

Feldtag „Bodenfruchtbarkeit“
am 07.09.2016 in Obergrenzebach

Humus – Grundlage für nachhaltigen Ackerbau und sichere Erträge

Dr. Richard Beisecker
Ingenieurbüro für **Ö**kologie und **L**andwirtschaft
(IfÖL), Kassel

Einleitung

„Schon längst sagten daher alte erfahrene Landwirthe, die ganze Kunst der Landwirthschaft besteht darin, Mist genug zu machen.“

(Albrecht Daniel Thaer, 1752-1828)

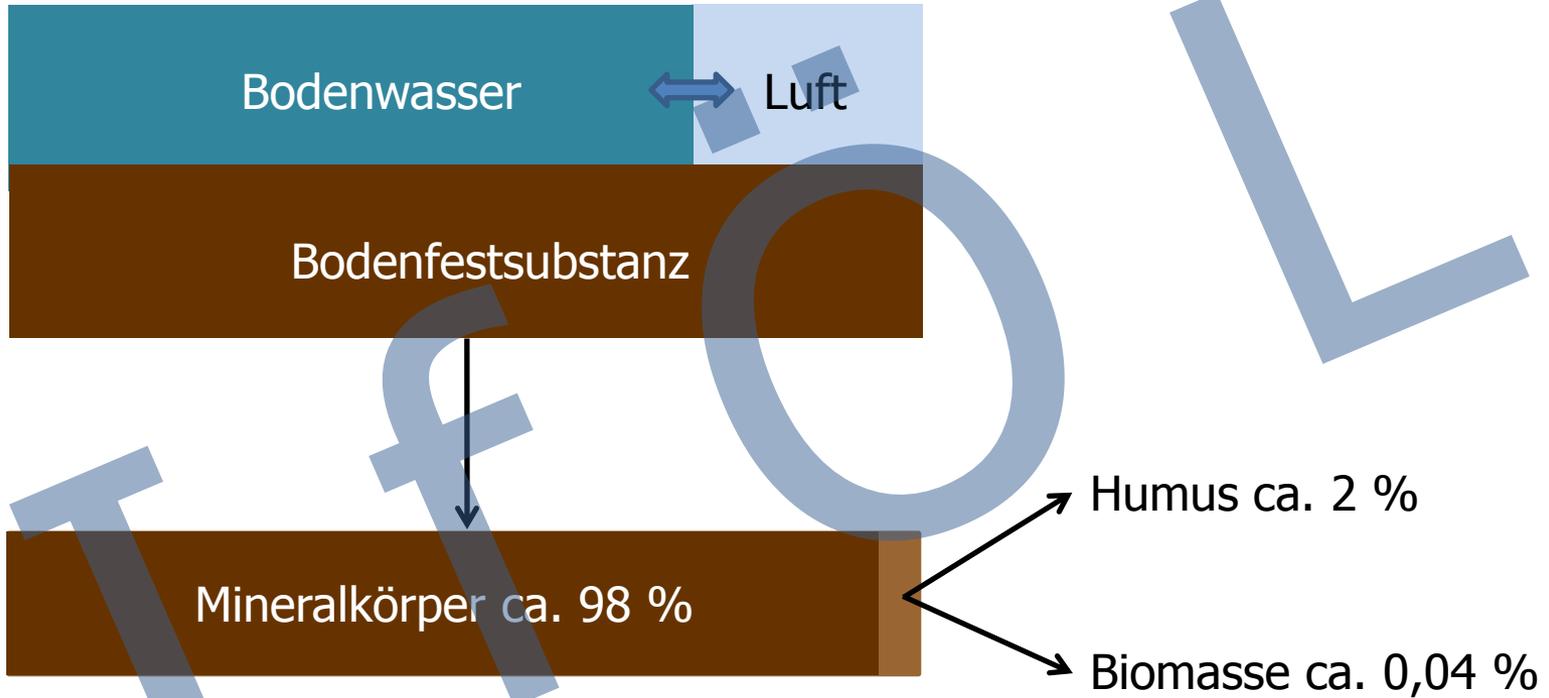
„Immer und zu allen Zeiten ist es der Boden mit seiner Fruchtbarkeit gewesen, der über das Wohl und Wehe eines Volkes entscheidet.“

(Justus von Liebig, 1803-1873)

Gliederung

1. Was ist Humus?
2. Wie viel Humus enthalten unsere Böden?
3. Wovon hängt der Humusgehalt im Boden ab?
4. Funktionen und Wirkungen des Humus
5. Ermittlung der Humusversorgung
6. Was kann der Landwirt tun, um den Humushaushalt im Boden zu fördern?

- Bodenbestandteile



- Organische Bodensubstanz (OBS) enthält ca. 40–65 % Kohlenstoff (C_{org}) und ca. 2-5 % Stickstoff (N_t)
- Messung durch Verbrennung bei Temperaturen >900 °C
→ Maß für den Humusgehalt ist der C_{org} -Gehalt [%]

$$\text{Humusgehalt [\%]} = C_{org}\text{-Gehalt [\%]} \times 1,724 \approx 2$$

Nachfolgend werden vor allem die C_{org} -Gehalte [Gew.-%] angegeben und auf die Umrechnung in Humusgehalte meistens verzichtet

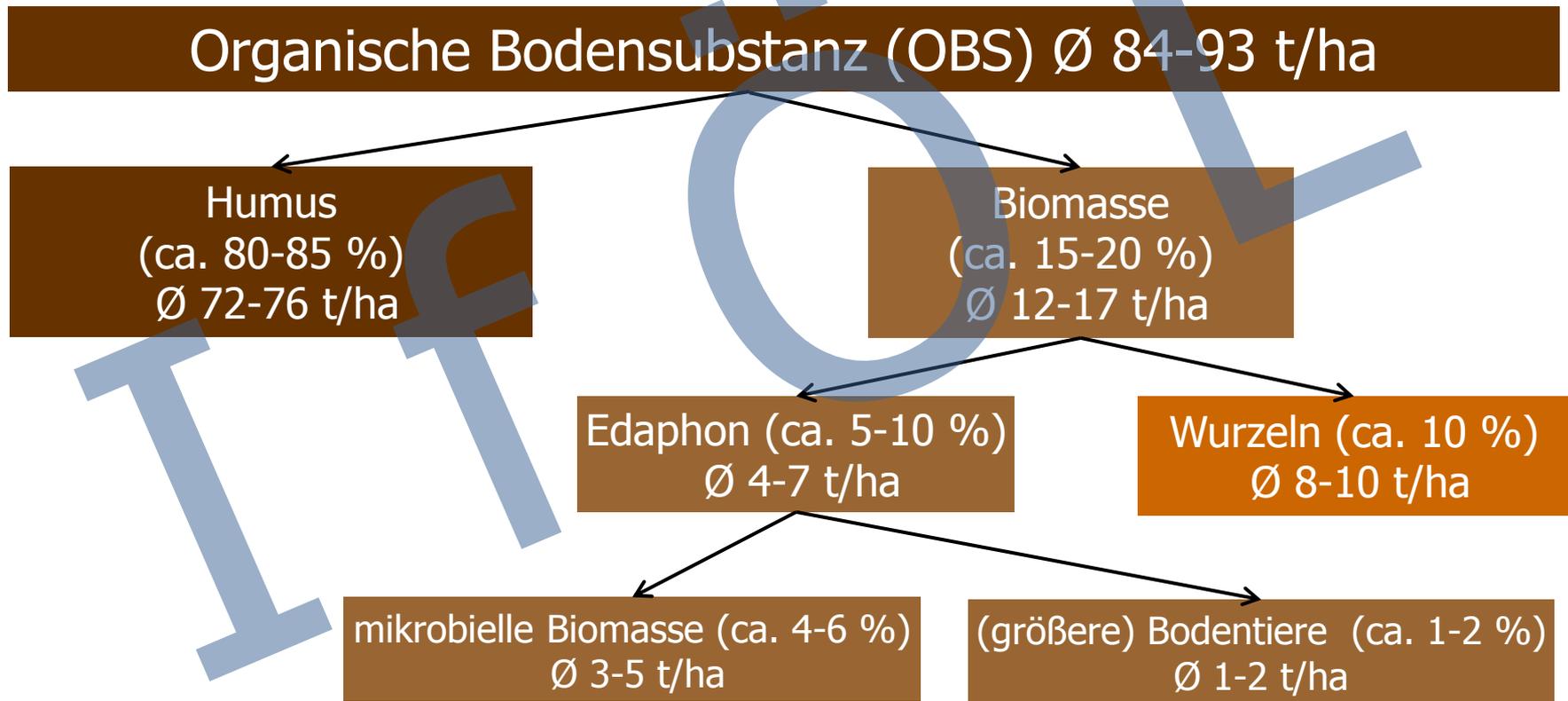
Bodenkundliche Definition:

- Zum **Humus** gehören alle im und auf dem Mineralboden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Substanz sowie deren Umwandlungsprodukte
- Nicht zum Humus gehören die lebenden Bodenorganismen (Edaphon) sowie die lebenden Wurzeln

VDLUFA-Standpunkt Humusbilanzierung (2014):

- Humus ist die in den Boden integrierte organische Bodensubstanz (OBS), die durch Bodenprobenahme und Untersuchung des Gehaltes an organischem Kohlenstoff im Boden (C_{org}) nachweisbar ist

- Durchschnittliche Mengenanteile in der Krume (0-30 cm) von Ackerböden; gemäßigtes Klima



- Durchschnittliche Mengenanteile in der Krume (0-30 cm) von Ackerböden; gemäßigtes Klima

Organische Bodensubstanz (OBS) Ø 84-93 t/ha

Bodenleben ist Hungerleben !

Auch die Lebewesen unter der Bodenoberfläche müssen regelmäßig und ausreichend gefüttert werden!

Edaphon (ca. 5-10 %)
Ø 4-7 t/ha

Wurzeln (ca. 10 %)
Ø 8-10 t/ha

mikrobielle Biomasse (ca. 4-6 %)
Ø 3-5 t/ha

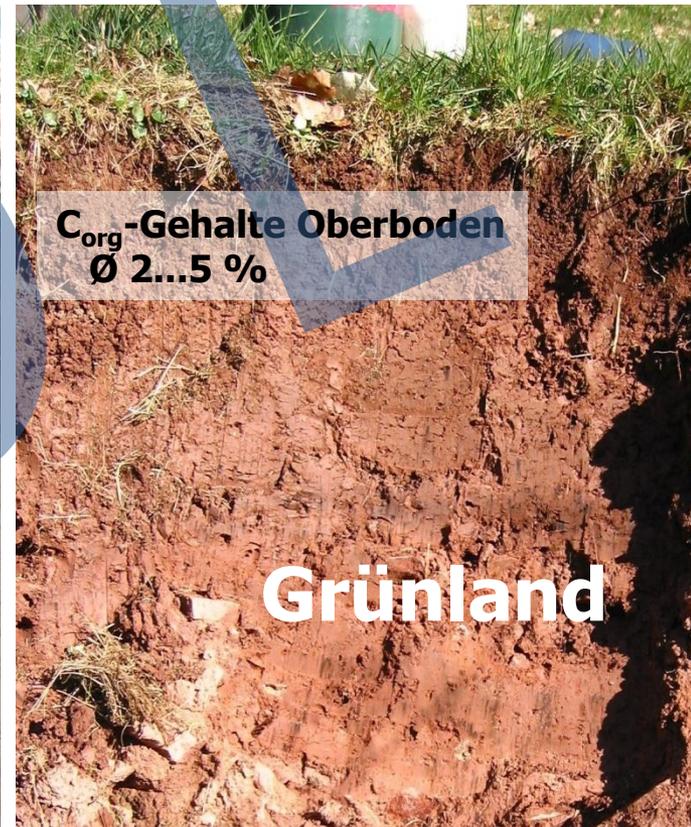
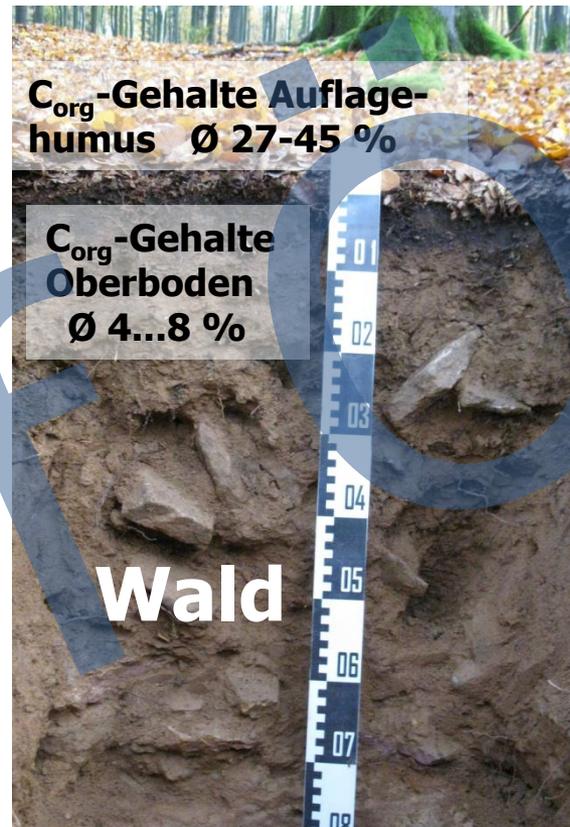
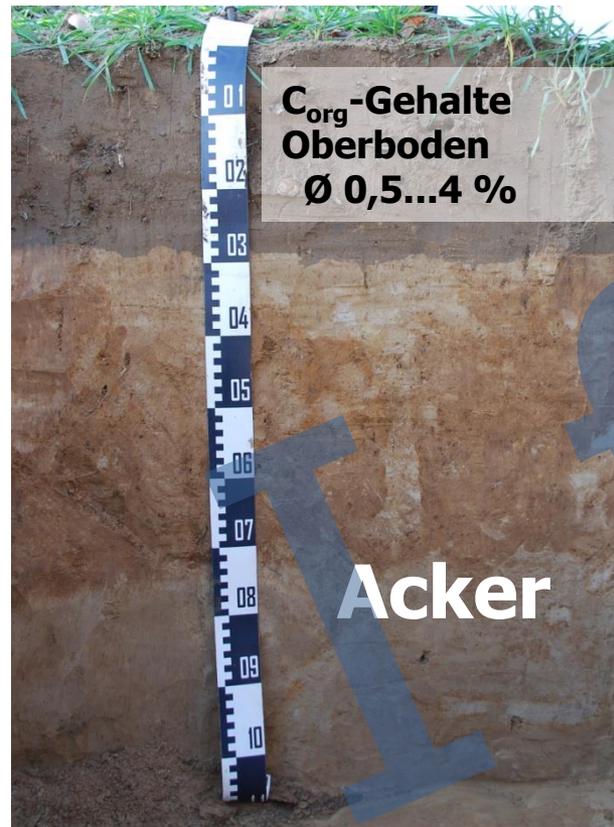
(größere) Bodentiere (ca. 1-2 %)
Ø 1-2 t/ha

Gliederung

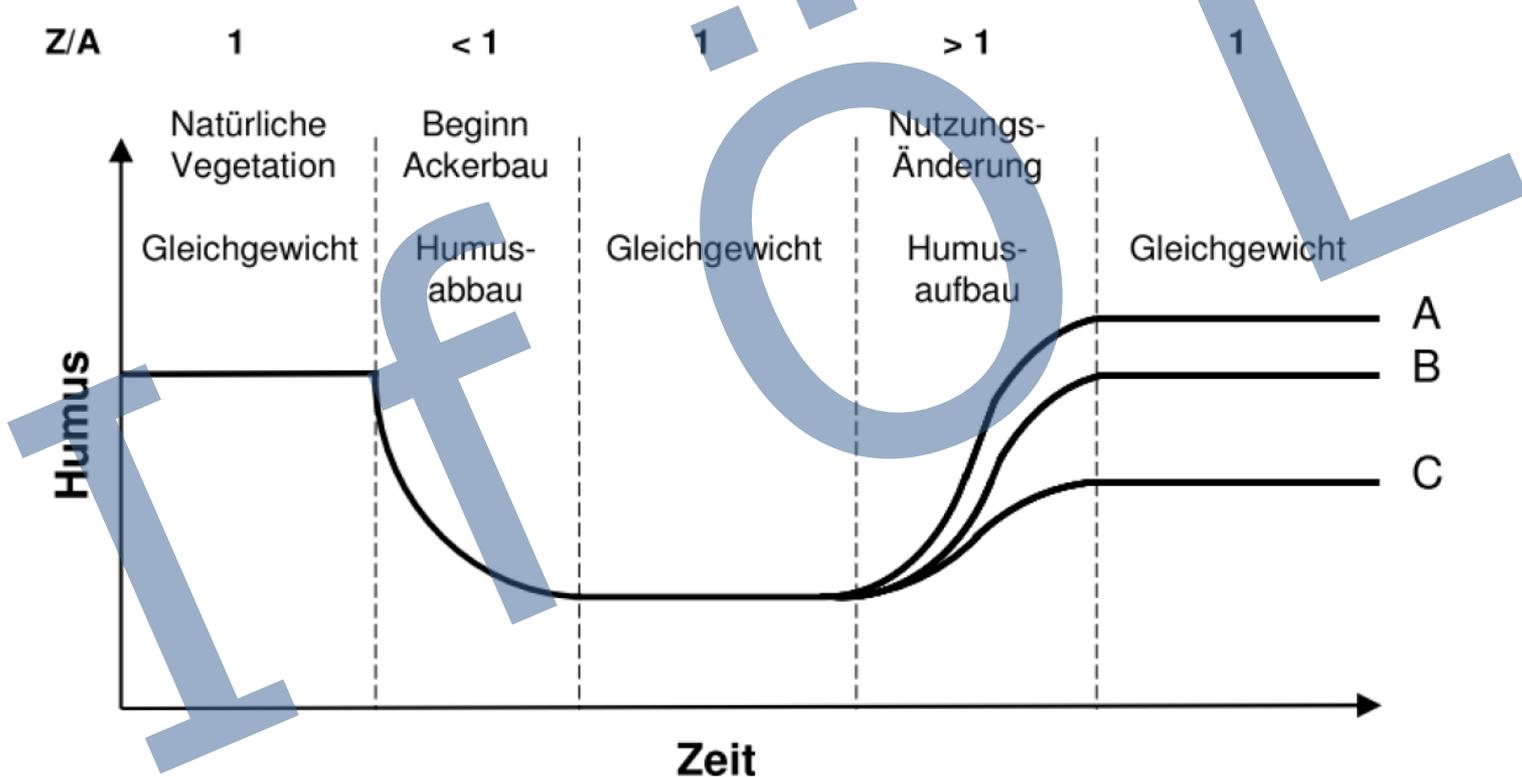
2. Wie viel Humus enthalten unsere Böden?

InföÖL

- Typische Humusgehalte hessischer Böden



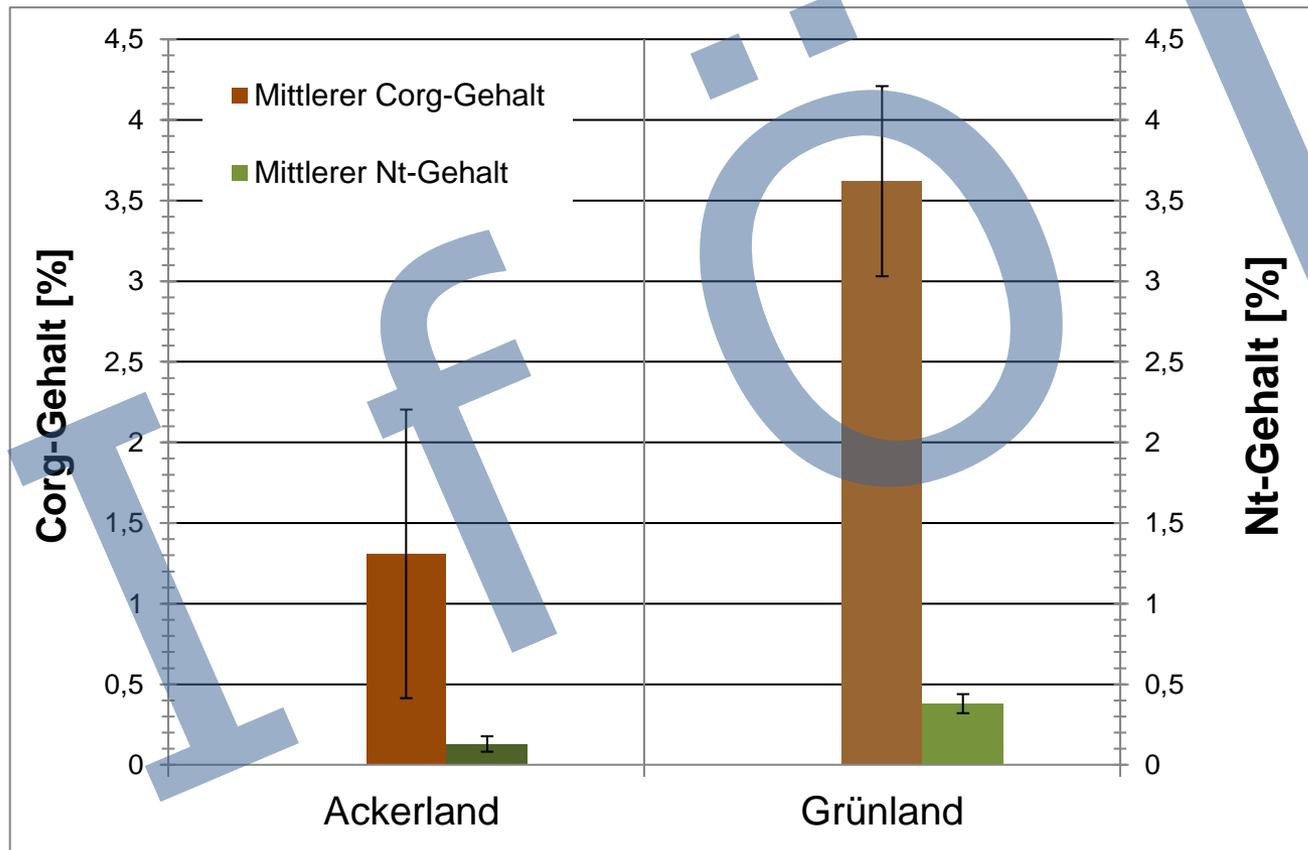
- Entwicklung von Humusgehalten unter dem Einfluss des Ackerbaus [(verändert nach JOHNSON et al. 1995) Die Linien A, B, C kennzeichnen unterschiedliche Humusspiegel in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung]



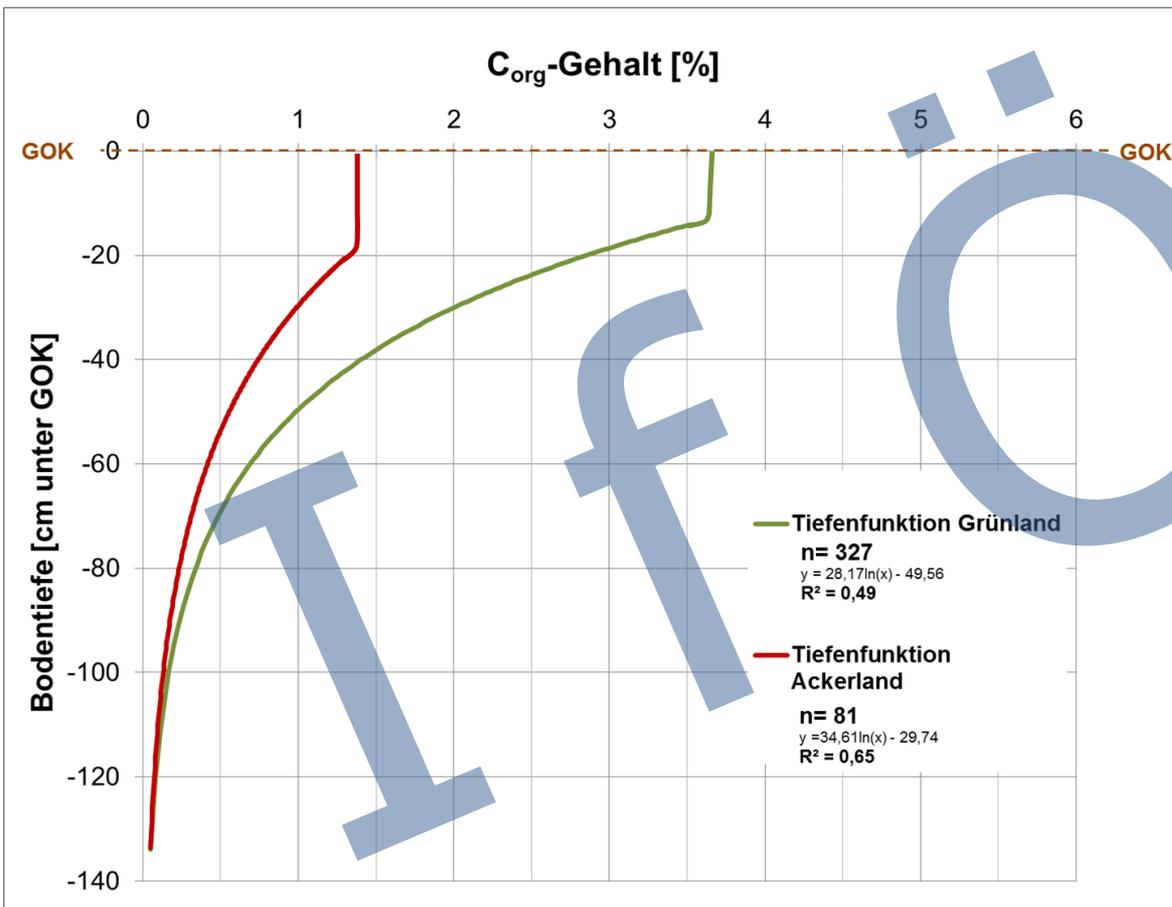
Z: Zufuhr organischer Substanz

A: Abbau organischer Substanz

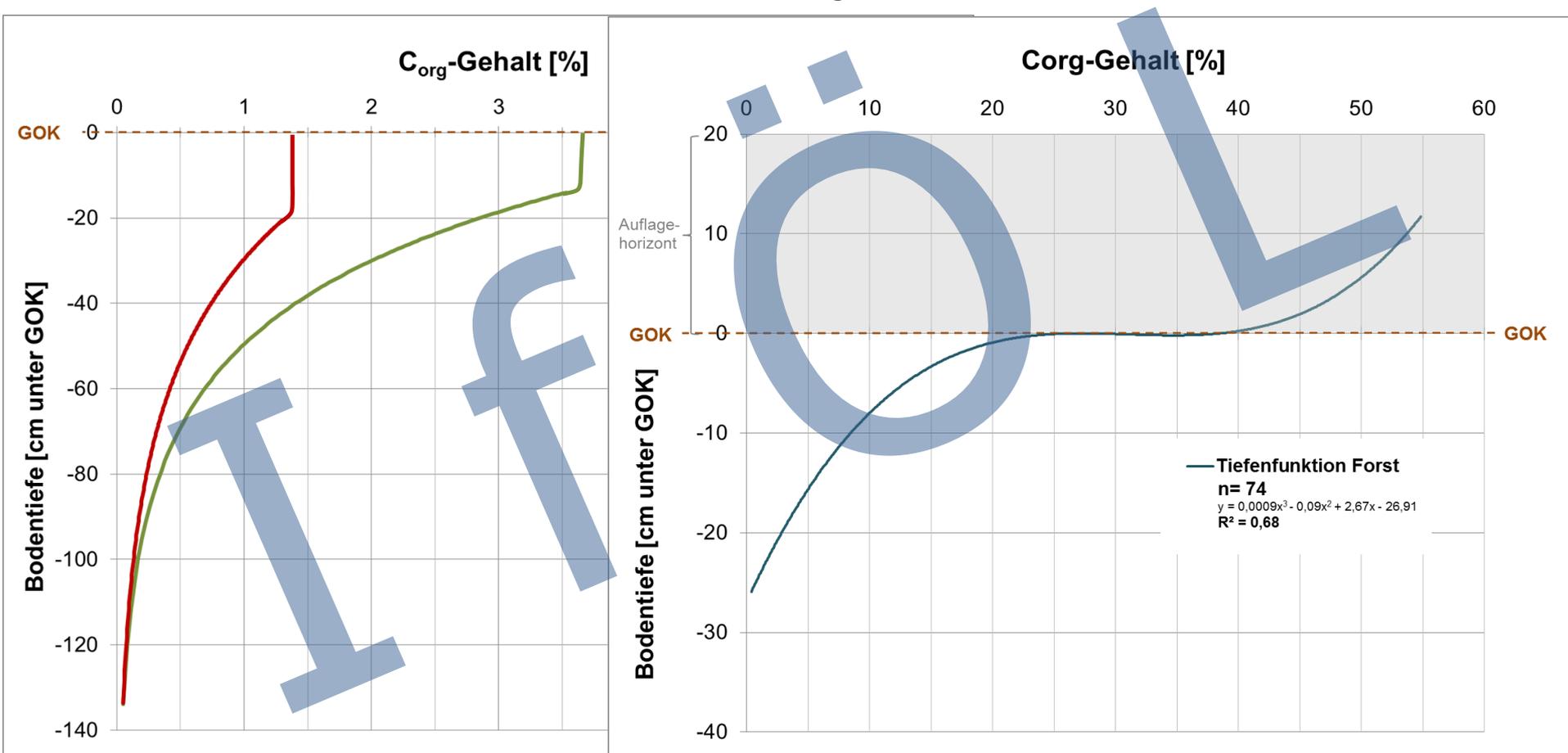
- Mittlere C_{org} - und N_t -Gehalte im Oberboden (0-30 cm) landwirtschaftlich genutzter Böden in Hessen



- Mittlere Tiefenprofile der C_{org} -Gehalte hessischer Böden



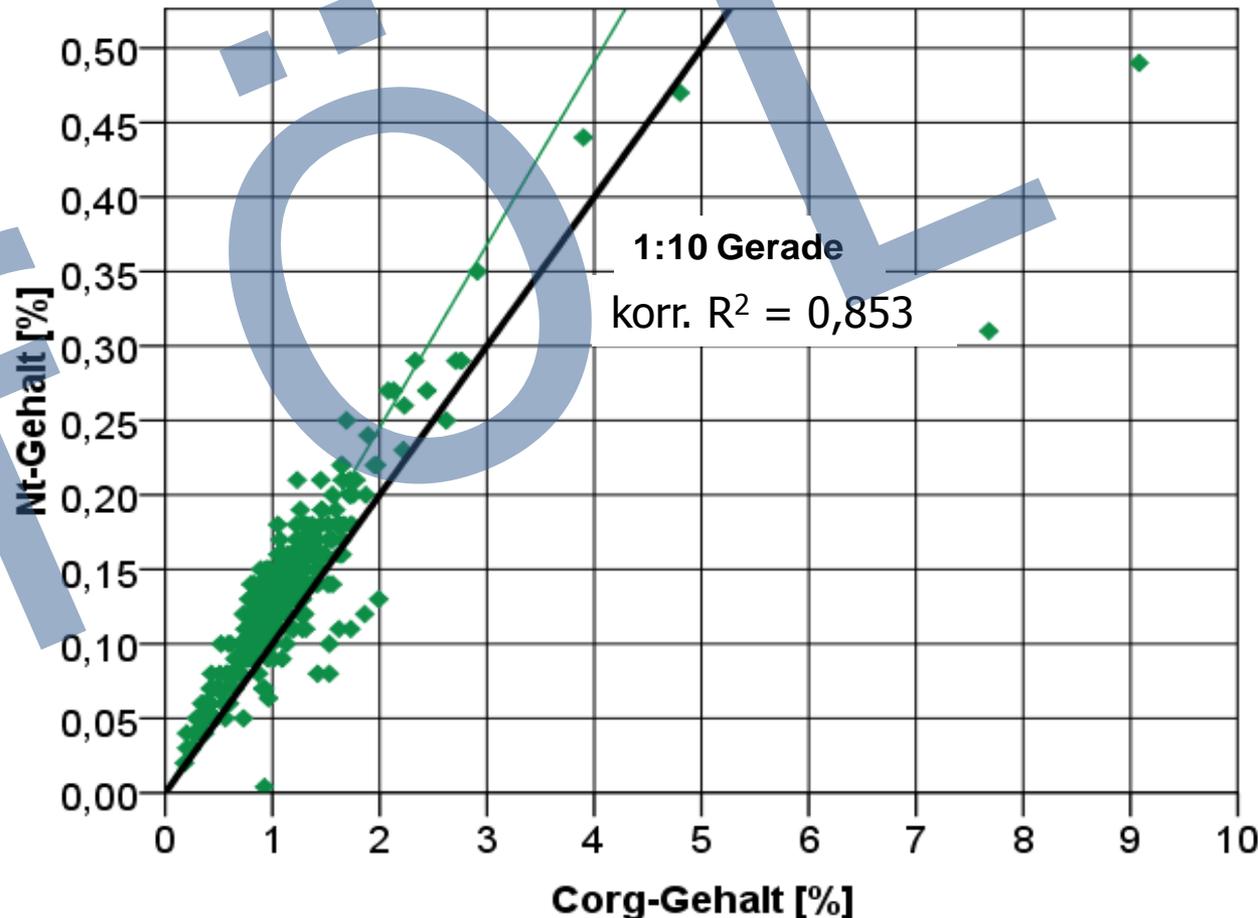
- Mittlere Tiefenprofile der C_{org} -Gehalte hessischer Böden



- Maß für die Qualität und Umsetzbarkeit der OBS ist das **C_{org}-/N_t-Verhältnis**

Ackerland:
Ø C_{org}-/N_t-Verhältnis
≈ 8-10

Grünland:
Ø C_{org}-/N_t-Verhältnis
≈ 9-12



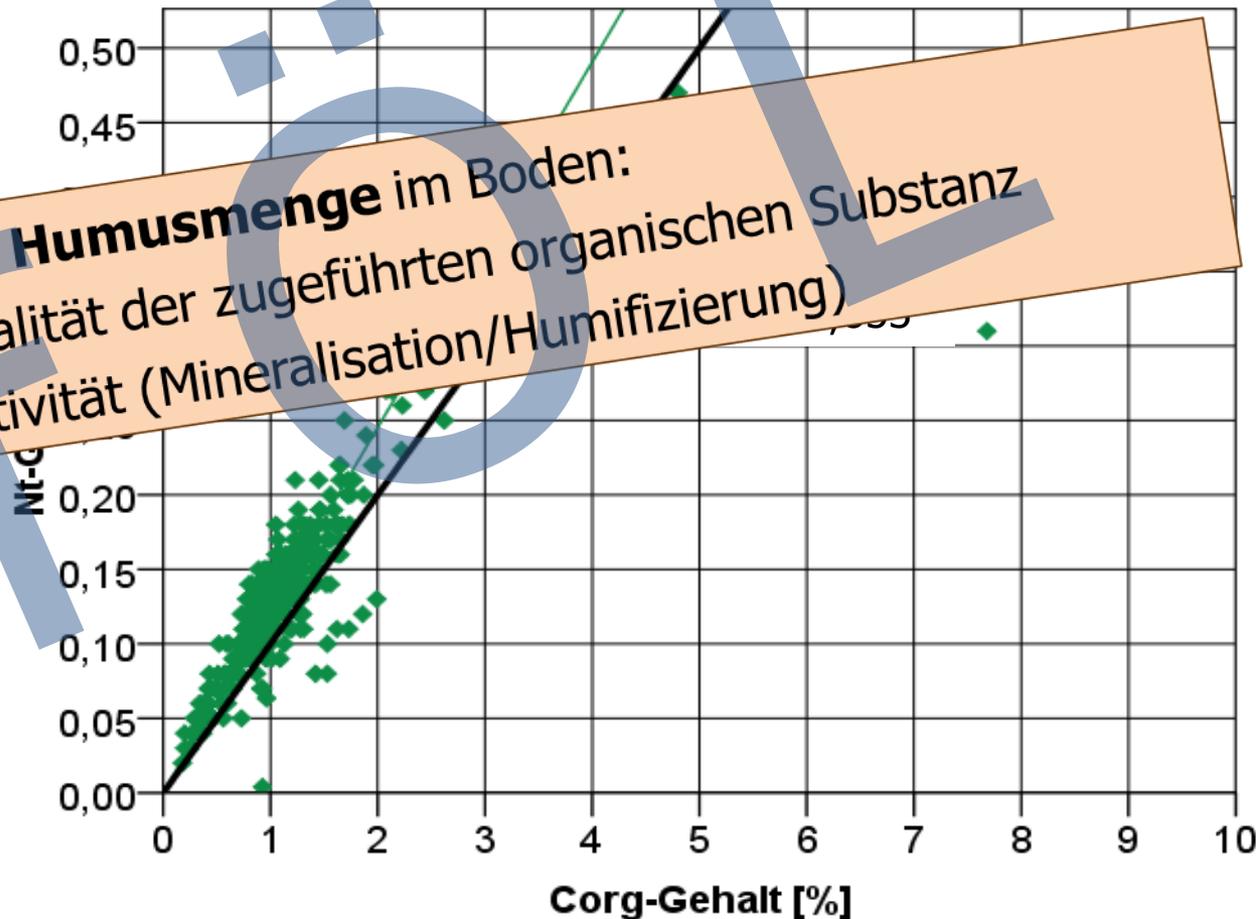
- Maß für die Qualität und Umsetzbarkeit der OBS ist das **C_{org}-/N_t-Verhältnis**

Ackerland:

Ø C_{org}-/N_t-Verhältnis
≈ 0,17

Zwei Faktoren steuern die **Humusmenge** im Boden:

- die Menge und Qualität der zugeführten organischen Substanz
- die biologische Aktivität (Mineralisation/Humifizierung)



Gliederung

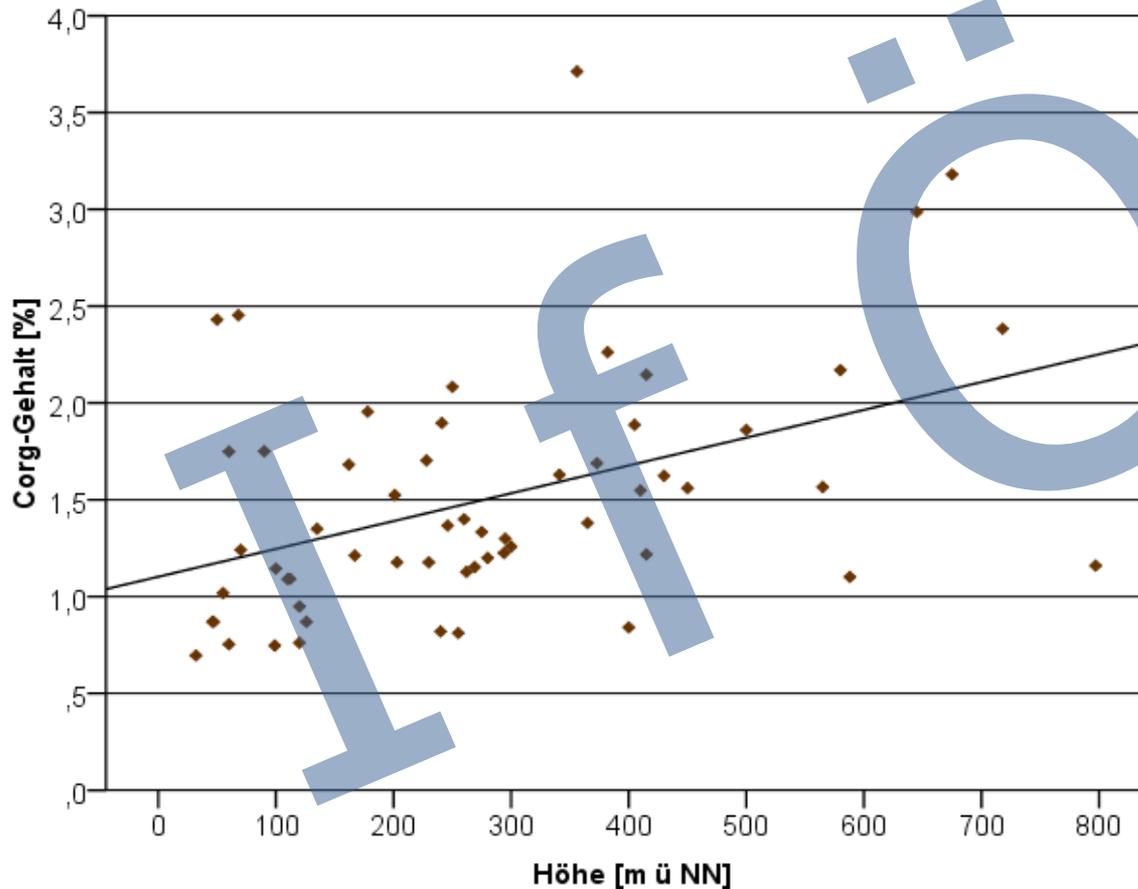
3. Wovon hängt der Humusgehalt im Boden ab?

InfÖL

- **Klimafaktoren** (meistens >50 % Einfluss)
 - Jahresmitteltemperatur
 - Jahresniederschlag (KWB)
 - Höhenlage
- **Bodeneigenschaften** (ca. 20-30 % Einfluss)
 - Bodenart (Ton Gehalt)
 - Wasserhaushalt (Grund- bzw. Staunässe)
 - Gründigkeit (Durchwurzelungstiefe)
- **Nutzung und Bewirtschaftung** (ca. 5-30 % Einfluss)
 - Acker, Grünland, Wald
 - Kulturarten und Fruchtfolge
 - Bodenbearbeitung, Bodengefüge (Durchlüftung)
 - Düngung, Zufuhr organischer Substanz

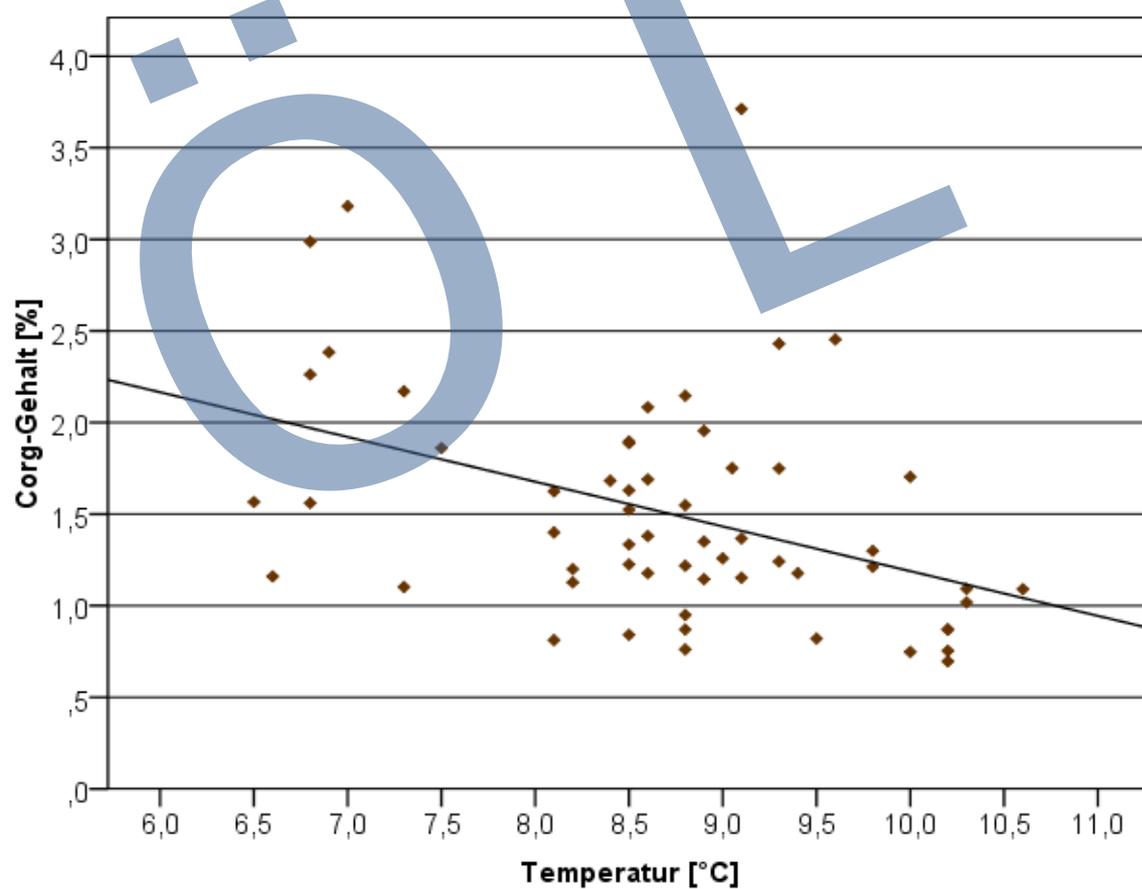
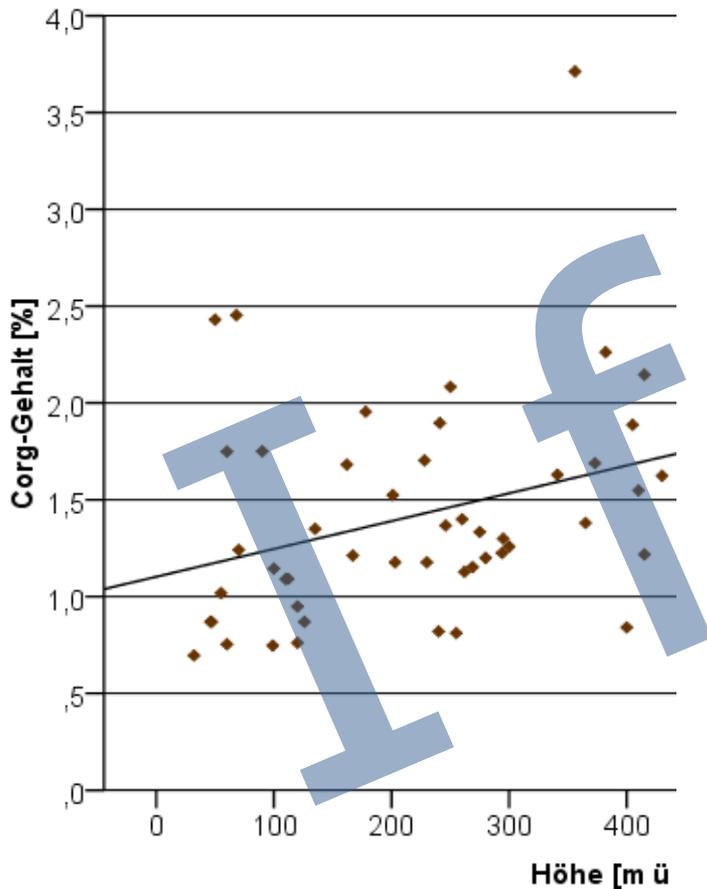
- Klimafaktoren

[Daten aus DVGW-Projekt N-Nachlieferung (*Beisecker et al., 2015*)]



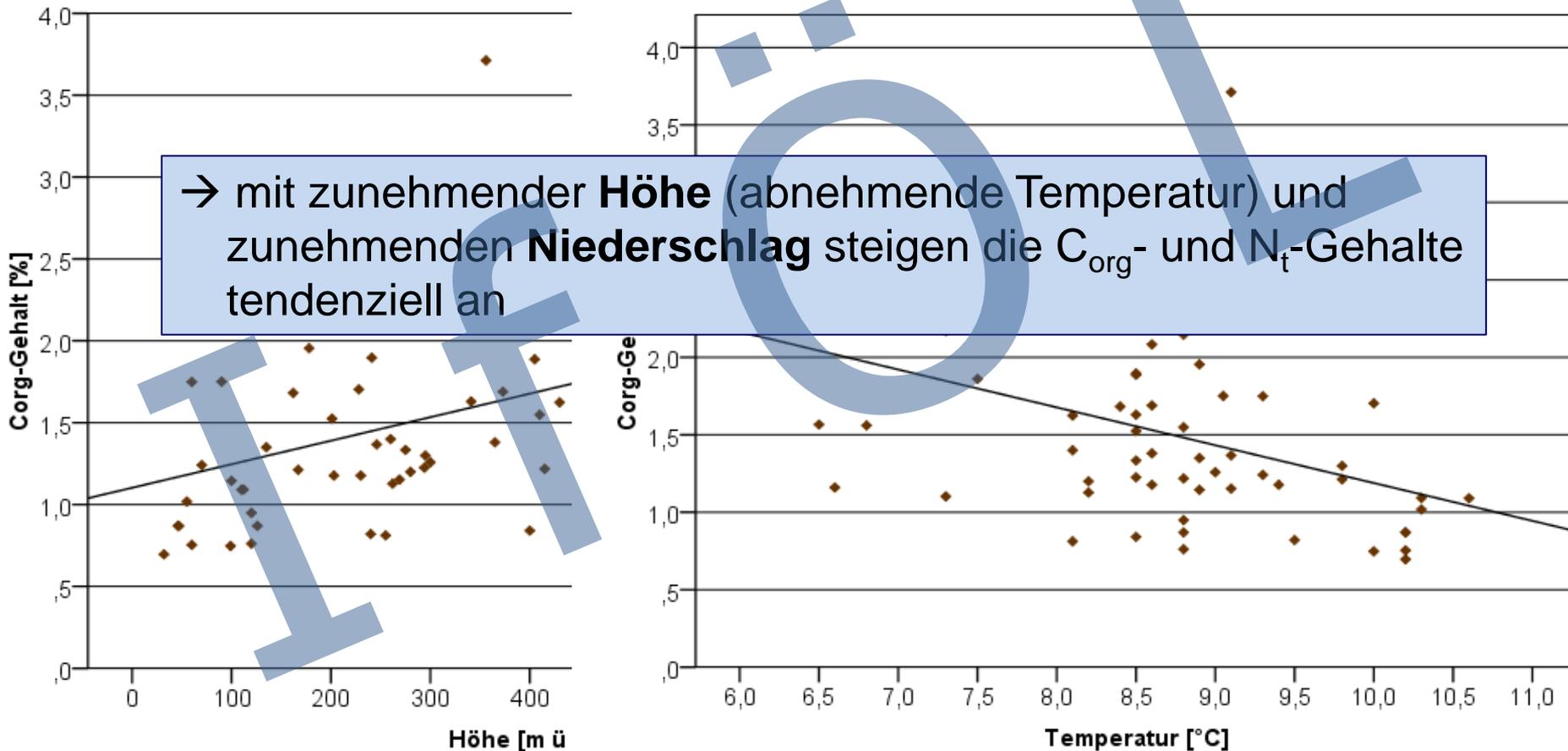
- Klimafaktoren

[Daten aus DVGW-Projekt N-Nachlieferung (*Beisecker et al., 2015*)]

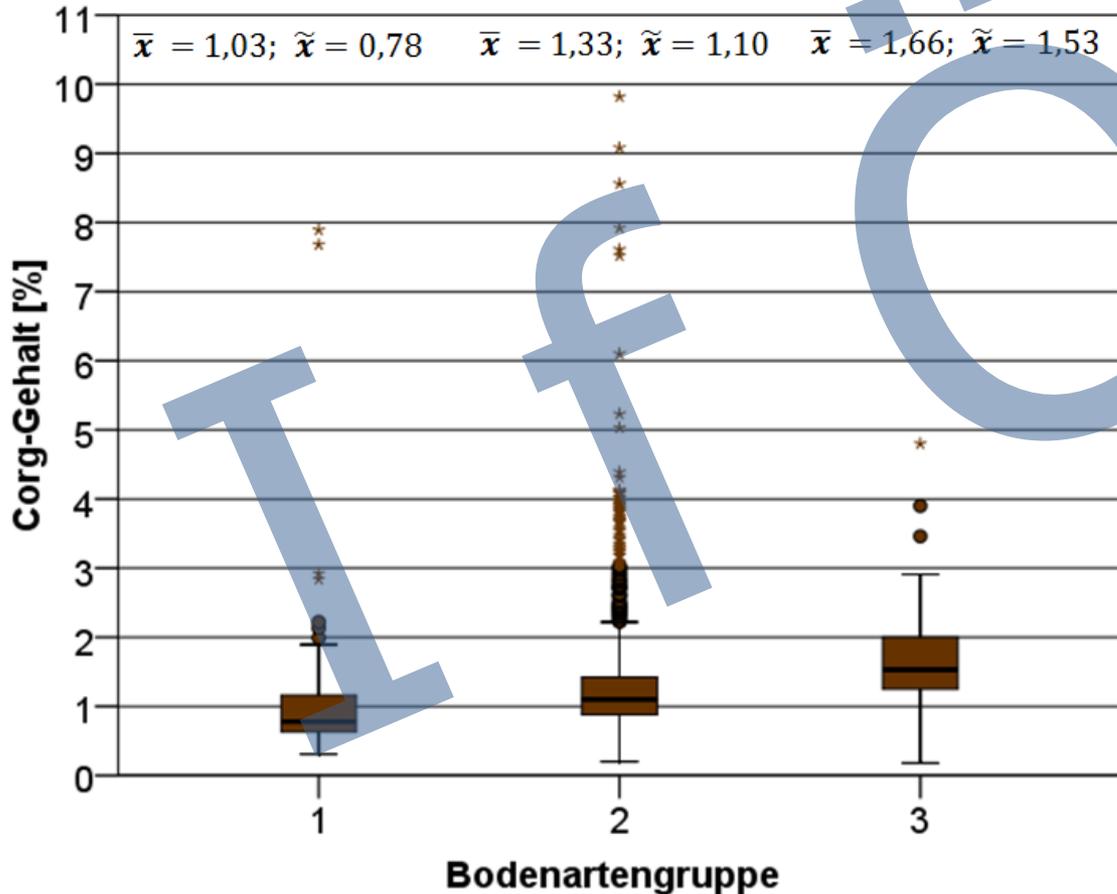


- Klimafaktoren

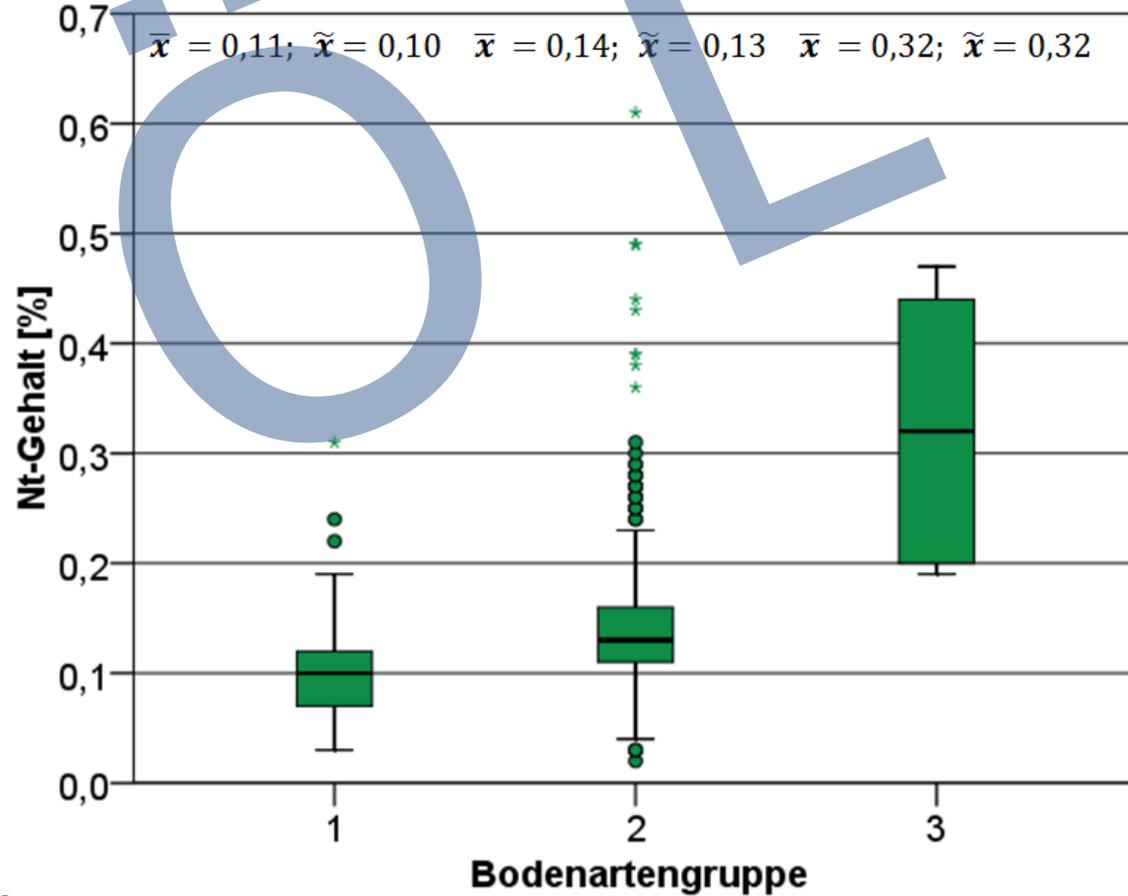
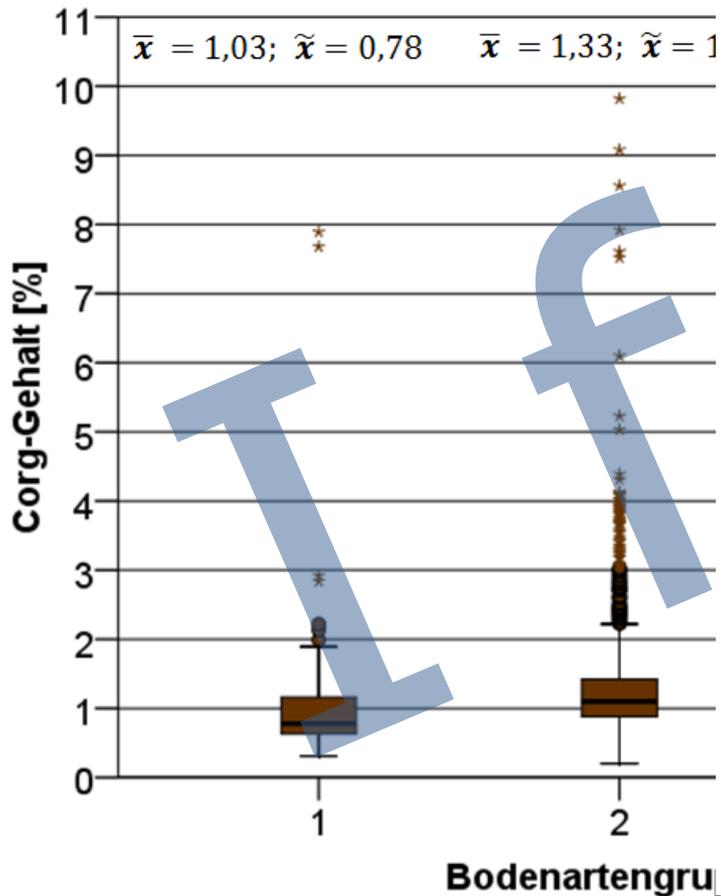
[Daten aus DVGW-Projekt N-Nachlieferung (*Beisecker et al., 2015*)]



- Mittlere **C_{org}**- und **N_t**-Gehalte in der Krume hessischer Ackerböden in Abhängigkeit der Bodenartengruppe (BAG)
[Analysedaten des LHL 2009-2015; eigene Auswertungen]



- Mittlere C_{org} - und N_t -Gehalte in der Krume hessischer Ackerböden in Abhängigkeit der Bodenartengruppe (BAG)
[Analysedaten des LHL 2009-2015; eigene Auswertungen]



- C_{org} - und N_t -Vorräte in der Krume hessischer Ackerböden in Abhängigkeit der Bodenartengruppe (BAG)
[Analysedaten des LHL 2009-2015; eigene Auswertungen]

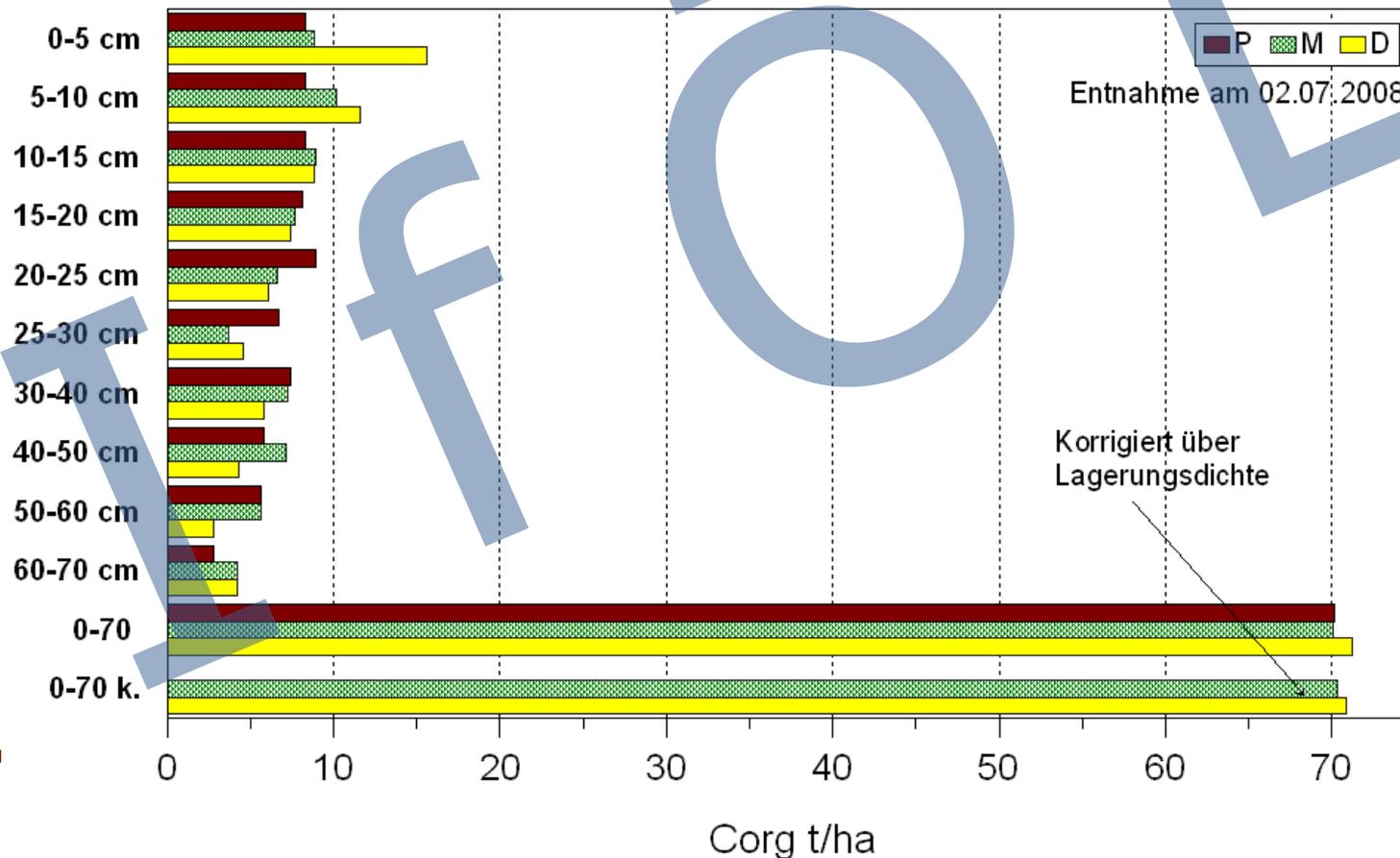
Bodenartgruppe	C_{org} -Vorrat [kg/ha]	N_t -Vorrat [kg/ha]
BAG I	46.318	4.759
BAG II	63.858	6.672
BAG III	84.773	16.490
gew. Mittelwert	63.486	6.627

→ mit zunehmendem **Tongehalt** der Böden steigen die C_{org} - und N_t -Gehalte und auch die Vorräte in der Krume deutlich an

- Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Humusgehalt [aus: Heyn, J. (2013)]

Bodenbearbeitungsversuch Hassenhausen:

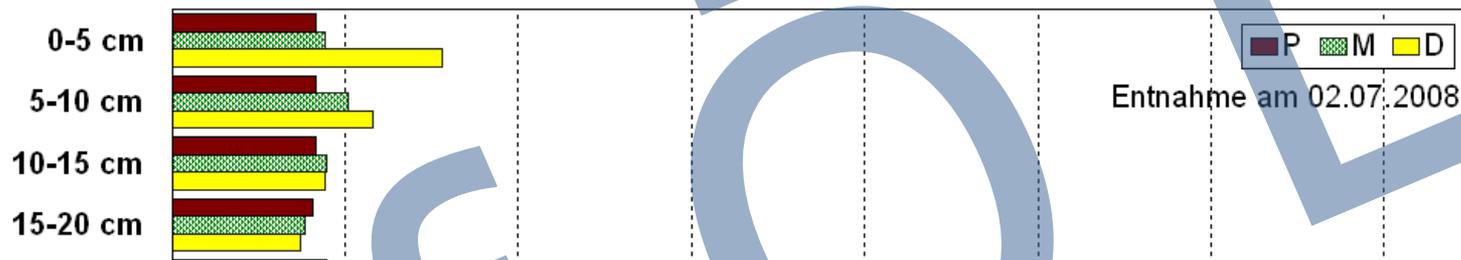
C_{org}-Mengen bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung



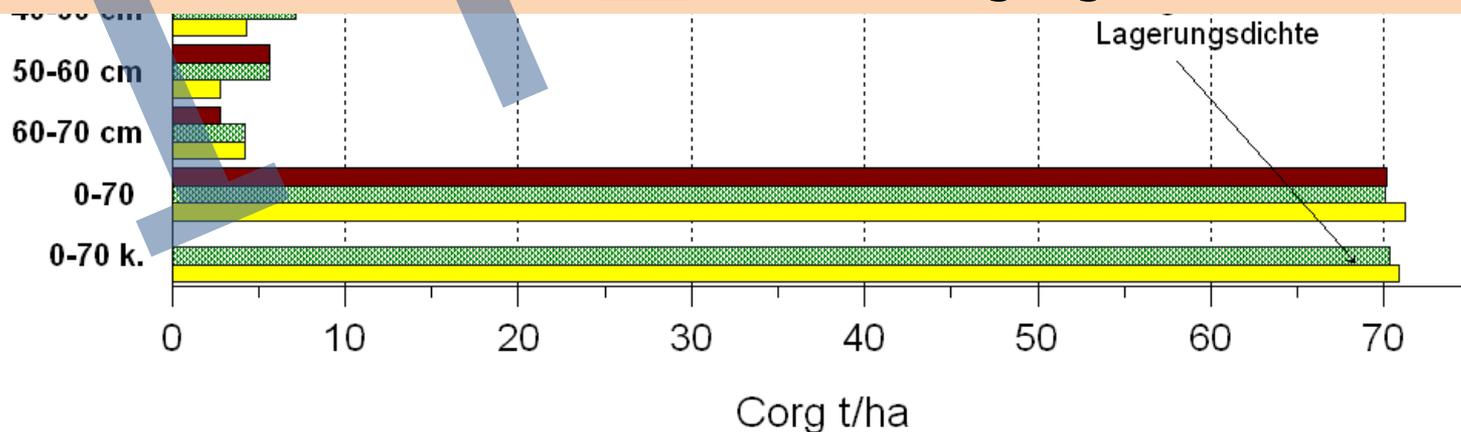
- Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Humusgehalt [aus: Heyn, J. (2013)]

Bodenbearbeitungsversuch Hassenhausen:

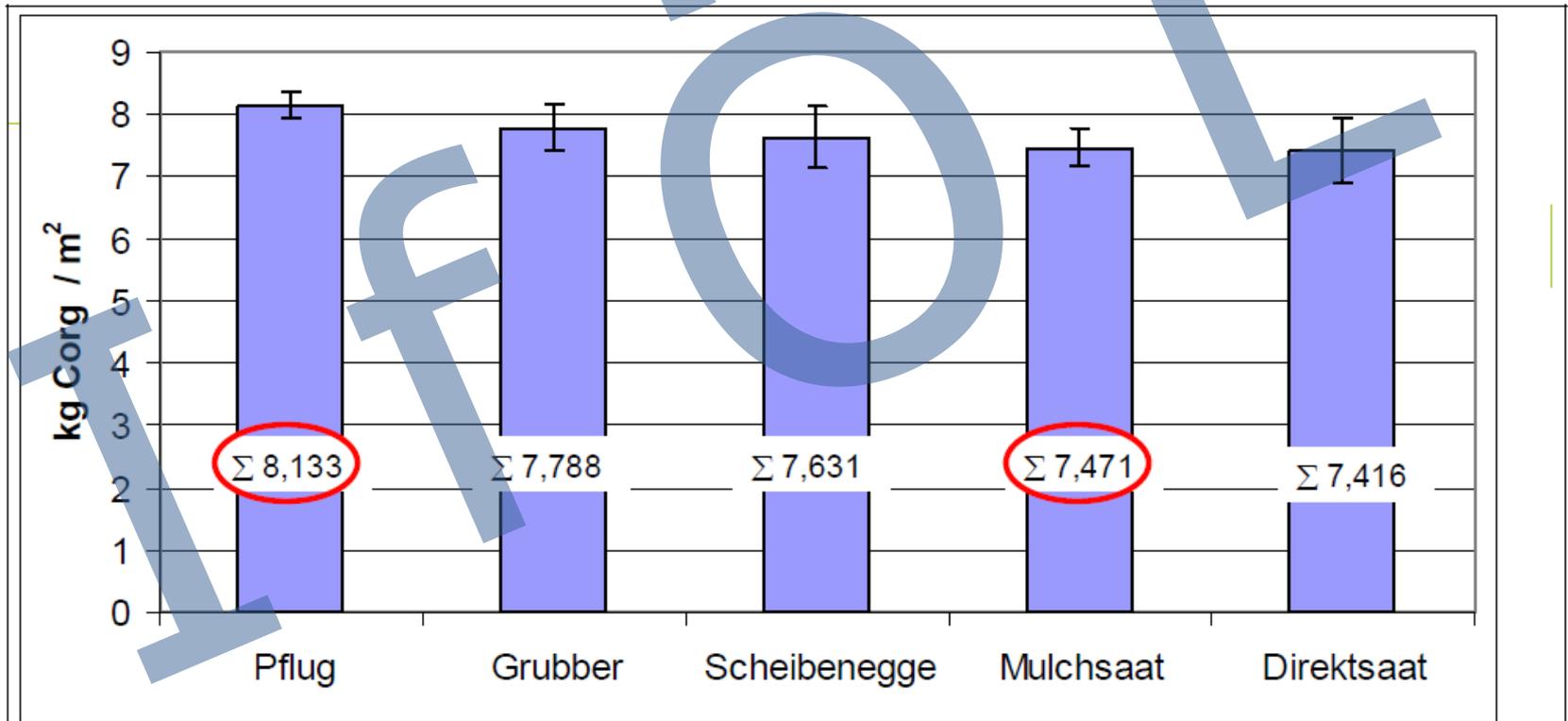
C_{org}-Mengen bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung



Wichtig: Aufgrund unterschiedlicher Dichtlagerung des Bodens
→ Bezug der C_{org}-Gehalte auf die **Bodenmasse** und nicht nur auf die **Bodentiefe** und Berücksichtigung des Unterbodens

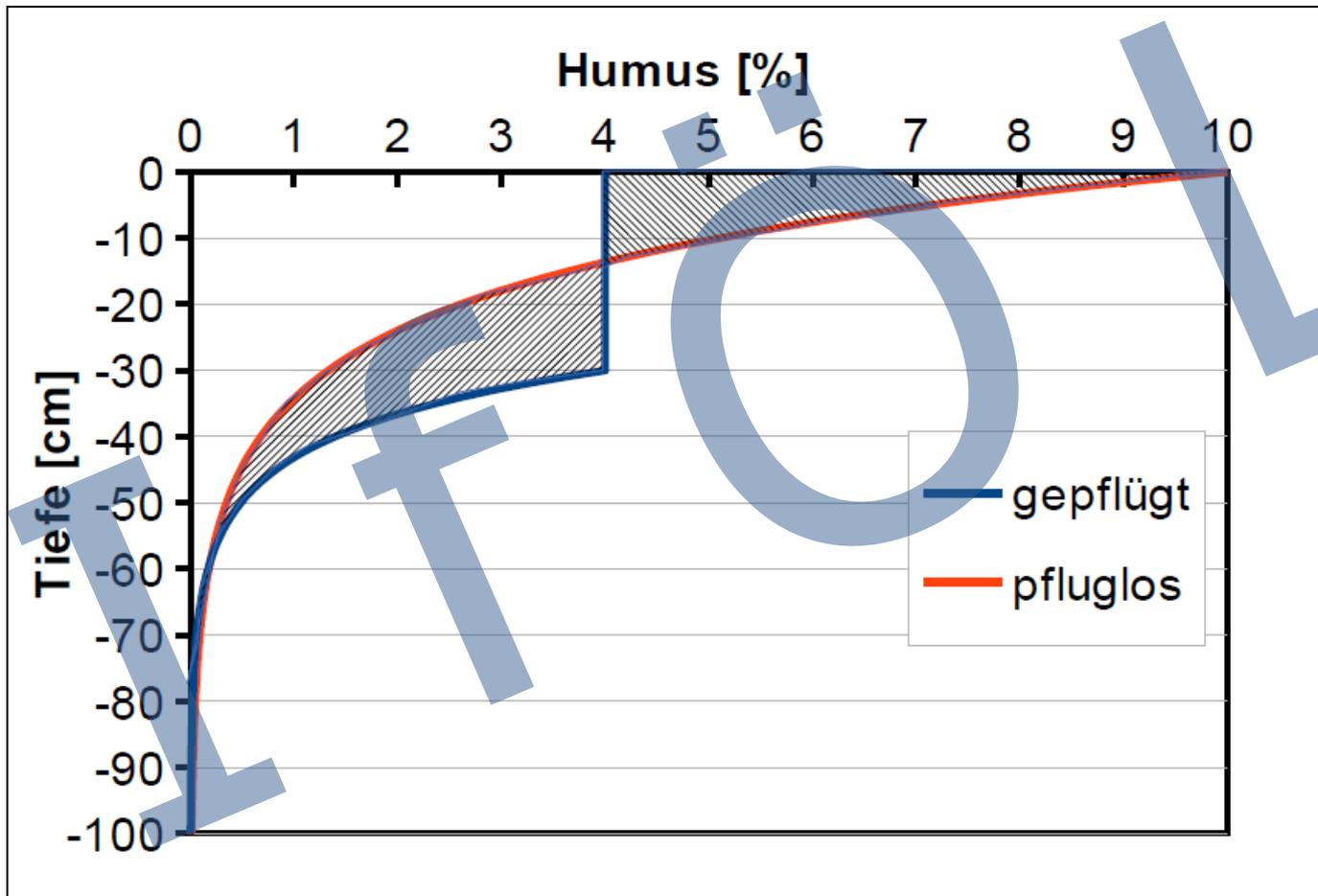


- Kohlenstoffvorräte in 0-60 cm Bodentiefe nach 9 Jahren unterschiedlicher Bodenbearbeitung;
[Bodenbearbeitungsversuche in Rheinland-Pfalz (Hunsrück, Eifel, Rheinhessen);
aus: *Appel (2011)*]

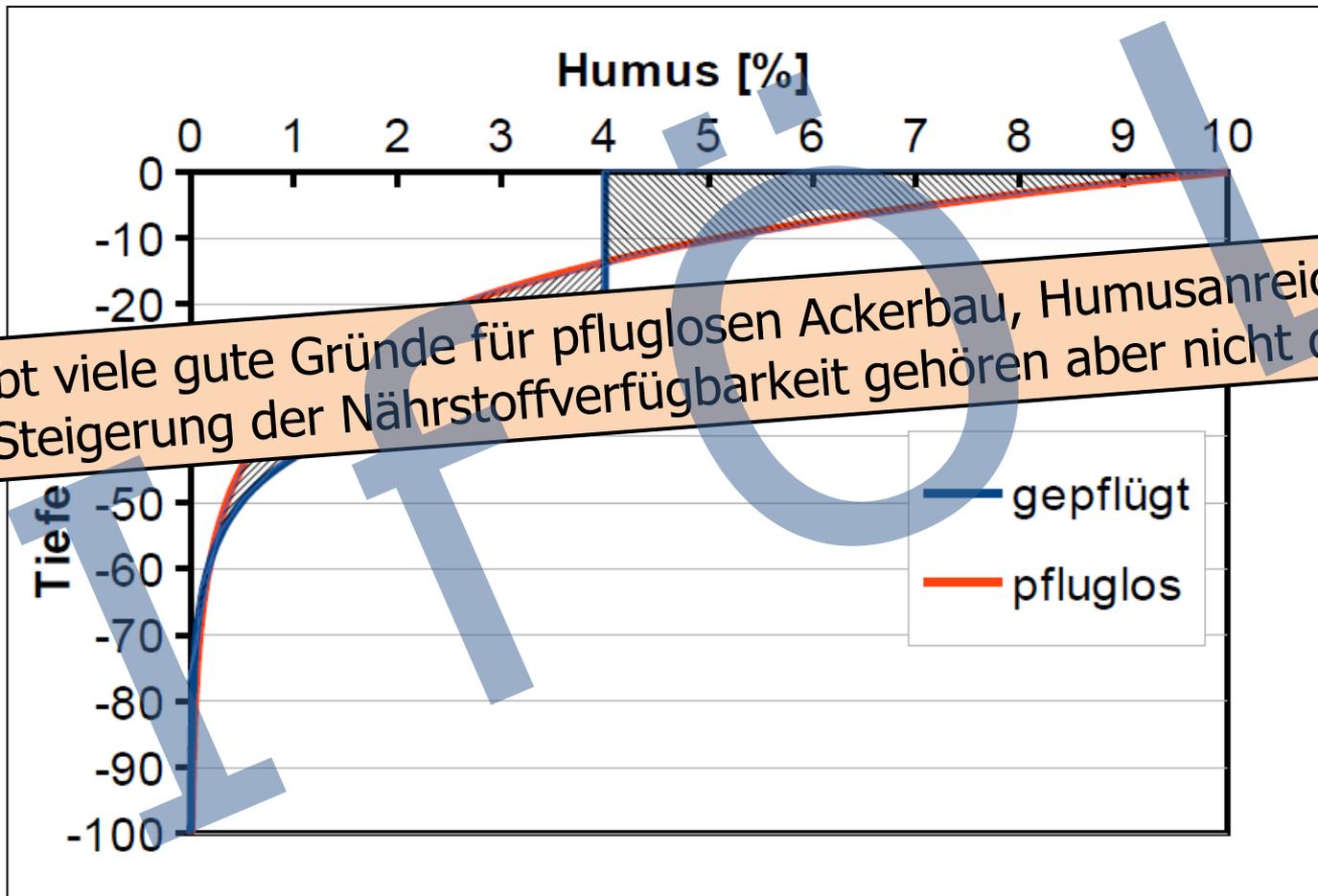


CO₂-Freisetzung durch 9 Jahre lang Mulchsaat im Vergleich zum Pflügen:
8,133 – 7,471 = **0,662 kg Corg / m²**

- Humusverteilung im Bodenprofil



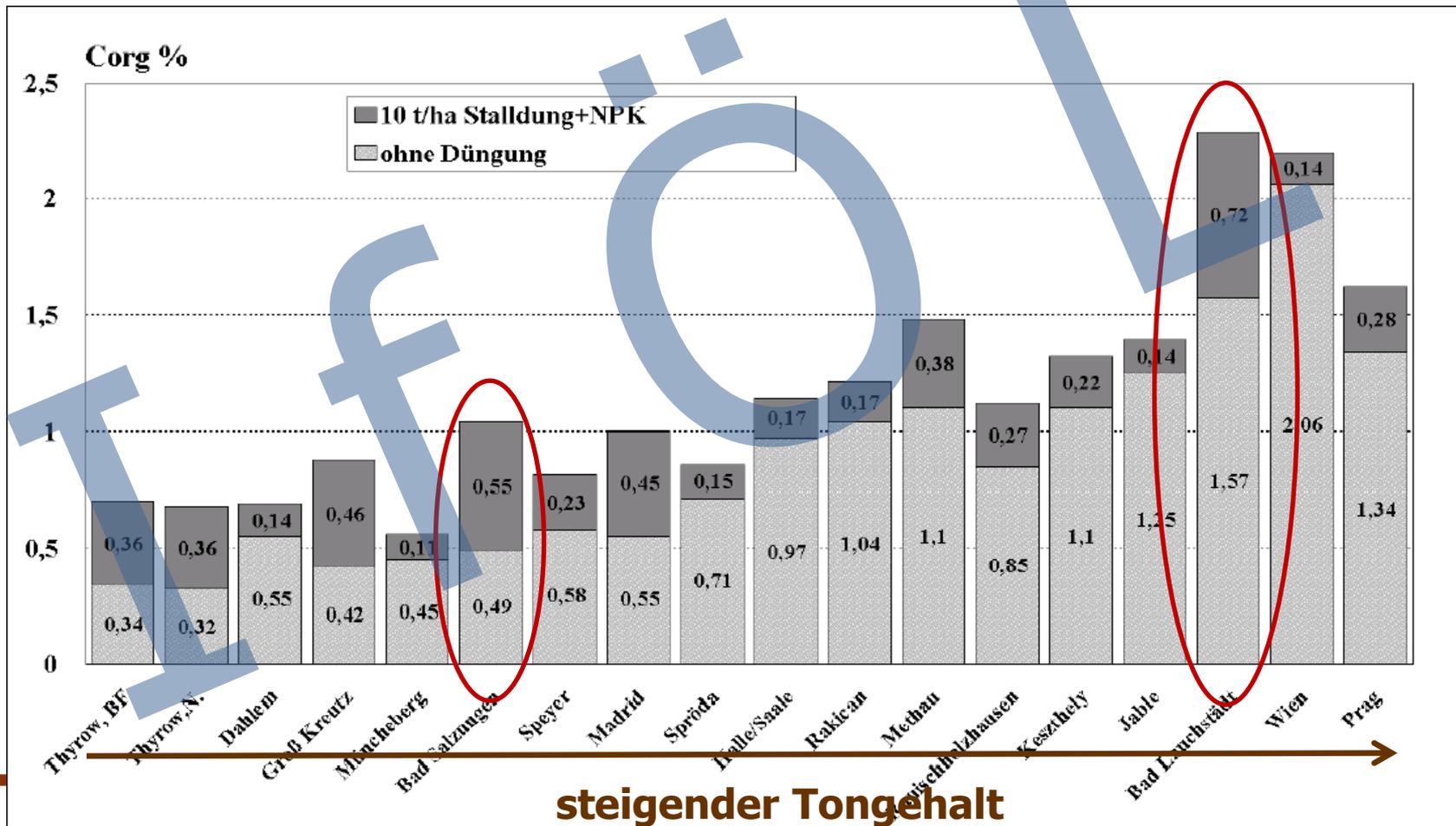
- Humusverteilung im Bodenprofil



Es gibt viele gute Gründe für pfluglosen Ackerbau, Humusanreicherung und Steigerung der Nährstoffverfügbarkeit gehören aber nicht dazu !!

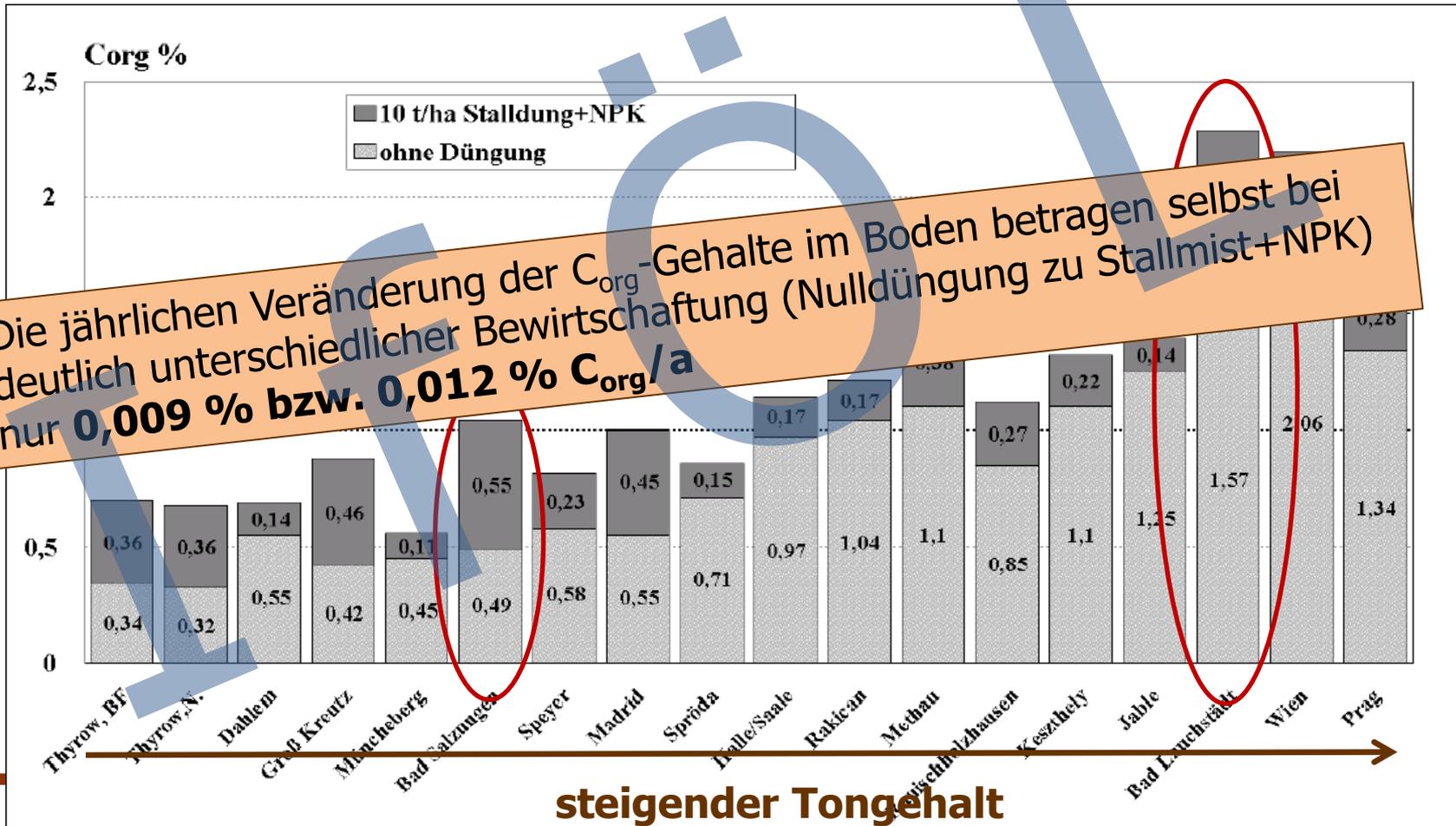
Düngung und Humusgehalt

- Veränderung der C_{org} -Gehalte (0-30 cm) in Abhängigkeit der Düngung in 18 Dauerfeldversuchen Europas [n. Körschens et al. (2012)]



Düngung und Humusgehalt

- Veränderung der C_{org} -Gehalte (0-30 cm) in Abhängigkeit der Düngung in 18 Dauerfeldversuchen Europas [n. Körschens et al. (2012)]



Gliederung

4. Funktionen und Wirkungen des Humus?

InföÖL

▪ **Puffer- und Filterfunktion**

- Nähr- und Schadstoffspeicher (Kationen- und Anionenaustauscher)
- Nährstoffmobilisierung und –nachlieferung (z. B. N-Nachlieferung)

▪ **Gefügestabilität**

- Bildung stabiler Krümelgefüge (Lebendverbauung)
- Ton-Humus-Komplexe (Aggregatstabilität)

▪ **Wasserhaushalt** (Wasserspeichervermögen)

▪ **Biologische Aktivität**

- Nahrungsgrundlage für Bodenlebewesen (z. B. mikrobielle Aktivität)
- Durchwurzelung

▪ Puffer- und Filterfunktion

- Nähr- und Schadstoffspeicher (Kationen- und Anionenaustauscher)
- Nährstoffmobilisierung und -nachlieferung (z. B. N-Nachlieferung)

▪ Gefügestabilität

Für Landwirte wichtig:

→ **Verbesserung der Ertragsfähigkeit und Ertragssicherheit**

▪ Biologische Aktivität

- Nahrungsgrundlage für Bodenlebewesen (z. B. mikrobielle Aktivität)
- Durchwurzelung

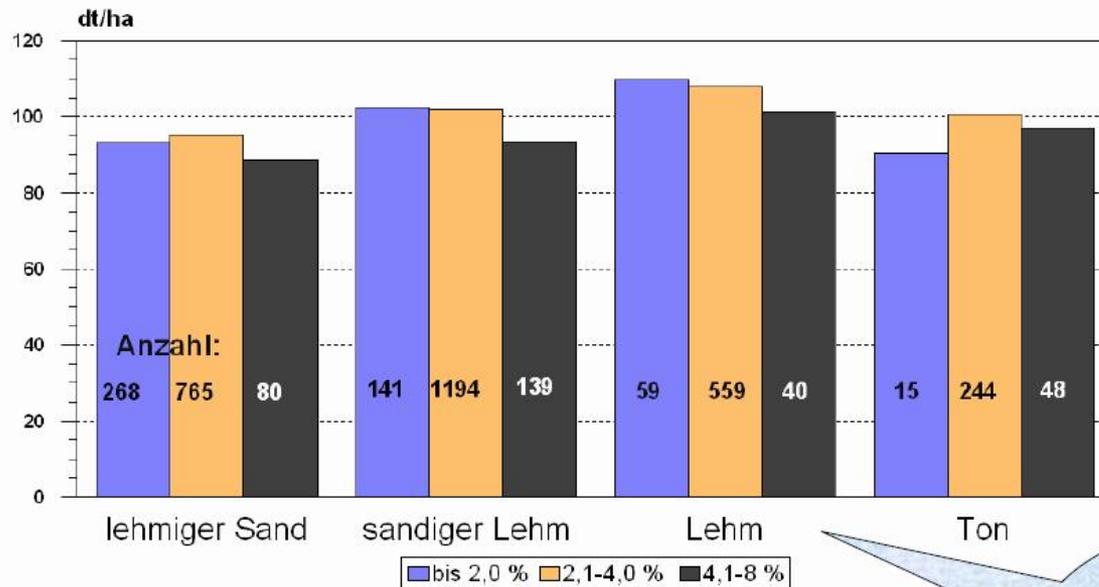
Ertragswirkung von Humus

- Erträge aus der Besonderen Ernteterminnung (BEE) Hessen von 1972-78 in Abhängigkeit des Humusgehaltes [aus Heyn, J. (2013)]

BEE Hessen 1972-1978



Relativer Ertrag von WW, RW, Ha und GS in Abhängigkeit von Bodenart und Corg-Gehalt des Bodens (aus: HABIS 1980)

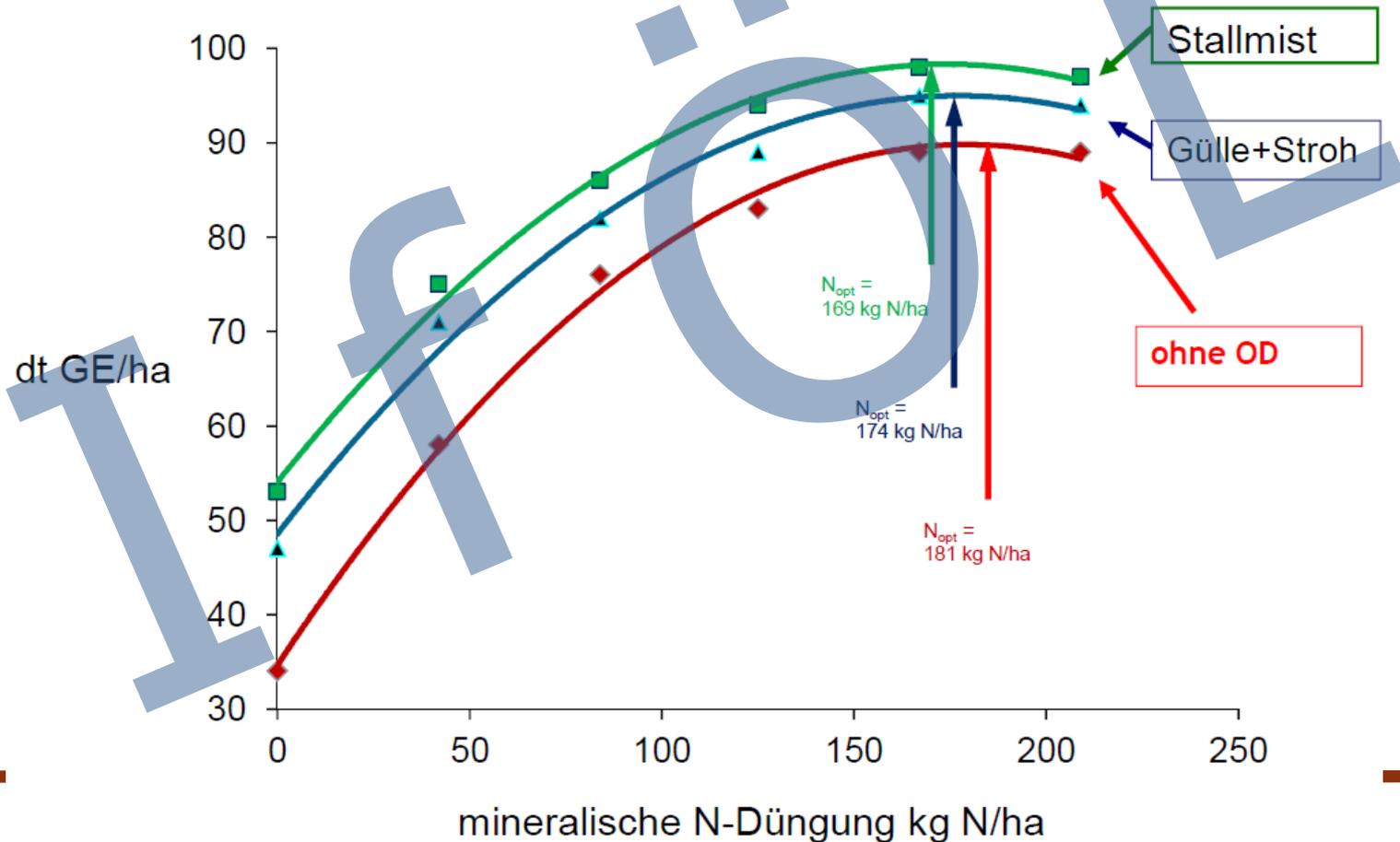


LLH Fg 26 11/09

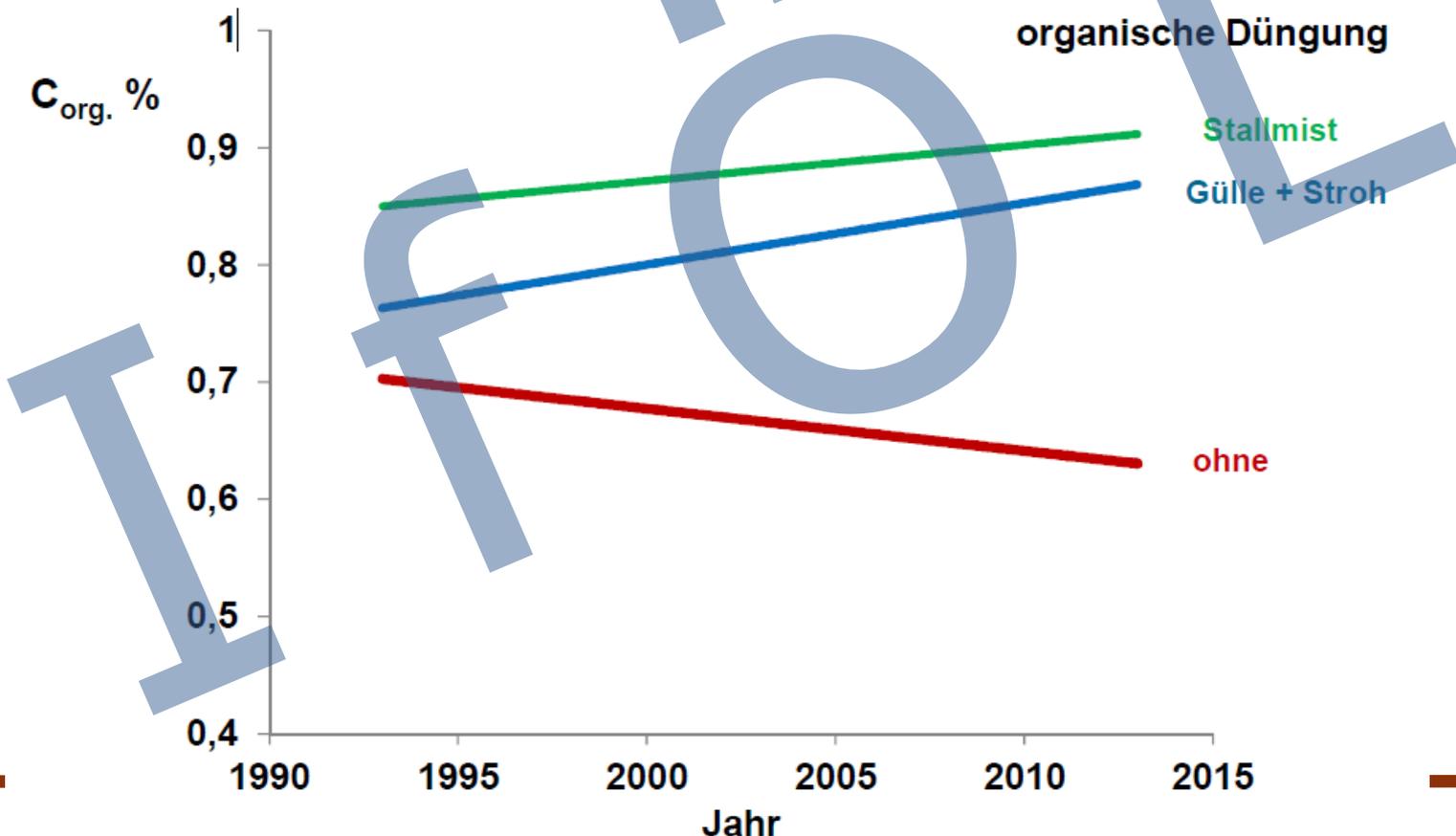
Aber:
Hohe
Humusgehalte
sind nicht
gleichbedeutend
mit hohen
Erträgen

Ertragswirkung von Humus

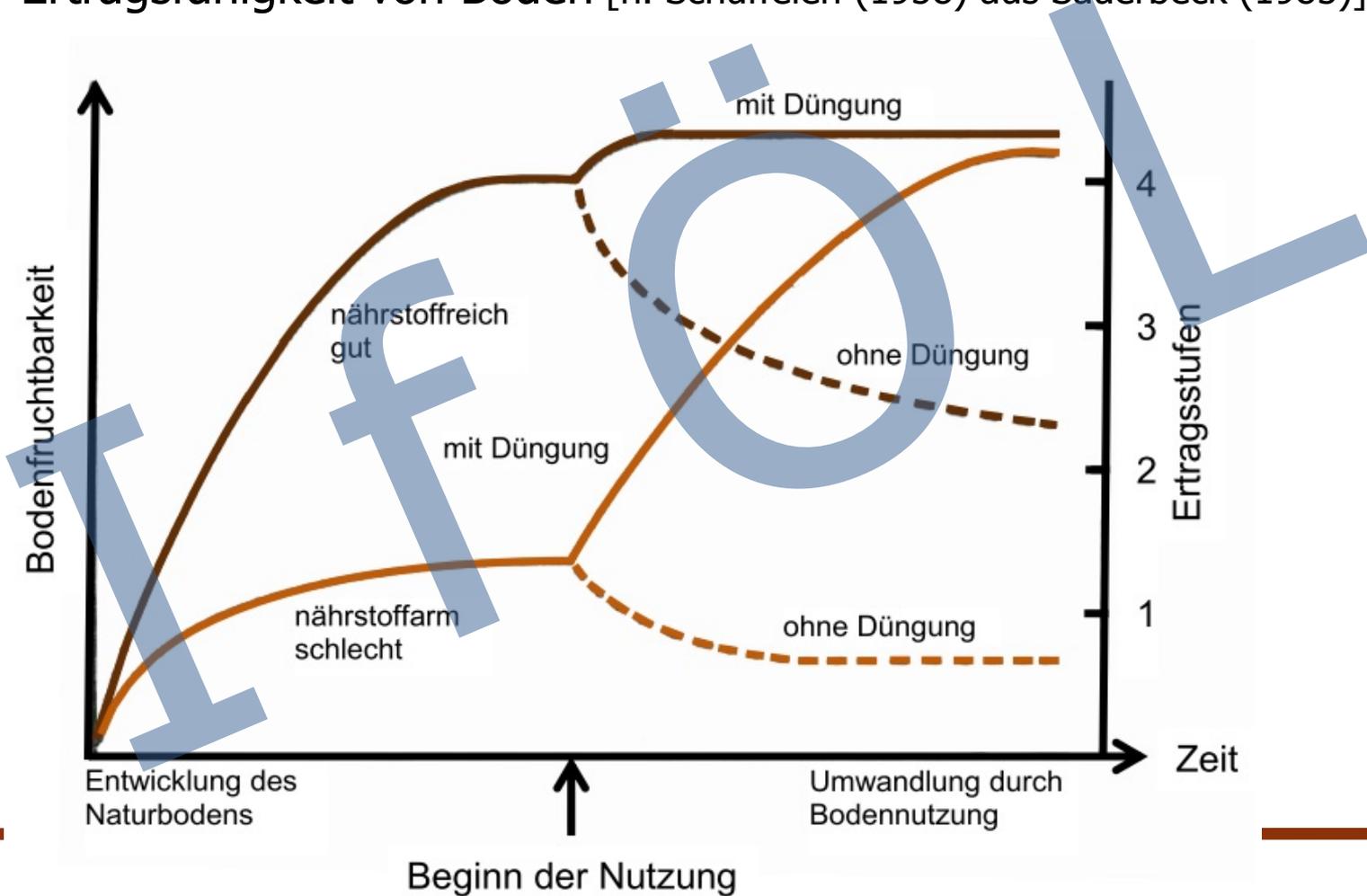
- Mittlere Getreideerträge (GE) in Abhängigkeit der organischen und mineralischen N-Düngung (1994...2014); Dauerdüngungsversuch Bad Salzungen, 2. Versuchsperiode seit 1993 [aus Zorn et al., 2015]



- Entwicklung des C_{org} -Gehaltes 1993 bis 2013 Dauerdüngungsversuch Bad Salzungen (Mittel aller N-Stufen jeder Stufe der organischen Düngung), 2. Versuchsperiode seit 1993 [aus Zorn *et al.*, 2015]



- Bedeutung von Bodenfruchtbarkeit und Düngung für die Ertragsfähigkeit von Böden [n. Schuffelen (1958) aus Sauerbeck (1985)]



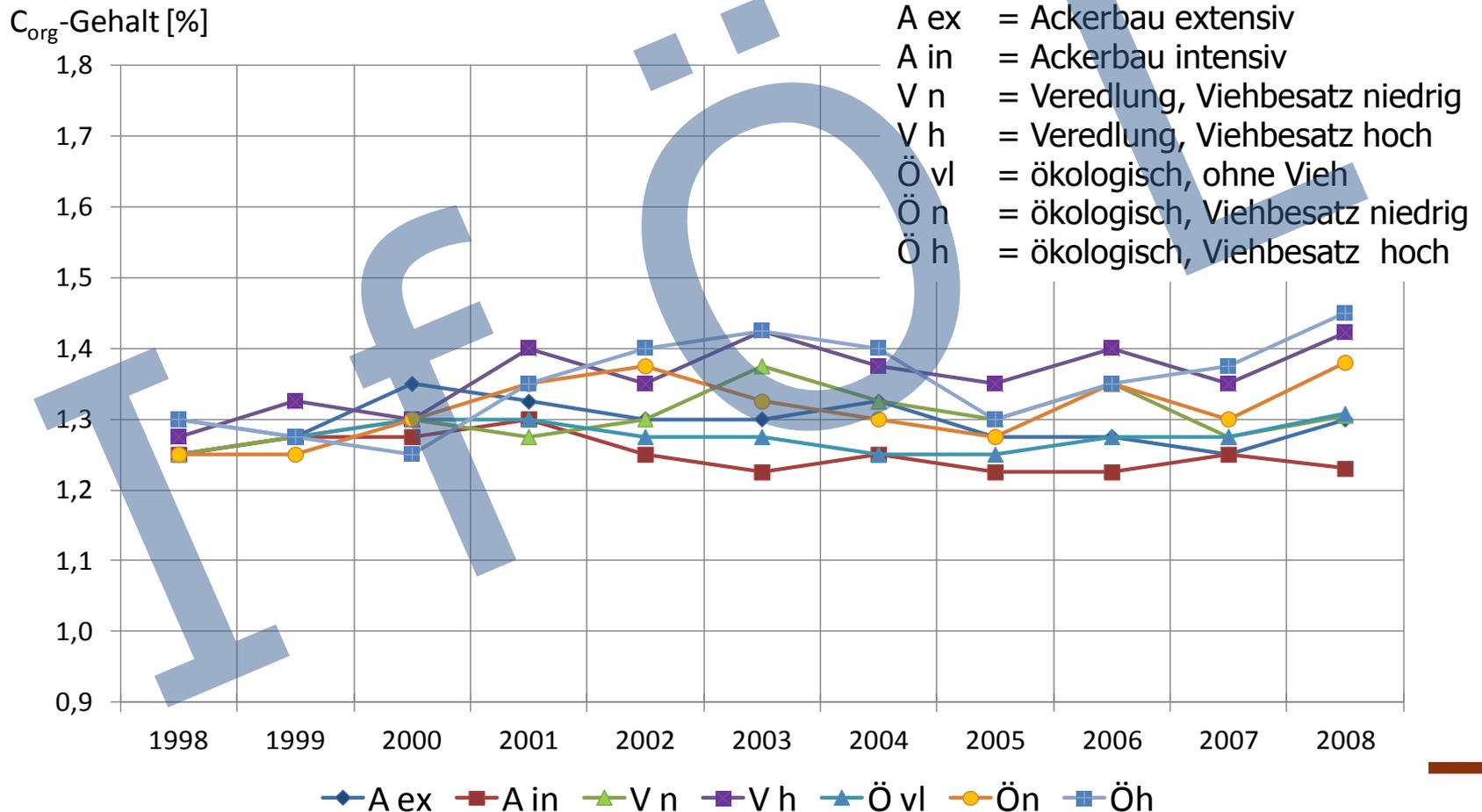
1. durch **Messung der C_{org} -Gehalte** im Boden

→ deutliche räumliche und zeitliche Schwankungen der C_{org} -Gehalte im Boden

- Jahreszeitlicher Rhythmus; Jahresunterschiede
- Räumliche Unterschiede im Schlag
- Krumenmächtigkeit, Bearbeitungstiefe
- Bedeutung der C_{org} -Gehalte im Unterboden ?!
(verlassene Krumen)

2. durch Berechnung der **Humusbilanz**

- Jahresschwankungen der C_{org} -Gehalte Daten der LLH-Lysimeterstation von 1998-2008; Bodenprobennahme nach der Ernte [n. Heyn, J. (2010)]



- Jahresschwankungen der C_{org} -Gehalte Daten der LLH-Lysimeterstation von 1998-2008; Bodenprobennahme nach der Ernte [n. Heyn, J. (2010)]

C_{org} -Gehalt [%]

1,8

A ex = Ackerbau extensiv

A in = Ackerbau intensiv

V n = Veredlung, Viehbesatz niedrig

V h = Veredlung, Viehbesatz hoch

Ö vl = ökologisch, ohne Vieh

Ö n = ökologisch, mit Viehbesatz niedrig

→ Jährliche Schwankungen der C_{org} -Gehalte um 0,1% (z. T. bis 0,2 %) sind normal!

1,6

1,5

1,4

1,3

1,2

1,1

1,0

0,9

1998

1999

2000

2001

2002

2003

2004

2005

2006

2007

2008

◆ A ex

■ A in

▲ V n

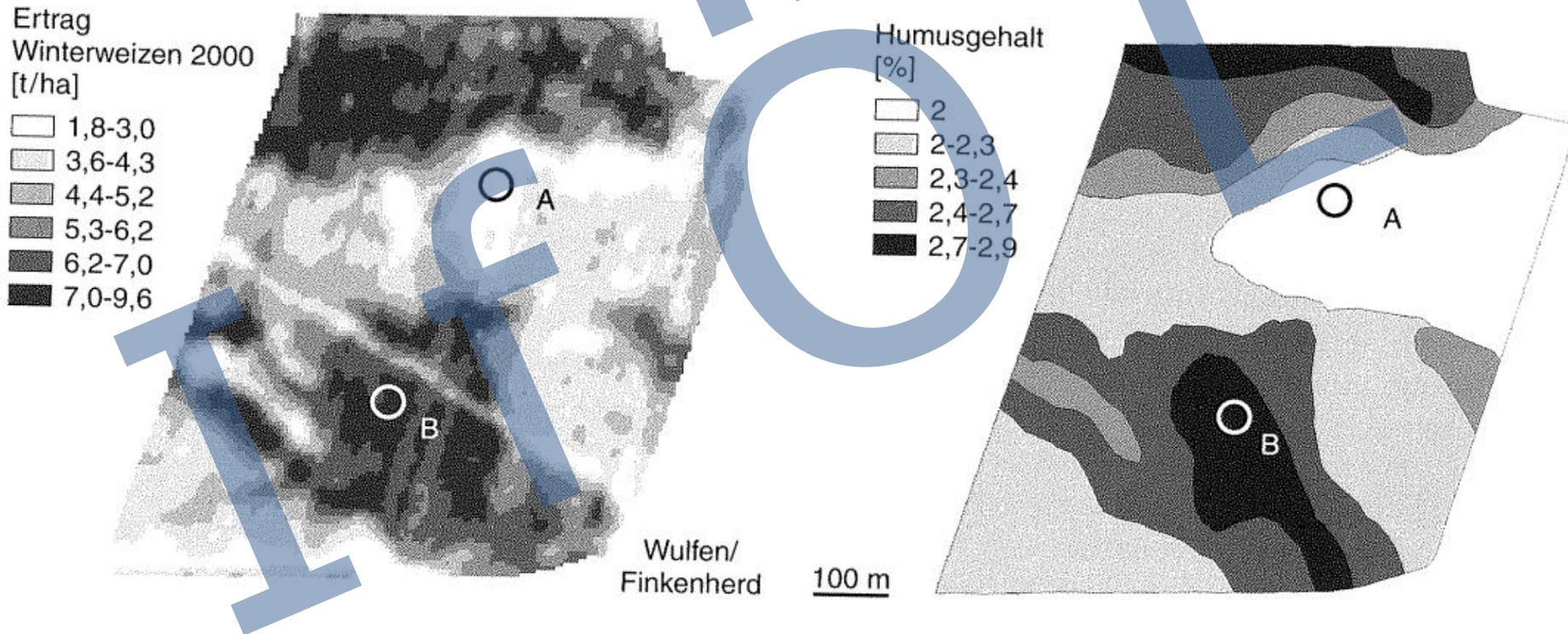
■ V h

▲ Ö vl

● Ö n

■ Ö h

- Humusgehalt und Ertrag bei Winterweizen
[aus: *Werner & Bachinger, 2009*]



- Analytische Bestimmung der C_{org} -Gehalte im Boden ist nur dann aussagefähig, wenn
- mehrjährige Analysenergebnisse vorliegen
- und die Probenahmen
- an denselben Probenahmestellen
 - bei gleicher Probenahmetiefe
 - zur annähernd gleichen Jahreszeit
 - bei vergleichbaren Feuchtebedingungen durchgeführt werden !!!!

Aufgrund der Analysungenauigkeit von etwa 0,1 % C_{org} können nur langfristige und deutliche Humusgehaltsänderungen erfasst werden !!
(0,1 % C_{org} entspricht bei 30 cm Ackerkrume ca. 4.000-5.000 kg C_{org} -Vorrat !!)

Schema der Humusbilanzierung



- 1 t reproduktionswirksame organische Substanz (ROS) entspricht der Humusersatzleistung von 1 t Rottemist-TM, aus der nach der Humifizierung ca. 200 kg C im Boden verbleiben
- **1 Humusäquivalent (HÄQ)** entspricht **1 kg Humus-C/ha** in der humifizierten organischen Masse des Bodens
- 1 Humuseinheit (HE) entspricht 1 t Humus-Trockenmasse, die etwa 580 kg C und 55 kg N enthält

- Mittlerweile gibt es zahlreiche verschiedene Methoden und Verfahren zur Humusbilanzierung
- mit unterschiedlicher Zielsetzung
 - Aussagen zum organischen Düngbedarf von Fruchtfolgen zum Erhalt der Bodenproduktivität bei geringer Umweltbelastung (z. B. CC = betriebsbezogen, VDLUFA = schlagbezogen)
→ **qualitative Aussagen**
 - Abschätzung der Veränderung der Humusvorräte im Boden (z. B. STAND, HU-MOD, CANDY Carbon Balance, REPRO)
→ **quantitative Aussagen**
- Unterschiedlicher Datenbedarf und bei gleichem Datensatz ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse !!
- nachfolgend wird auf die VDLUFA-Methode (2014) Bezug genommen

- Richtwerte für den fruchtartsspezifischen Humusreproduktionsbedarf (HÄQ/ha·a) verschiedener Kulturen [Auszug nach VDLUFA (2014)]

Fruchtarten	Humusreproduktionsleistung [HÄQ/(ha·a)]		
	Untere Werte	Mittlere Werte	Obere Werte
Humuszehrende Kulturen			
Zucker- und Futterrüben	-760	-1300	-1840
Kartoffeln	-760	-1000	-1240
Silomais, Körnermais	-560	-800	-1040
Getreide, Öl- und Faserpflanzen, Sonnenblumen	-280	-400	-520
Humusmehrende Kulturen	niedriges Ertragsniveau	hohes Ertragsniveau	
Körnerleguminosen		160	
Zwischenfrüchte			
Winterzwischenfrüchte		140	
Stoppelfrüchte		100	
Untersaaten		250	
Brache, Selbstbegrünung		180	
gezielte Begrünung		700	
Mehrjähriges Feldfutter			
Ackergras, Leguminosen, Leguminosen-Gras-Gemenge; je Hauptnutzungsjahr		600	800

- Richtwerte für die Humusreproduktionsleistung organischer Materialien in HÄQ je t FM [Auszug nach VDLUFA (2014)]

Organische Materialien	% TS	HÄQ/t FM
Pflanzenmaterial		
Stroh	86	100
Gründüngung	10	8
Stallmist		
frisch	20	28
verrottet	25	40
Gülle		
Schwein	8	8
Rind	10	12
Gärreste		
flüssig	4	6
	7	9
	10	12

1 HÄQ = 1 kg Humus-C/t Substrat-FM pro Jahr

- Berechnung der Humusbilanz nach VDLUFA (2014) für eine Maisfruchtfolge (untere Werte);
Angaben in HÄQ = kg Humus-C/(ha·a)

Fruchtfolge	Maisfruchtfolge		
	50 % Mais, 50 % WW	50 % Mais, 50 % WW	50 % Mais, 50 % WW
Humusbedarf	-420	-420	-420
Strohabfuhr Getreide	ja	nein	nein
organische Düngung	15 m ³ /ha	15 m ³ /ha	15 m ³ /ha
Zwischenfrüchte	keine	keine	ja, vor SM
Humusreproduktion Stroh	-	320	320
Humusreproduktion Gülle	135	135	135
Humusreproduktion Zwfr.	-	-	60
Σ Humusreproduktion	135	455	515
Humussaldo	-285	35	95

- Berechnung der Humusbilanz nach VDLUFA (2014) für eine Rapsfruchtfolge (untere Werte);
Angaben in HÄQ = kg Humus-C/(ha·a)

Fruchtfolge	Rapsfruchtfolge		
	je 33% WW, WG, RA	je 33% WW, WG, RA	je 33% WW, WG, RA
Humusbedarf	-280	-280	-280
Strohabfuhr Getreide	ja	nein	nein
organische Düngung	20 m ³ /ha	keine	20 m ³ /ha
Zwischenfrüchte	keine	keine	keine
Humusreproduktion Stroh	-	427	427
Humusreproduktion Gülle	180	-	180
Humusreproduktion Zwfr.	-	-	-
Σ Humusreproduktion	180	427	607
Humussaldo	-100	147	327

- Bewertung der Humusbilanzsalden nach VDFLUFA (2014)

Humusäquivalente HÄQ/(ha u. Jahr)		Klasse	Bewertung	Empfehlung
Konv. Betriebe	Öko-Betriebe			
≤ -200	≤ -200	A Sehr niedrig	Ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktionen und Ertragsleistung möglich	Änderung der Fruchtartenwahl und/oder Erhöhung der Zufuhr organischer Dünger
-200 bis -76	-200 bis -1	B Niedrig	Mittelfristig tolerierbar	Ausgeglichene Bilanz anstreben
-75 bis +100	0 bis +300	C Ausgeglichen	Humusabbau wird durch die Humuszufuhr in der Fruchtfolge ausgeglichen	keine
+101 bis +300	+301 bis +500	D Hoch	Mittelfristig tolerierbar	Ausgeglichene Bilanz anstreben
≥ +300	≥ +500	E Sehr hoch	Erhöhung des Mineralisationspotenzials des Bodens (Möglichkeit erhöhter Verluste und verminderter Düngeeffizienz)	Auf Einhaltung des zulässigen N-Überschusses achten

▪ Bewertung der Humusbilanzsalden nach VDFLUFA (2014)

Humusäquivalente HÄQ/(ha u. Jahr)		Klasse	Bewertung	Empfehlung
Konv. Betriebe	Öko-Betriebe			
≤ -200	≤ -200	A Sehr niedrig	Ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktionen und Ertragsleistung möglich	Änderung der Fruchtartenwahl und/oder Erhöhung der Zufuhr organischer Dünger
-200 bis -76	-200 bis -1	B Niedrig	Mittelfristig tolerierbar	
-75 bis +100				
		sehr hoch	... des Bodens (Möglichkeit erhöhter Verluste und verminderter Düngereffizienz)	Auf Einhaltung des zulässigen N-Überschusses achten

→ Humusreproduktionskennwerte wurden aus den langjährigen Dauerversuchen abgeleitet (Optimalvariante = Stallmist + NPK)
 → Kennwerte dienen dazu, die optimale Versorgung des Bodens mit organischer Substanz zu bemessen und nicht dazu, die Veränderung der C_{org}-Gehalte im Boden zu errechnen!!

- Humusbilanz trifft Aussagen zur Humusversorgung des Bodens, nicht zum Humusgehalt (C_{org} -Gehalt) !!
- Humusmenge im Boden wird gesteuert
 - Menge und Qualität der zugeführten organischen Substanz
 - biologischen Aktivität im Boden (Mineralisation/Humifizierung)
- Neben dem absoluten Humusgehalt ist vor allem der Humusumsatz (biologische Aktivität, Lebendverbauung) im Boden sehr wichtig

▪ Was kann der Landwirt tun, um den Humushaushalt im Boden zu fördern?

→ Es sind 2 wesentliche **Grundsätze** zu beachten:

1. Regelmäßige Zufuhr frischer organischer Substanz in den Boden (positiver Humussaldo)
2. Förderung der biologischen Aktivität und Lebendverbauung durch Mikroorganismen und Wurzeln
 - Erhaltung der Bodenstruktur und Gefügestabilität (Wasser- und Lufthaushalt)
 - Verbesserung der Durchwurzelung
 - Vermeidung von Bodenschadverdichtungen
 - Förderung des Bodenlebens, insbesondere Regenwürmer
 - standort- und bedarfsgerechte Düngung der Kulturen

