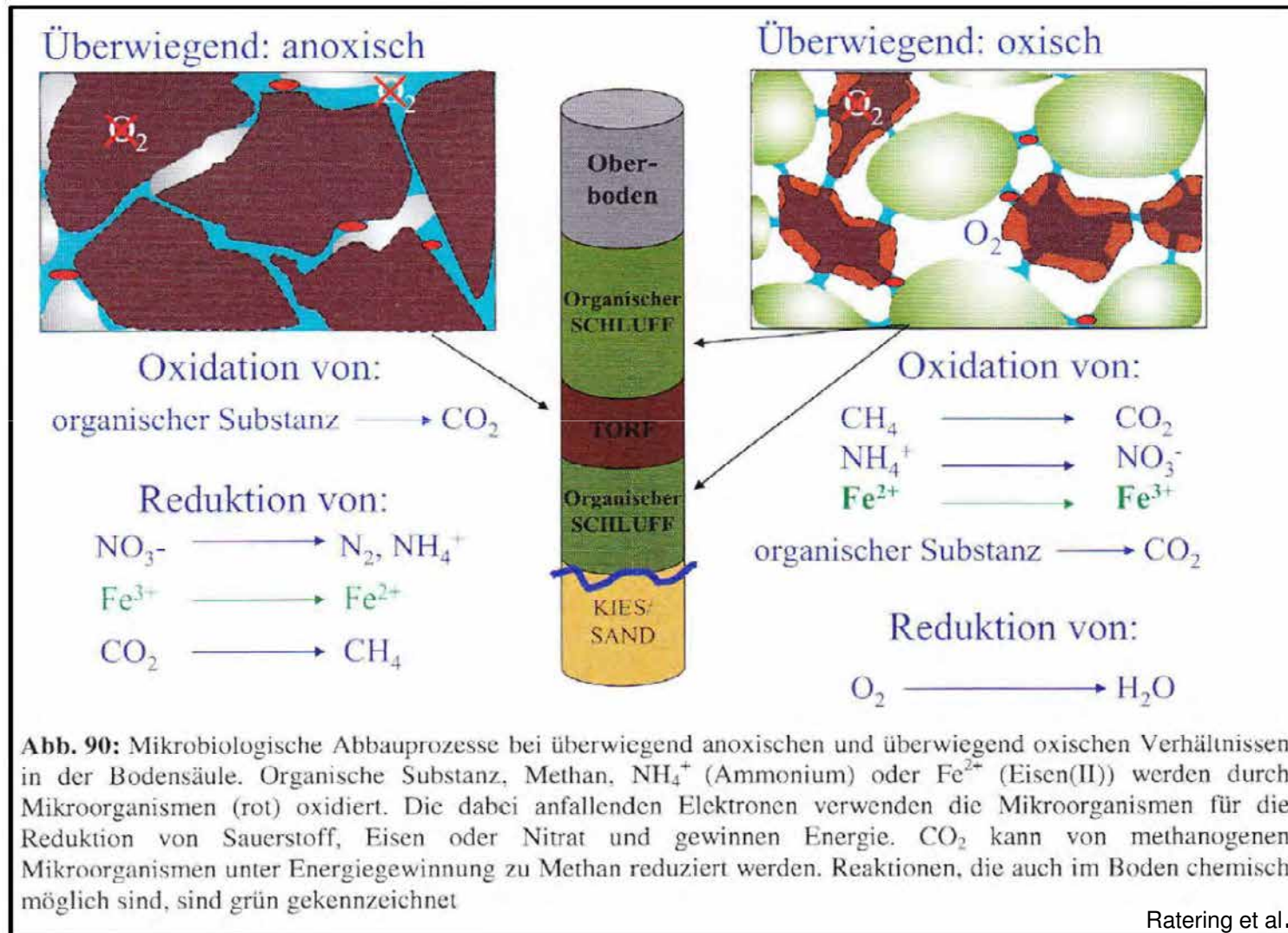
Flussdiagramm zur Bodenansprache



Anmerkungen Flussdiagramm

- Bei einer vermuteten Mineralisierung des Baugrundes, das heißt einem mikrobiellen Abbau von im Boden enthaltenen organischen Substanzen (bspw. infolge einer Grundwasserabsenkung), welche Setzungen des Baugrundes zur Folge haben kann, ist eine Bestimmung der mikrobiellen Bodenatmung, die aus der Mineralisierung organischer Substanzen hervorgeht, nach DIN EN ISO 16072:2011-09, anzuraten.
- Darüber hinaus ist auch eine Bestimmung der Fe (II)- und Fe (III)-Konzentration bzw. Ammonium- und Nitratkonzentration zu empfehlen. Vgl. hierzu Ratering et al., welche in den Jahren 2002 bis 2007 in verschiedenen Projekten organische Böden (u. a. Torfe und Braunkohle) im rheinischen Braunkohlerevier hinsichtlich ihrer mikrobiellen Aktivität untersuchten.

Mikrobiologische Abbauprozesse, Ratering



Fazit

- Auf der Grundlage von geotechnischen Erkundungen sind ausreichend genaue Erkundungen und Aufnahmen hinsichtlich der organischen Bestandteile möglich.
- Eine Fachkraft ist befähigt, mit Hilfe einer visuellen und olfaktometrischen Bodenansprache an den erbohrten Bodenproben organische Bestandteile sicher zu finden.
- Auf dieser Basis lassen sich mit der erreichten Probenqualität weiterreichende Laboruntersuchungen durchführen.
- Der Standardversuch der Bodenmechanik zur Bestimmung des organischen Anteils eines Bodens, DIN 18128, liegt die bautechnische Relevanz betreffend immer auf der sicheren Seite.

Fazit

- Mit der DIN 18128 werden größere Anteile ermittelt, als tatsächlich an organischen Bestandteilen vorliegen.
- Ist in Sonderfällen eine genauere Bestimmung der organischen Anteile erforderlich, so ist eine Bestimmung des organischen Kohlenstoffs (TOC) zu empfehlen.
- Ein Flussdiagramm zur Bodenansprache für Böden mit organischen Bestandteilen wurde aufgrund der vorliegenden Literatur entwickelt und zusammengeführt.

Quellen

- DIN EN 1997-1: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 1: Allgemeine Regeln, 2009
DIN EN 1997-2: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrundes, 2009
DIN EN 1997-1/NA: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 1: Allgemeine Regeln, Nationaler Anhang, National festgelegte Parameter, 2010
DIN 1054: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997, 2010
DIN 18128: Baugrund; Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Glühverlustes, 2002
DIN 4020: Baugrund – Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2, 2010
DIN EN ISO 14688-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Teil 1: Benennung und Beschreibung, 2002
DIN EN ISO 22475-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen und Ausführungen, 2007
DIN EN ISO 16072:2011-09: Bodenbeschaffenheit – Laborverfahren zur Bestimmung der mikrobiellen Bodenatmung; Ausgabe: 2011; Berlin (Beuth)
Biczók (1955): Untersuchung der Böden organischen Gehalts mit Rücksicht auf den Grundbau. Gedenkblatt f. Prof. Jaky Budapest. S. 63 ff
Hilmer, K.: Schäden im Gründungsbereich, Ernst & Sohn, 1991
Wilden, U.: Geotechnische Erkundungen und Untersuchungen, Vorgehen zur Ermittlung der Anteils organischer Bestandteile, 2011
Herrmann, R.A., Löwen, M.: Bestimmung des organischen Anteils in feinkörnigen Böden, Siegen 2012
Herrmann, R.A., Löwen, M.: Leitfaden für „Probenentnahme, Bodenansprache und Laboruntersuchungen bei Böden mit organischen Bestandteilen, Siegen, 2011
Pietsch, M., Schneider A.: Zur Frage der Bestimmung organischer Bestandteile in Böden; Organic matter Determination for Soils; Fachzeitschrift für Geotechnik (1982), Nr. 2, S. 67-73
Ratering, S.: Zusammenfassender Bericht der Untersuchungen zum mikrobiellen Abbau von organischen Substanzen im Boden
Kezdi, A. (1969): Handbuch der Bodenmechanik, Band I Bodenphysik: 131 S., Gl. 97; Berlin
www.bodenlabor.de-Dr. E. Lehle

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit und**

Glück auf!