



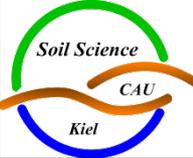
Friedhofsböden: Möglichkeiten und Grenzen der Strukturbeeinflussung

1. *Einführung in die Thematik*
2. *Vorstellung eines Feldversuchs*



„ ... die Probleme sind manchmal offensichtlich“

C | A | U



Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Plötzlich lag das Skelett im Rosenbeet Hier schwimmt der Friedhof davon



Schwere Eichensärge sind von der Flut- und Schlammwelle mitgerissen worden, Feuerwehrmänner mussten Leichen bergen

Siegen - Für die Menschen aus Siegen (NRW) waren es Bilder wie aus einem Horrorfilm: Auf einer Flutwelle schwammen Särgе und Leichenteile durch ihre Vorgärten!

Sintflutartige Regenfälle hatten das gesamte südliche Nordrhein-Westfalen unter Wasser gesetzt. In Siegen fielen 110 Liter pro Quadratmeter. Die Folge: Ein an einem Hang gelegener Friedhof rutschte ab, riss 25 Särgе mit. Einige von ihnen platzten auf, die Leichenteile wurden weggespült. Eine Bewohnerin: „Es

war grausam. Zwischen meinen überfluteten Rosenbeeten lagen Menschenknochen.“

Im Rhein-Sieg-Kreis sorgten schwere Wolkenbrüche für die schlimmsten Überschwemmungen seit 32 Jahren.

Land unter auch in Berlin: Nach schlimmen Wolkenbrüchen stand das Wasser bis zu 60 Zentimeter hoch in den Straßen. Keller liefen voll, ein U-Bahnhof musste gesperrt werden, ein Fußweg sackte um einen Meter ab. Die Feuerwehr rief den Ausnahmezustand aus.



Ein aufgeplatzter Sarg in einem Vorgarten in Siegen (Kreis). Ein Feuerwehrmann: „Es war schrecklich. Überall waren Leichenteile verstreut“



Landesamt für Geologie und Bergbau





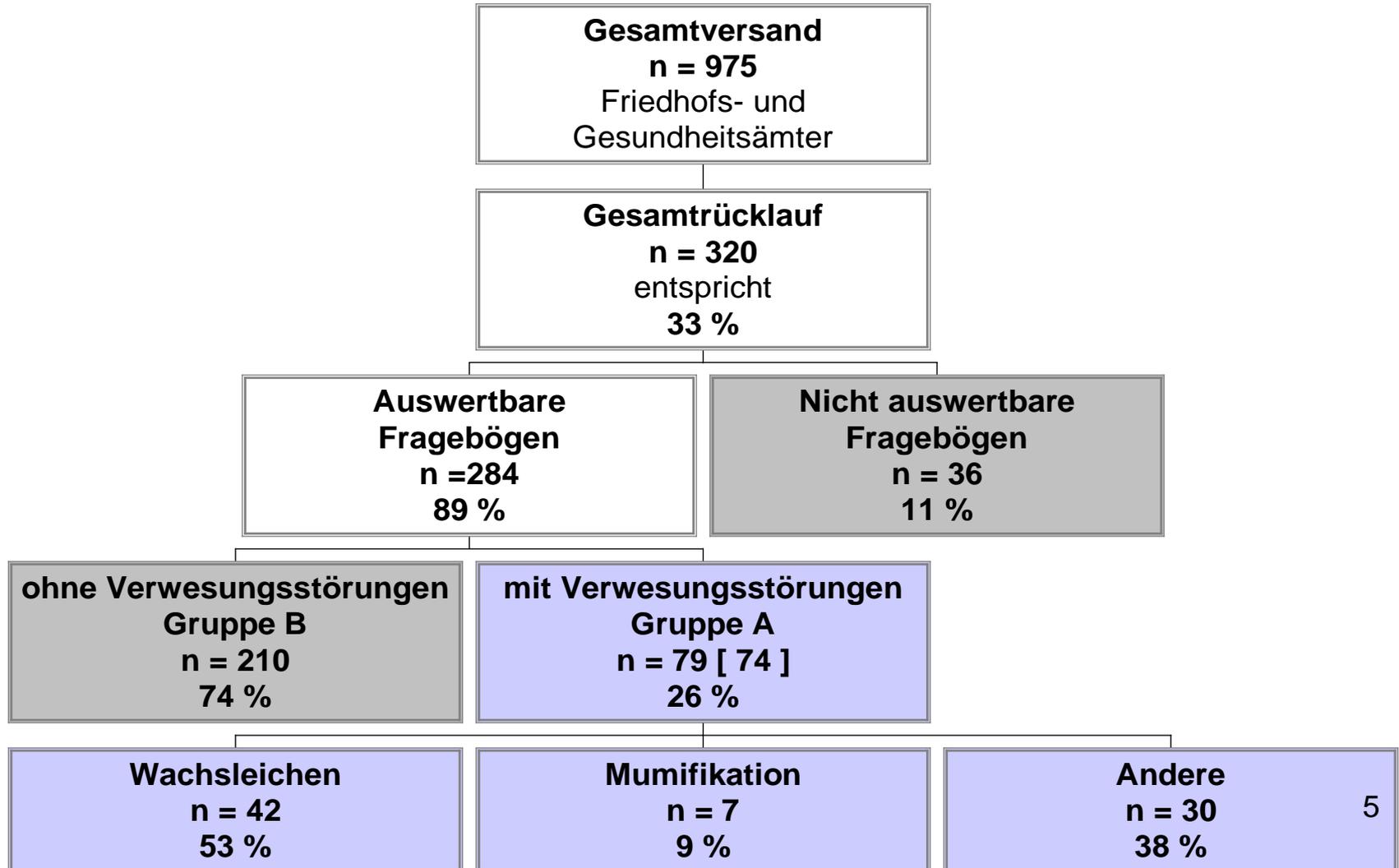
„ ...aber häufig (im Boden)
verborgen “



Quelle: Braun



Beginn des Themas 2001 Fragebogenauswertung 2003



Beispiele aus der Vergangenheit

„Mittelalterlicher Friedhof in Schleswig SH“

Bestattungspraktiken im Mittelalter:

- flache Bestattungstiefen ca. 30 cm unter GOK
- keine Bekleidung bzw. Leichname wurden in Tücher gewickelt
- es fanden zum größten Teil keine Sargbestattungen statt

Grabsohle:

Textur: Su2, pH: 6.7

Luftkapazität: 21 Vol.%,

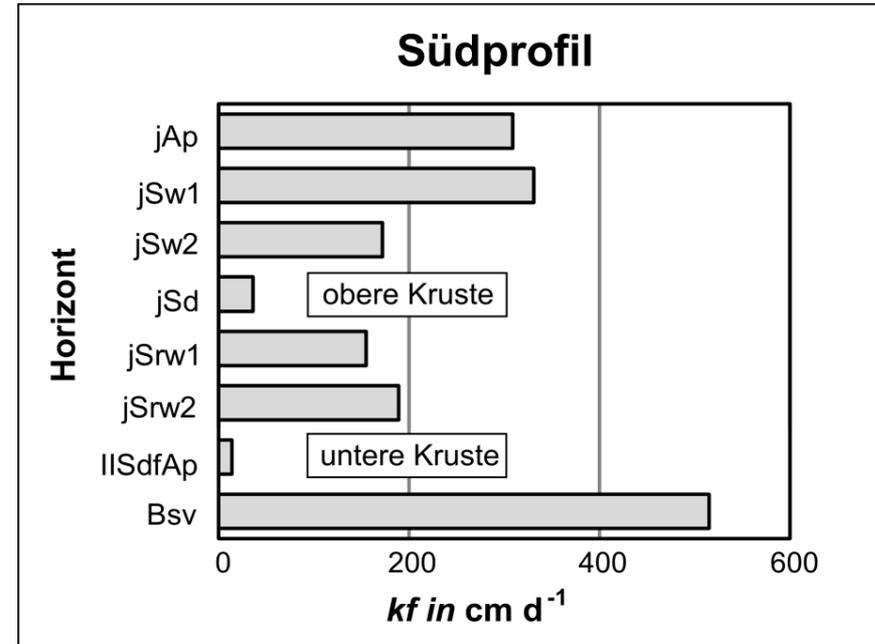
Ges. Wasserleitfähigkeit = 498 cm/d

Verwesungsleistung hoch



Beispiele aus der Vergangenheit

„Hydromorphe bronzezeitliche Hügelgräber“



Sandige Textur, hohe Luftkapazität
aber geringe Sauerstoffversorgung
(Staunässe)

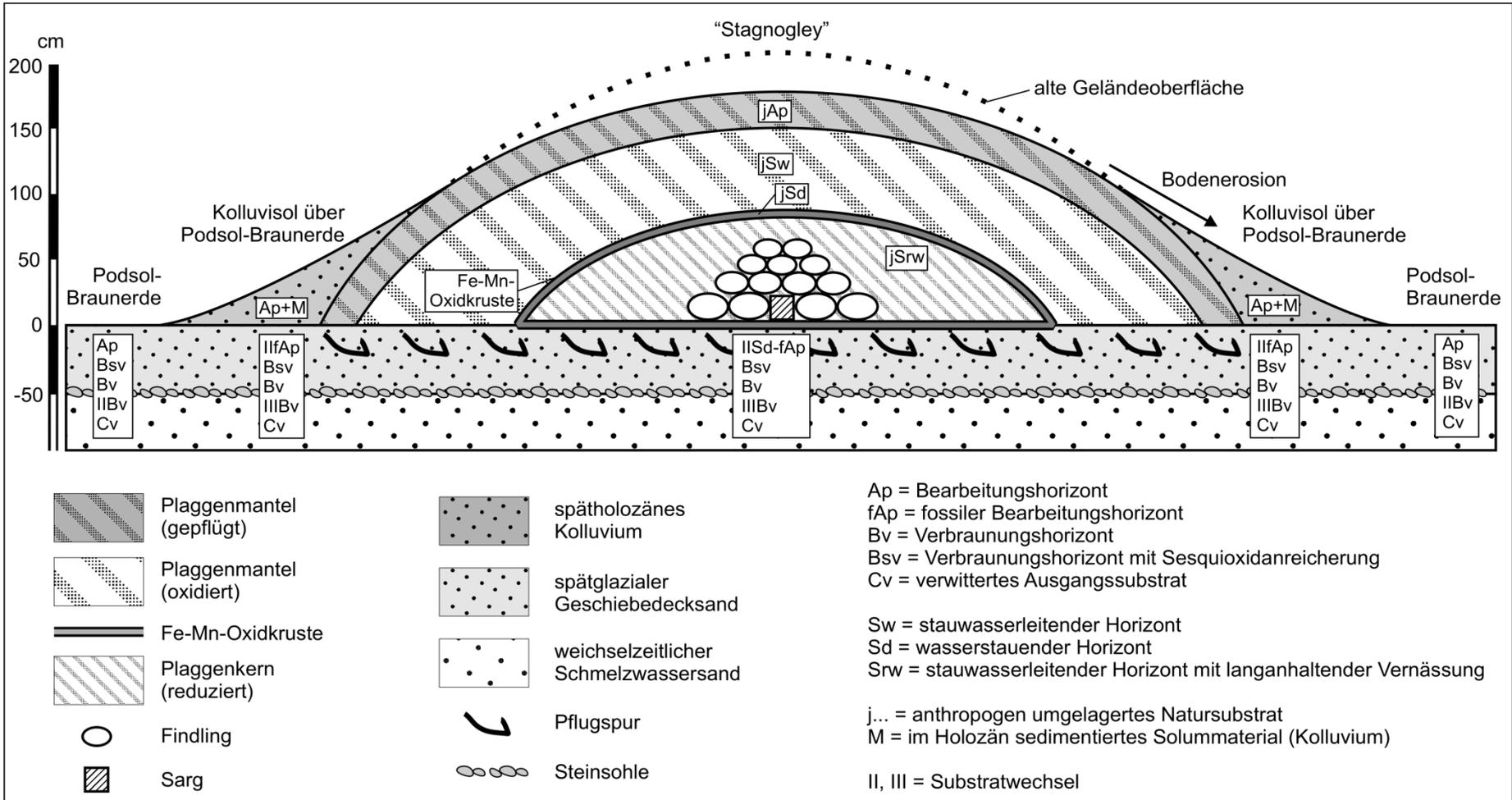
Verwesungsleistung gering



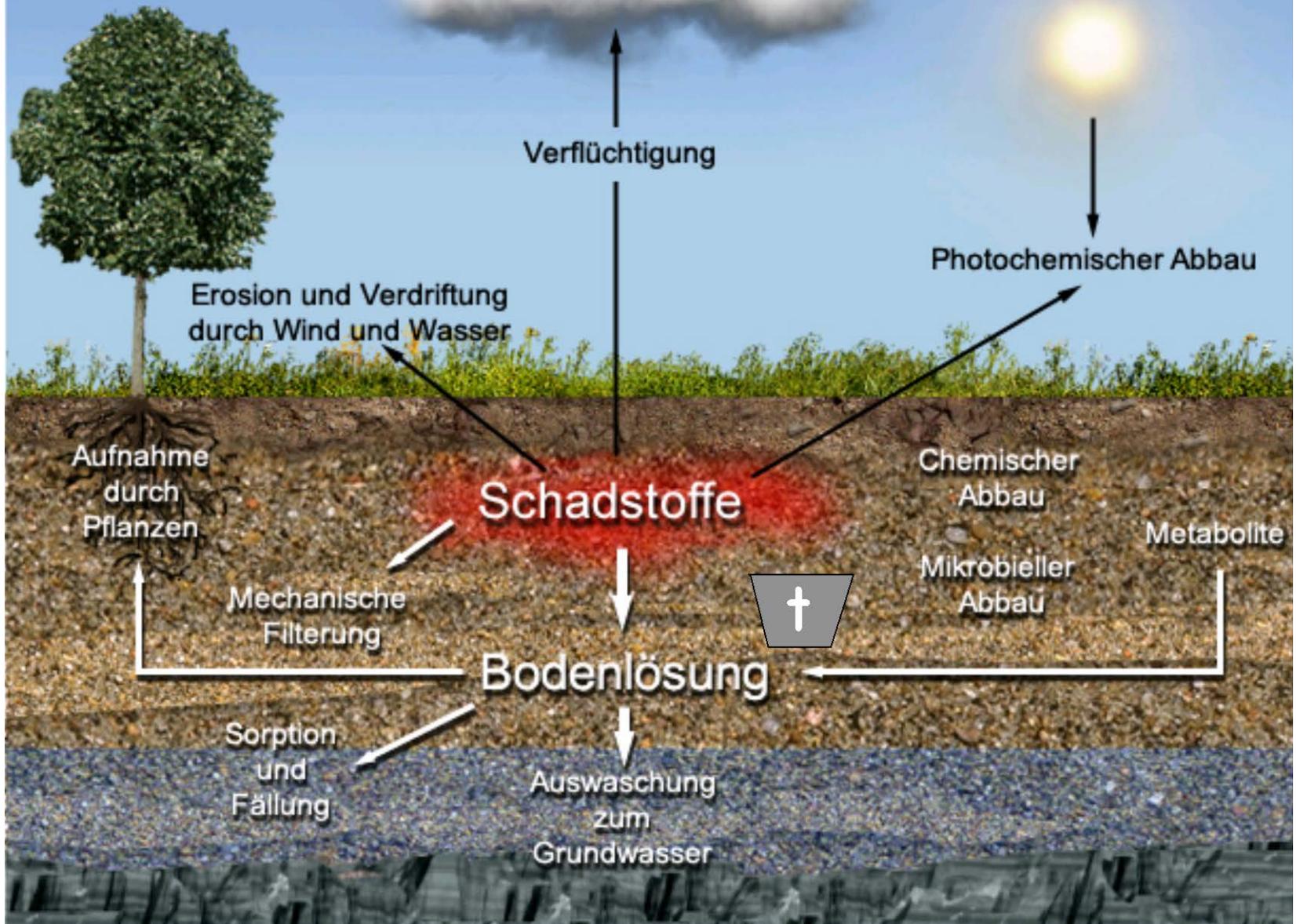
„Plaggen“

Beispiele aus der Vergangenheit

„Hydromorphe bronzezeitliche Hügelgräber“

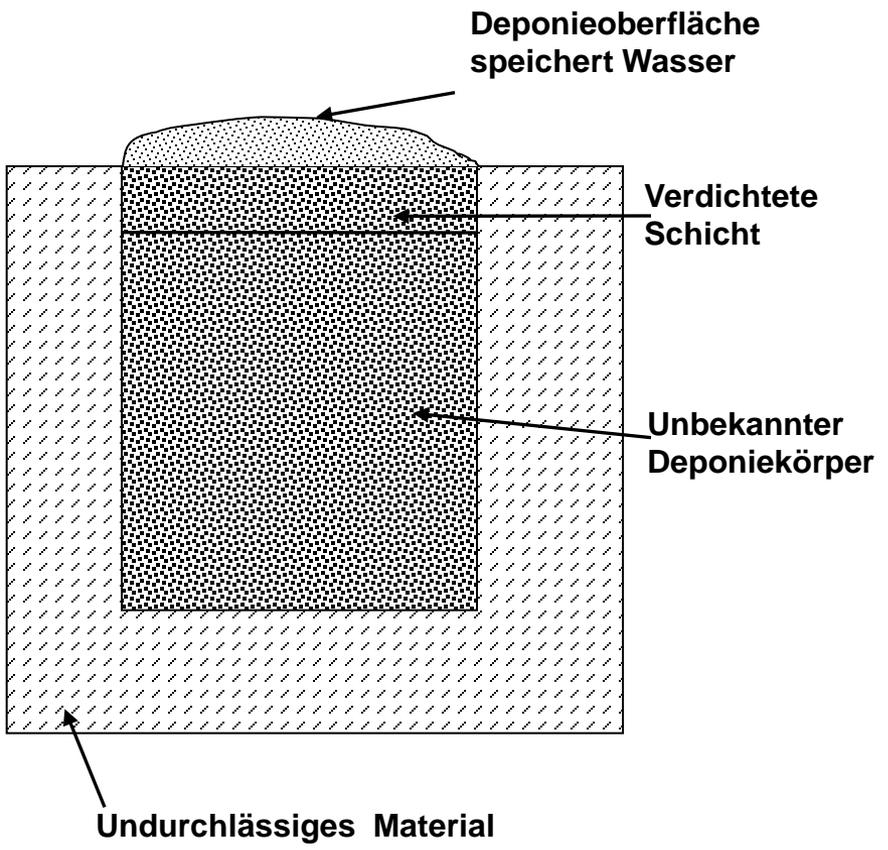


Hauptmechanismen in der ungesättigten Bodenzone

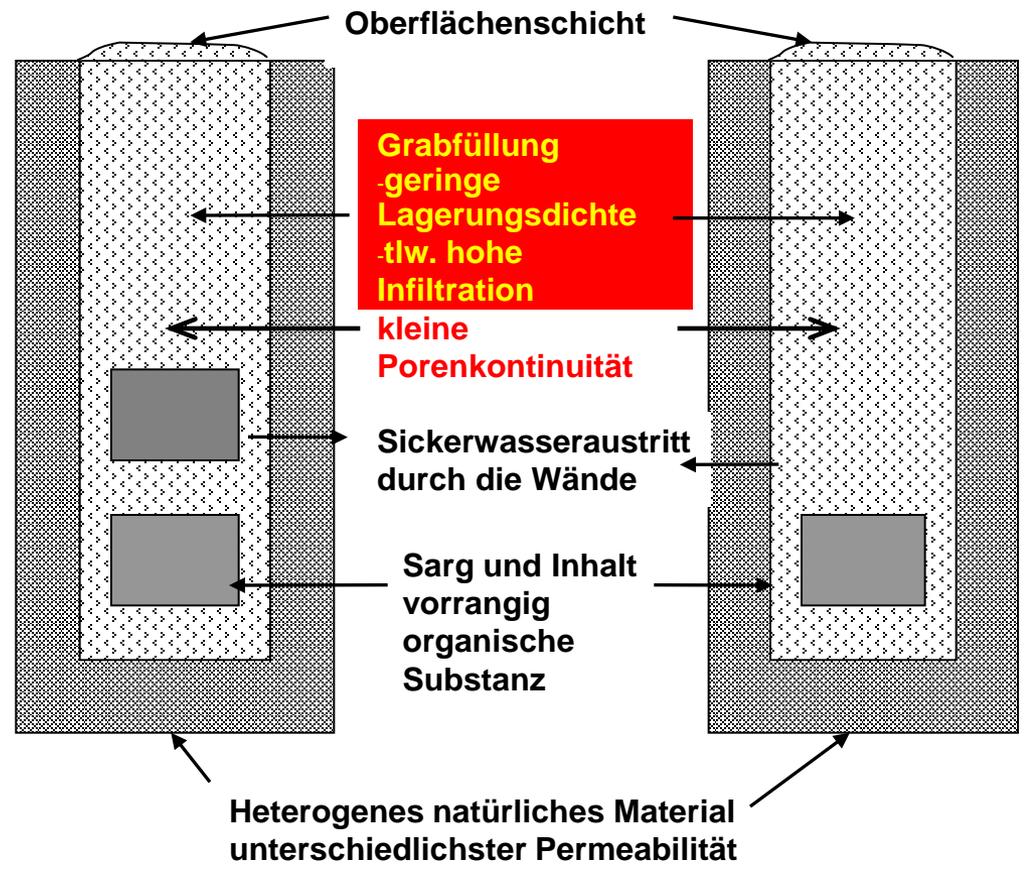


Sind Friedhöfe vergleichbar mit Deponien?

Deponie



Typischer Grabaushub mit schmalen Wänden



Quelle: mod. Abb. von B. Dent (1998): Cemeteries: A special kind of landfills

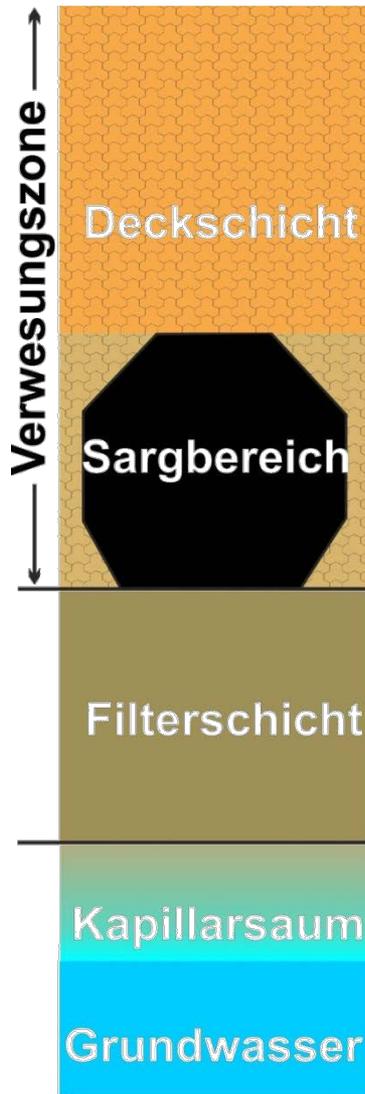


Die Grabwände – abgedichtet durch Verschmierung

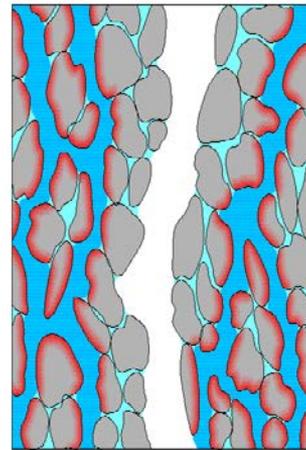




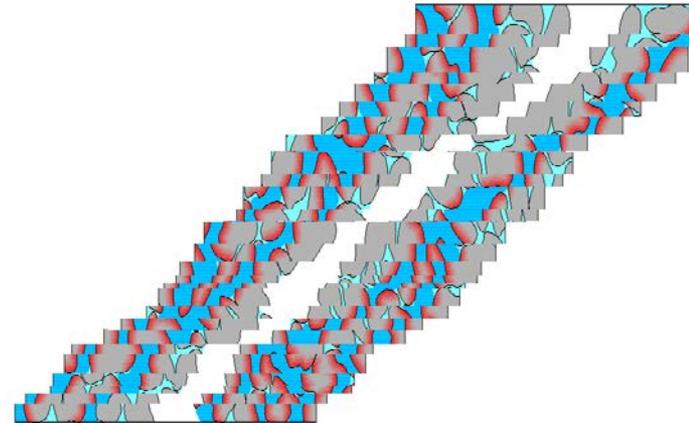
Bodenstruktur und ökologische Folgen



A) Optimale Durchlüftung, Speicher und Filter für Wasser, Nähr-Schadstoffe, Wärme



B) Geringe Porenkontinuität und keine Zugänglichkeit der Porenoberflächen für Filterung/Pufferung sowie Gasaustausch.
Folge: Wasserstau, behinderter Gasaustausch, verstärkter Diffusionstransport (aber sehr langsam)

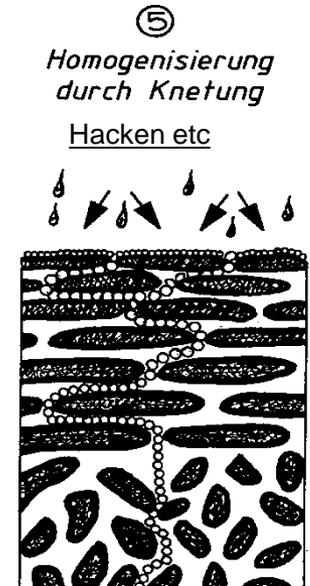
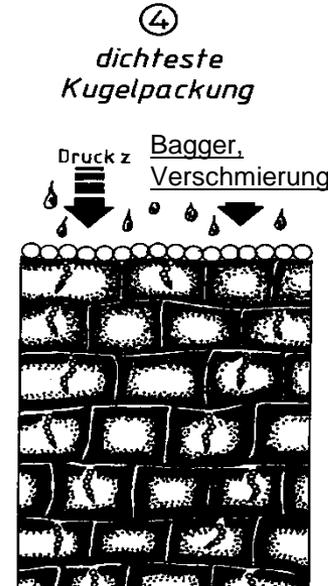
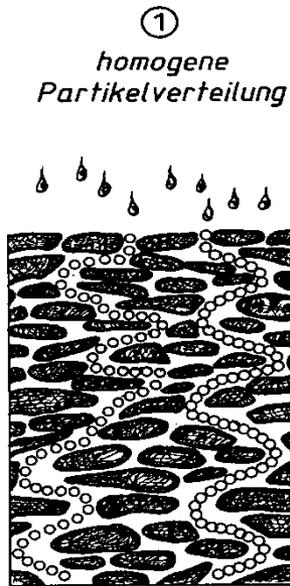
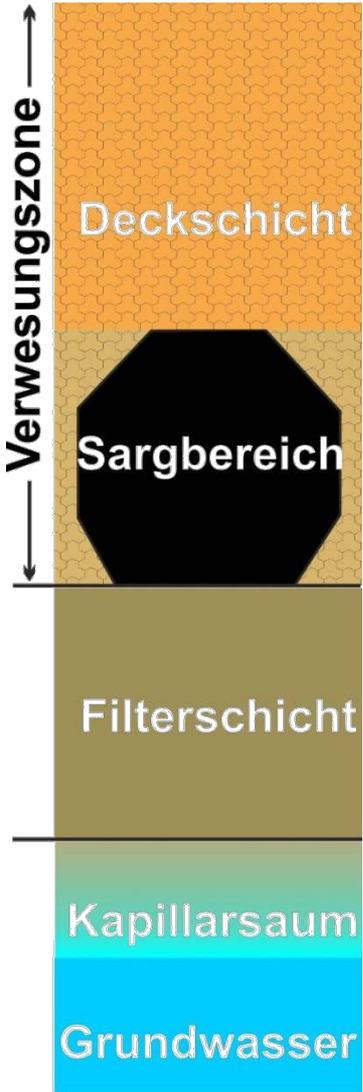


Anforderungen an Friedhofsbetreiber :

Hohe Strukturstabilität, geringe Störung der vorhandenen Struktur erforderlich:

Auswahl der Standorte und Ableitung von Rekultivierungsmaßnahmen besonders bei feinkörnigen feuchten Standorten

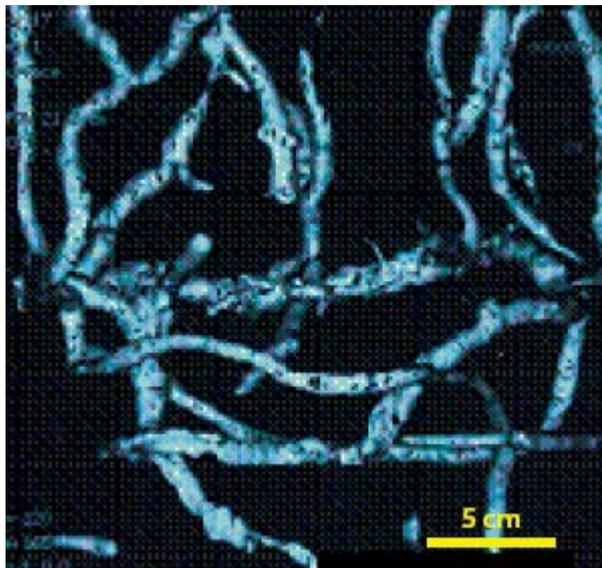
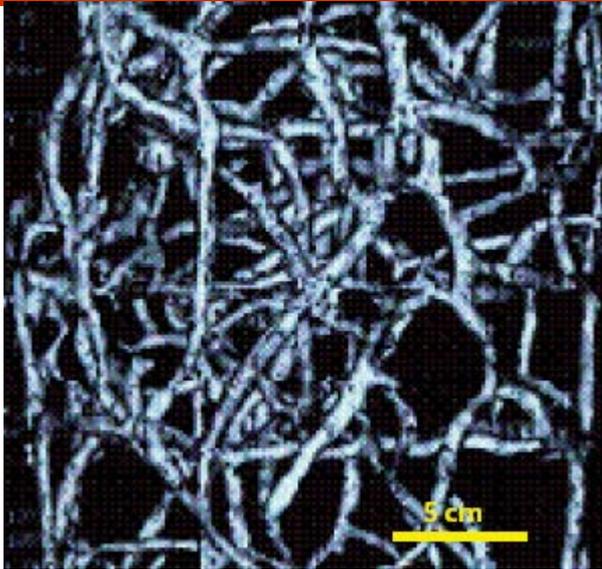
Natürliche und anthropogene Bodenstrukturentwicklung



Zugänglichkeit verbessert bei erhöhter Stabilität, Zeitabhängigkeit

Verdichtung und Verschmierung verschlechtert die Zugänglichkeit, Durchlüftung, Gas-, Wasser-, Wärmeflüsse und verstärkt u.a. Redoxprozesse

Rekonstruierte CT-Aufnahmen von Regenwurmgingen



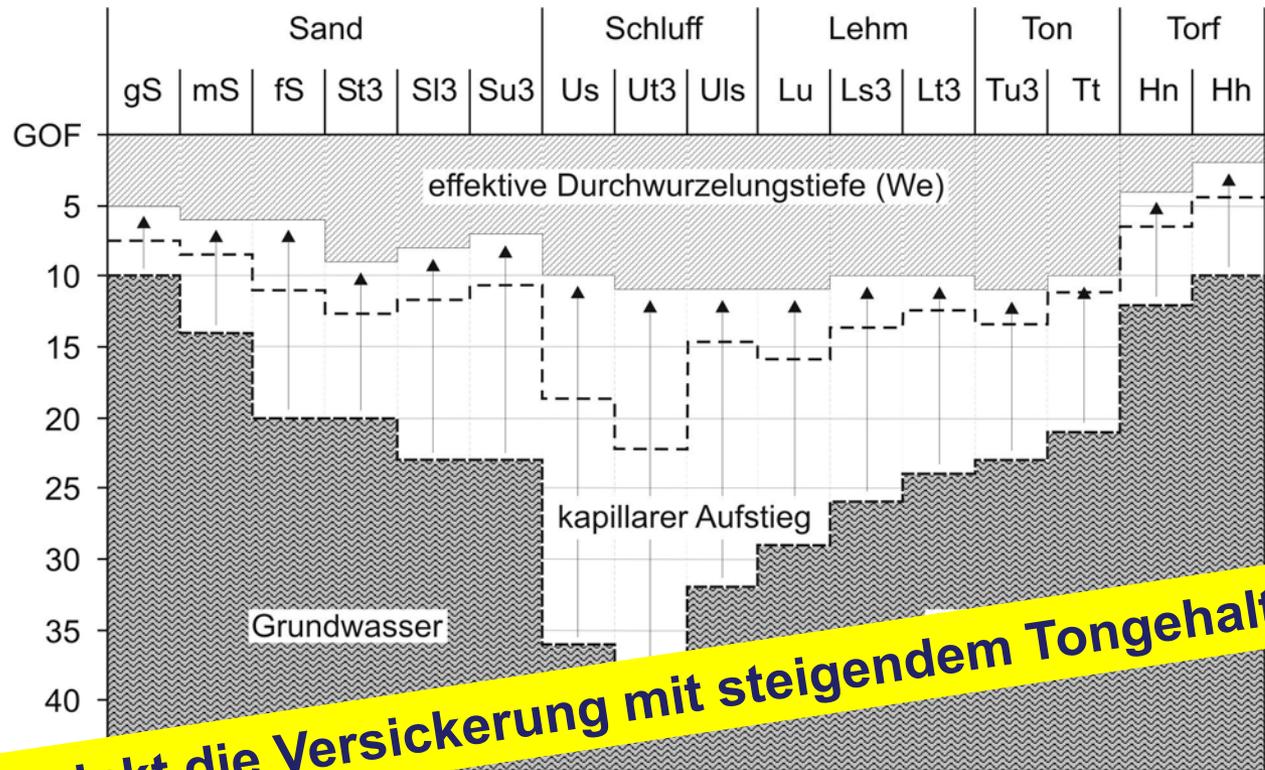
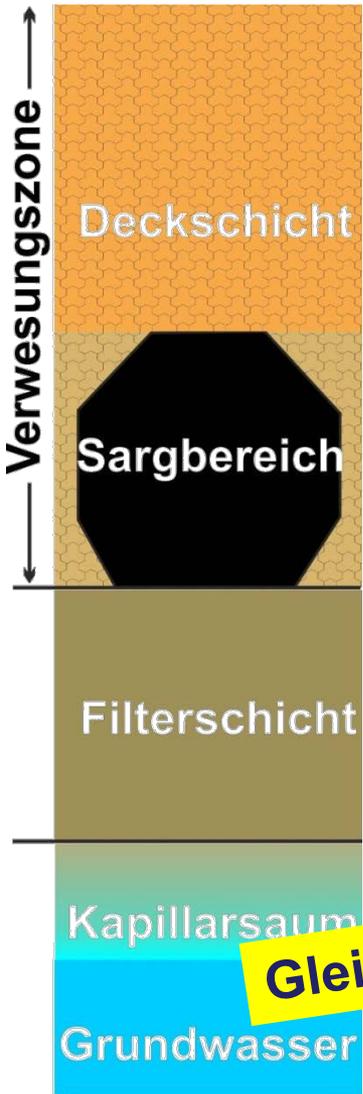
Langfristige Folgen für die
Bodenfunktion:

Verbesserung der

- 1) Durchlüftung,
- 2) Porenkontinuität,
- 3) Ableitung von Wasser,
- 4) Gasaustausch
- 5) Wärmetransport
- 6) Erreichbarkeit von chemischen Sorptionsflächen
- 7) mechanischen Stabilität

← Gangsysteme von Vertretern der gleichen Art (anektische Spezies)
Oben: *A. giardi*, zahlreiche schmalere vernetzte Gänge
Unten: *Lumbricus Terrestris*, wenige breite Gänge

Bedeutung der Bodenart und –struktur für den kapillaren Aufstieg



Gleichzeitig sinkt die Versickerung mit steigendem Tongehalt

--- U_{opt} (Grenzflurabstand) = W_e + kapillare Aufstiegshöhe bei $0,3 \text{ mm d}^{-1}$ (pF_4) an der Untergrenze der W_e
 - - - F_{opt} (Flurabstand der optimalen Wasserversorgung) = W_e + kapillare Aufstiegshöhe bei $5,0 \text{ mm d}^{-1}$ an der Untergrenze der W_e

Kann man generell mit bodenphysikalischen Verfahren wenig geeignete Friedhofsböden meliorieren?



Ap: 0-30 cm, stark lehmiger Sand, 10 YR 3/2, mittel humos, carbonatfrei, sehr schwach sauer, Bröckelgefüge

Sw-Al: 30-60 cm, stark lehmiger Sand, 10 YR 6/6 mit hydromorphen Merkmalen, sehr schwach humos, carbonatfrei, sehr schwach sauer, Kohärengefüge

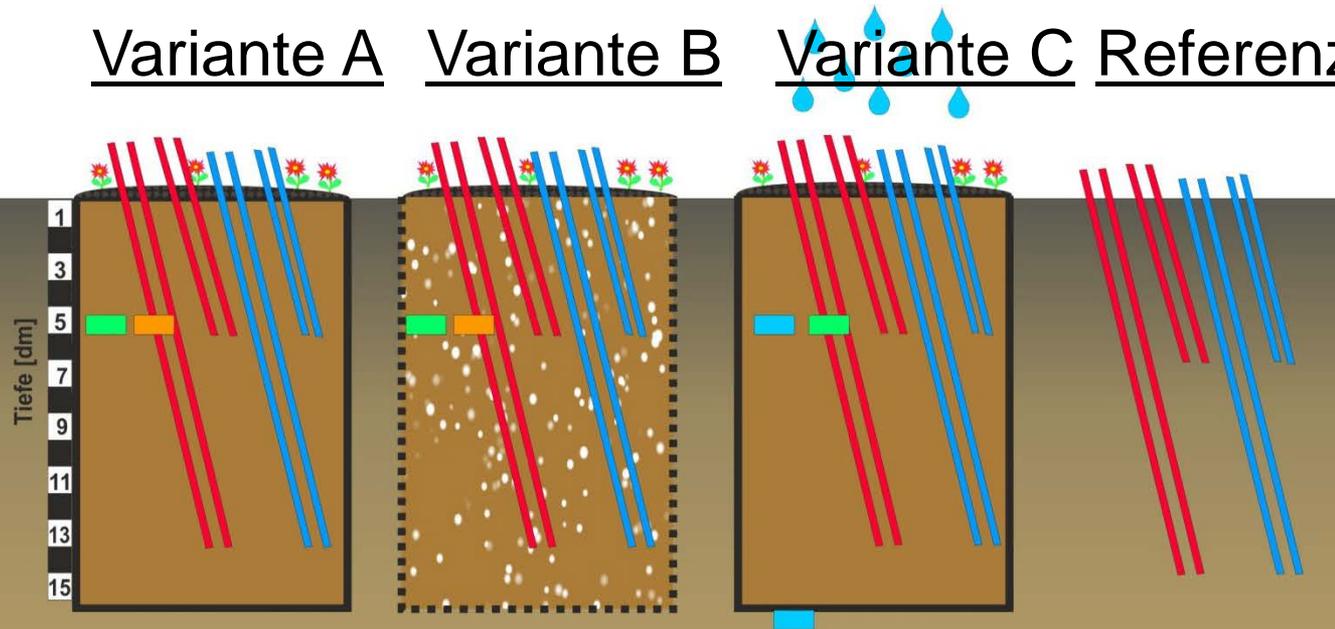
Sd-Bt: ab 60 cm, mittel sandiger Lehm, 10 YR 5/6 mit hydromorphen Merkmalen, sehr schwach humos, carbonatfrei, sehr schwach sauer, Kohärengefüge

- **SS-LL aus Geschiebemergel**
- Hohe Trockenrohdichte
- **geringe Struktur-entwicklung**
- **Schlechte Durchlüftung**
- **Quellung und Schrumpfung wenig ausgeprägt**



Versuchsaufbau

Variante A Variante B Variante C Referenz



— Schleifschicht

- - - Schleifschichten perforiert und mit Branntkalk bestreut

⌒ Abdeckung mit Blumenerde

— Redoxsonde

— Tensiometer

■ Probenahme bei Installation während Baggerarbeiten aus ungestörtem Boden

■ Probenahmen nach 60 Tagen aus gestörtem Boden

■ Probenahme nach 195 Tagen aus gestörtem Boden

■ Aushub mit 20 kg/m³ Branntkalk (75% CaO) versetzt

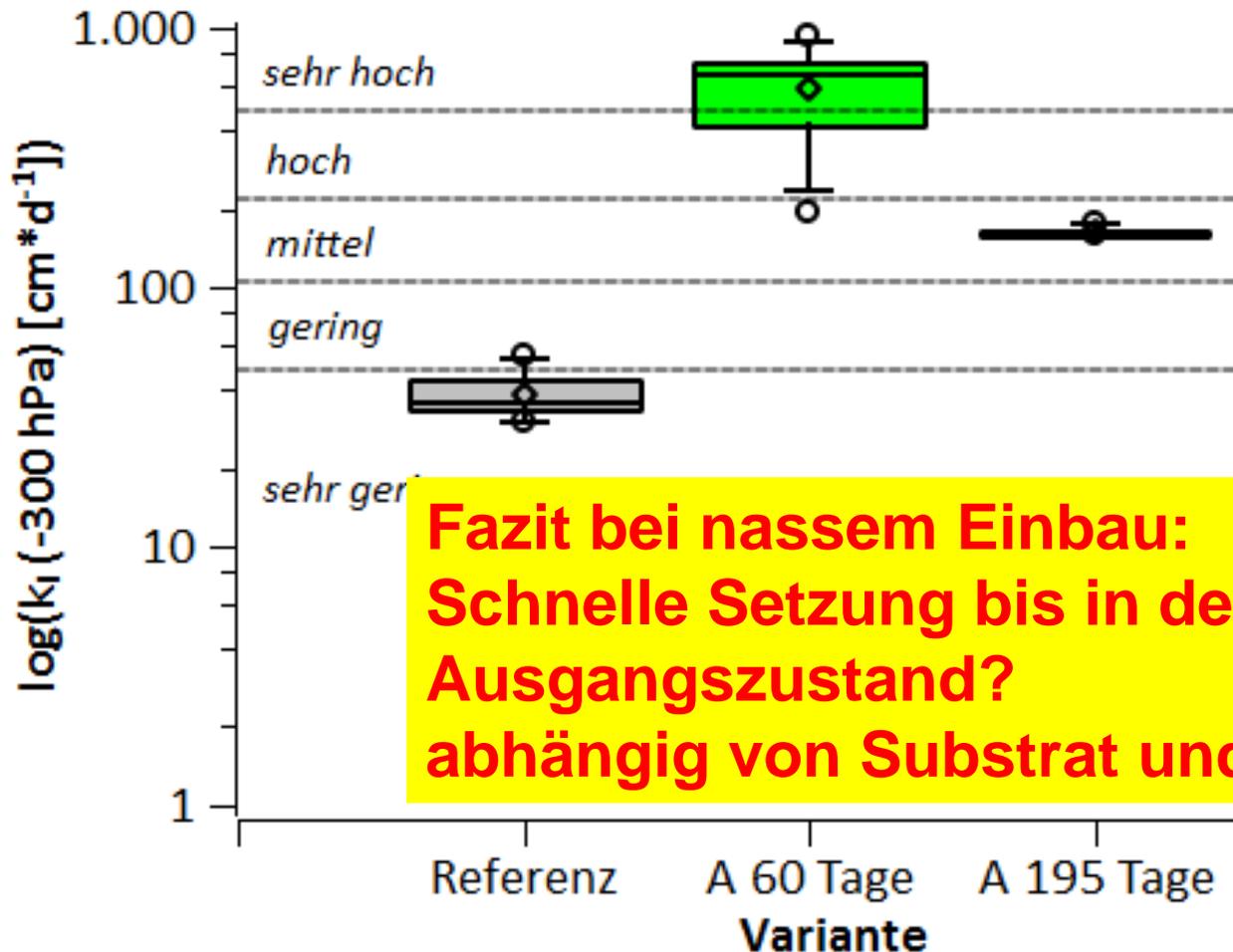
Versuchsfelder in Hohenschulen





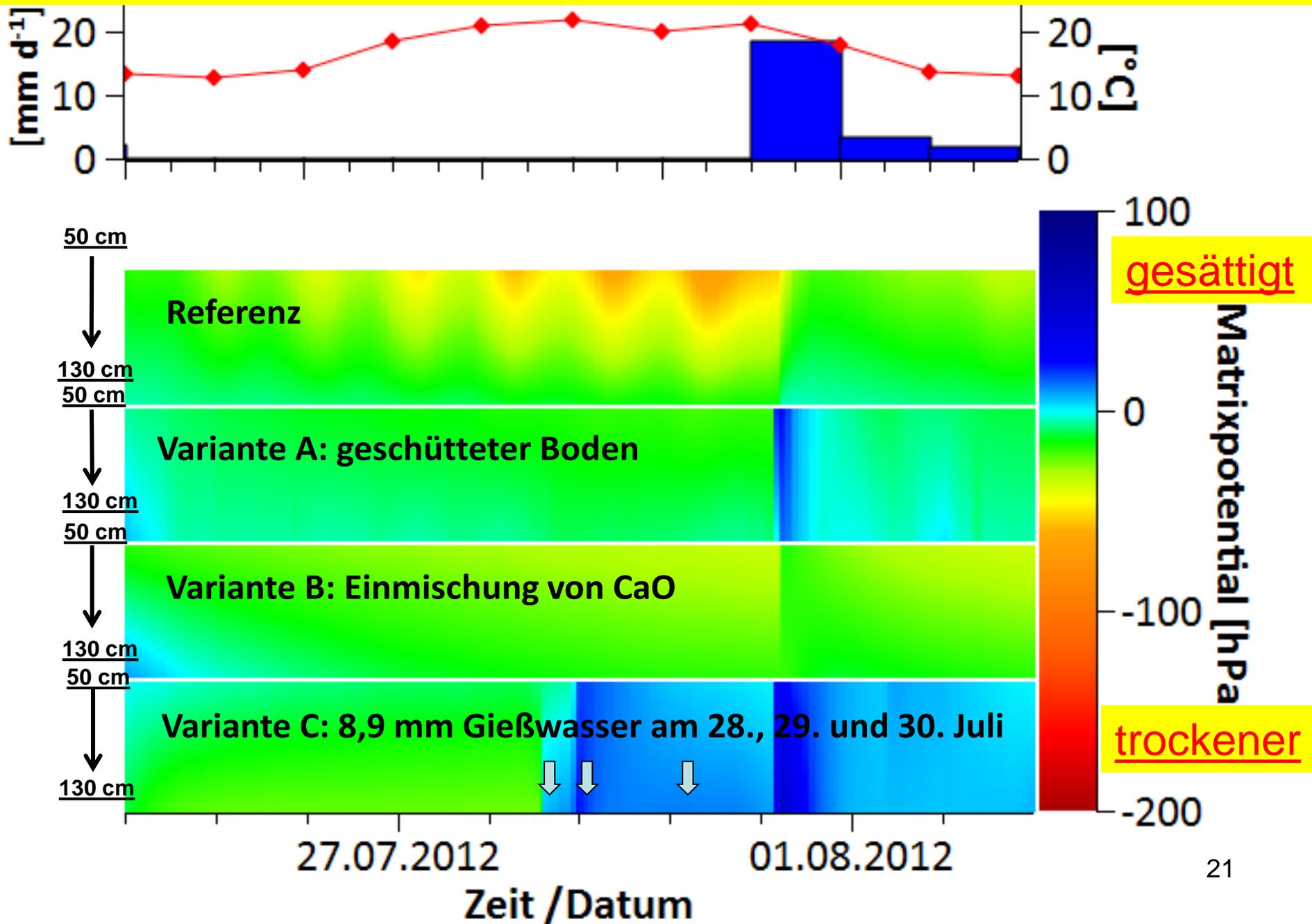
Zeitliche Änderung der Luftleitfähigkeit (k_l)

ungestört geschüttet
nach 60 Tagen nach 195 Tagen



**Fazit bei nassem Einbau:
Schnelle Setzung bis in den
Ausgangszustand?
abhängig von Substrat und Einbau?!**

Änderung der Wassersättigung mit der Zeit: Versuch Hohenschulen





- ✓ **Bodenstrukturbildung durch Quellung, Schrumpfung und biologische Aktivität ist für die Funktionsfähigkeit: Wasser-, Gas-, Wärmehaushalt von Friedhofsböden wesentlich.**
- ✓ **Strukturdynamik in wiederverfüllten Böden kann sehr ausgeprägt sein; sie entscheidet ganz wesentlich über die Verwesung. Trockener Einbau ist günstig. Nasse Bedingungen verzögern und/oder verhindern die Strukturbildung und damit die Verwesung. Sondermaßnahmen z.B. Einarbeitung von Branntkalk kann durch die Austrocknung die Rissbildung unterstützen.**
- ✓ **Selbst mäßige Gießwassergaben verstärken längerfristig die Zisternenbildung im Grabraum (Badewanneneffekte).**

1. Löschvorgang (Sofortreaktion, Wärmeentwicklung, Wasserverlust)
2. Gelstadium (Auslösung von Silikaten und Aluminaten aus Tonmineralen)
3. puzzolanische Reaktionen (Dauer 1-5 Jahre)
 - Auskristallisierung der CSH und CAH, Verkittung von Bodenpartikeln, Gefügebildung, Pseudosand
 - Erhöhung der mechanischen Stabilität → Boden wird weniger setzungsempfindlich
 - Stabilisierung des vorhandenen Porensystems

Aushub Variante A nach 195 Tagen



Aushub Variante B nach 195 Tagen









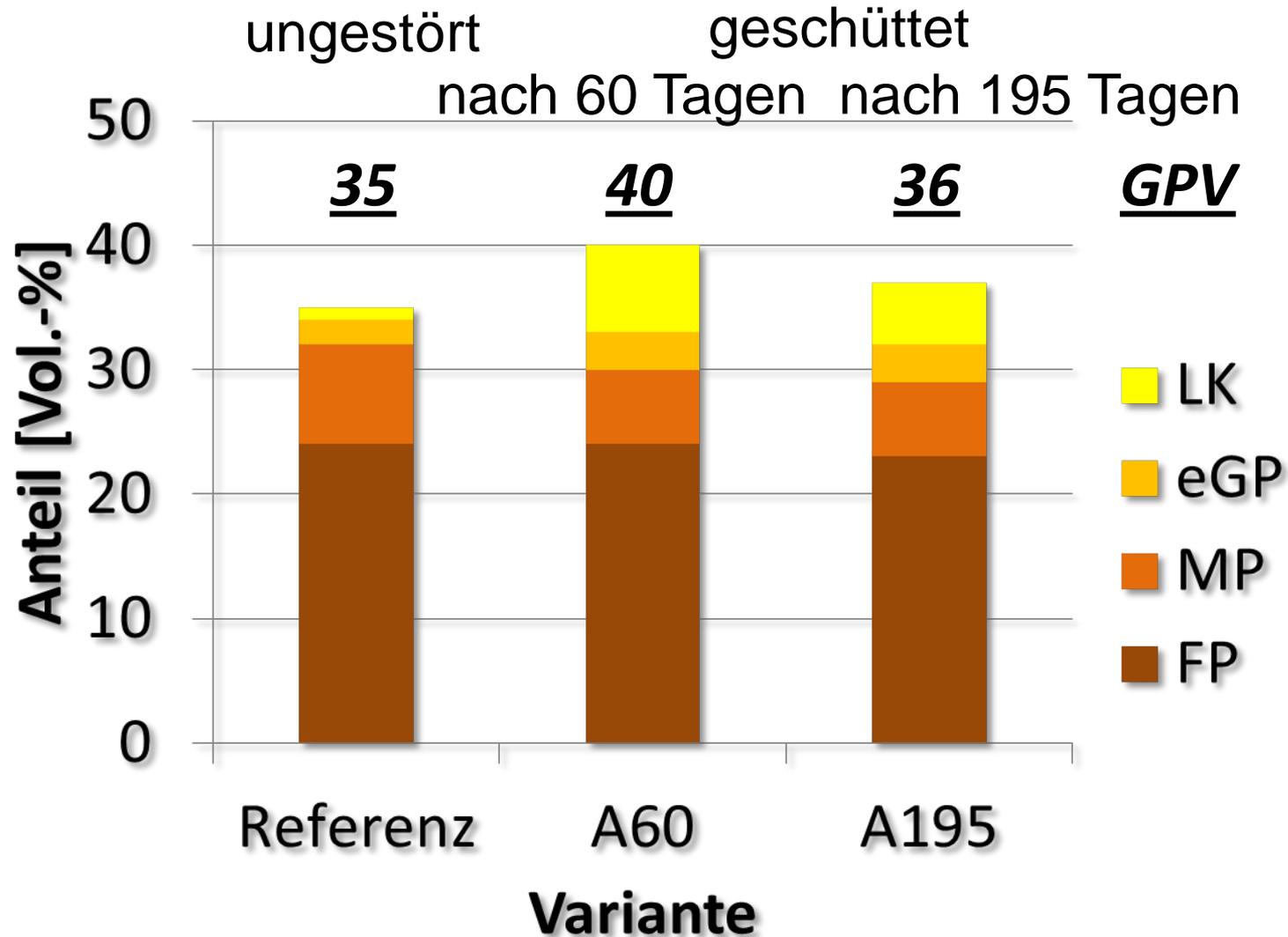


Feldversuch auf Ackerstandort



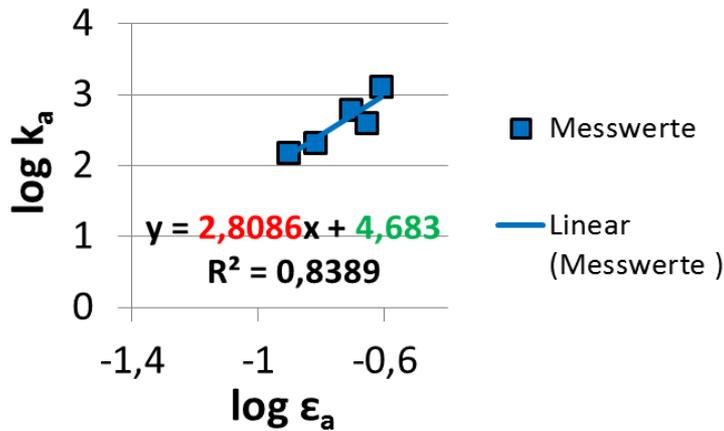


Porengrößenverteilung



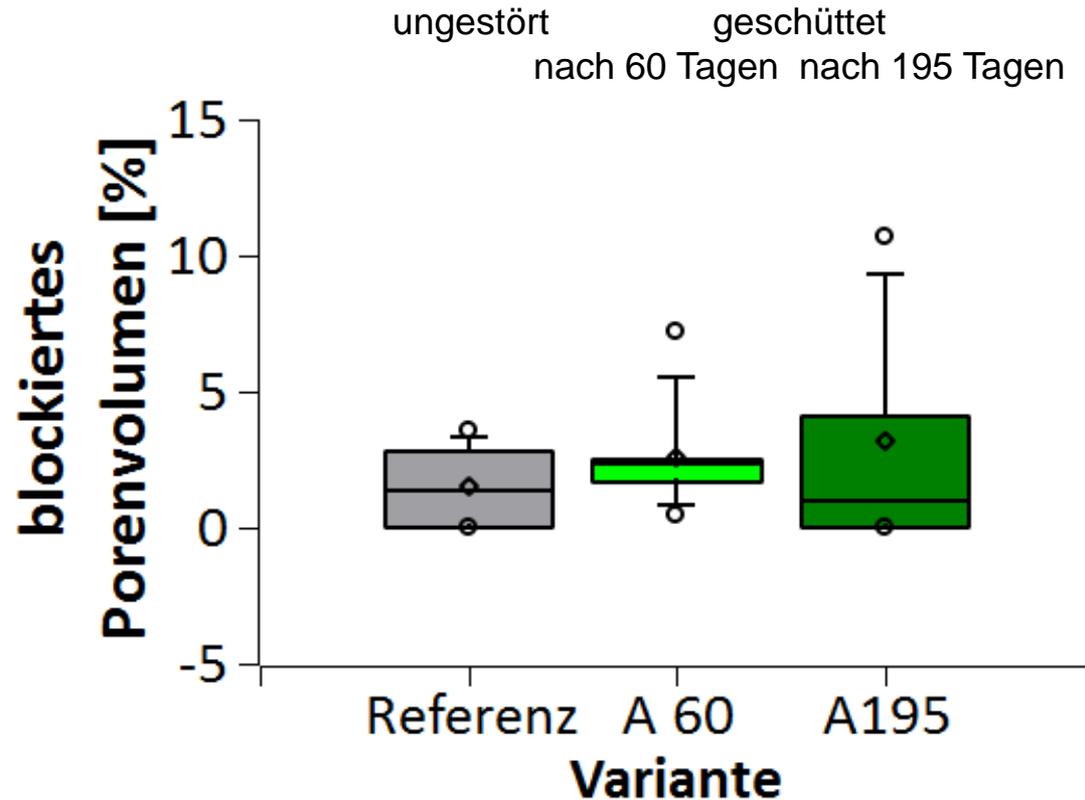


Blockiertes Porenvolumen



$$(\epsilon_B) = 10^{(-\log M)/N}$$

Verfahren nach Ball et al. (1988)





Beispiele aus der Vergangenheit

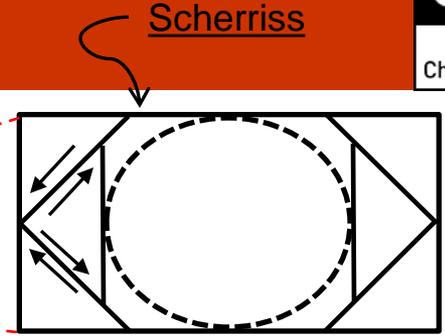
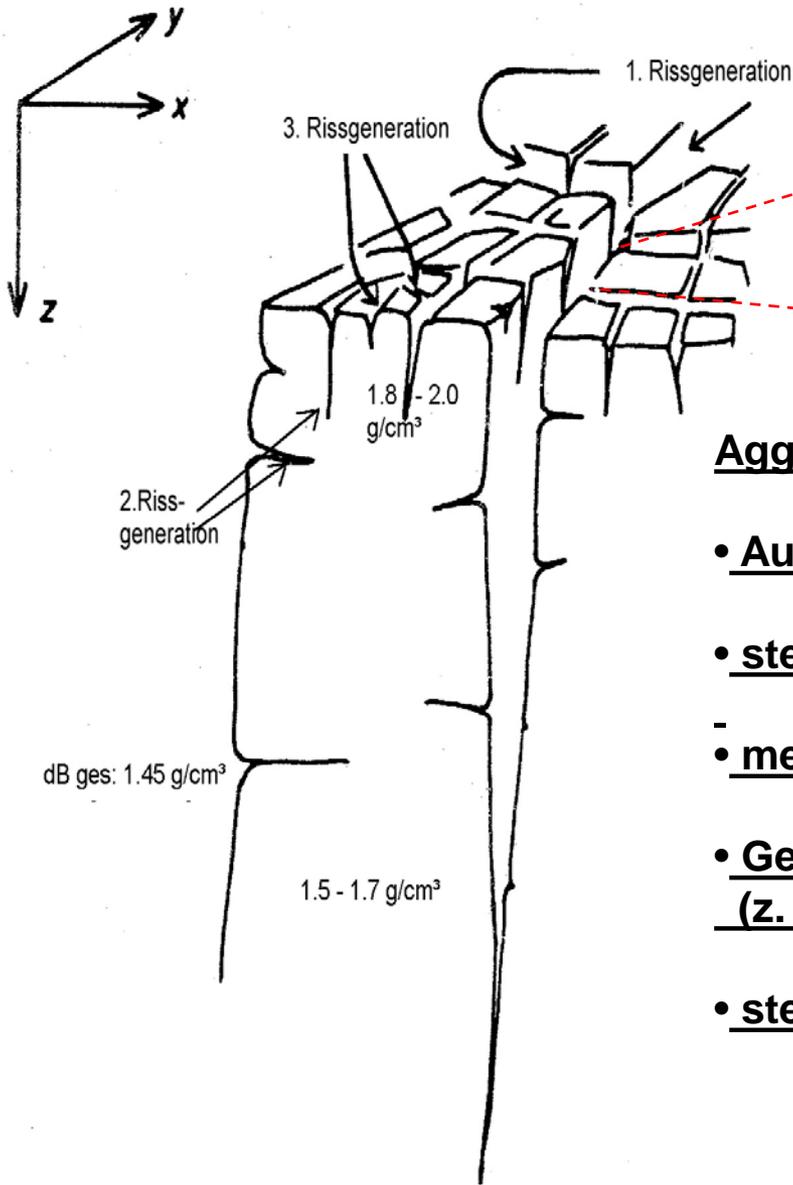
„Hydromorphe Erdgräber“



Hügelgrab SH (Hüsby)

Hügelgrab Dänemark
Quelle: Breuning-Madsen

Natürliche Gefügeentwicklung



Aggregation wird verstärkt durch:

- Austrocknungsintensität und Häufigkeit
- steigende Salzkonzentration in der Bodenlsg.
- mehrwertige Ionen in der Bodenlsg.
- Gehalt an quellfähigen Tonmineralen (z. B. Smectit, Vermiculit)
- steigenden Humusgehalt



Wasserretention

