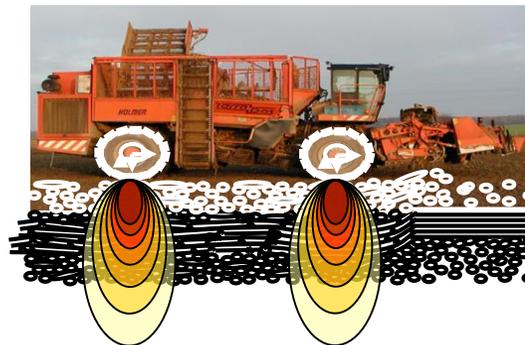


# Natürliche und anthropogene Verdichtungen in Böden Schleswig-Holsteins im Hinblick auf die nachhaltige Bewirtschaftung von Böden – welche Indizien weisen auf *schädliche* Bodenveränderungen -

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*

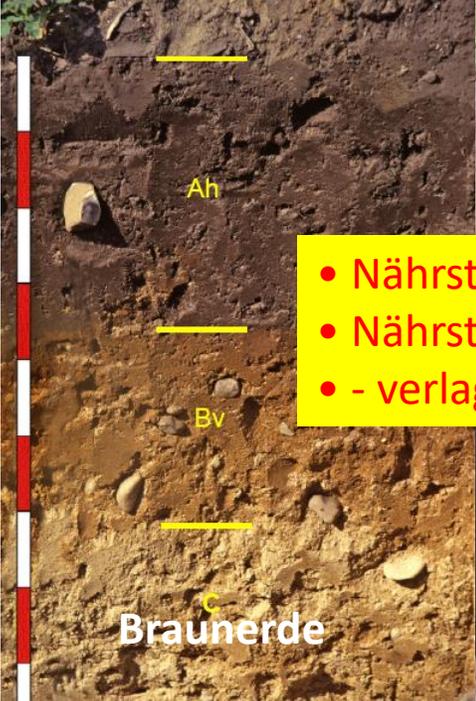
<sup>2</sup>*Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume  
Schleswig-Holstein (LLUR)*



# Böden sind heterogen

- Nährstoffspeicherung
- Nährstoffverfügbarkeit
- -verlagerung

Feucht

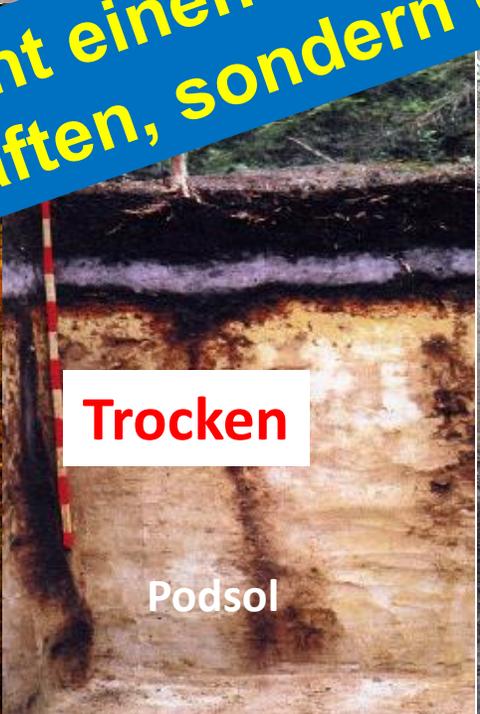


**Es gibt nicht einen Boden mit definierten Eigenschaften, sondern diese variieren deutlich!**



Feucht

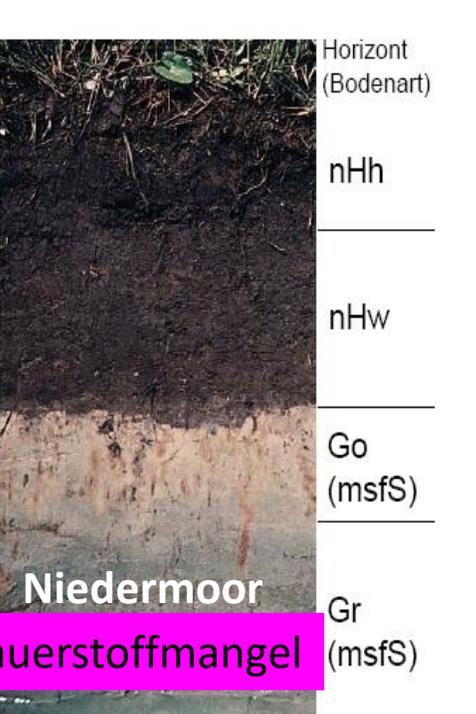
Sauerstoffmangel



Trocken

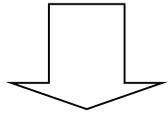


Kolluvisol

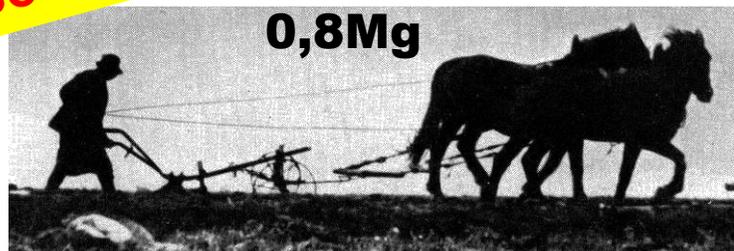


Sauerstoffmangel

Zunahme der  
Landflächen  
und der Maschinenmassen



Steigerung der Spannungseinträge  
und der Tiefenwirkung



0,8Mg

um 1900



3,5Mg

um 1960



>50Mg



10,5Mg

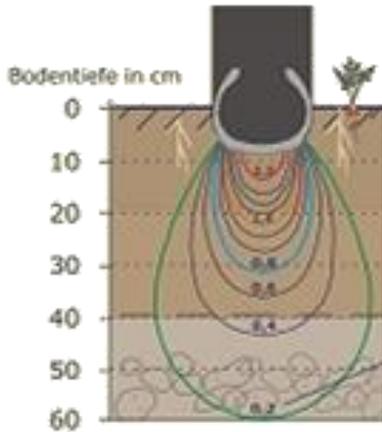
heute

Zukunft ?

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

# Physikalische Bodendegradation

## Böden haben ein Gedächtnis



**Änderung der physikalischen Bodenfunktionen**



Hoher Spannungseintrag bis in den Unterboden

**Auswirkung auf ökologische Kenngrößen**

- Zerstörung der Bodenstruktur



- Infiltration, Hochwasser
- Belüftung
- Wasserhaltekraft



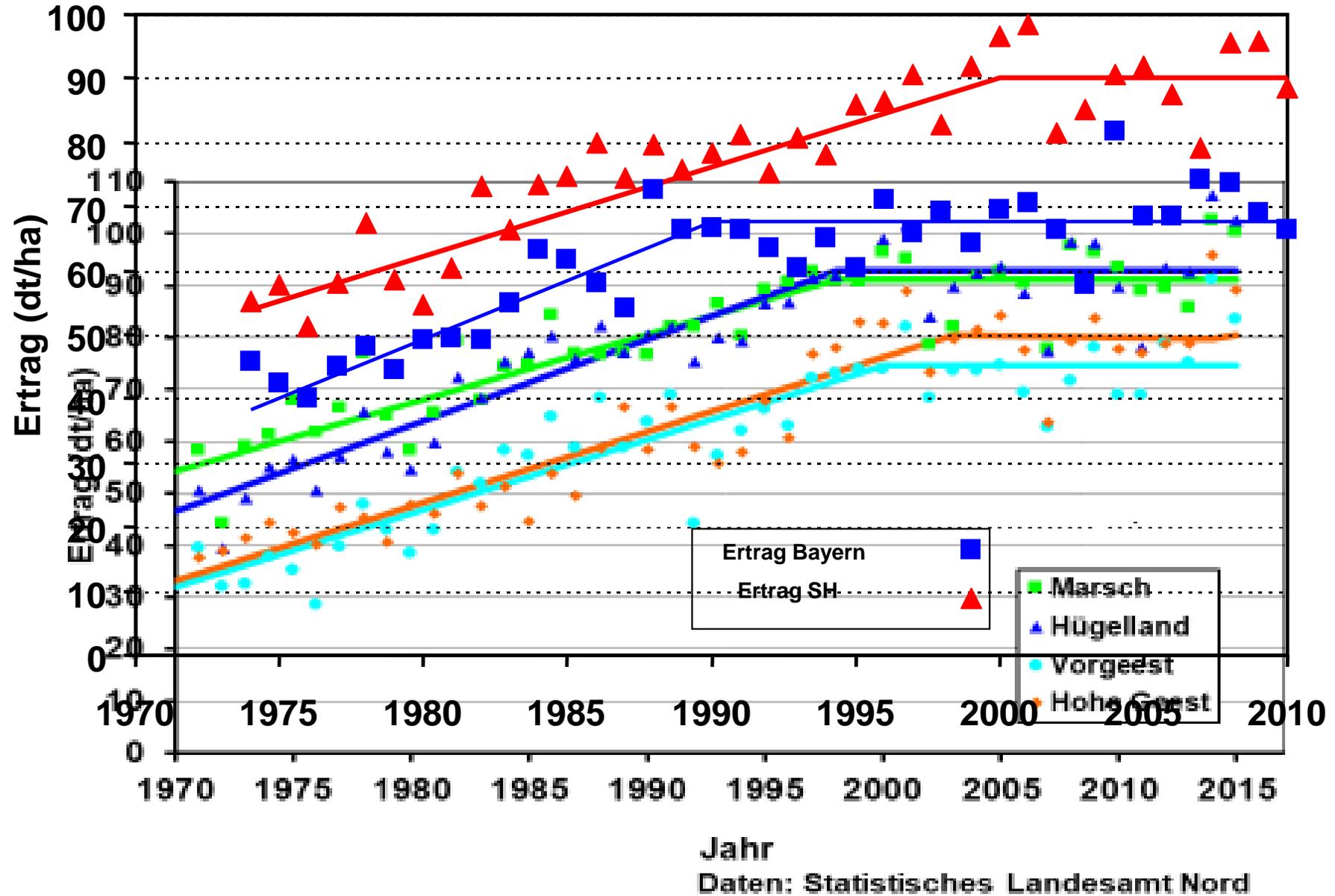
- Wurzelwachstum
- Wasser-, Gas- und Nährstoffaufnahme
- Mikrobielle Aktivität



- Erosion/Hangrutschung
- Nährstoffverlust
- Wasserverunreinigung



- Ertragsunsicherheit
- Windwurfgefährdung



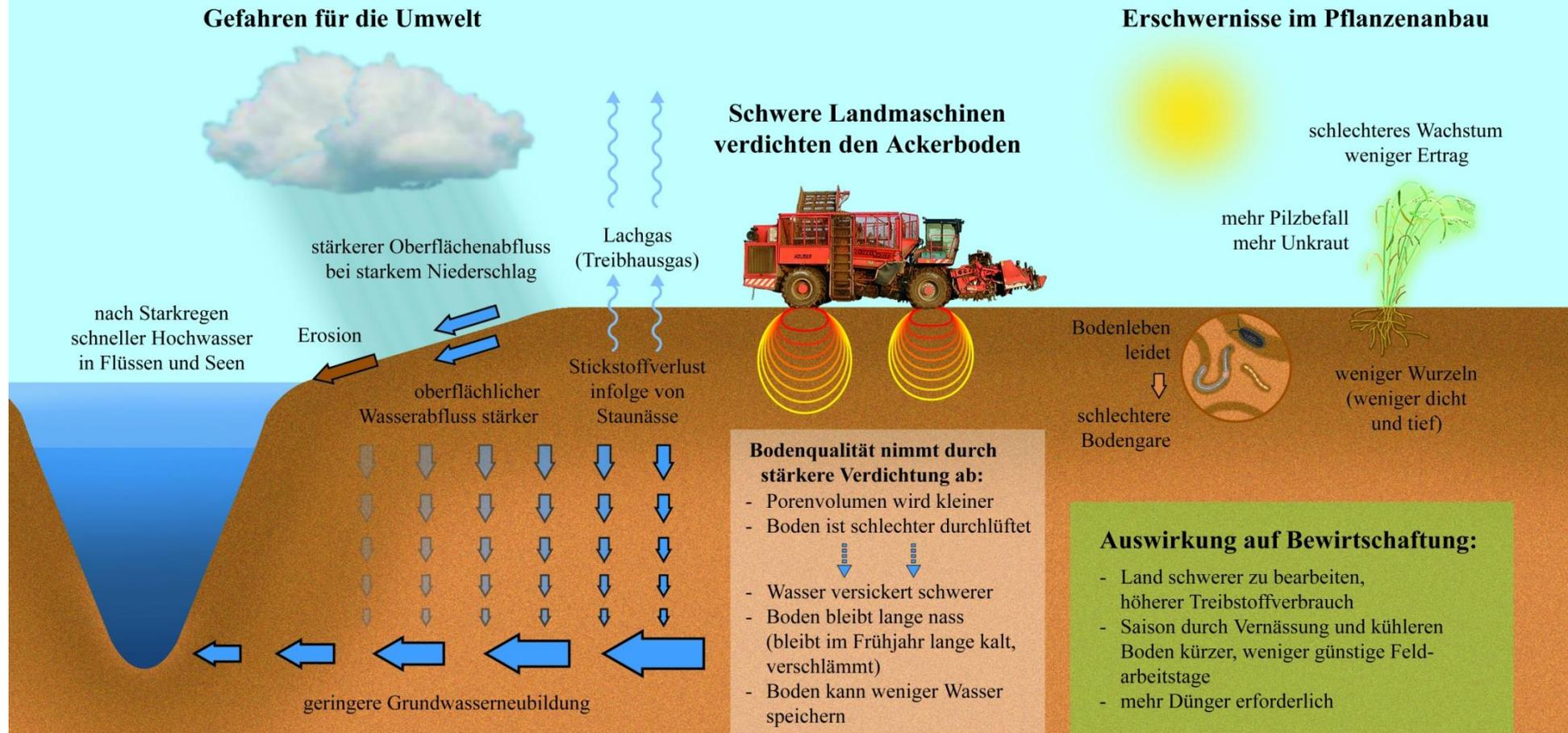
## Entwicklung der Winterweizenerträge in den Naturräumen Schleswig-Holsteins

(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

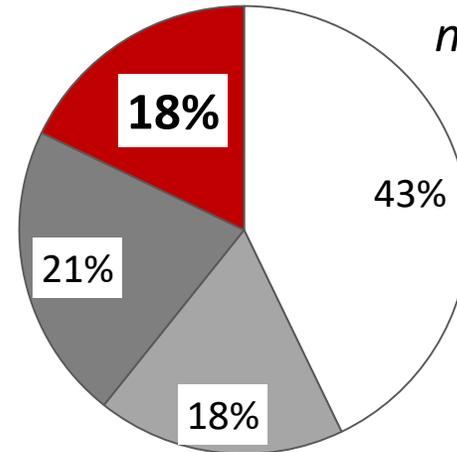


# Verdichtungsstatus SS-LL

## Bewertung Verdichtungsstatus

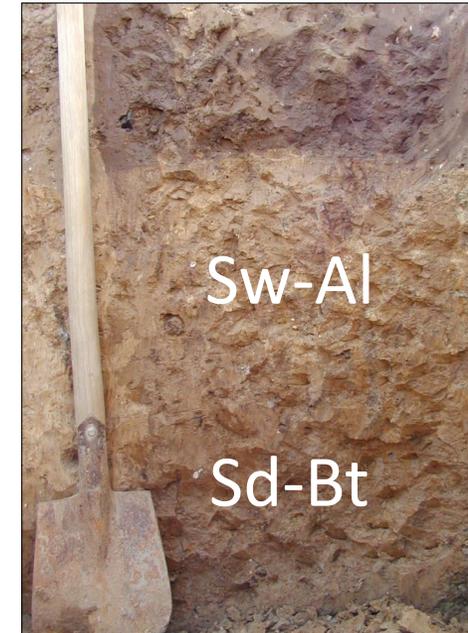
I	$k_f > 10 \text{ cm/d}$ $LK > 5 \text{ Vol.}\%$
II	$k_f > 10 \text{ cm/d}$ $LK < 5 \text{ Vol.}\%$
III	$k_f < 10 \text{ cm/d}$ $LK > 5 \text{ Vol.}\%$
IV	$k_f < 10 \text{ cm/d}$ $LK < 5 \text{ Vol.}\%$

kf + LK

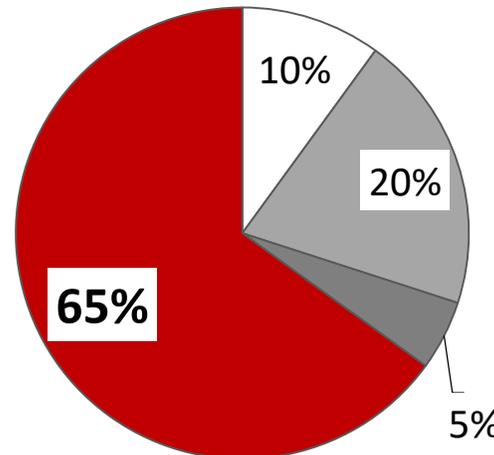


### Sw-Al Horizonte

n = 28



kf + LK



### Sd-Bt Horizonte

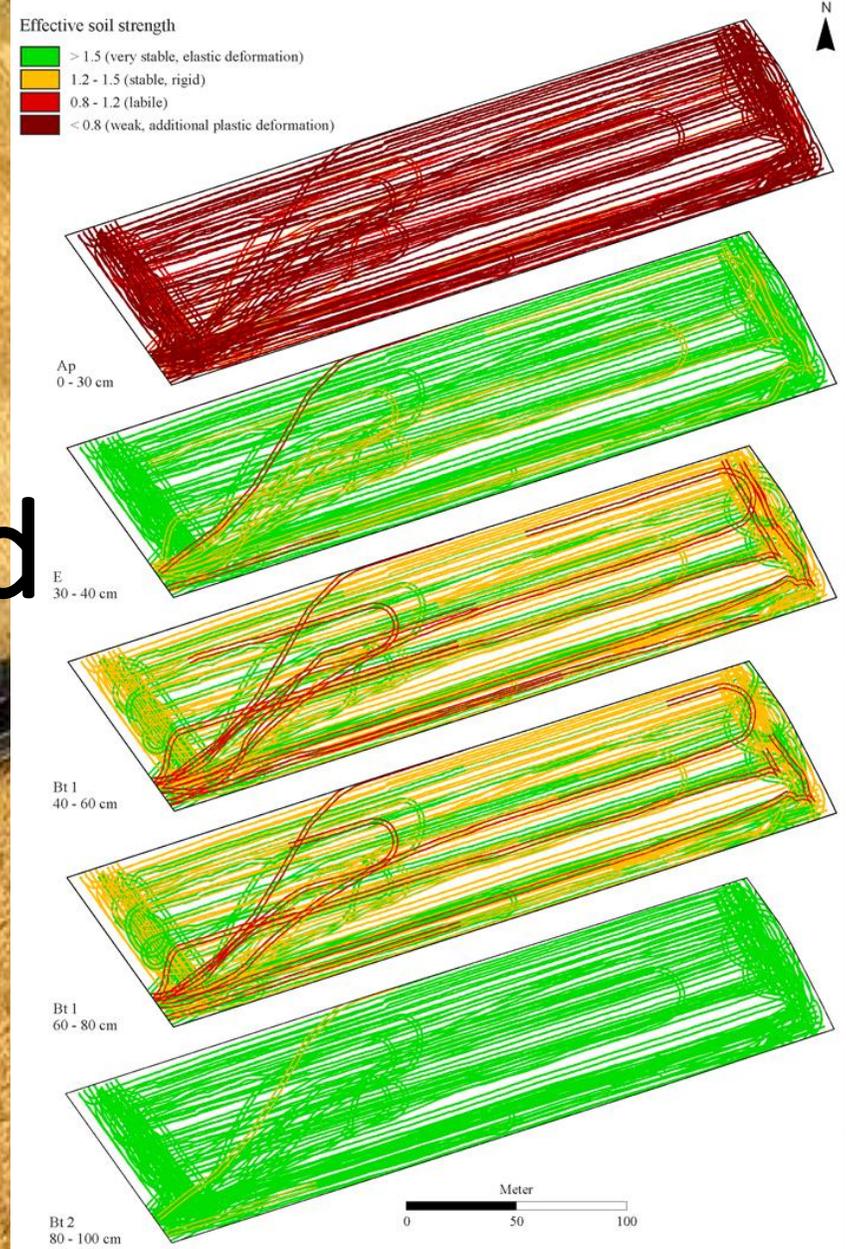
n = 40

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 <sub>f</sub>	LK+ K <sub>f</sub> 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

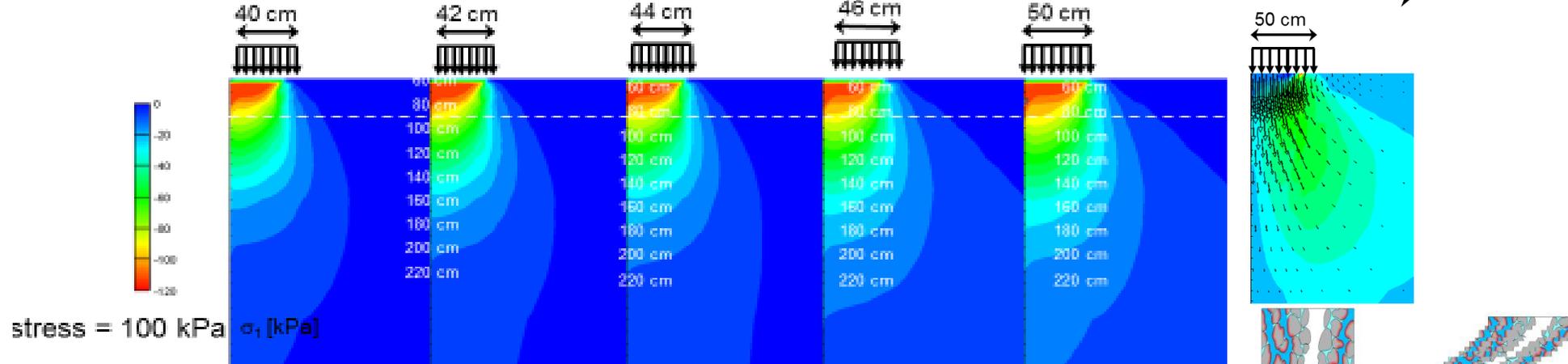
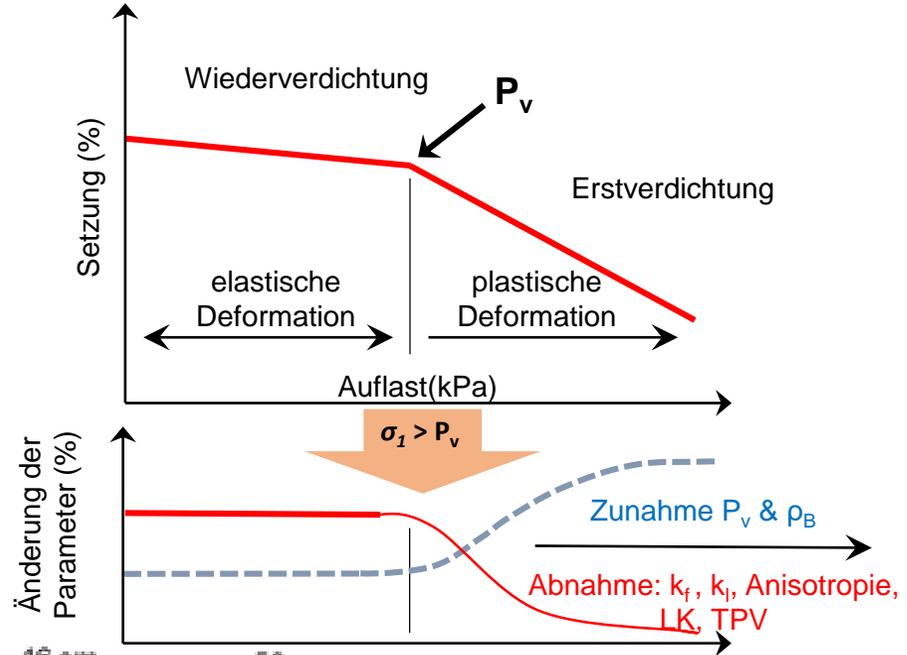
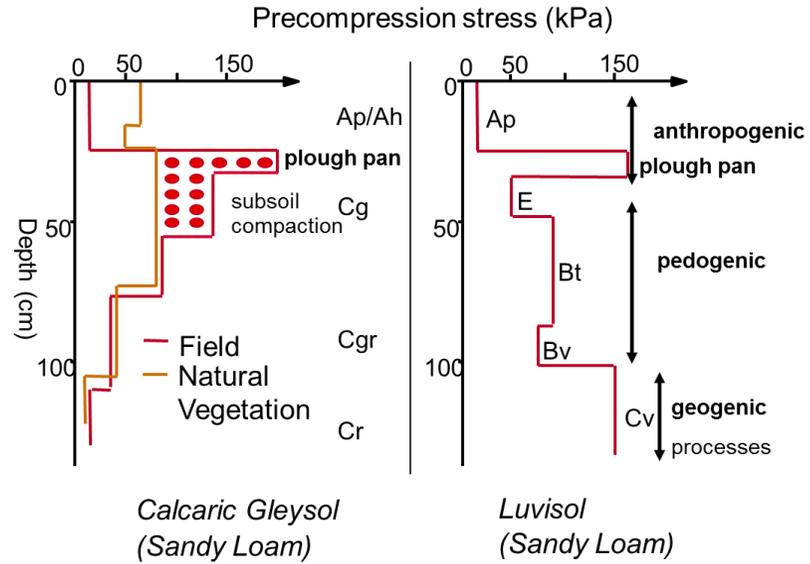


Erntespuren und prognostizierte  
Bodendeformationen durch eine Maisernte  
bis in 100 cm Tiefe

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

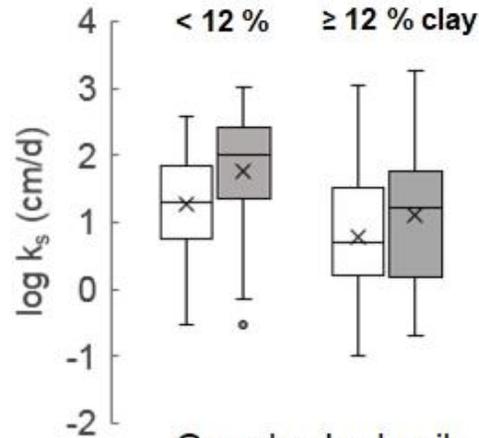
Anlage

Boden-Land-schaft	Einige Bodentypen	Boden-arten	Mittlere Unter-boden-stabilität (kPa)	Verdichtungs-empfindlich-keit des Unterbodens (> 40cm)	Feuchtig-keitseffekte
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	Parabraun-erde, Braunerde, Pseudogley	S; L	40 - 85	hoch – (mittel)	LL: feucht BB: feucht – trocken SS: feucht - nass
Moore	Hoch-; Niedermoor	-	< 30	extrem hoch	nass

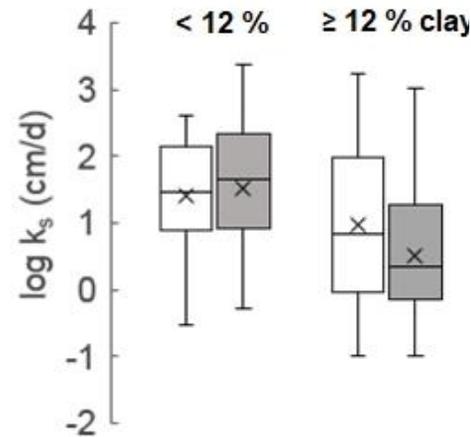
# Einfluß der Landnutzung auf die Tensorfunktionen der gesättigten Wasserleitfähigkeit in Schleswig Holstein

Anlage

Grassland topsoils



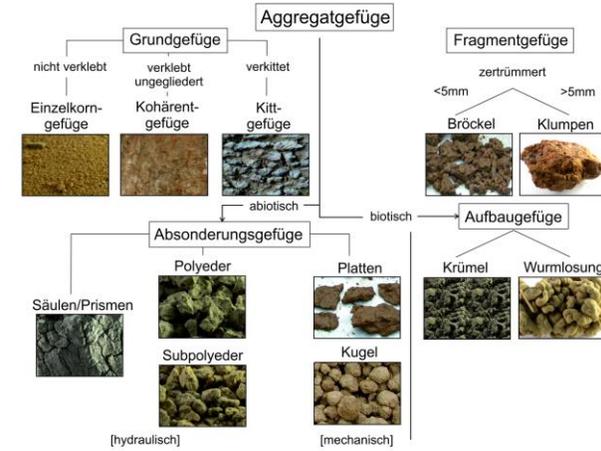
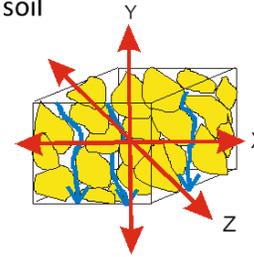
Grassland subsoils



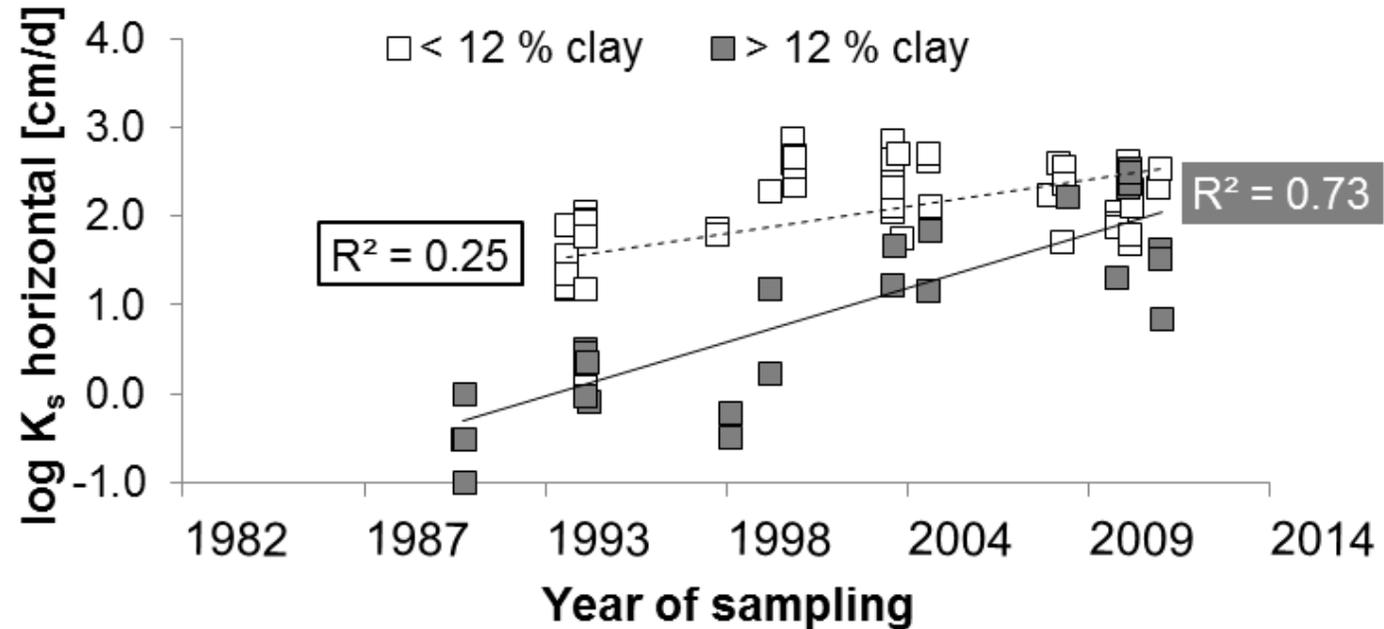
n=574 profiles

□ vertical  
■ horizontal

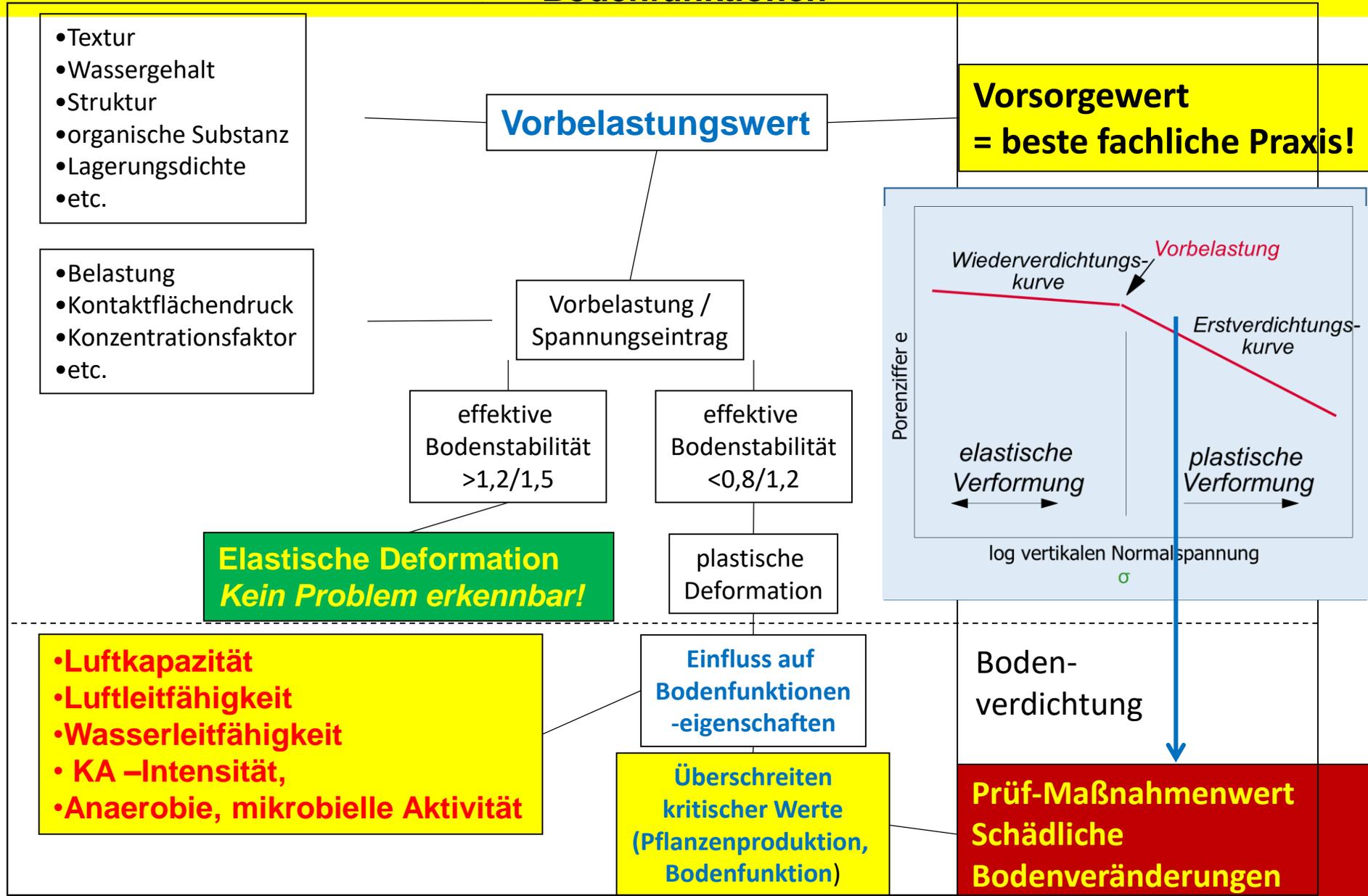
Anisotropic soil  
 $K_x \neq K_y \neq K_z$



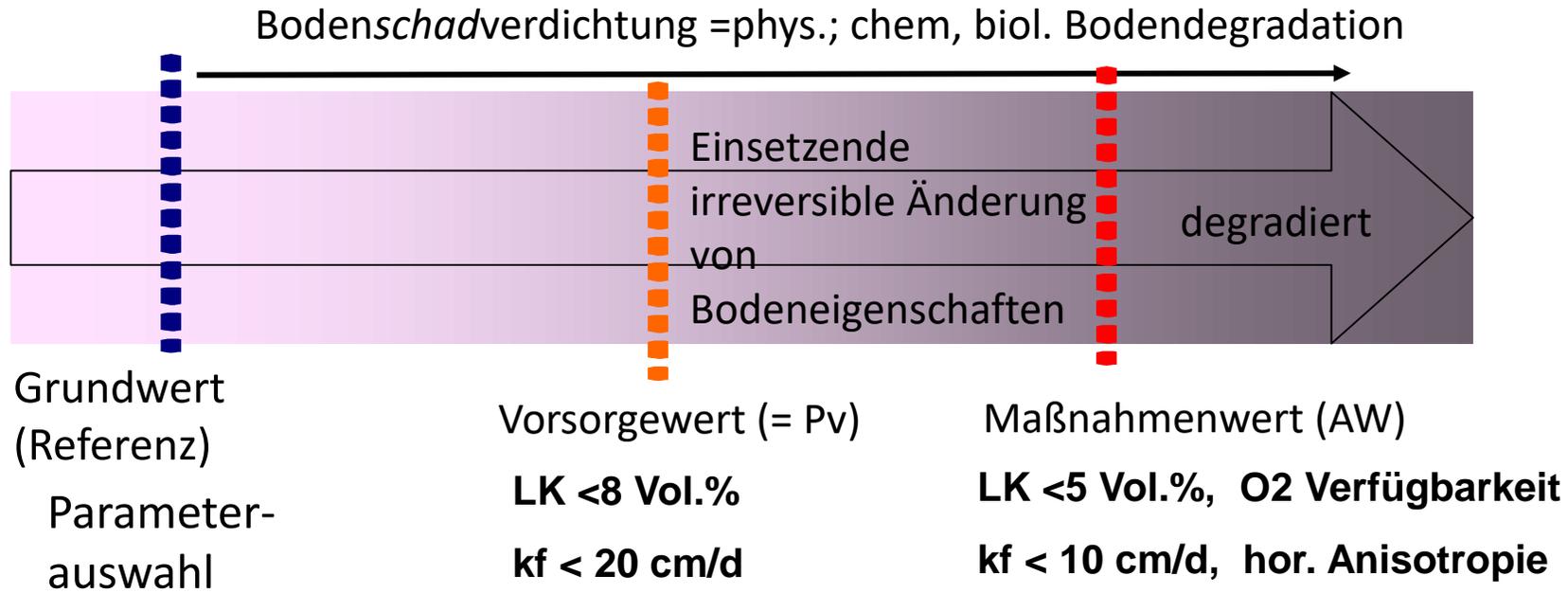
Arable subsoils ≤ 60 cm depth  
Weichselian glacial area



# 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

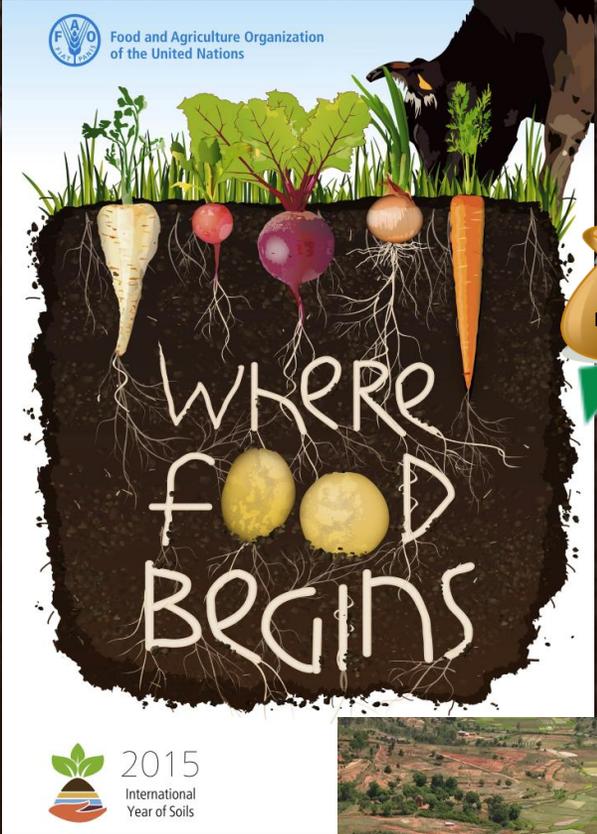
Parabraunerde aus  
Geschiebelehm Al,  
(Bt), Cv,

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

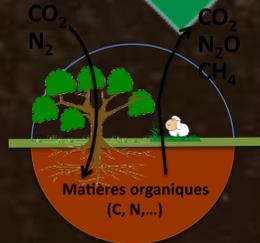
Grundwert abh. von: Ausgangsgestein, Textur, Gefügeentwicklung, Lagerungsdichte, Humusgehalt, Bodenbewirtschaftung etc.

# 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!**

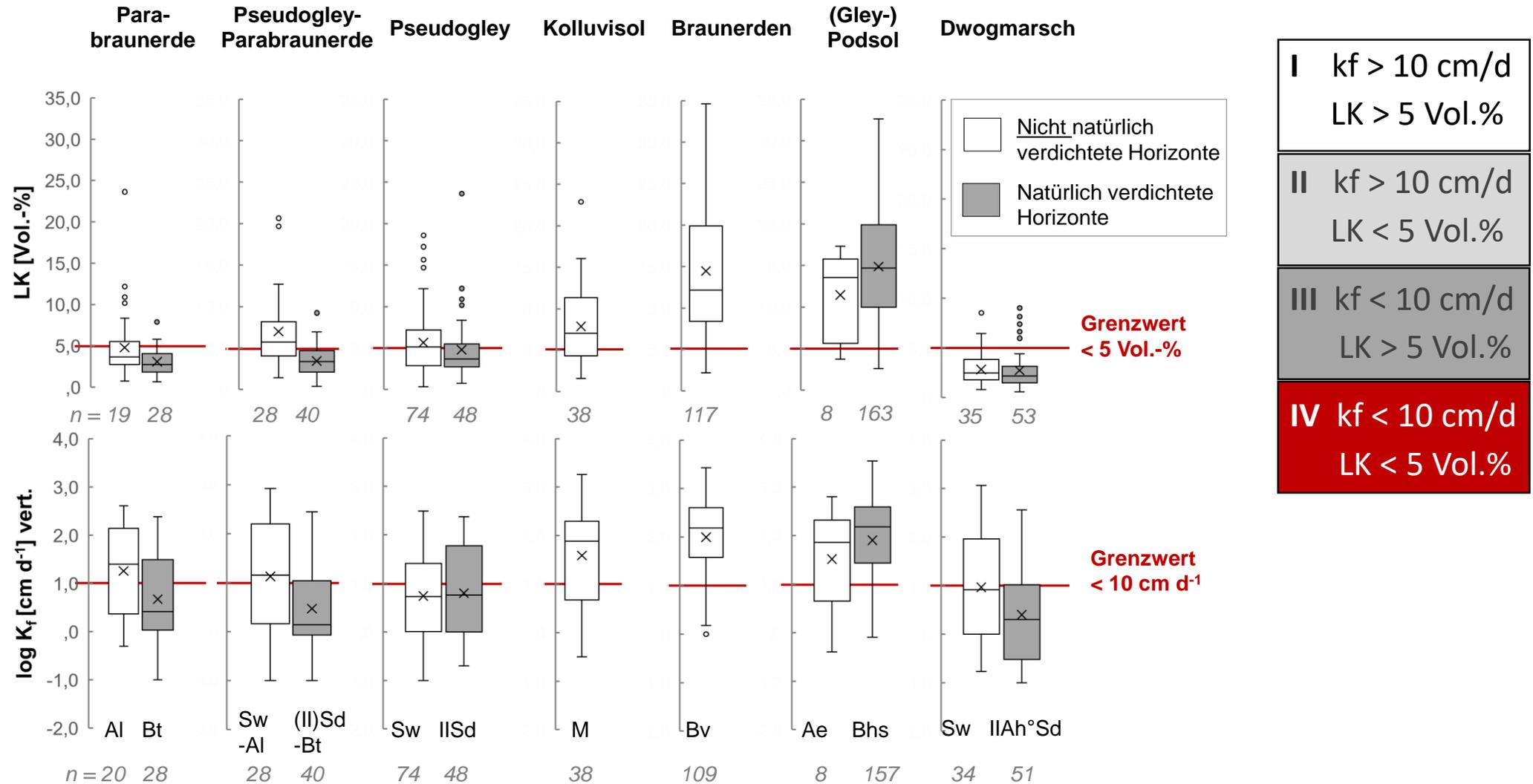


Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



©EU Atlas Soil

© Le Bissonmais



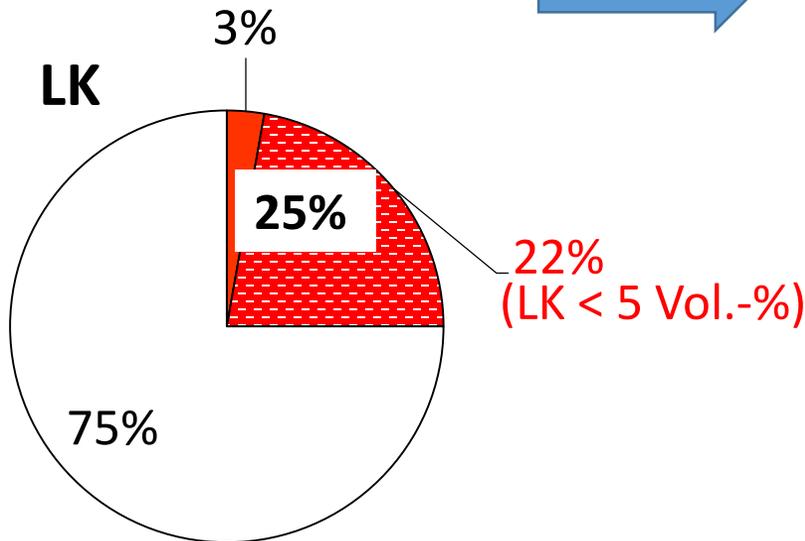
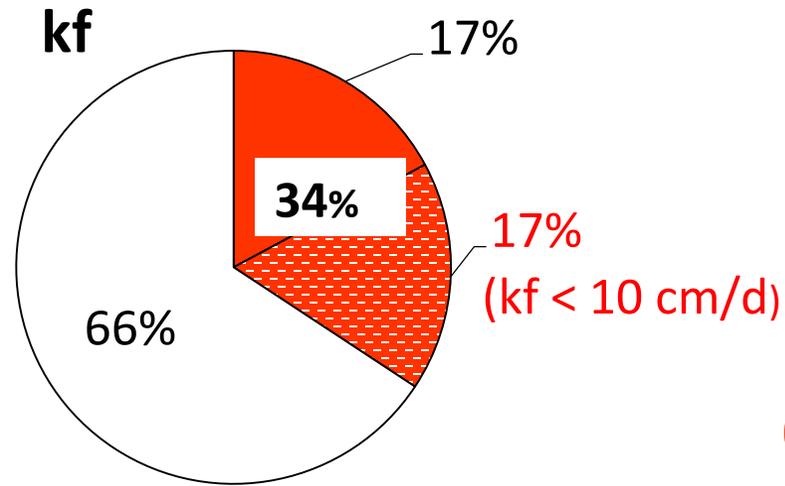
Einfluß der geogenen und anthropogenen Bodenverdichtung für die Luftkapazität LK und gesättigten Wasserleitfähigkeit K<sub>f</sub> – aus Mordhorst et al. 2020, eingereicht, Datenbasis 1980-2000 des LLUR

# Anthropogener Anteil SS-LL

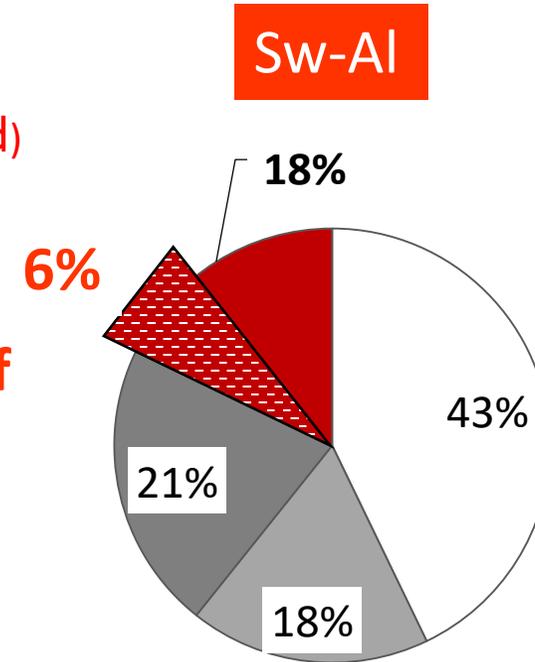
**potenzielle  
Schadverdichtung  
(anthropogen)**

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

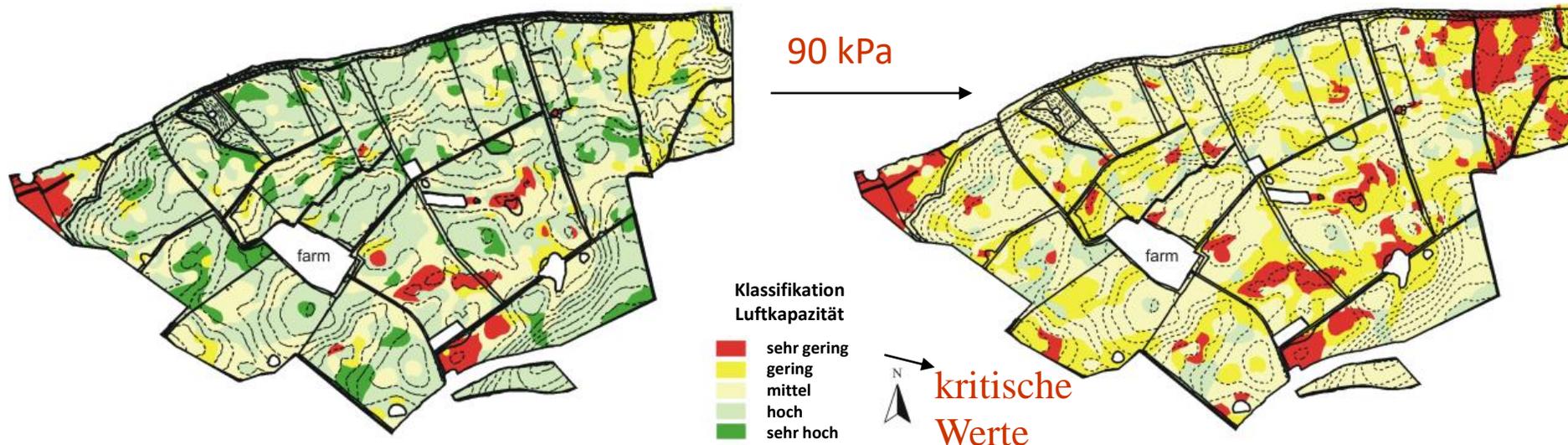
# Kritischer Grenzwert: Luftkapazität

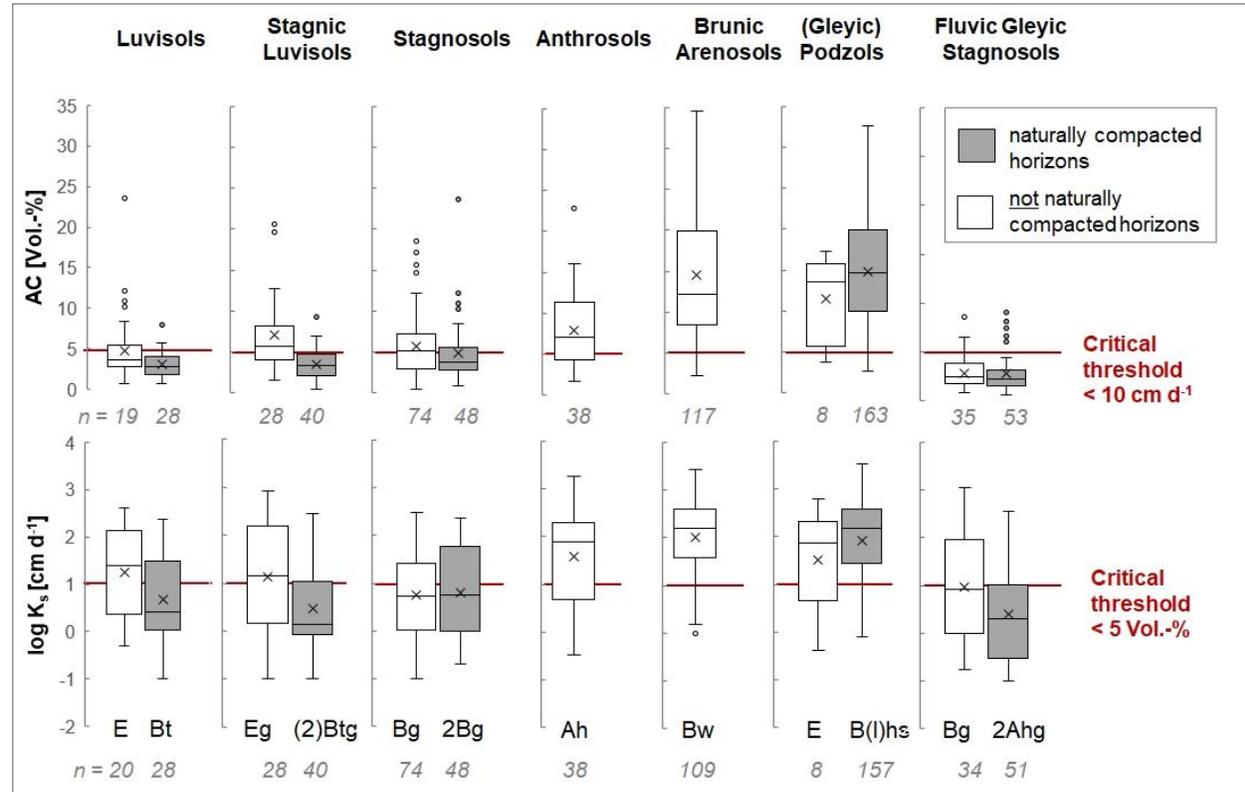
Maßstab Hofkartenniveau, Unterboden: 40 cm, pF 1.8

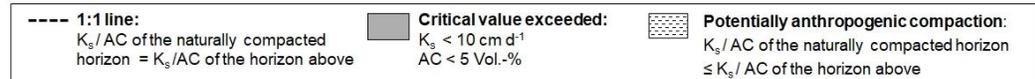
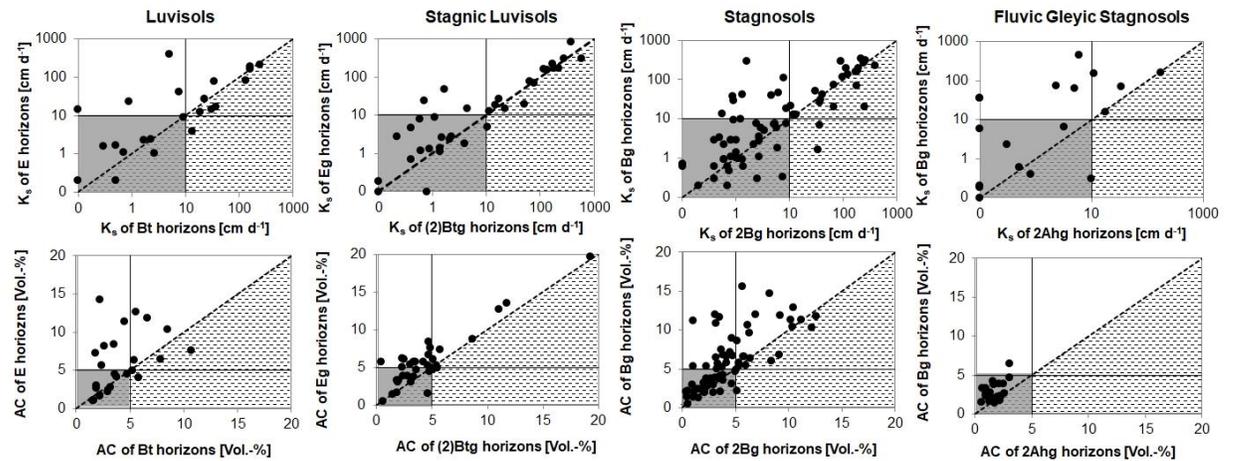
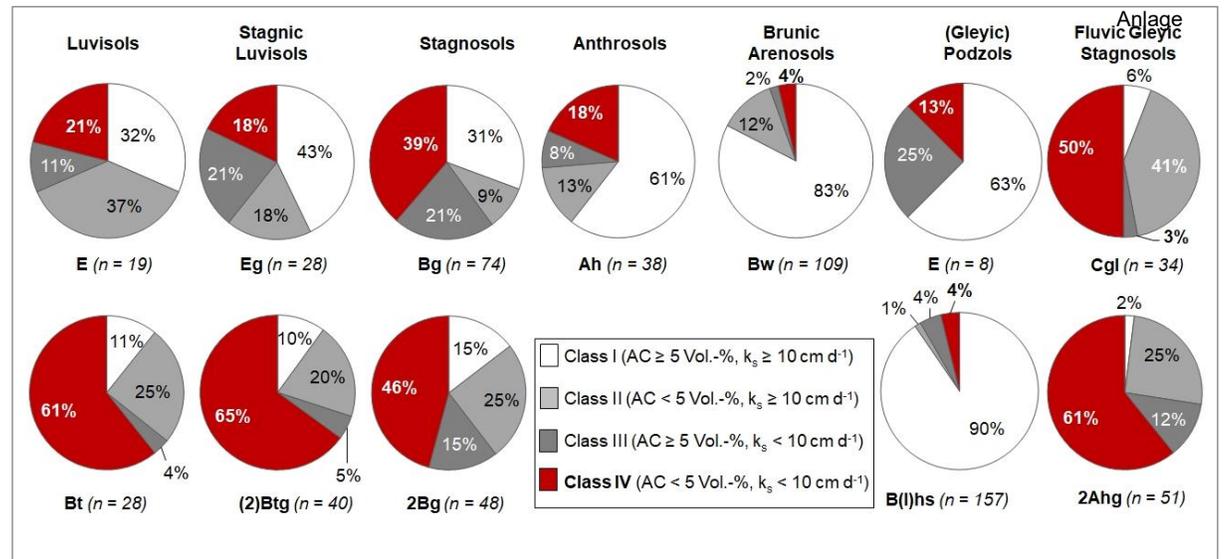
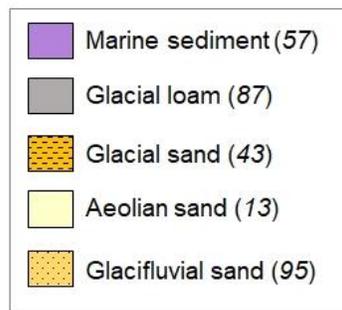
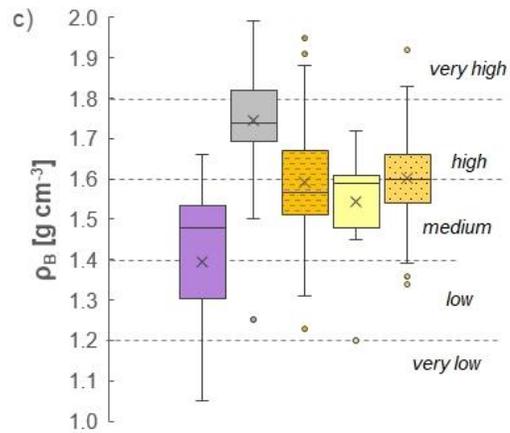
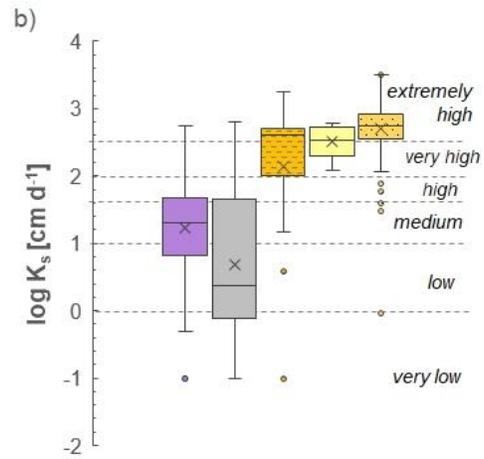
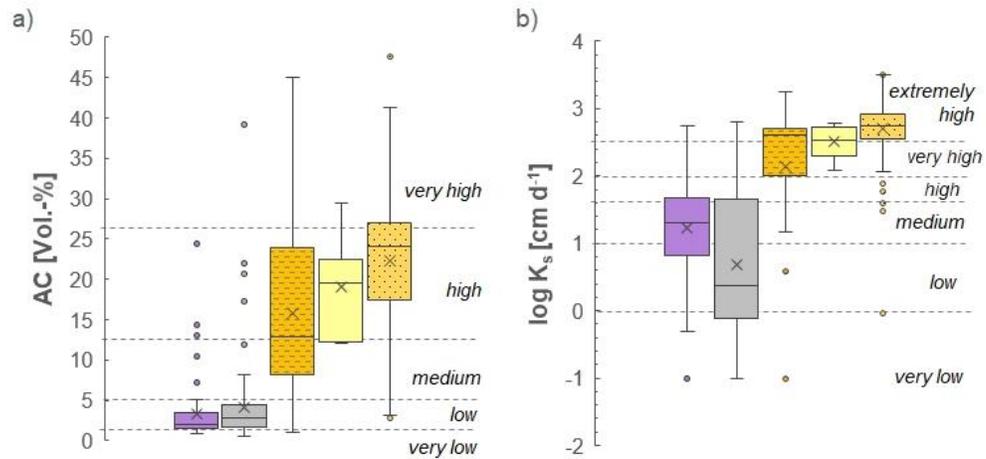
Spannungseintrag: 90 kPa

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



Anlage

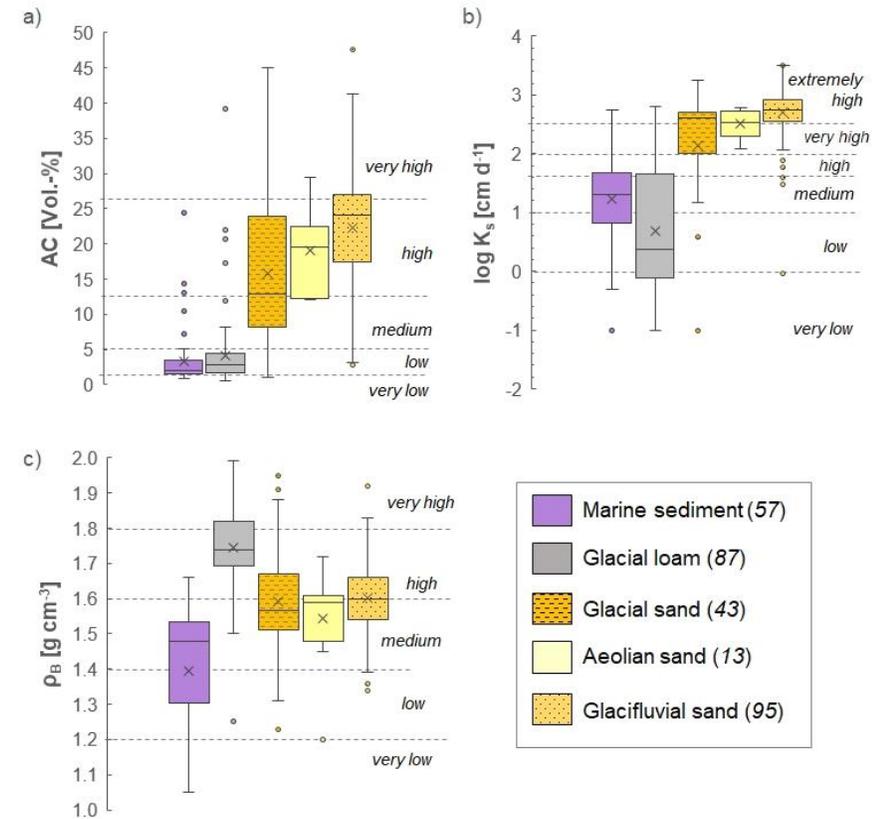
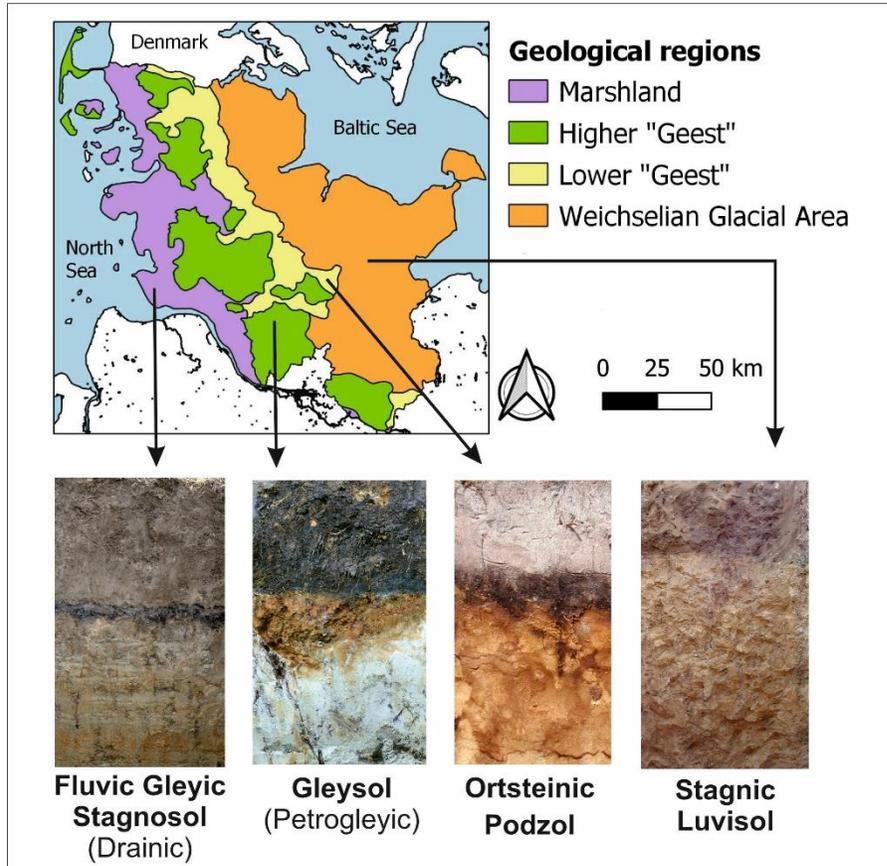
220 m long, 100 m high

Total weight: 12.840 t

Contact pressure: 160 kPa



Auch auf das Bodenwasser kommt es an!



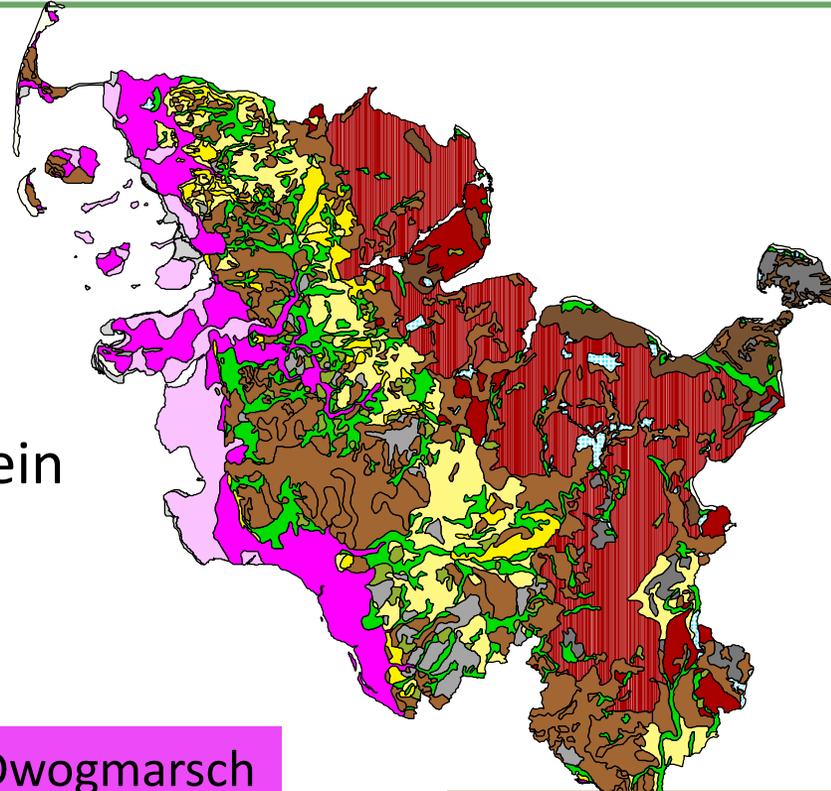
Mittelwerte der Luftkapazität AC, gesättigten Wasserleitfähigkeit Kf und der Lagerungsdichte ( $\text{g/cm}^3$ ) für Böden aus verschiedenem geologischen Ausgangsgestein

# Natürliche Bodenverdichtungen in S-H

Podsol



Bhms  
(Ortstein)



Brauneisengley



Raseneisenstein

Knickmarsch



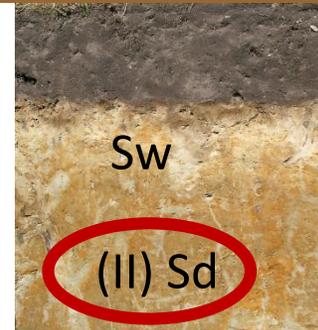
Sq  
(Knick)

Dwogmarsch



II fAh°Sd  
(Dwog)

Pseudogley



Sw

(II) Sd

Pseudogley-Parabraunerde

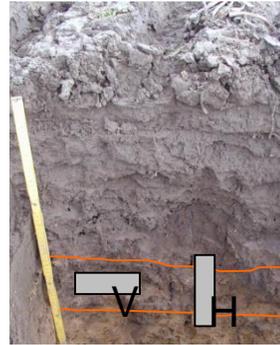


Sd-Bt

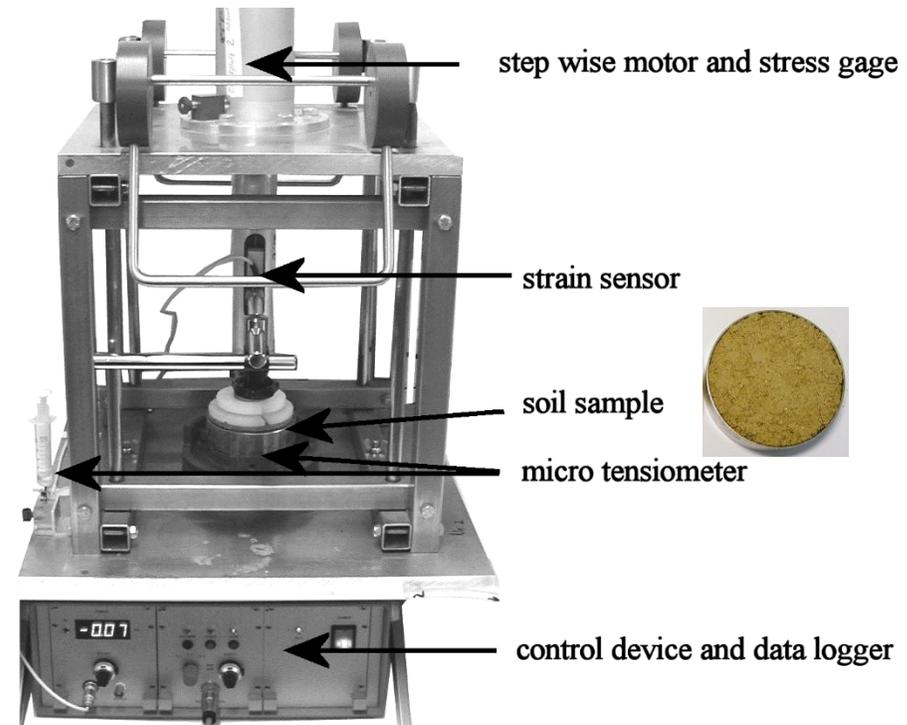
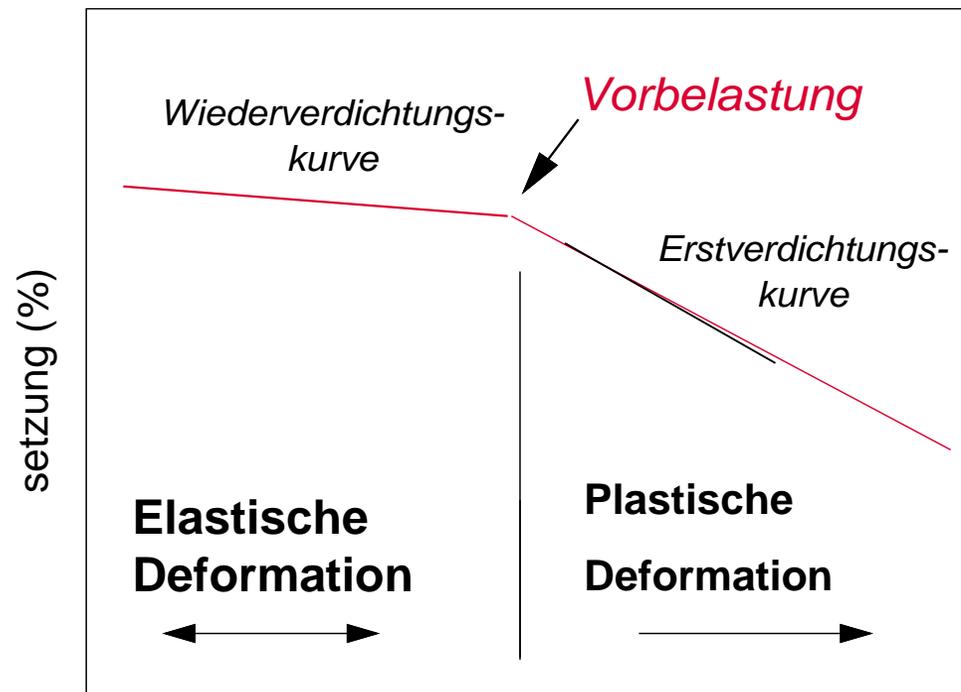
SCv

# Mechanische Belastbarkeit des Bodens - Verfahren der Eigenfestigkeitsbestimmung

Anlage



Auflast kPa



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

