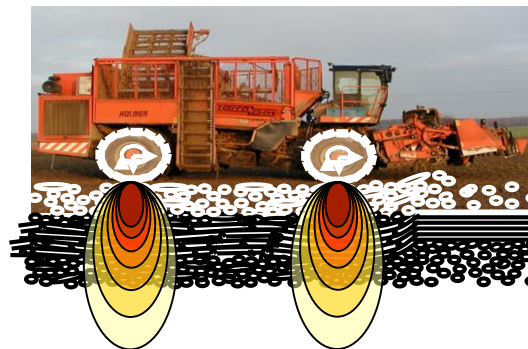


# Natürliche und anthropogene Verdichtungen in Böden Schleswig-Holsteins im Hinblick auf die nachhaltige Bewirtschaftung von Böden – welche Indizien weisen auf *schädliche* Bodenveränderungen -

R. Horn<sup>1</sup>, H. Fleige<sup>1</sup>, A. Mordhorst<sup>1</sup>,  
B. Burbaum<sup>2</sup>, E. Cordsen<sup>2</sup>, M. Filipinski<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>*Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, CAU Kiel*

<sup>2</sup>*Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume  
Schleswig-Holstein (LLUR)*



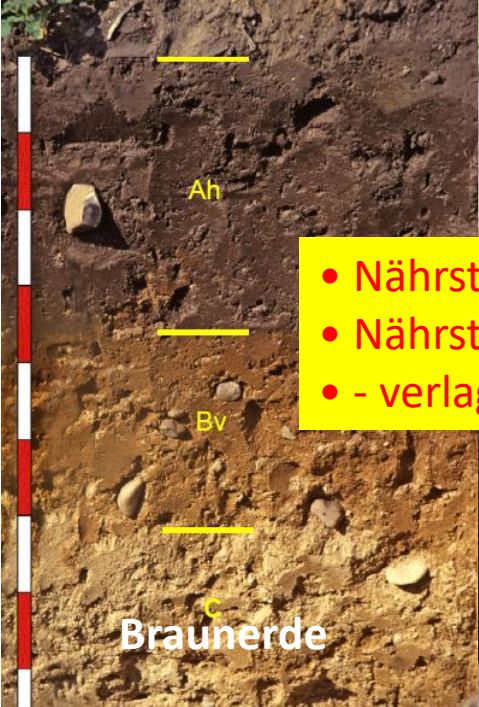


# Böden sind heterogen

- Nährstoffspeicherung
- Nährstoffverfügbarkeit
- -verlagerung

Feucht

Es gibt nicht einen Boden mit definierten Eigenschaften, sondern diese variieren deutlich!



Braunerde



Kalkm...



Auflage  
Sw  
Sd

Feucht



Parabraunerde



Redoxreaktionen

Feucht

Gley

Sauerstoffmangel

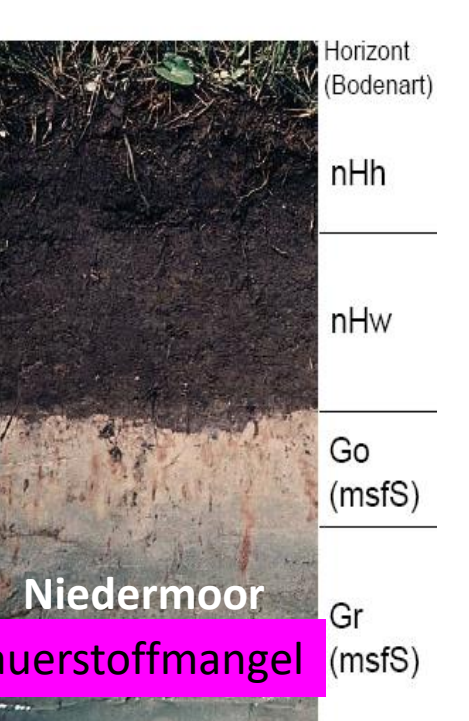


Trocken

Podsol



Kolluvisol

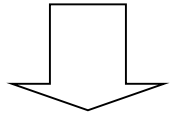


Sauerstoffmangel

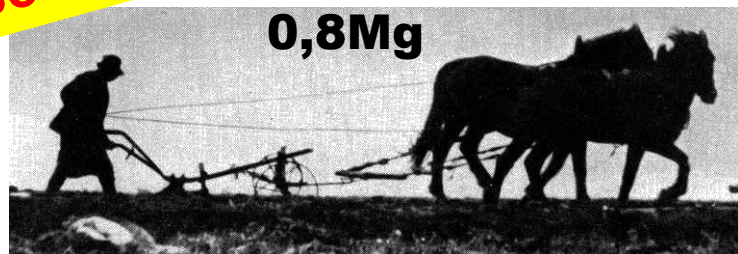
Horizont (Bodenart)  
nHh  
nHw  
Go (msfS)  
Gr (msfS)



Zunahme der  
Landflächen  
und der Maschinenmassen



Steigerung der Spannungseinträge  
und der Tiefenwirkung



0,8Mg

um 1900



3,5Mg

um 1960



>50Mg



10,5Mg

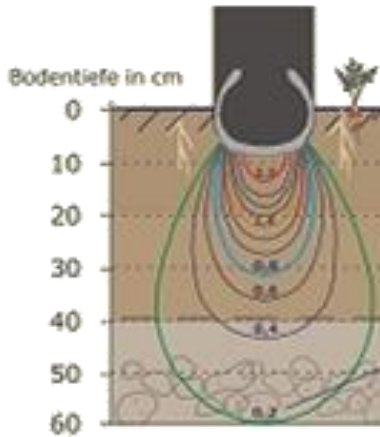
heute

Zukunft ?

**Nicht der Boden muss sich an die Maschinen anpassen, sondern diese an die Bodeneigenschaften!**

# Physikalische Bodendegradation

## Böden haben ein Gedächtnis



Hoher Spannungseintrag  
bis in den Unterboden

**Änderung der  
physikalischen  
Bodenfunktionen**



**Auswirkung auf  
ökologische  
Kenngrößen**

- Zerstörung der Bodenstruktur



- Infiltration, Hochwasser
- Belüftung
- Wasserhaltekraft



- Wurzelwachstum
- Wasser-, Gas- und Nährstoffaufnahme
- Mikrobielle Aktivität

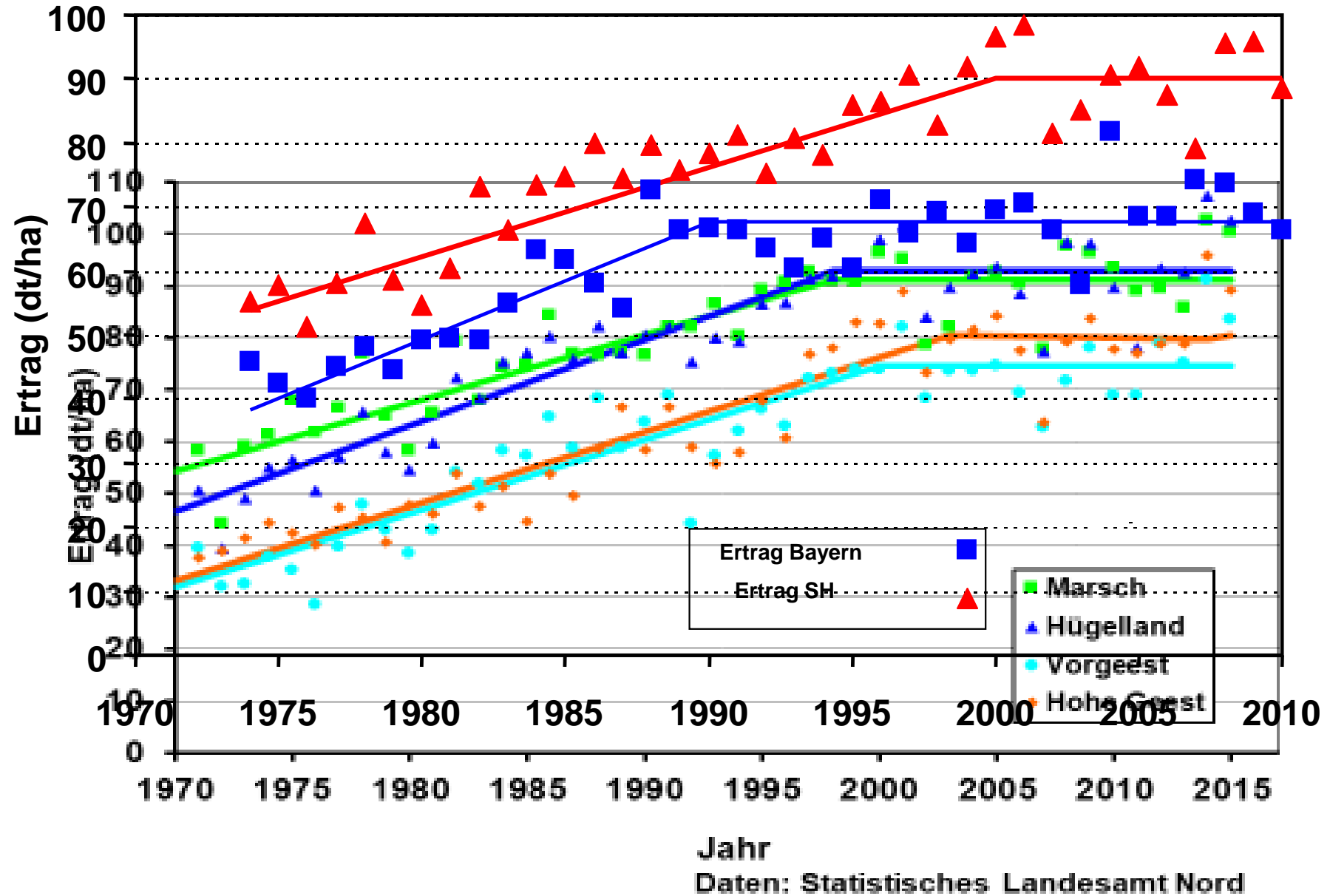


- Erosion/Hangrutschung
- Nährstoffverlust
- Wasserverunreinigung



- Ertragsunsicherheit
- Windwurfgefährdung





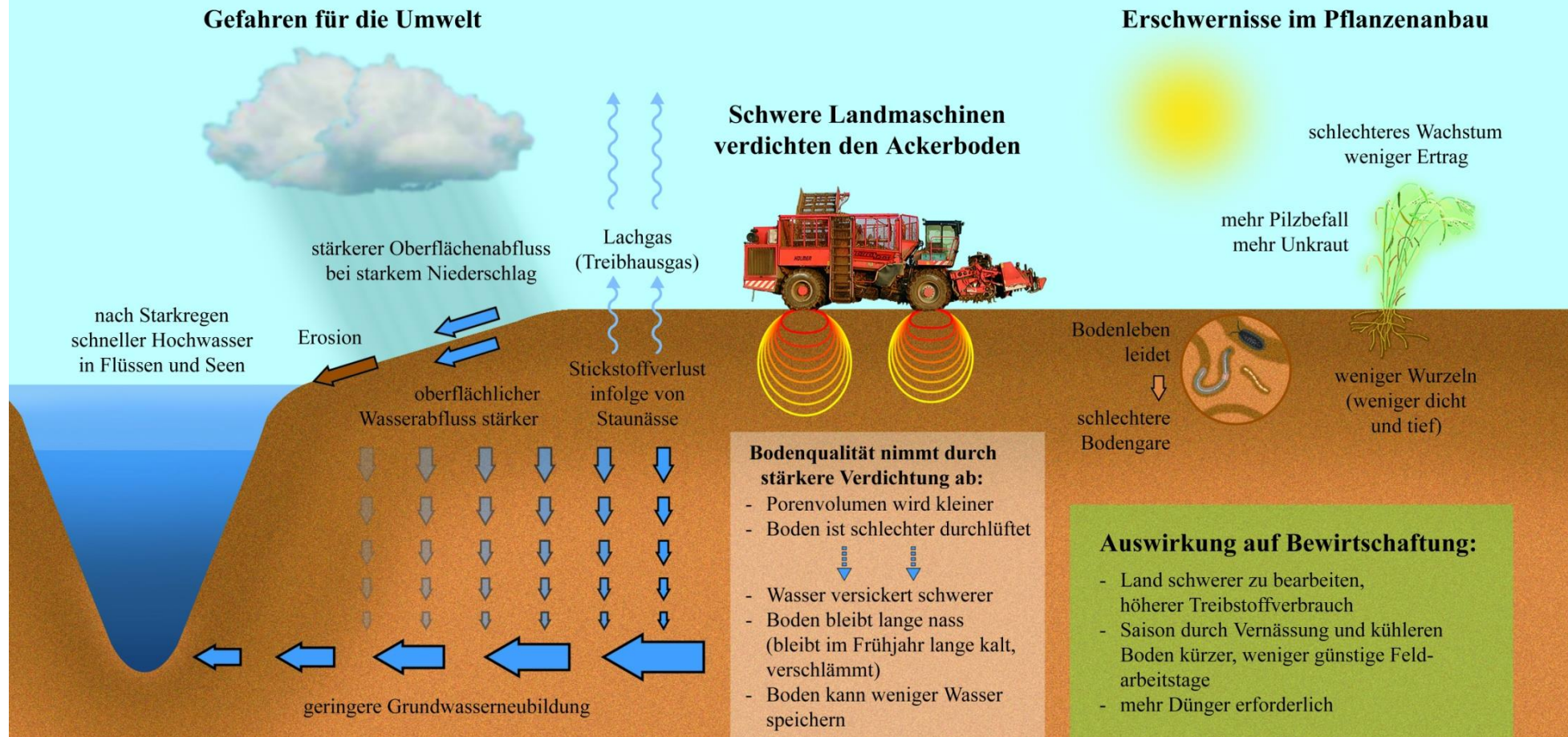
### Entwicklung der Winterweizenerträge in den Naturräumen Schleswig-Holsteins

(Auswertung Dr. K.Sieling, unveröffentlicht, mit freundlicher Genehmigung übernommen)

# Es ist bekannt, was bei einer weiteren Degradation erfolgt:

## Möglichkeiten der Prognose der Strukturstabilität und der Bodenfunktionen - Wissenschaftliche und gesetzlich definierte Ansätze

### Schäden durch zunehmende Bodenverdichtung



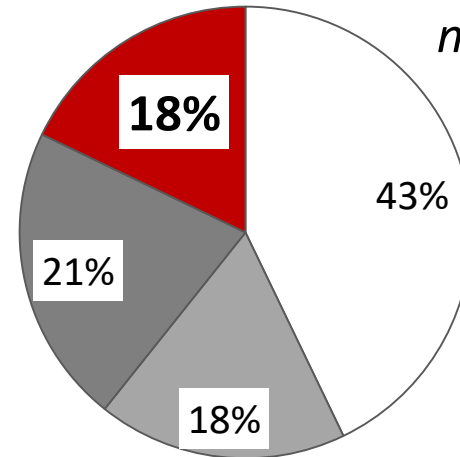


# Verdichtungsstatus SS-LL

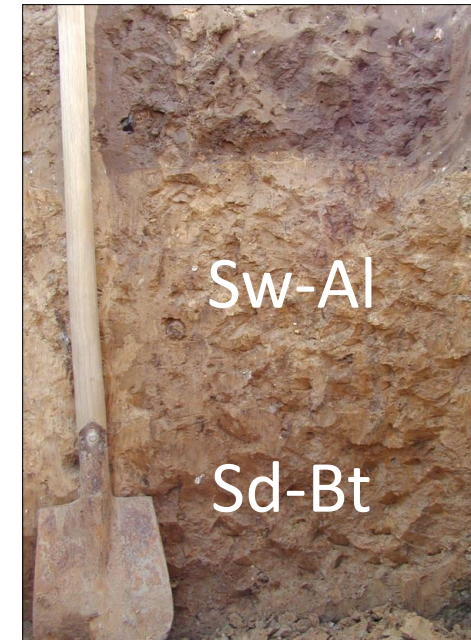
## Bewertung Verdichtungsstatus

I	kf > 10 cm/d LK > 5 Vol.%
II	kf > 10 cm/d LK < 5 Vol.%
III	kf < 10 cm/d LK > 5 Vol.%
IV	kf < 10 cm/d LK < 5 Vol.%

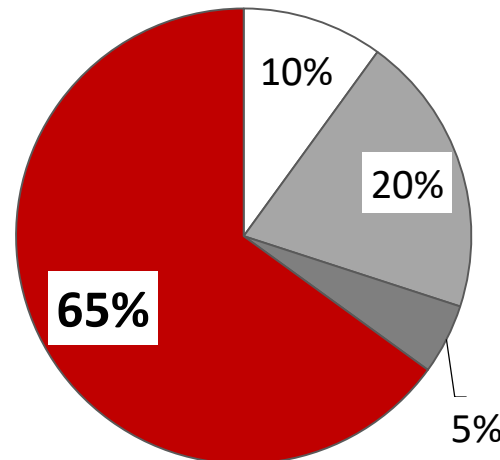
kf + LK



Sw-Al Horizonte  
n = 28



kf + LK



Sd-Bt Horizonte  
n = 40

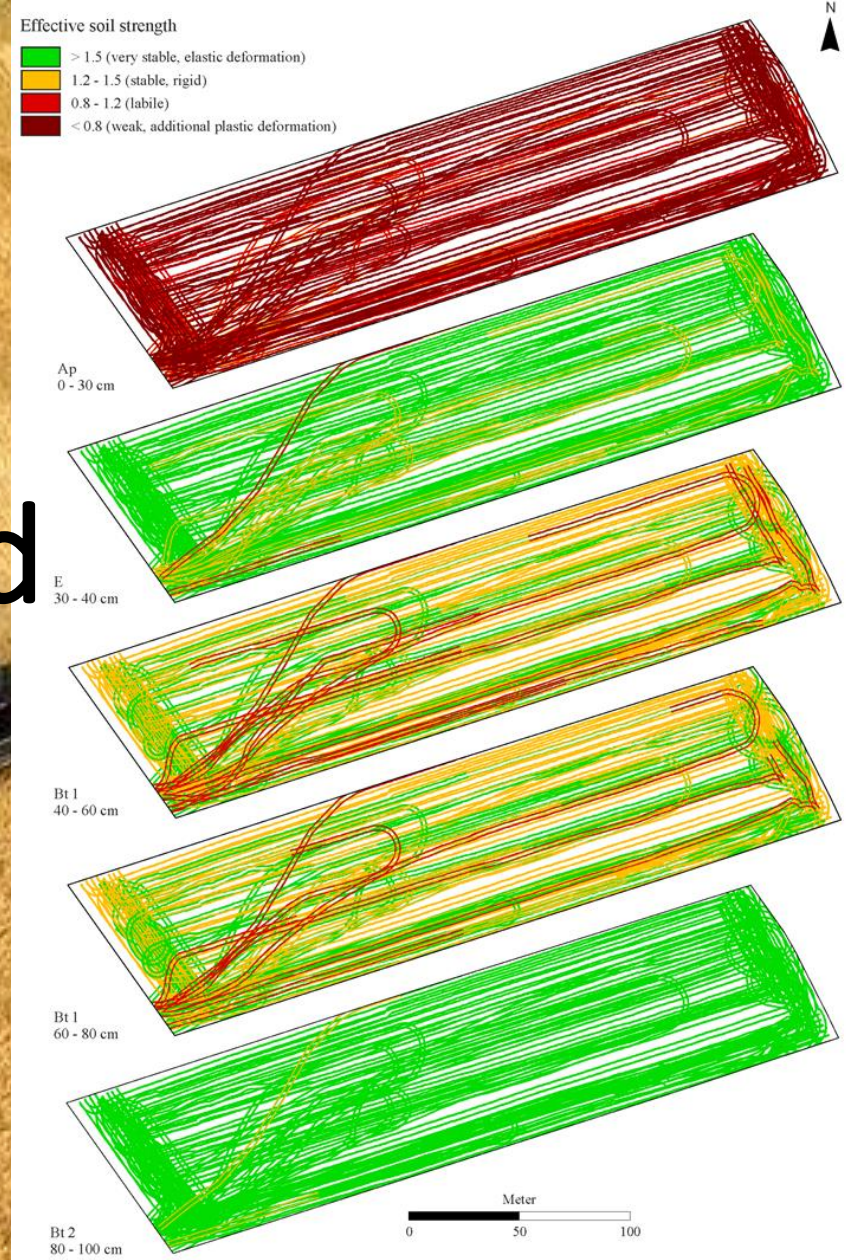
*Potenziell schädliche Unterbodenverdichtung von repräsentativen Bodentypen in Schleswig-Holstein verifiziert über den relativen Anteil von Bodenproben in **Klasse IV** ( $K_f < 10 \text{ cm d}^{-1}$ ,  $AC < 5 \text{ Vol.-%}$  nach Horn und Fleige, 2009) und der daraus abgeleitete relative anthropogene Verdichtungsanteil. Die Berechnung beruht auf Daten von 1980- 2000 des LLUR.*

Bodentyp	Horizont	Anzahl	Potenziell schädliche Unterbodenver- dichtung (% in Klasse IV)	Anthropogener Anteil schädlicher Unterbodenverdichtung (%)		
				LK	$K_f$	LK+ $K_f$ in Klasse IV
Dwogmarsch	Sw	34	50	10	21	10
Pseudogley	Sw	74	39	25	38	8
Parabraunerde	Al	19	21	46	38	8
Pseudogley- Parabraunerde	Sw-Al	28	18	25	34	6
Kolluvisol	M	38	18		-	
(Gley-)Podsol	Ae	8	13		-	
Braunerde	Bv	109	4		-	

*(aus: Mordhorst et al. 2020, eingereicht)*



# Änderung der Bodenstabilität und Bodenfunktionen als Folge der Befahrung



Anlage

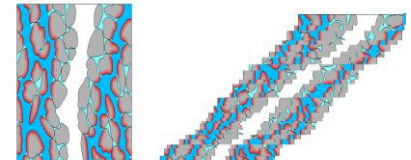
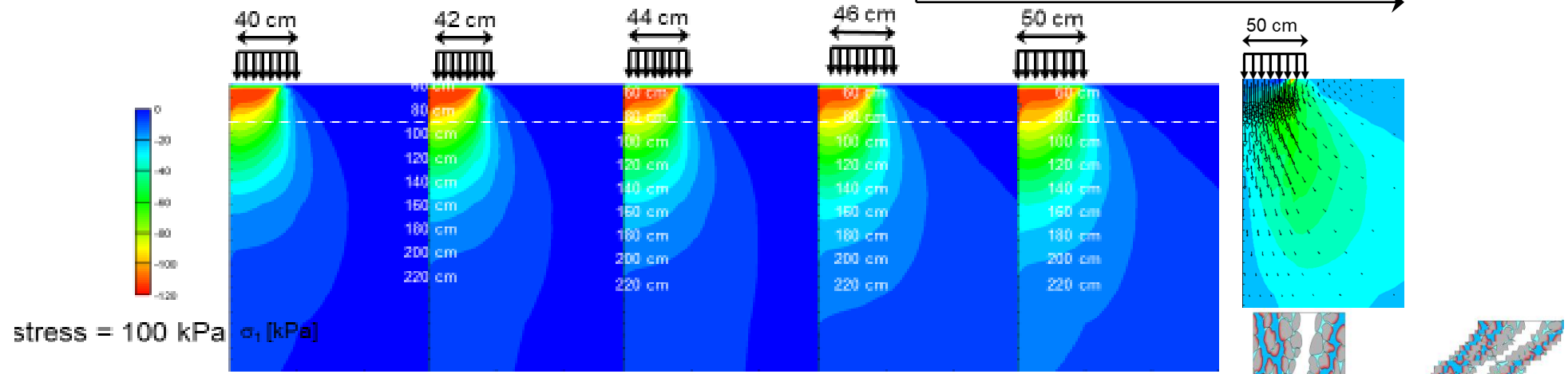
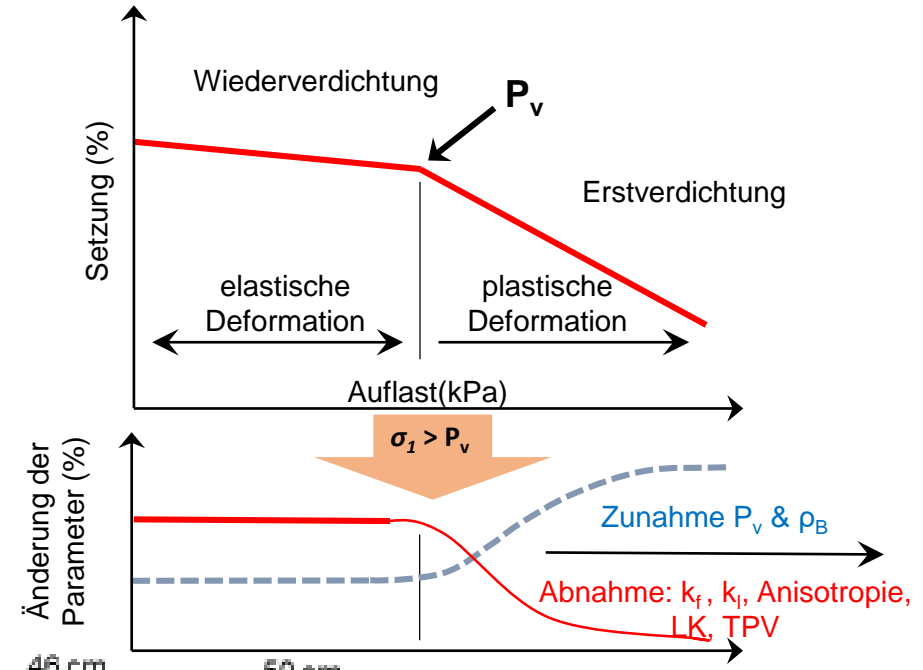
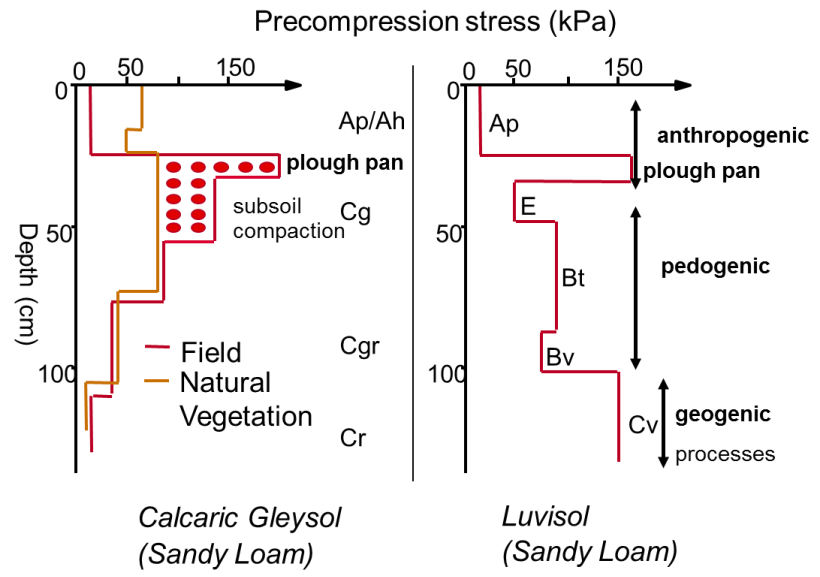
Erntespuren und prognostizierte Bodendeformationen durch eine Maisernte bis in 100 cm Tiefe

FOO: S



# Bodendeformation durch mechanische hydraulische ,physicochemische Prozesse kann quantifiziert werden über...

## Eigenfestigkeit des Bodens sowie Folgen der Bodendeformation





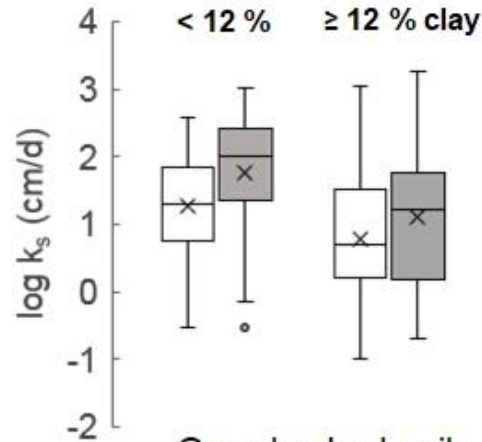
# Mittlere Eigenfestigkeit (kPa) typischer Böden Schleswig Holsteins und deren Verdichtungsempfindlichkeit im Jahresverlauf

Boden-Landschaft	Einige Bodentypen	Bodenarten	Mittlere Unterbodenstabilität (kPa)	Verdichtungsempfindlichkeit des Unterbodens (> 40cm)	Feuchtigkeitseffekte
Marsch	Kalkmarsch, Kleimarsch	U; T	30 - 60	sehr hoch	sehr variabel
Geest	Podsol, Gley	S	50 - 100	mittel – (hoch)	PP: trocken, GG feucht - nass
Östliches Hügelland	Parabraunerde, Braunerde, Pseudogley	S; L	40 - 85	hoch – (mittel)	LL: feucht BB: feucht – trocken SS: feucht - nass
Moore	Hoch-; Niedermoor	-	< 30	extrem hoch	nass

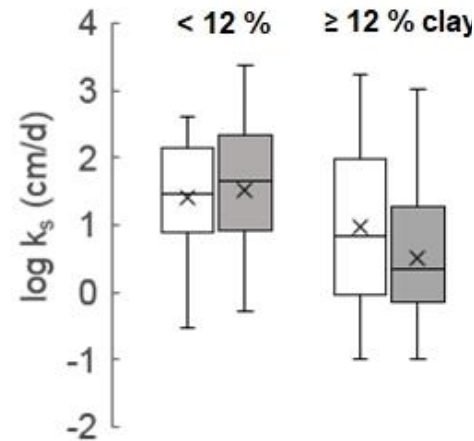
# Einfluß der Landnutzung auf die Tensorfunktionen der gesättigten Wasserleitfähigkeit in Schleswig Holstein

Anlage

Grassland topsoils



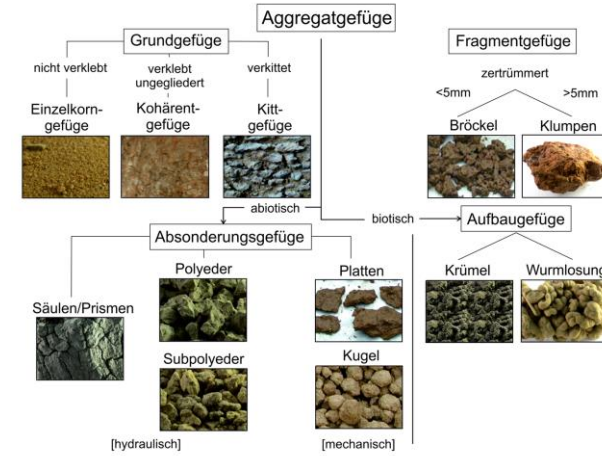
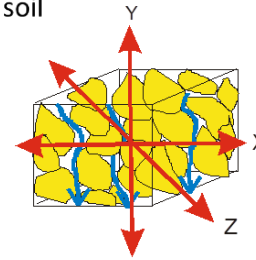
Grassland subsoils



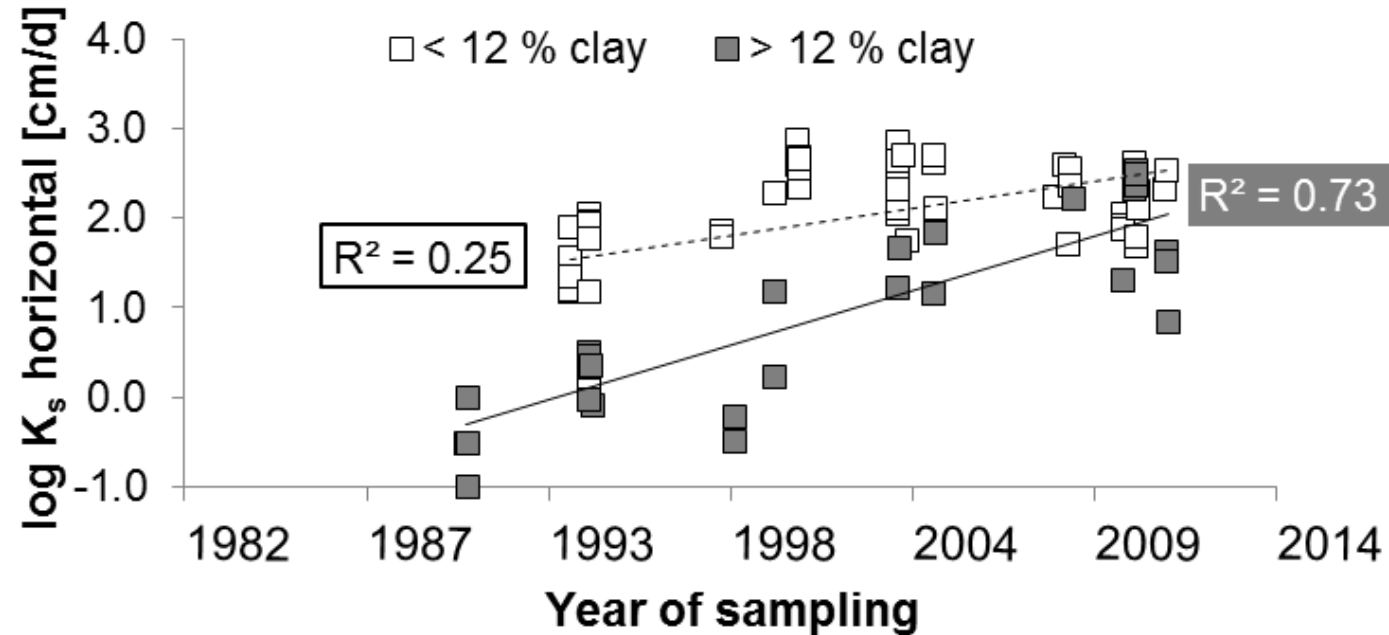
n=574 profiles

□ vertical  
■ horizontal

Anisotropic soil  
 $K_x \neq K_y \neq K_z$

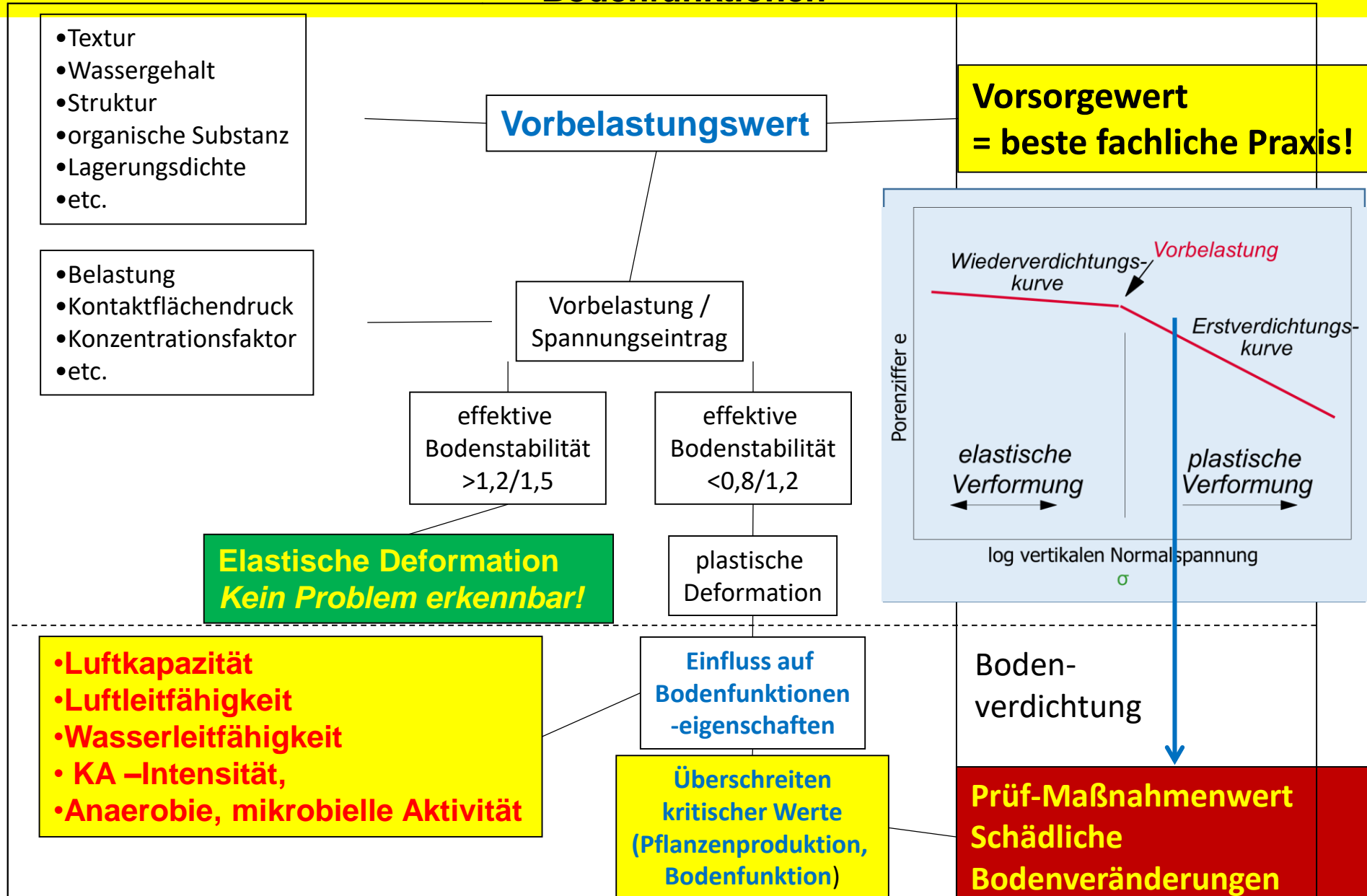


Arable subsoils ≤ 60 cm depth  
Weichselian glacial area

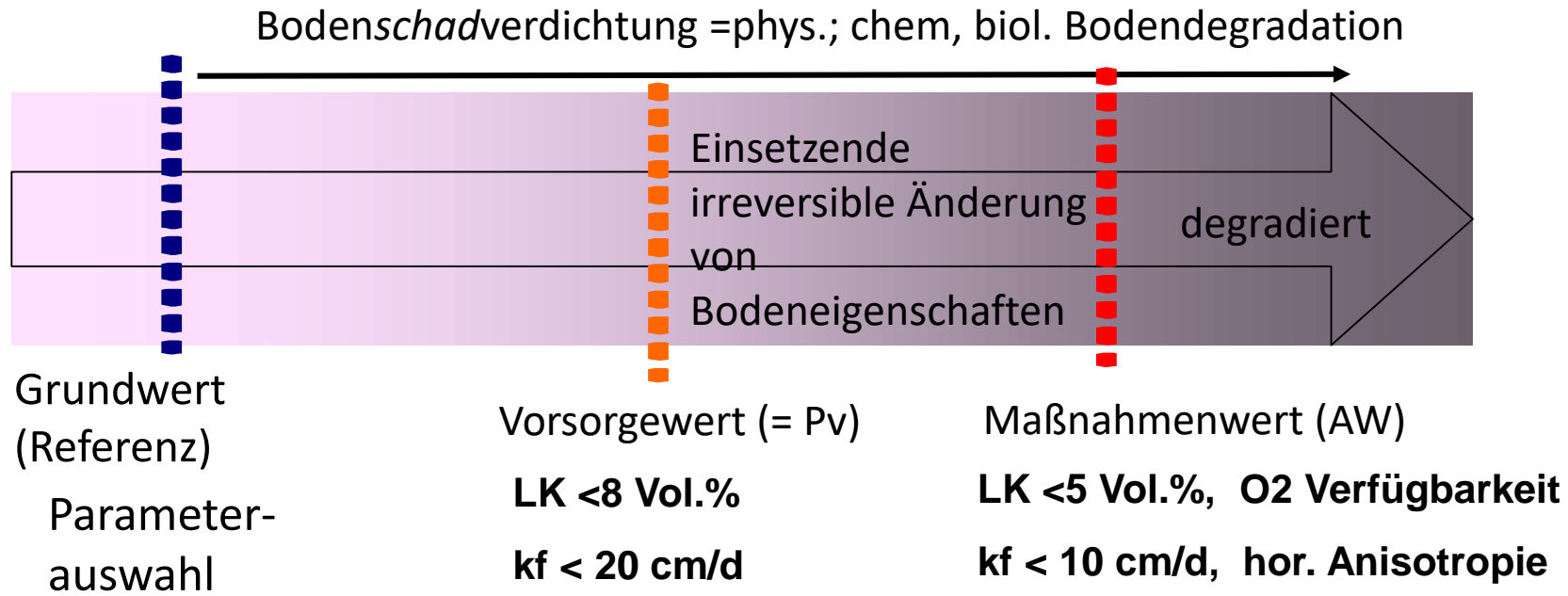




# Das Vorbelastungskonzept dient der Quantifizierung der irreversiblen Verdichtungsgefahr im Unterboden anhand der Änderungen von Bodenfunktionen



# Bestimmung von Boden(schad)verdichtungen anhand von Wasserleitfähigkeit und Lagerungsdichte in SH (basierend auf den Definitionen im BBodSchGes 1998)



Unproblematisch:  
z.B. Braunerde  
aus  
Geschiebesand

Parabraunerde aus  
Geschiebelehm Al,  
(Bt), Cv,

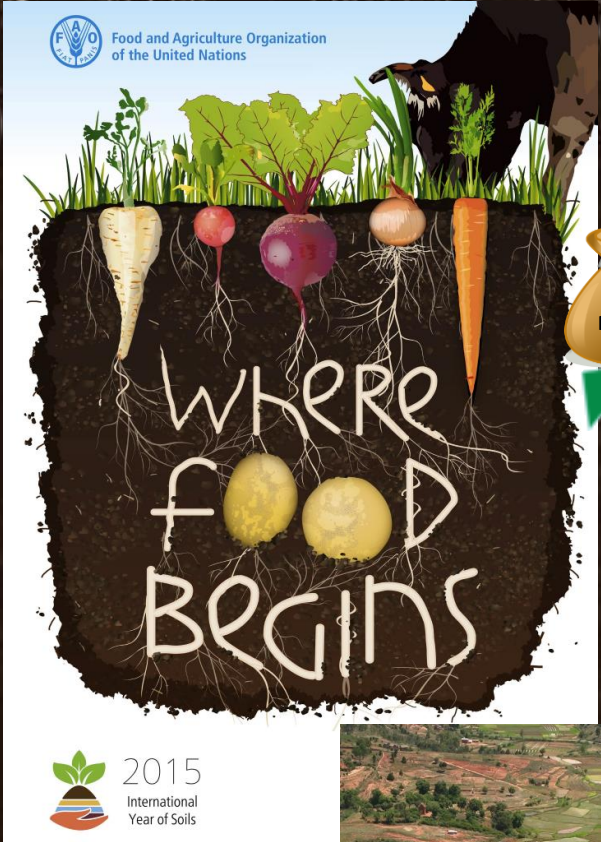
Problematische Böden: z.B. Kolluvisole,  
Pseudogleye ,Gleye, Pseudogley –  
Parabraunerde aus Geschiebemergel  
und –lehm

Grundwert abh. von: Ausgangsgestein, Textur, Gefügeentwicklung, Lagerungsdichte, Humusgehalt, Bodenbewirtschaftung etc.



# Zusammenfassung

- **Bodendegradation durch mechanische Deformation führt zu langanhaltenden und irreversiblen Verlusten an Standortpotenzialen und erhöhen die Gefahr der verminderten Durchwurzelbarkeit, erhöhtem lateralen Wasser- Gastransport,**
  - Böden haben ein Gedächtnis;
- **Böden haben je nach Entstehung und vorherige Landnutzung nur eine begrenzte Eigenfestigkeit (= Vorbelastung)**
  - Verbesserter Humushaushalt und biologische Aktivität fördern die Bodenstabilität und gewährleisten eine größere Ertragssicherheit
- **Standortangepasste Bewirtschaftung verhindert negative Effekte**
  - Konservierende Bewirtschaftung verbessert die Bodenstabilität bis zu einem gewissen Maße.
  - Erosion ist häufig verursacht durch Bodendeformation
- **Landtechnische Optimierung von Maschineneinheiten und Anpassung an die Bodeneigenschaften ist erforderlich**
- **Bodennutzung muss beschränkt werden auf jeweils vorliegende Eigenschaften d.h. Leitfunktionen, denn**
- **Großflächige und tiefreichende Bodenregenerationen dauern mehrere Jahrzehnte - Jahrhunderte!**

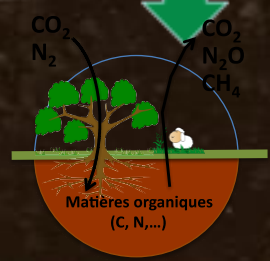


©CChenu

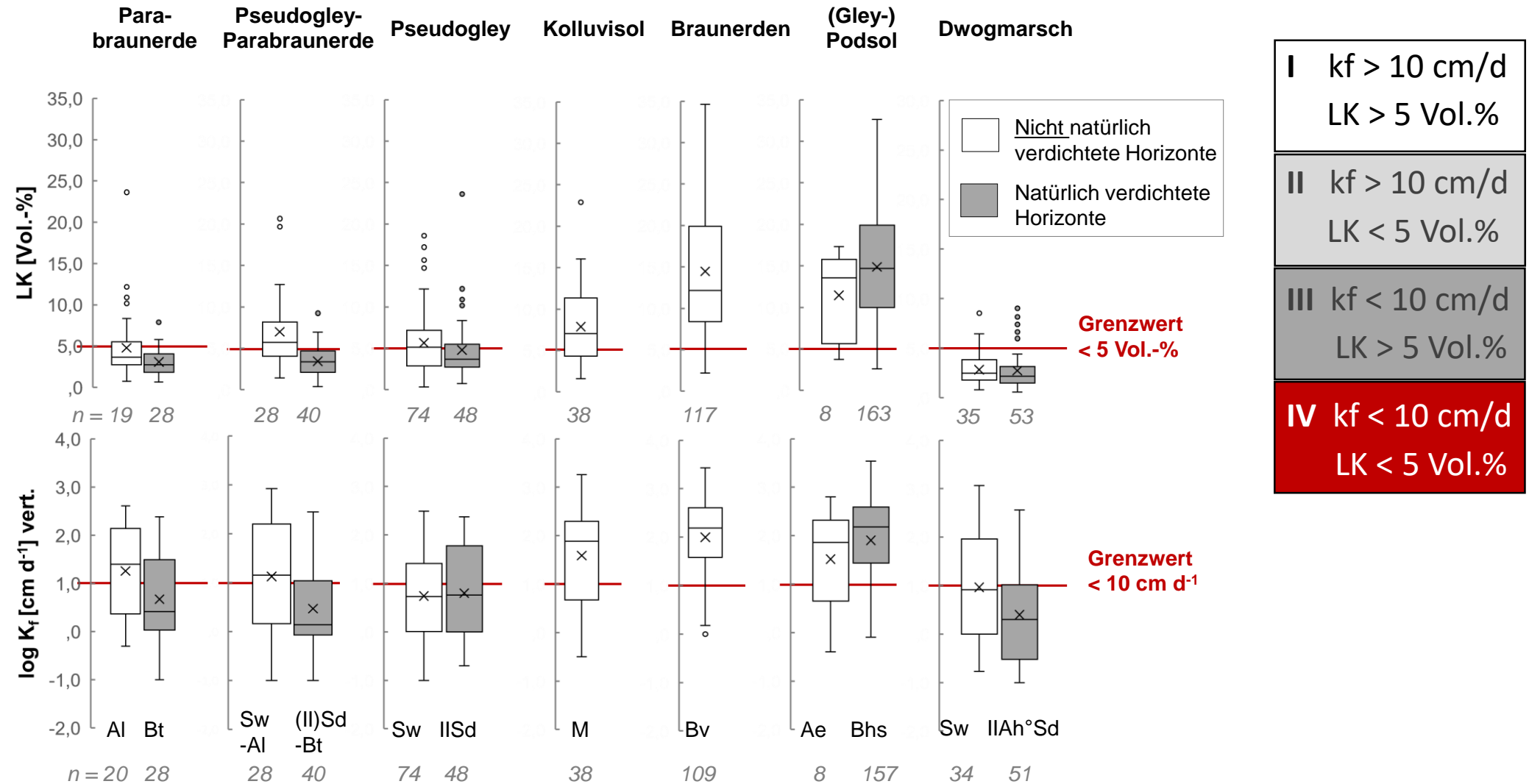


©EU Atlas Soil

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit







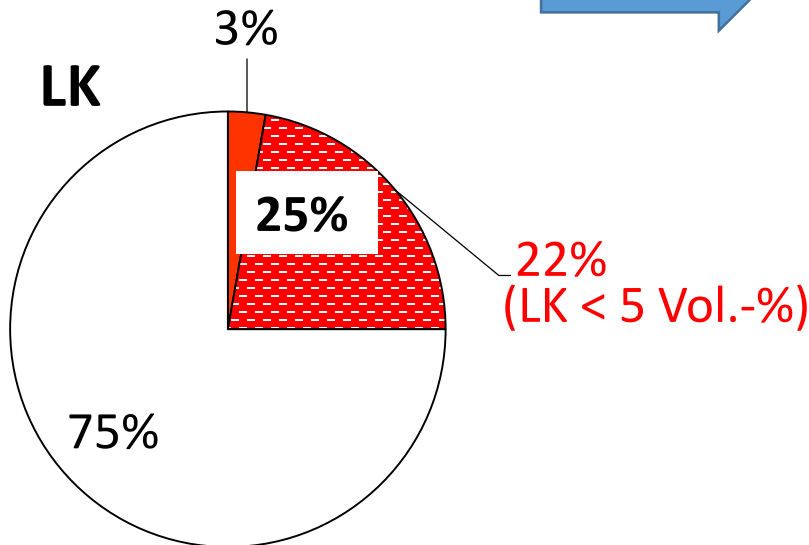
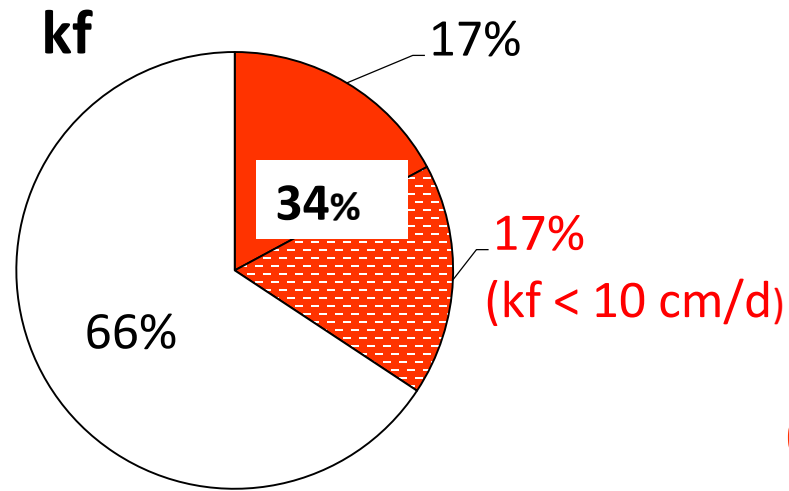
Einfluß der geogenen und anthropogenen Bodenverdichtung für die Luftkapazität LK und gesättigten Wasserleitfähigkeit K<sub>f</sub> – aus Mordhorst et al. 2020, eingereicht, Datenbasis 1980-2000 des LLUR

# Anthropogener Anteil SS-LL

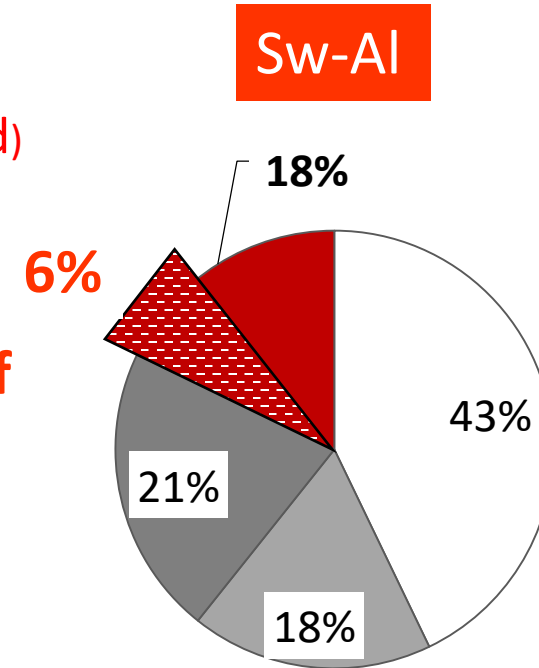
**potenzielle  
Schadverdichtung  
(anthropogen)**

kf, LK

Sw-AI ≤ Sd-Bt



**LK und kf**



## Beurteilung des Bodenverdichtungsrisikos im Unterboden (30-60cm) bei einem Kontaktflächendruck (200 kPa) & Radius (15cm)

Ratio $P_v / \sigma$	Classification
>1.5	very stable, elastic deformation
1.5 - 1.2	stable
1.2 - 0.8	weak
< 0.8	unstable, plastic deformation

DVWK (booklet 234), 1995

### Böden auf „Gut Ritzerau“ und ihre Beurteilung bzgl. Belastbarkeit

residual stress at a depth of 30 cm	40 kPa		60 kPa	
	Quotient	Evaluation	Quotient	Evaluation
Rendzina	1.5	stable	1	weak
Cambisol	2.3	very stable	1.5	stable
Cambisol (g)	2.3	very stable	1.5	stable
Cambisol (s)	1.5	stable	1	weak
Luvisol	2.3	very stable	1.5	stable
Luvisol (s)	2.3	very stable	1.5	stable
Gleysol	1.5	stable	1 - 0.5	weak to unstable
Anthrosol (s, g)	1.5	stable	1	weak
Histosol	< 0.8	unstable, plastic deformation	< 0.8	unstable, plastic deformation

s = with stagnic properties

g = with gleyic properties

soil texture: loamy sand/sandy loam, sand



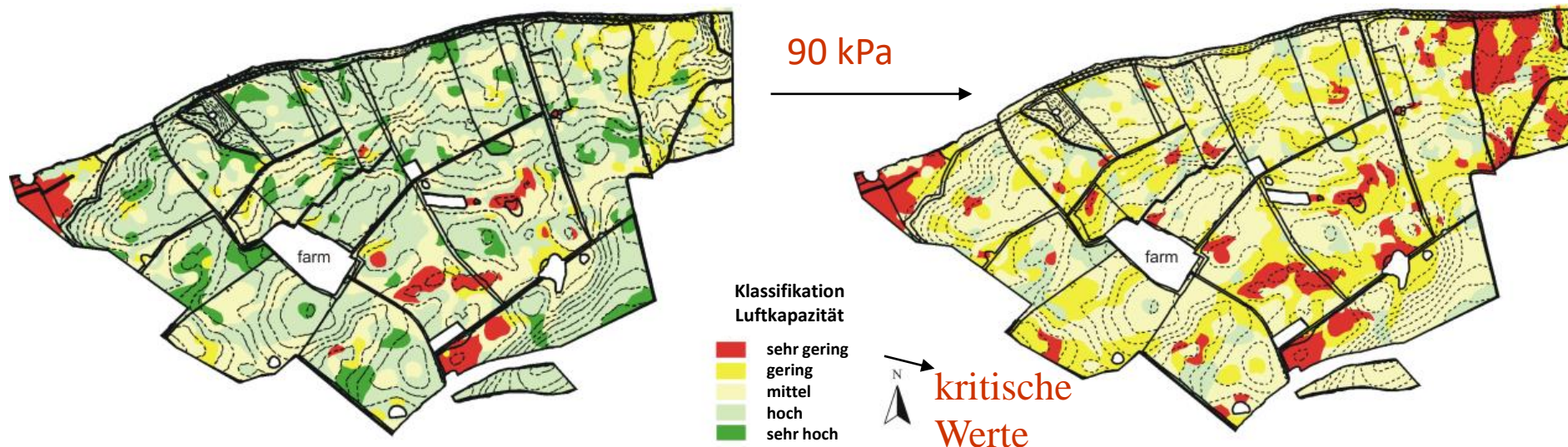
# Kritischer Grenzwert: Luftkapazität

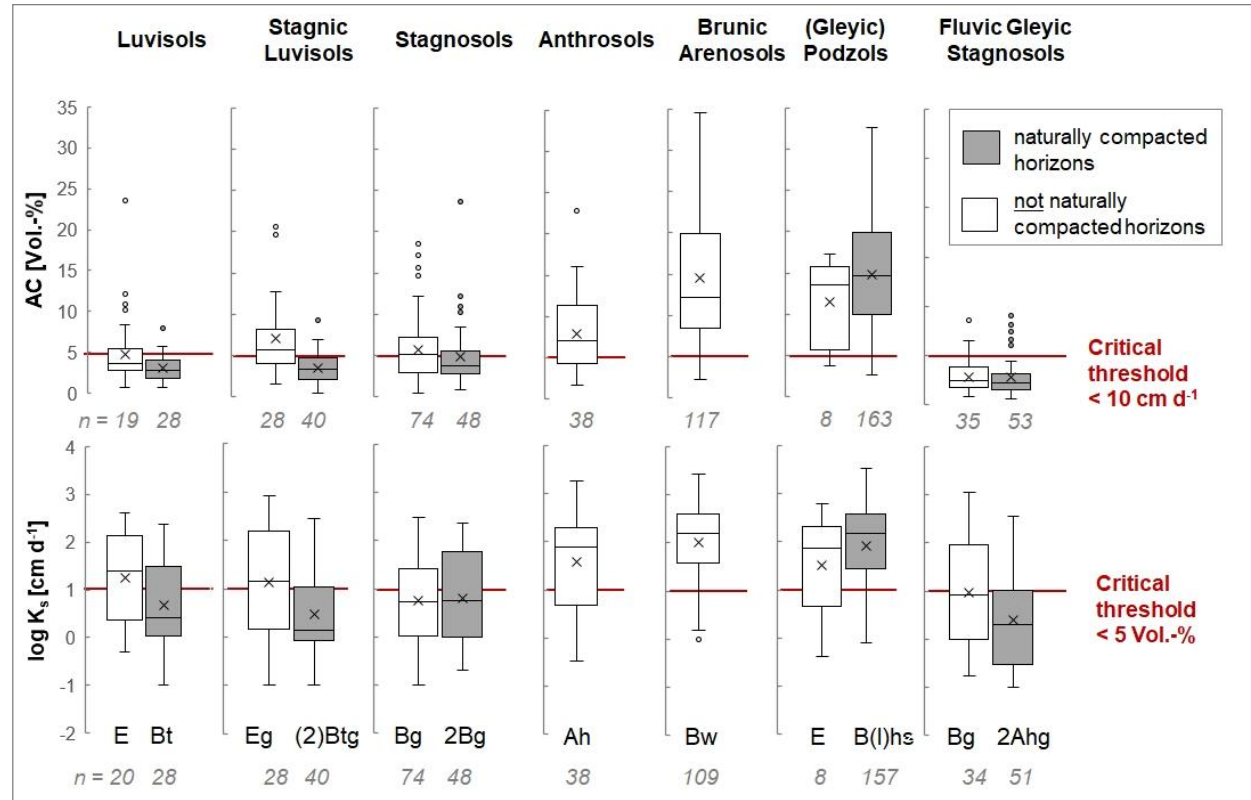
Maßstab Hofkartenniveau, Unterboden: 40 cm, pF 1.8

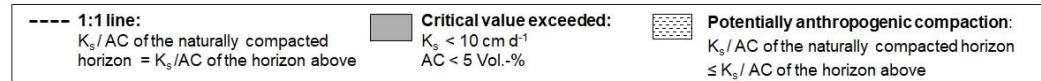
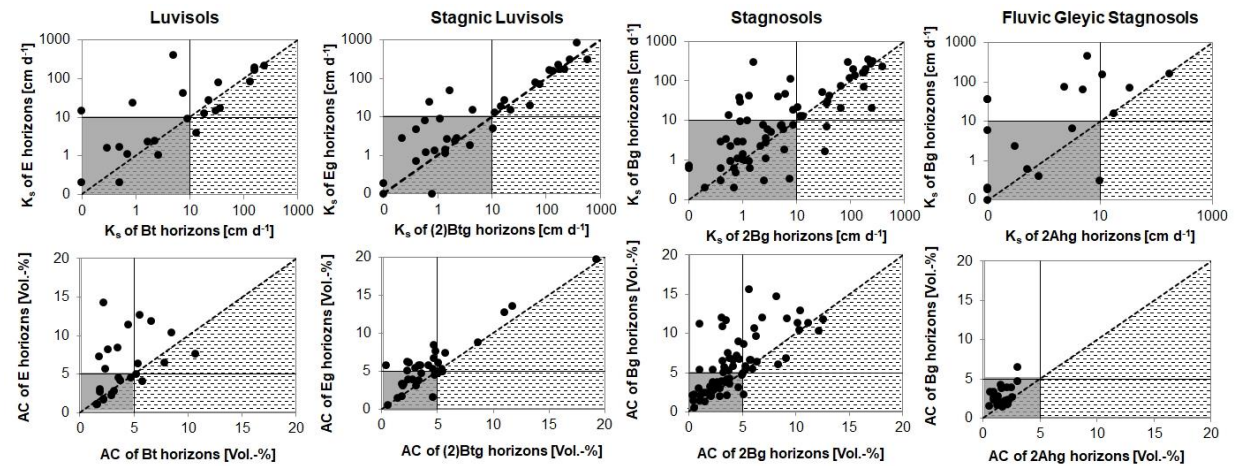
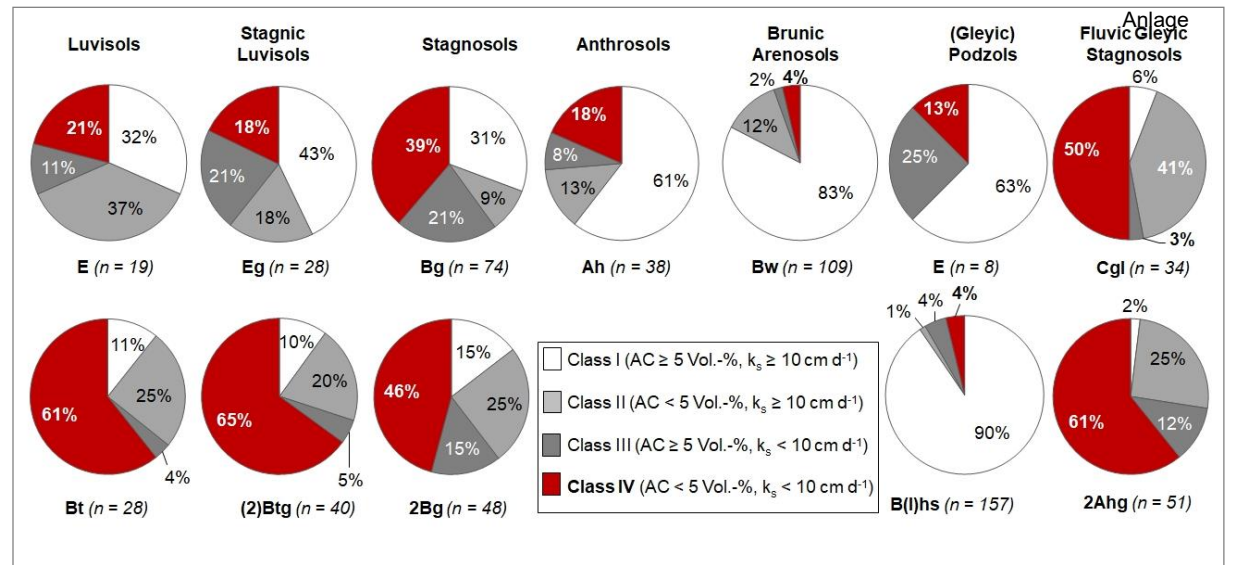
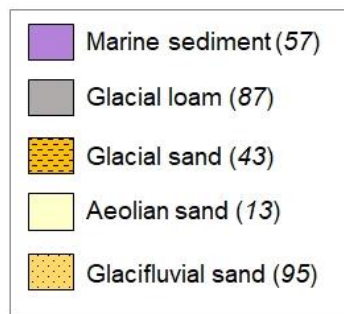
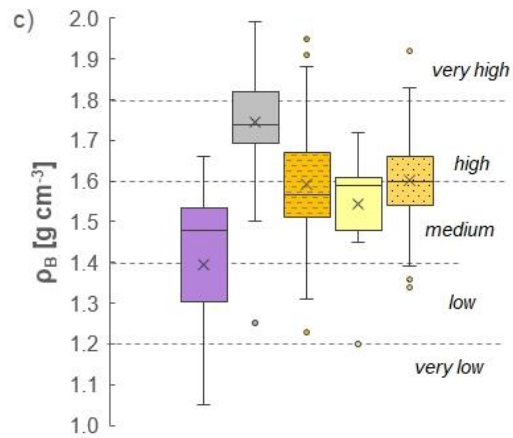
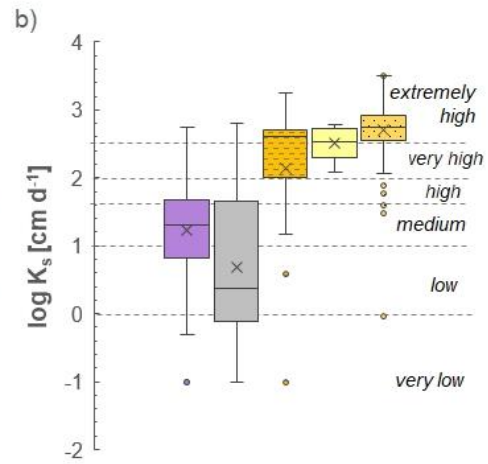
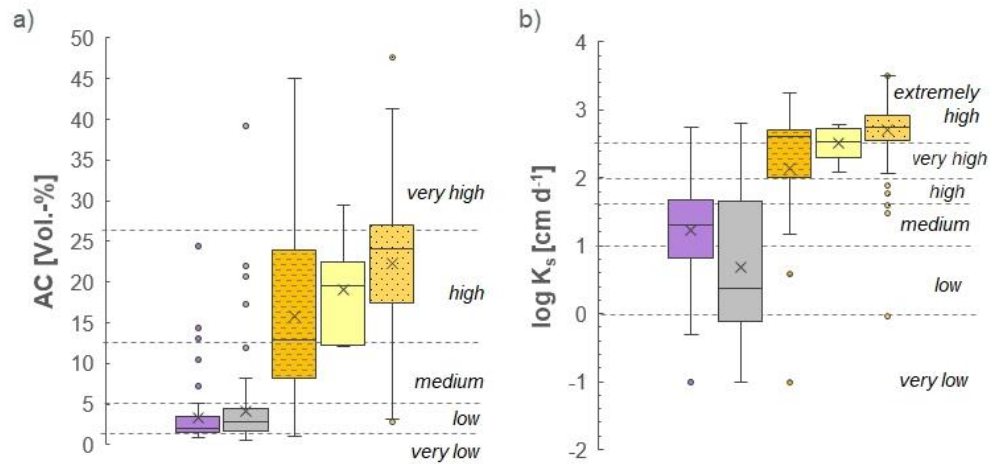
Spannungseintrag: 90 kPa

modellierte Veränderungen der *Luftkapazität* (unter Berücksichtigung des Sauerstoffangebotes der hydromorphen Böden) im Unterboden (40cm) mit einem angenommenen Spannungseintrag von 90 kPa (rechts) im Vergleich zum Ausgangszustand (links).

*Klassifikation (Vol.-%): sehr gering: <2, gering: 2-<5, mittel: 5-<13, hoch: >13*









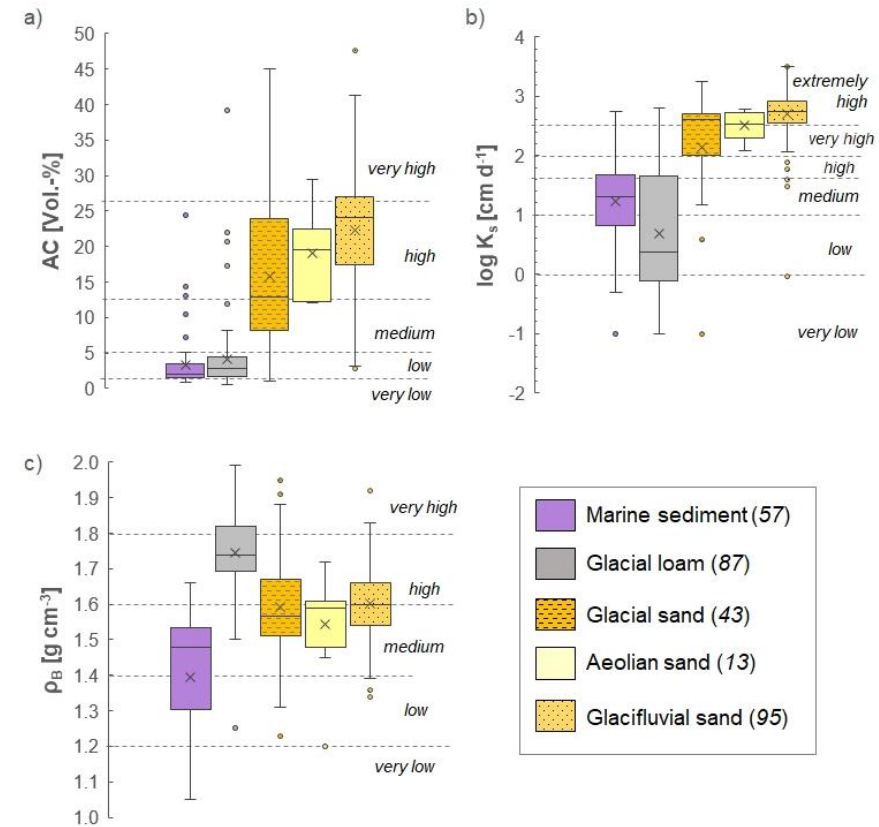
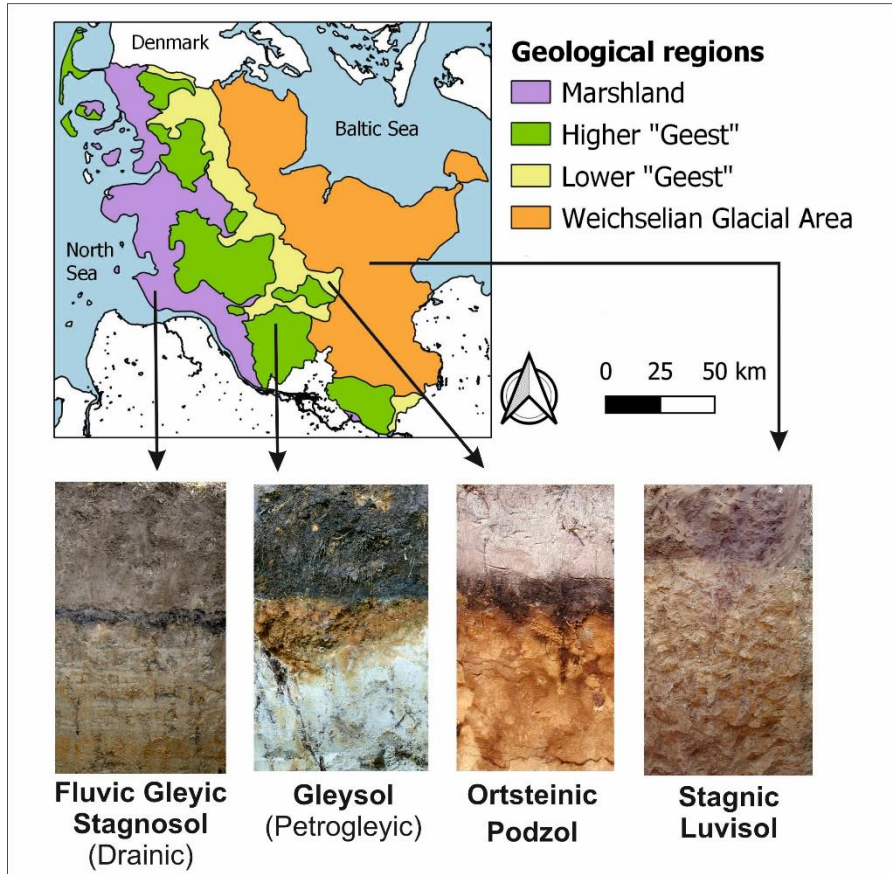
Extrem schwer, aber sehr selten



220 m long, 100 m high  
Total weight: 12.840 t  
Contact pressure: 160 kPa



Auch auf das Bodenwasser kommt es an!



Mittelwerte der Luftkapazität AC, gesättigten Wasserleitfähigkeit Kf und der Lagerungsdichte (g/cm<sup>3</sup>) für Böden aus verschiedenem geologischen Ausgangsgestein

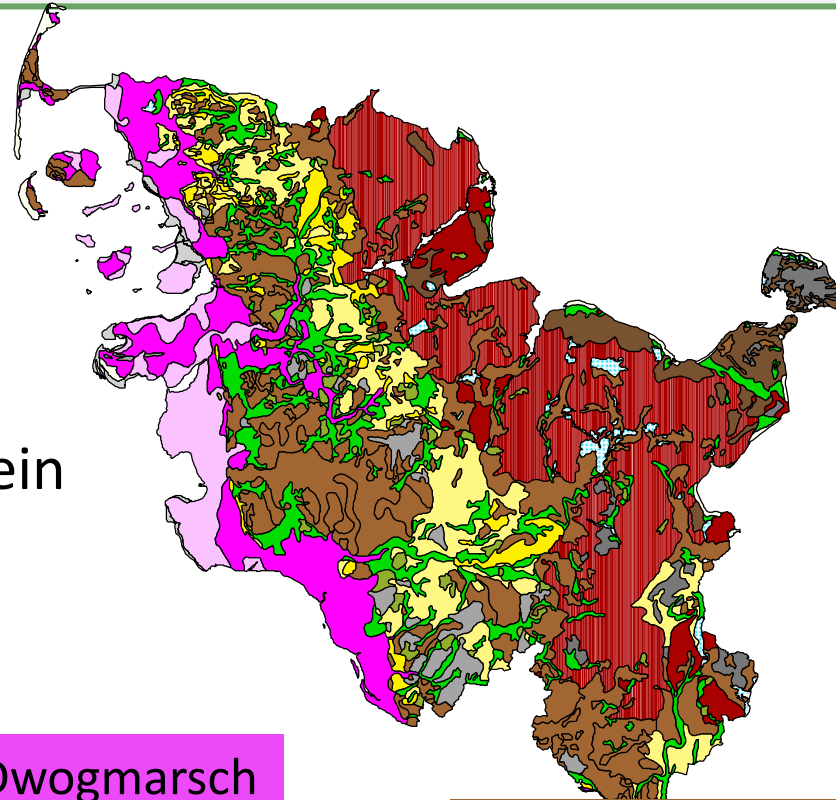


# Natürliche Bodenverdichtungen in S-H

Podsol



Bhms  
(Ortstein)



Brauneisengley



Raseneisenstein

Knickmarsch



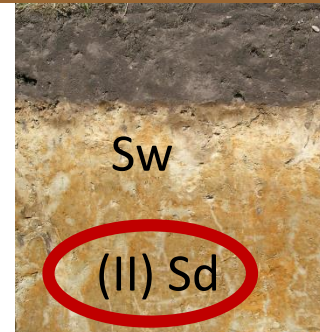
Sq  
(Knick)

Dwogmarsch



II fAh°Sd  
(Dwog)

Pseudogley



Sw

(II) Sd

Pseudogley-Parabraunerde



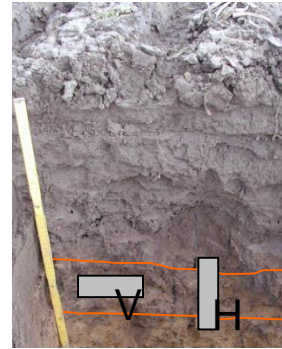
Sd-Bt

SCv

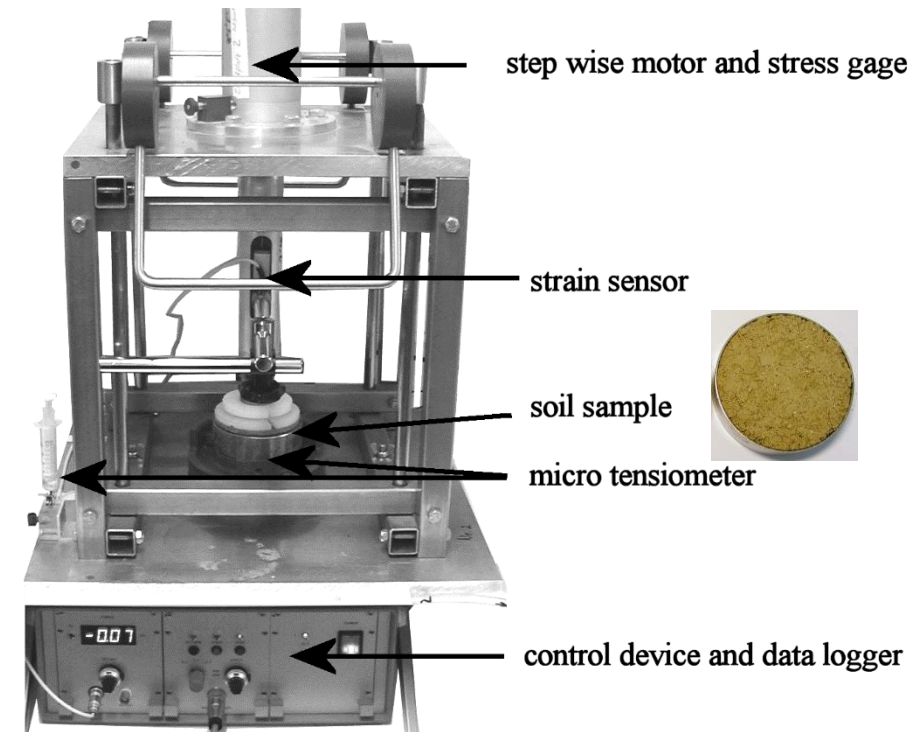
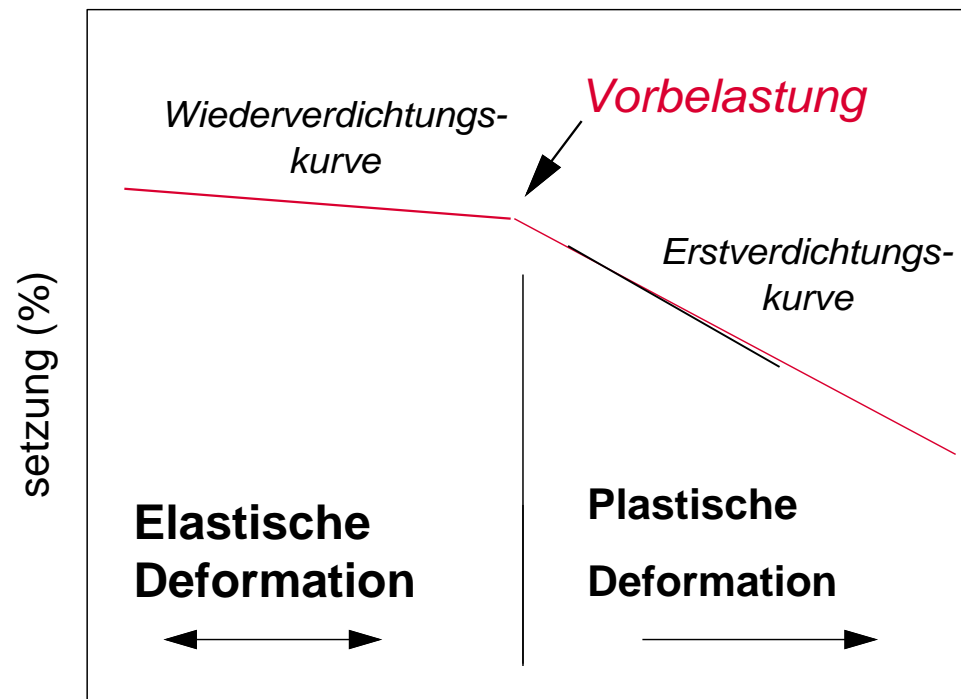


# Mechanische Belastbarkeit des Bodens - Verfahren der Eigenfestigkeitsbestimmung

Anlage



Auflast kPa



## Grain yield of wheat, FAO statistics for Northern Europe

