



Schlupf und Zugkraft

E. Diserens – Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften (INH) Tänikon





1. Einleitung

1.1 Beschreibung

1.2 Bedeutung

2. Beurteilung

2.1 Interaktionen Boden-Reifen

2.2 Lastübertragung

2.3 Zugkraft

2.4 Bodenscherung

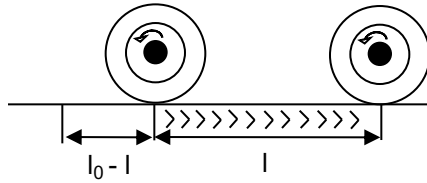
2.5 Leistung und Treibstoffverbrauch

2.5 Beurteilungsprinzip

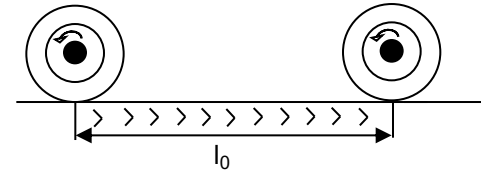
3. Fallbeispiele mit TASC



Schlupf

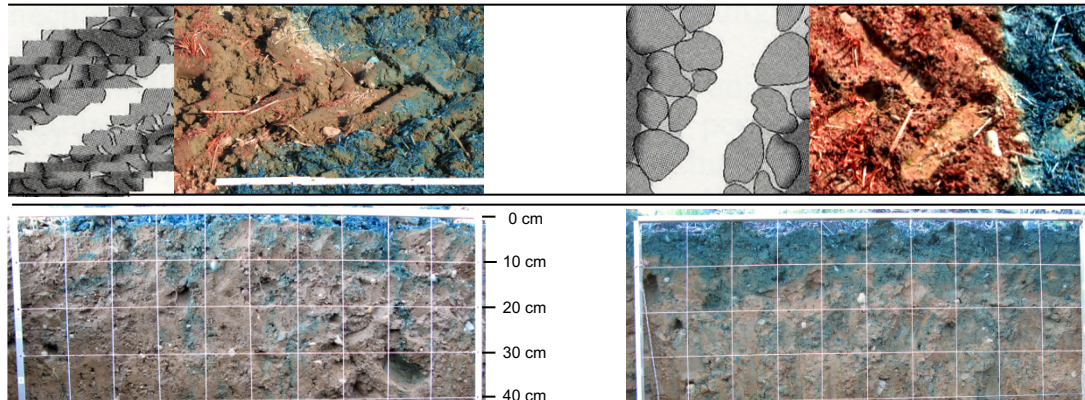


mit Schlupf ($\sigma > 0 \%$)*



ohne Schlupf ($\sigma = 0 \%$)

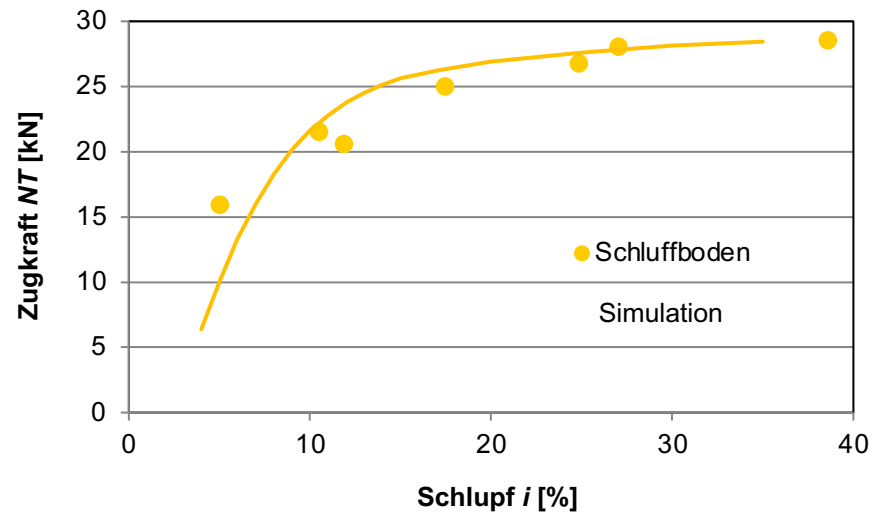
$$\sigma = [(l_0 - l) / l_0] \cdot 100 = [(\omega R - V_a) / \omega R] \cdot 100 = [(V_0 - V_a) / V_0] \cdot 100$$





Zugkraft und Schlupf

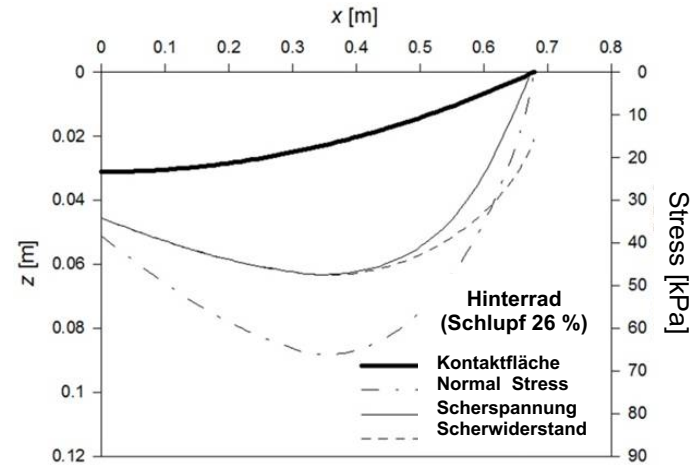
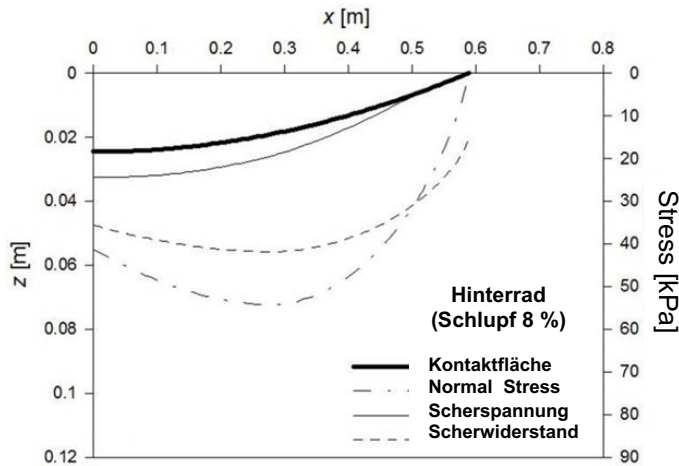
Traktor:
Hürlimann DT 88, 65 kW
Gewicht 4 t., pression 0.6 bar
Boden: 27 % T; 53 % U; 20 % S





Kräfte am Rad

Traktor:
Hürlimann DT 88, 65 kW
Gewicht 4 t., pression 0.6 bar
Boden: 27 % T; 53 % U; 20 % S





Auswirkungen im Oberboden





Auswirkungen im Oberboden



- Erosion** → bis max. 500 t/ha/a – Flachland < 20 t/ha·a
– Hügelzone oft über 150 t/ha·a
- Toleranz CH - 2 t/ha·a < 70 cm Bodenmächtigkeit
4 t/ha·a > 70 cm Bodenmächtigkeit



Auswirkungen im Oberboden



Einflussfaktoren Schlupf

- Zugkraftbedarf - Bodenbearbeitungsgerät
- Traktorgewicht
- Traktorgeometrie
- Reifendimensionen
- Reifeninnendruck
- Bodenverhältnisse
- Bodendecke

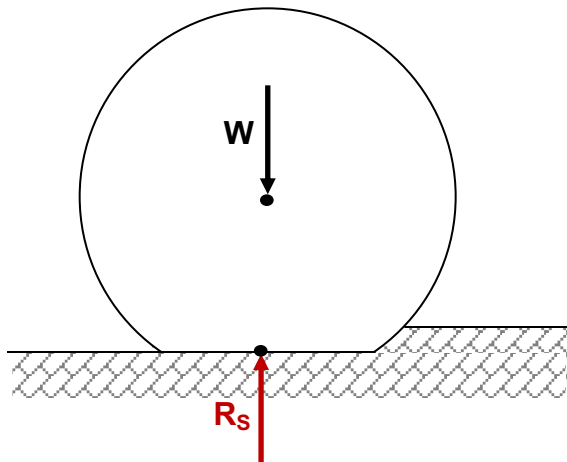
Minimalbodenbearbeitung

- Verbreitung
- USA: 40 % der Ackerfläche
 - Brasilien: 60 % der Ackerfläche
 - Paraguay: 65 % der Ackerfläche

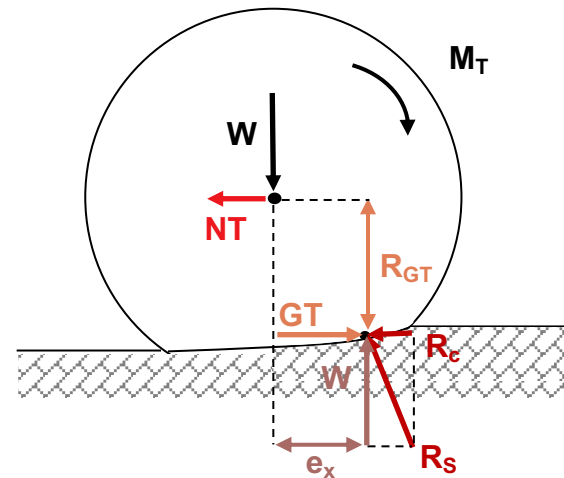
 - Finnland: 9 % der Ackerfläche
 - Schweiz: 4 % der Ackerfläche
 - Europa: 3 % der Ackerfläche

Hauptkräfte

ohne Drehmoment



mit Drehmoment



$$NT = GT - R_c$$

$$M_T = W \cdot e_x + GT \cdot R_{GT}$$

(Quelle: Osetinsky A., Shmulevich I., 2004)

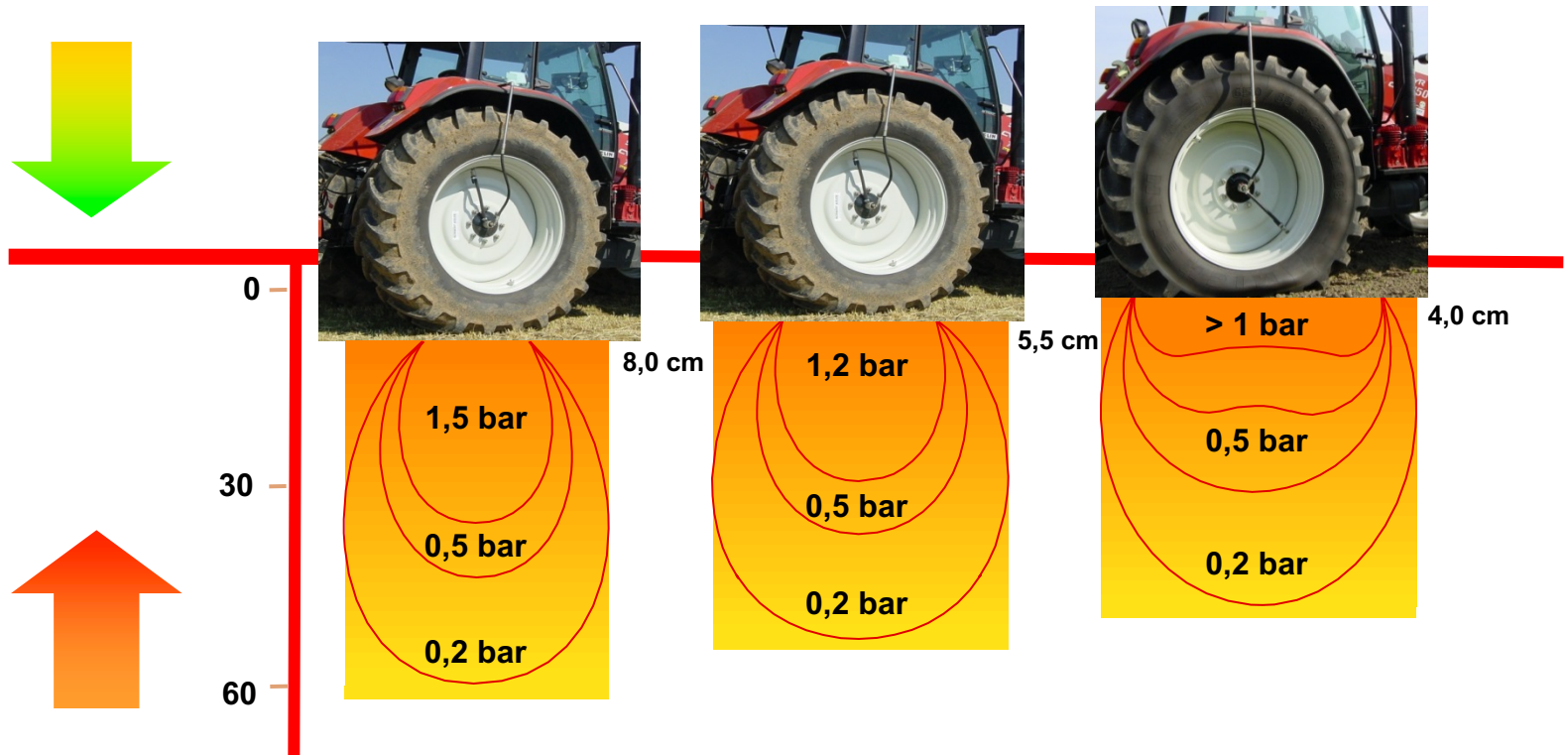


Einfluss der Reifeninnendruck auf die Spurtiefe

Luftdruck im Reifen: 1,6 bar

1,2 bar

0,8 bar



Quelle: Söhne, 1953



Einfluss der Reifeninnendruck auf die Bodenverzahnung

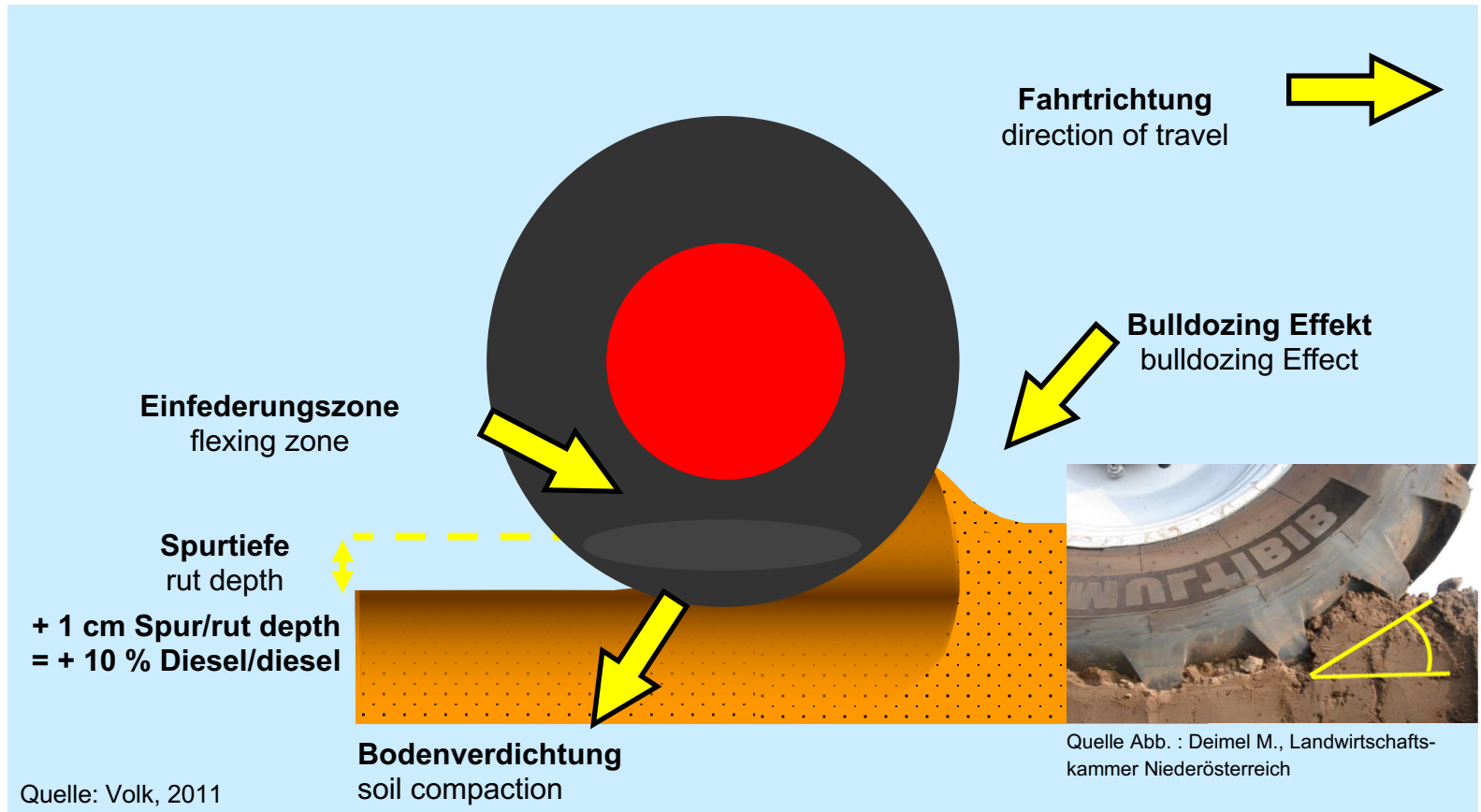


Bilder: FH Soest (D)

Quelle: Volk, 2011

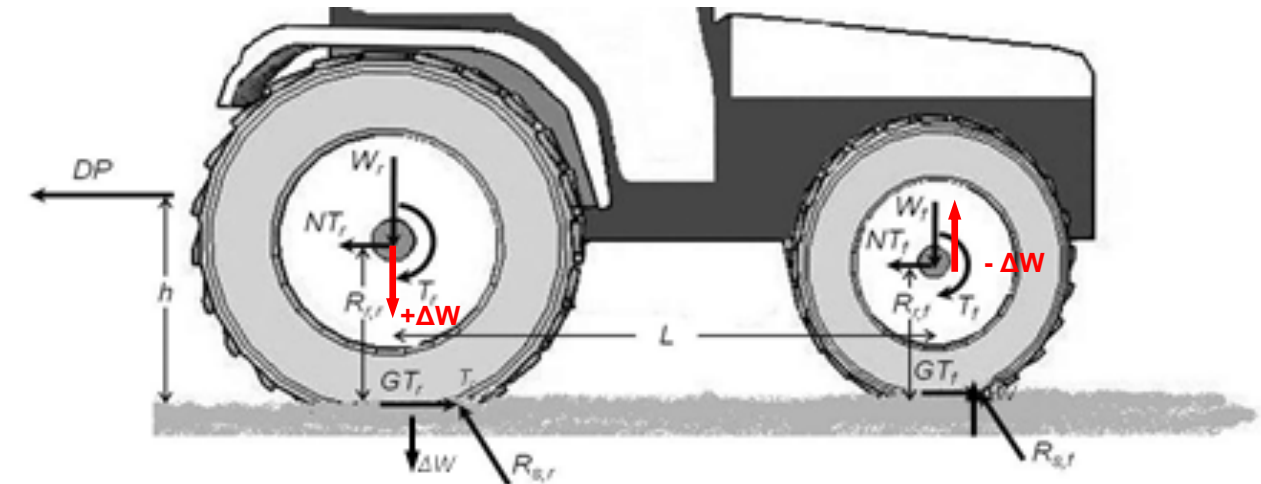


Bulldozing-Effekt: Spuren kosten Diesel und Ertrag





Lastübertragung



Drehmoment des angetriebenen Rads T_r $T_r = GT \cdot R_{r,r} = \Delta W \cdot L$

Lastübertragung bei Zweiradantrieb $\Delta W = \frac{T_r + NT_r (h - R_{r,r})}{L}$

Lastübertragung bei Vierradantrieb $\Delta W = \frac{T_f + T_r + (NT_f + NT_r)(h - R_{r,r}) + NT_f (R_{r,r} - R_{r,f})}{L}$



Zugkraftbedarf

$$D = F_i [A + B(S) + C(S)^2] WT$$

ASABE
American Society of Agricultural and Biological Engineers

mit:

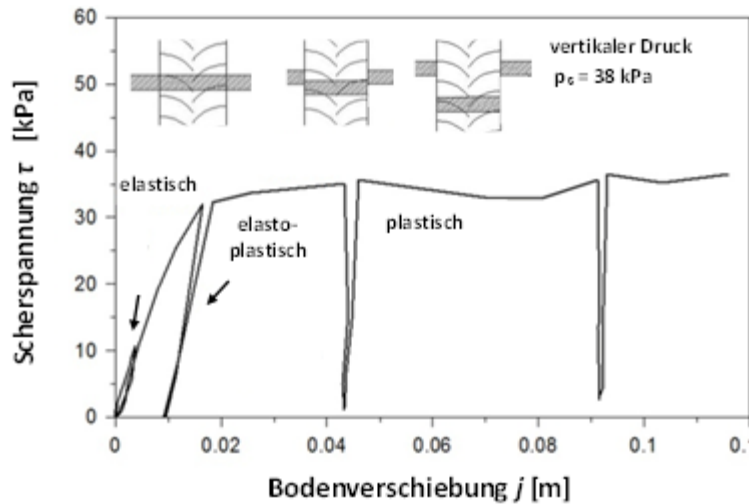
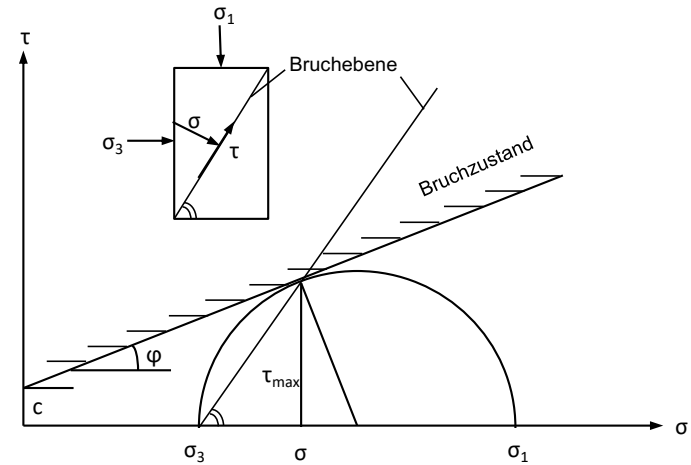
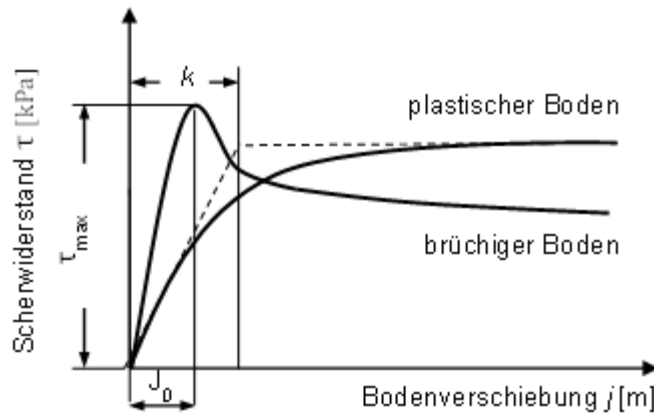
- D = Zugkraftbedarf [N]
- F = Bodenparameter, Textur abhängig
- i = 1 für Ton-, 2 für Lehm- und 3 für Sandböden
- A, B und C = Maschinenparameter
- S = Fahrgeschwindigkeit [km/h]
- W = Maschinenbreite [m] / Anzahl Aggregate [n1] / Anzahl Reihen [n2]
- T = Bearbeitungstiefe [cm]



Bodenbearbeitungsgeräte - Sähasch		Spezifische Maschinenparameter				Spezifische Bodenparameter		
	Maschinenbreite Einheit	Einheit	A	B	C	F ₁ Feine Textur	F ₂ Mittlere Textur	F ₃ Grobe Textur
TIEFBEARBEITUNG								
Untergrundlockerer - Meisselschar [w]		Werkzeuge	226	0	1.8	1	0.70	0.45
Untergrundlockerer - 0.3 m Flügelschar [w]		Werkzeuge	294	0	2.4	1	0.70	0.45
Scharpflug [m]	m		652	0	5.1	1	0.70	0.45
Tiefgrubber - 0.05 m breites Meisselschar [w]		Werkzeuge	91	5.4	0	1	0.85	0.65
Tiefgrubber - Flügelschar 0.075 m breit / 0.35 m tief [w]		Werkzeuge	107	6.3	0	1	0.85	0.65
Tiefgrubber - 0.1 m gebogene Schar [w]		Werkzeuge	123	7.3	0	1	0.85	0.65
Schichtengrubber - Primäre Bearbeitung [r]	m		390	19.0	0	1	0.85	0.65
Schichtengrubber - Sekundäre Bearbeitung [r]	m		273	13.3	0	1	0.85	0.65

➔ Bis 41 Geräte aus der Tief-, Flachbearbeitung und aus der Saat und Pflege

Bodenscherung - Voraussetzungen



$$\tau_{max} = (c + \sigma \tan \varphi)$$

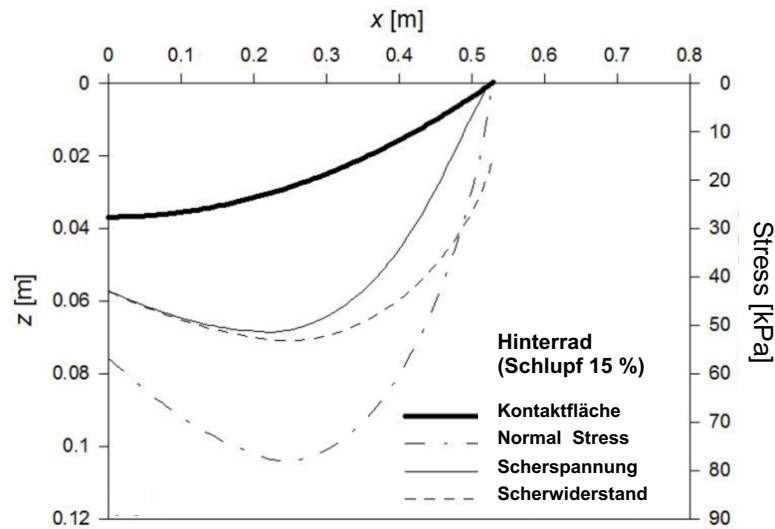
Eine Annäherung mit:

$$\frac{\tau}{\tau_{max}} = \left(1 - e^{-\frac{j}{k}} \right) = 0.99$$

$$\frac{j}{k} = 4.6$$



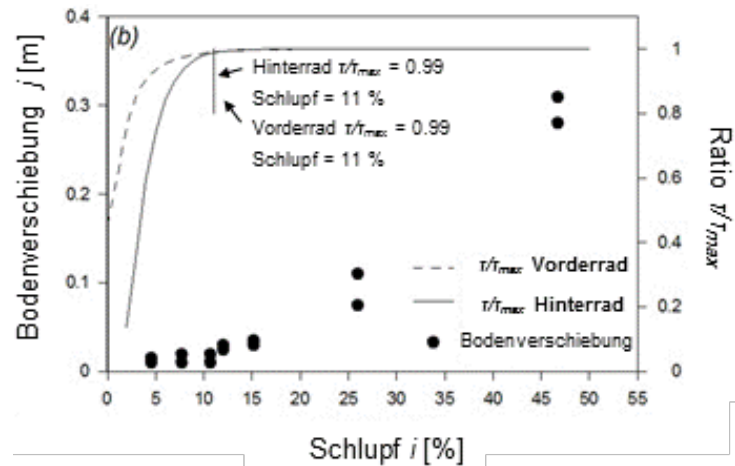
Bodenscherung - Voraussetzungen



Traktor:
Hürlimann DT 88, 65 kW
Gewicht 4 t., pression 1.6 bar
Boden: 27 % T; 53 % U; 20 % S

Bodenverschiebung – Messungen versus Berechnungen

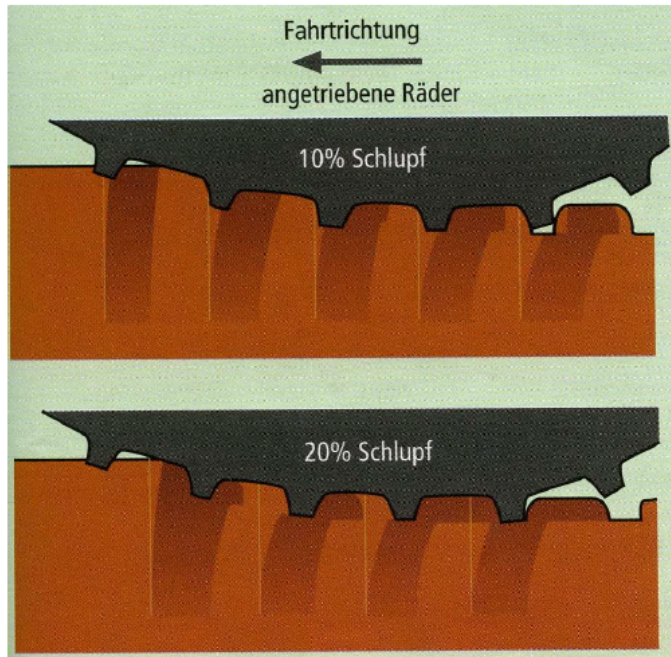
Traktor:
 Hürlimann DT 88, 65 kW
 Gewicht 4 t., pression 1.6 bar
 Boden: 27 % T; 53 % U; 20 % S



Schlupf [%]	0	8	11	15	20	25	30
Bodenverschiebung [cm]	0	1	2	3	4	11	28



Größenordnung



Porengefüge wird geschädigt
Versickerung wird behindert

Bis 10 % Bodenverformung

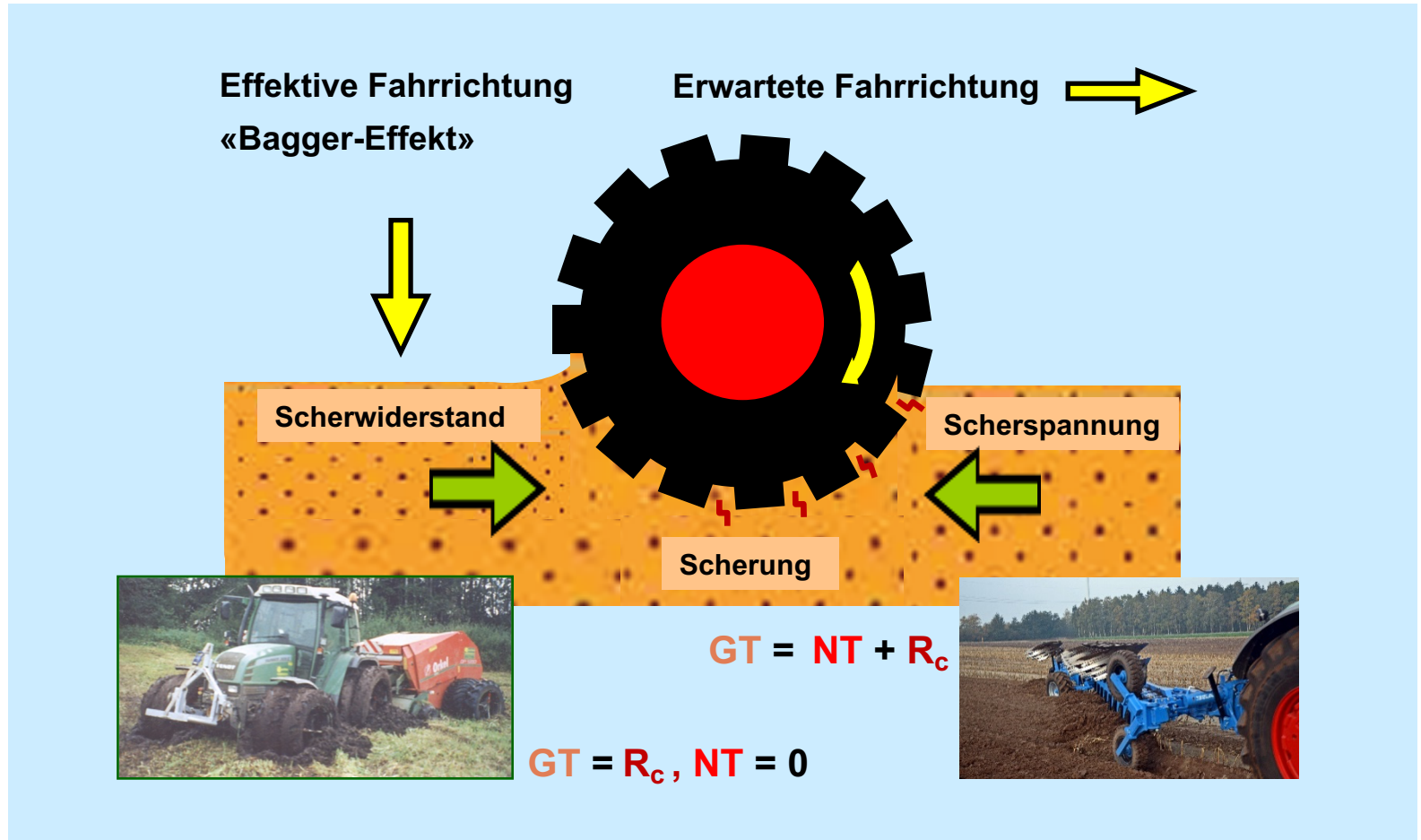
Über 10 % wird Kontaktfläche
abgeschert

Quelle: Deimel M., Landwirtschaftskammer Niederösterreich



Bagger-Effekt:

Löcher vor dem Stillstand bedeuten Diesel- und Ertragsverluste





Leistungen und Treibstoffverbrauch

Leistung am Rad

$$P_{GT} = M_T \cdot \omega$$

Motorleistung

$$P_M = P_{GT} / \eta_G$$

Wirkungsgrad
Motortrieb $\eta_G = 0.85$
(Fendt H., 2008,
Kutzbach H.-D., 1989)

Stünd. Treibstoffverbrauch

$$B_e = P_M \cdot (b_{eM} / 1000) \cdot (1/\delta_D)$$

Spez. Dieserverbrauch b_{eM}
Leistungsklassen
 $\leq 75 \text{ kW}$: 248 g/kWh
 $> 75 \text{ kW}$: 223 g/kWh
(Scheffeler U., Keller M., 2008)

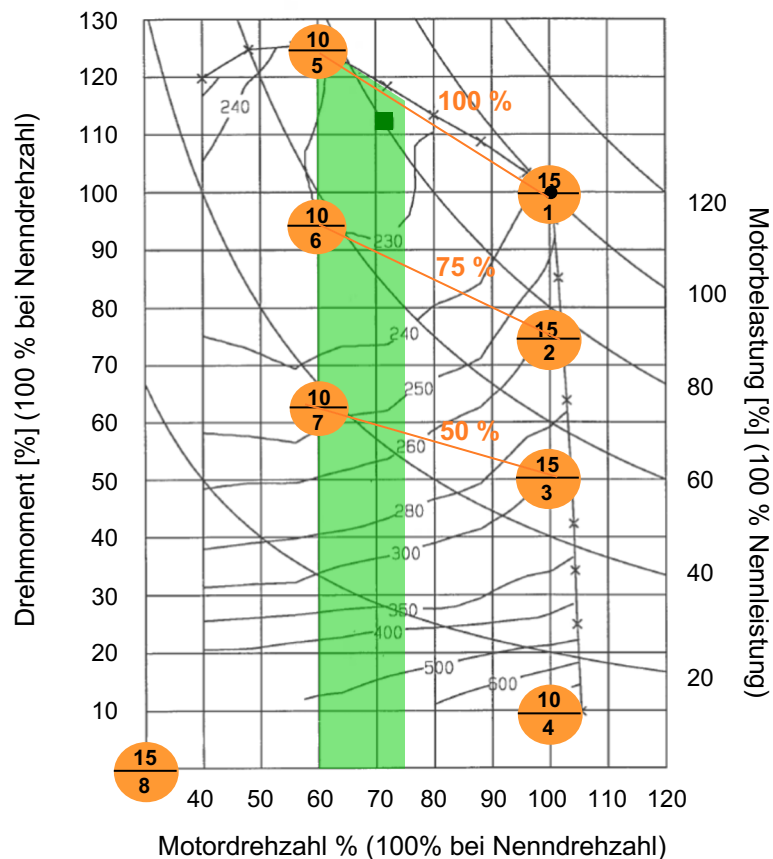
Spez. Treibstoffverbr. netto

$$B_{eZ} = (P_M \cdot b_{eM}) / P_{NT}$$

P_{NT} : Zugkraft netto [kW]



Spezifische Treibstoffverbrauch (Motor)



- 100 % Nennleistung
- Spez. Treibstoffverbrauch min.
- $\frac{15}{8}$ Gewichtung % Messpunkt

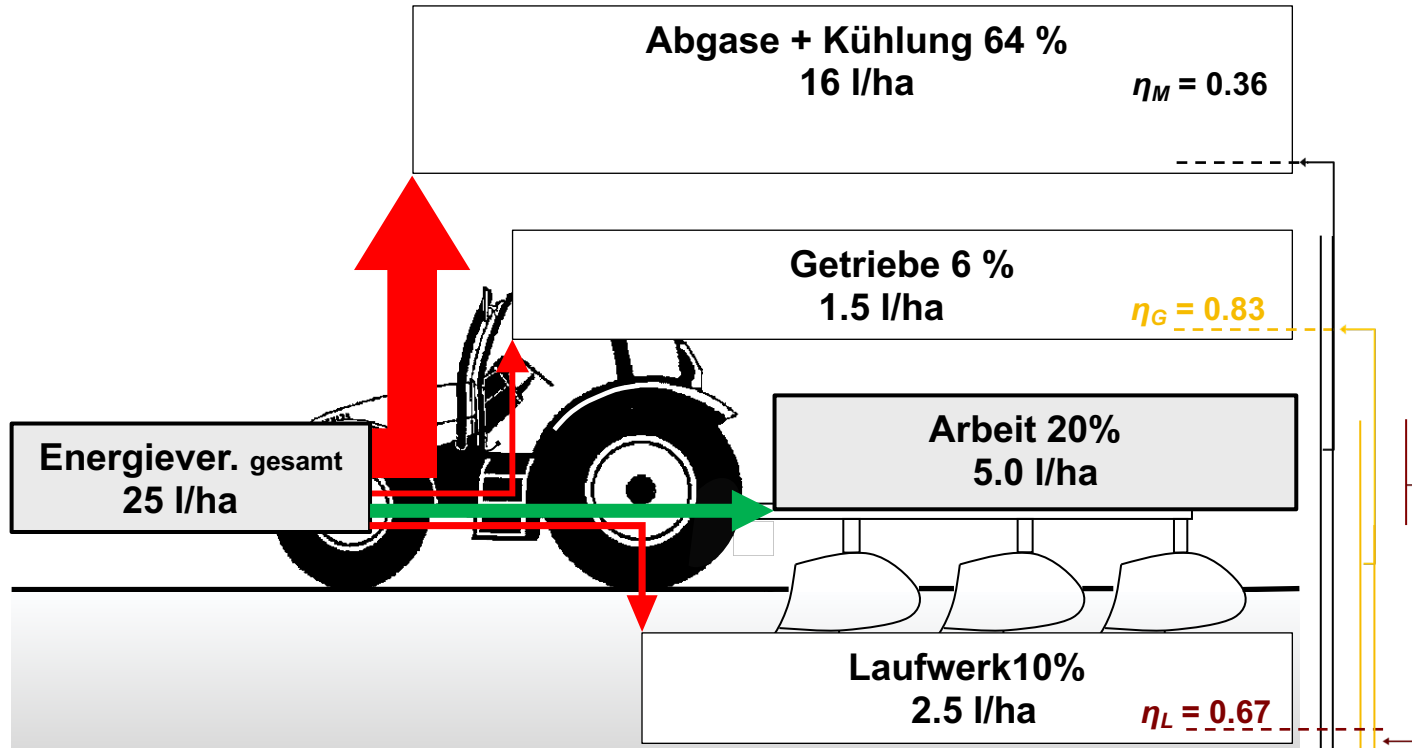
ISO 8178 C1

Leistungsklasse	b_{eM} [g/kWh]
≤ 75 kW	248
>75 kW	223

Quelle: Schöffeler U., Keller M., 2008

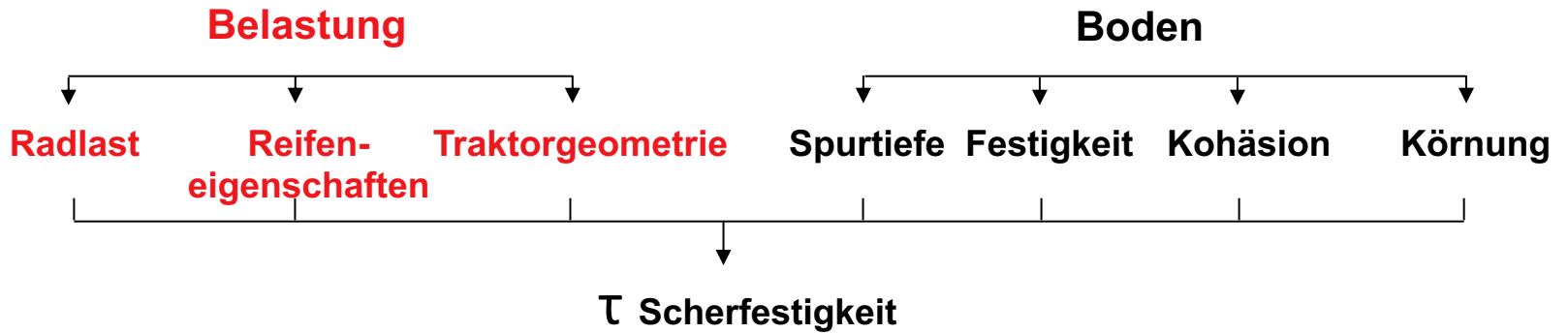


Energieverluste am Traktor und Wirkungsfaktoren



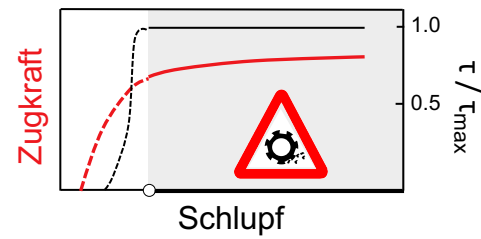
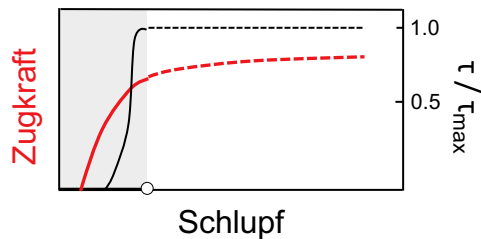


TASC-Grundprinzip - Oberbodengefährdung durch Scherung



$$\tau / \tau_{max} < 1$$

$$\tau / \tau_{max} = 1$$







—○ elasto-plastischer Bereich
Boden nicht irreversibel geschert

—○ plastischer Bereich
Boden irreversibel geschert

Bruchkriterium: $\tau = \tau_{max}$, Bruchzustand: bodenspezifisch f (Kohäsion, Körnung)



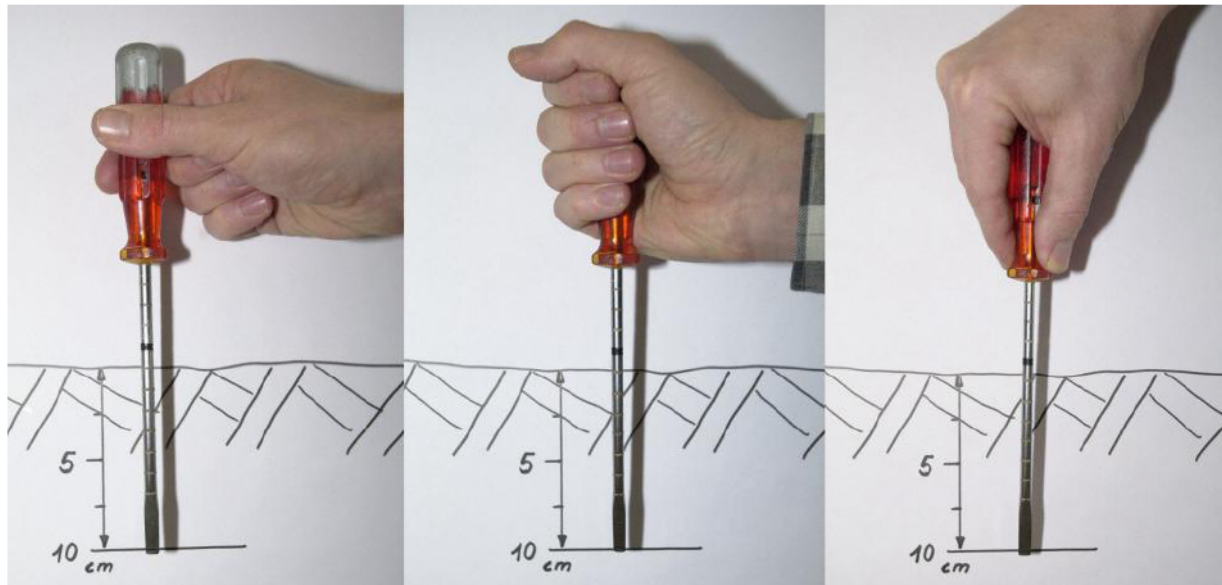
TASC- Feldtests

Feldtests		Modul Oberbodengefährdung	
Mittel	Prinzip	Parameter	Bedeutung
Fühlprobe 	Haftigkeit, Klebrigkeit, Haftigkeit, Bindigkeit, Kältewirkung des Bodens in der kritischen Tiefe	Körnung – % Ton, % Schluff Winkel der inneren Reibung φ	Bestimmung der Bodenscherfestigkeit und der maximalen Bodenscherfestigkeit
Doppelmeter 	Bestimmung der kritischen Tiefe (Spatenstich) - Spurtiefe (Vorderachse - Hinterachse getrennt)	Stollen-/ Spurtiefe z_s / h_s Verformungsmodul K – Exponent n	Ermittlung der Kontaktfläche und damit auch die Gesamtkraft am Rad
Schraubenziehertest 	3 Handpositionen bei Ein-dringung im Boden bis 10 cm (weich: zwischen Daumen und Zeigfinger, mittel: im vollem Handgriff, fest: vom Handballen)	Oberbodenfestigkeit Scherverformungs-modul k	Erfassung der Scherspannungsverteilung im Interface Reifen- Boden
Hacktest 	5 Körperpositionen beim Bodenscheren (eine Hand, zwei Hände, eine Hand mit angewinkelten Beine, zwei Hände mit angewinkelten Beinen, nicht möglich), Tiefe der Klinge im Boden und Griffhöhe werden bestimmt	Bodenkohäsion c	Erfassung der Scherspannungsverteilung und der maximalen Bodenscherfestigkeit



Bodenparameter – Festigkeit (Eindringwiderstand)

Schraubenziehertest



weich
0 – 5 daN

halbfest
5 – 8 daN

fest
> 8 daN



Bodenparameter – Textur in der kritischen Tiefe

Fühlprobe

Bodenart [25]**Merkmale bei der Fühlprobe im feuchten Bodenzustand [24, 25]**

Tonreiche Böden mit
> 40 % Ton, < 50 % Schluff

Klebrig, Gleitfläche glänzend, Korn kaum fühlbar

Schluffreiche Böden mit
> 50 % Schluff

Wirkt seifig im feuchten Zustand, haftet aber klebt nicht

Toniger Lehm und Lehmböden mit
20–40 % Ton, < 50 % Schluff

Haftet und klebrig im feuchten Zustand, Gleitfläche stumpf

Sandiger Lehm und lehmreicher Sand mit
10–20 % Ton, < 50 % Schluff

Wenig Einzelkörner sicht- und fühlbar, schwach bindig, bleistiftdick rollbar

Sandreiche Böden mit
0–10 % Ton, < 50 % Schluff

Nicht oder etwas bindig, nicht oder wenig formbar, reisst und bricht, Korn deutlich fühlbar





Bodenparameter – Feuchte in der kritischen Tiefe

Fühlprobe

Bodenfeuchteverhältnisse Beobachtungen [24, 27]

Wartezeit (ohne Regen) je nach Bodenart*

Trocken
(pF ≥ 2.5)

Erdaggregate lassen sich kaum auseinanderbrechen. Die flache Hand bleibt trocken. Keine Kälteempfindung auf dem Handrücken.

Keine zeitliche Einschränkungen

Feucht
(pF 1.8)

Erdaggregate zerbröckeln leicht beim Zusammenpressen zwischen den Fingern. Erde haftet nicht an der Hand. Kälteempfindung auf dem Handrücken.

Sandreiche Böden: ca. ½ Tag
Schluff-, lehmreiche Böden:
ca. 3 Tage
Tonreiche Böden: ca. 5 Tage

Nass
(pF < 1.8)

Erdaggregate sind knetbar bis breiig. Wasserlinse beim Zusammenpressen sichtbar. Erde haftet an der feuchten Hand.

Sandreiche Böden: 1 Tag
Schluff-, lehmreiche Böden:
mindestens 3 Tage
Tonreiche Böden: mindestens 5 T.



TASC V3.0 - Flussdiagramm

