



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

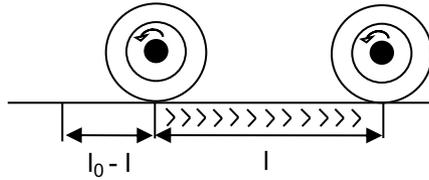
2.5 Leistung und Treibstoffverbrauch

2.5 Beurteilungsprinzip

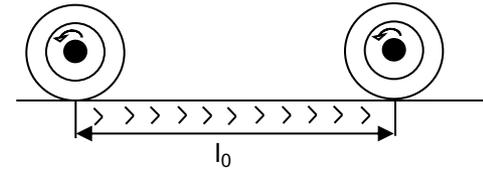
3. Fallbeispiele mit TASC



Schlupf

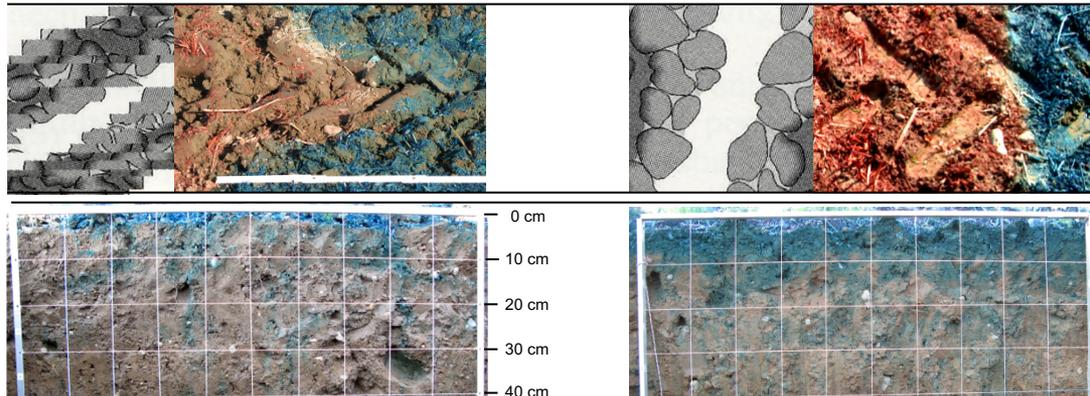


mit Schlupf ($\sigma > 0 \%$)*



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

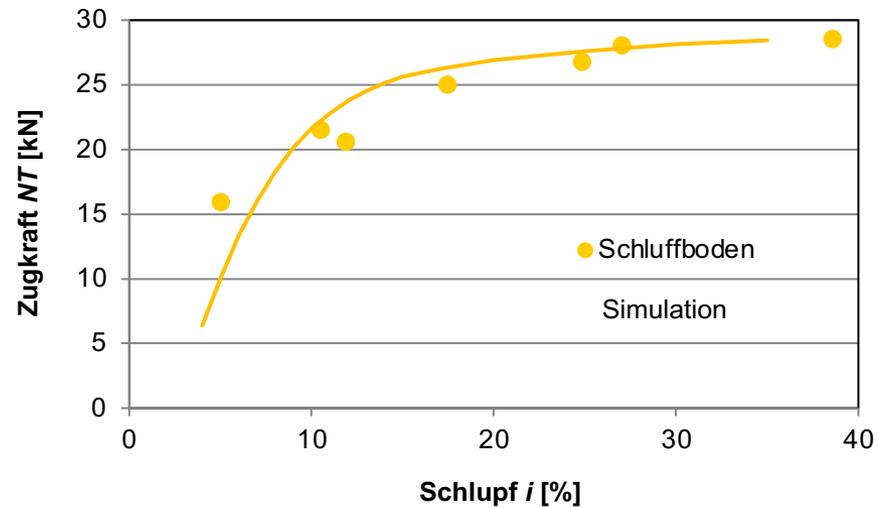
$$\sigma = [(l_0 - l) / l_0] \cdot 100 = [(\omega R - V_a) / \omega R] \cdot 100 = [(V_0 - V_a) / V_0] \cdot 100$$





Zugkraft und Schlupf

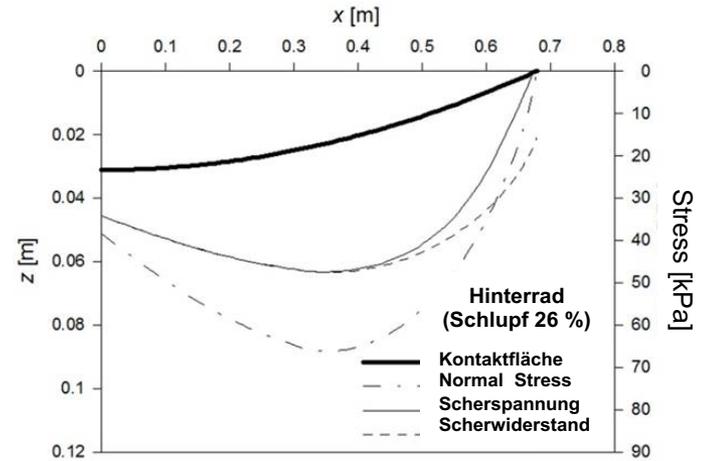
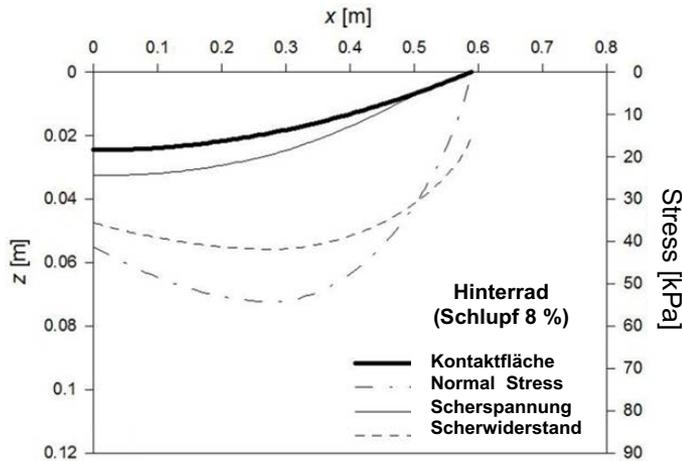
Traktor:
Hürlimann DT 88, 65 kW
Gewicht 4 t., pression 0.6 bar
Boden: 27 % T; 53 % U; 20 % S





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

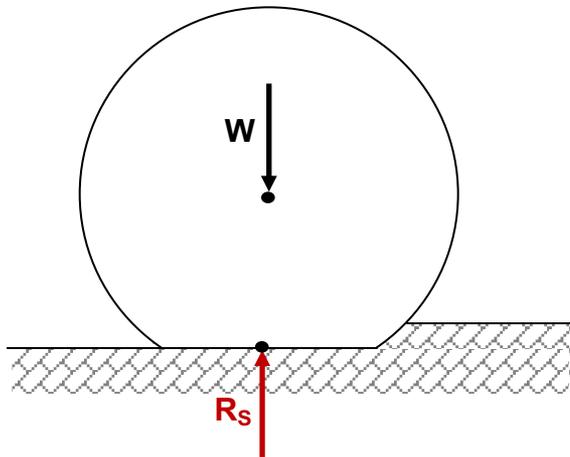
- Zugkraftbedarf - Bodenbearbeitungsgerät
- Traktorgewicht
- Traktorgeometrie
- Reifendimensionen
- Reifeninnendruck
- Bodenverhältnisse
- Bodendecke

Minimalbodenbearbeitung

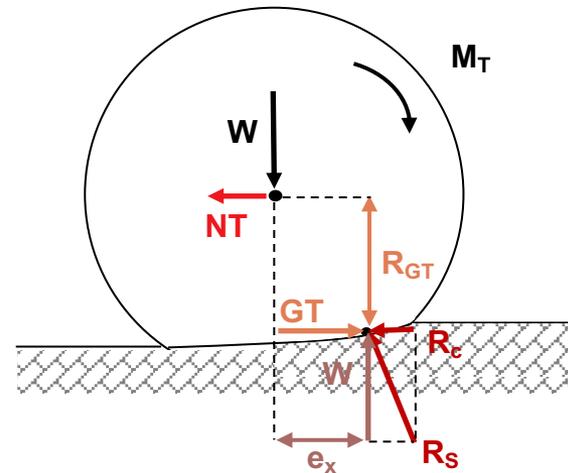
- Verbreitung
 - USA: 40 % der Ackerfläche
 - Brasilien: 60 % der Ackerfläche
 - Paraguay: 65 % der Ackerfläche
 - Finnland: 9 % der Ackerfläche
 - Schweiz: 4 % der Ackerfläche
 - Europa: 3 % der Ackerfläche

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)

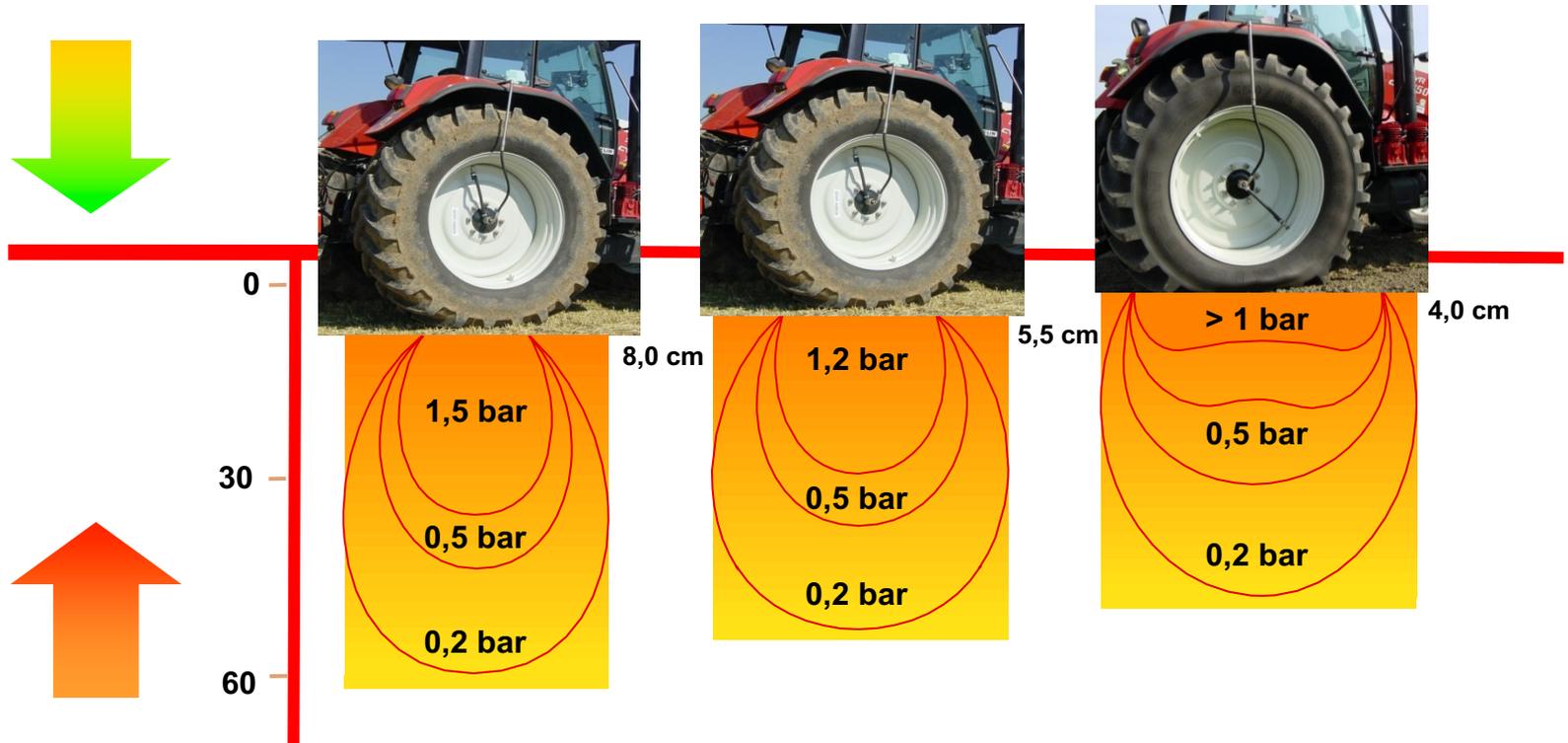


Einfluss der Reifeninnendruck auf die Spurtiefe

Luftdruck im Reifen: 1,6 bar

1,2 bar

0,8 bar



Quelle: Söhne, 1953



Einfluss der Reifeninnendruck auf die Bodenverzahnung

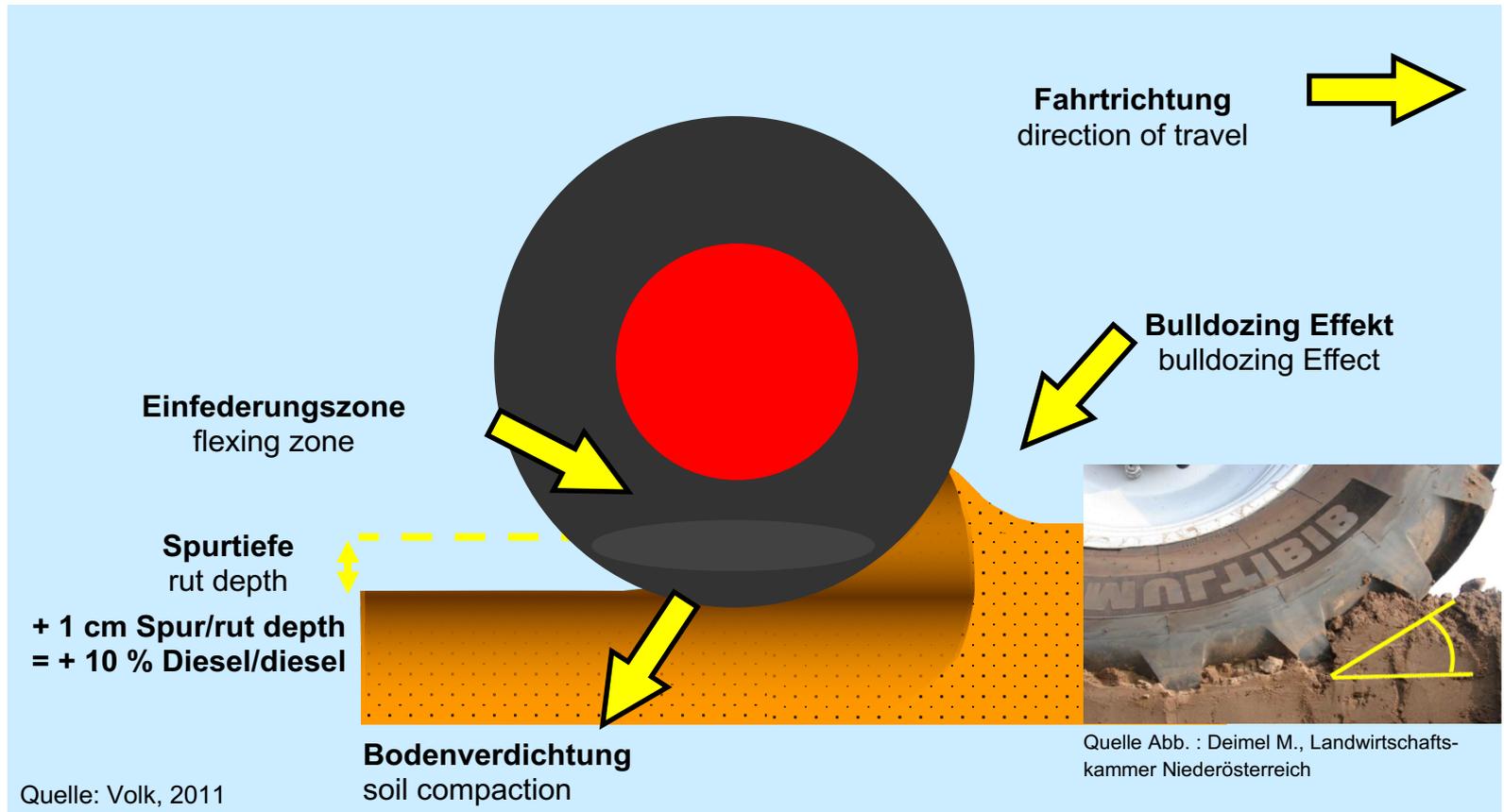


Bilder: FH Soest (D)

Quelle: Volk, 2011

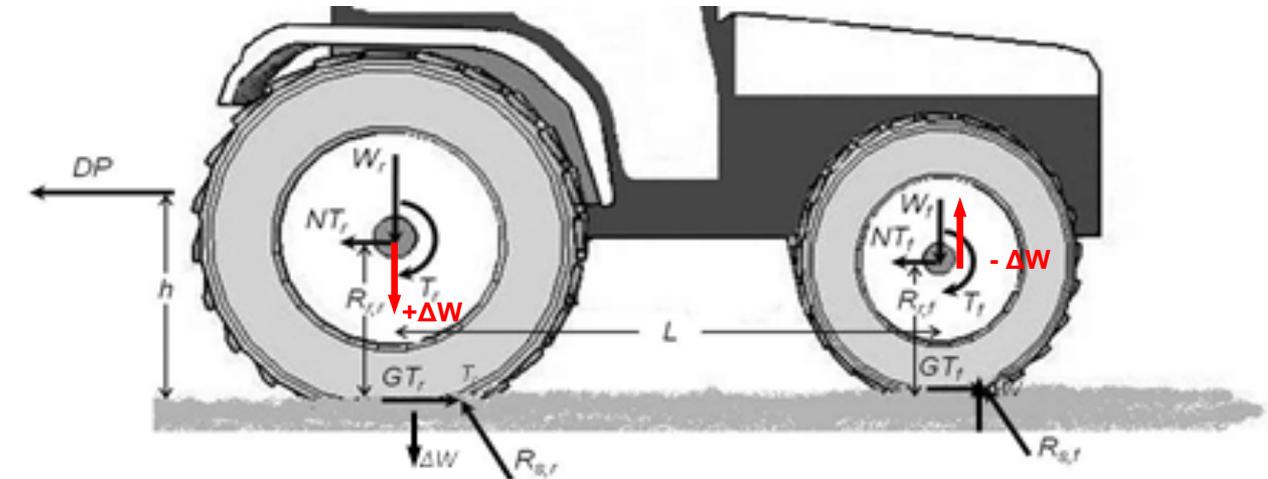


Bulldozing-Effekt: Spuren kosten Diesel und Ertrag





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:

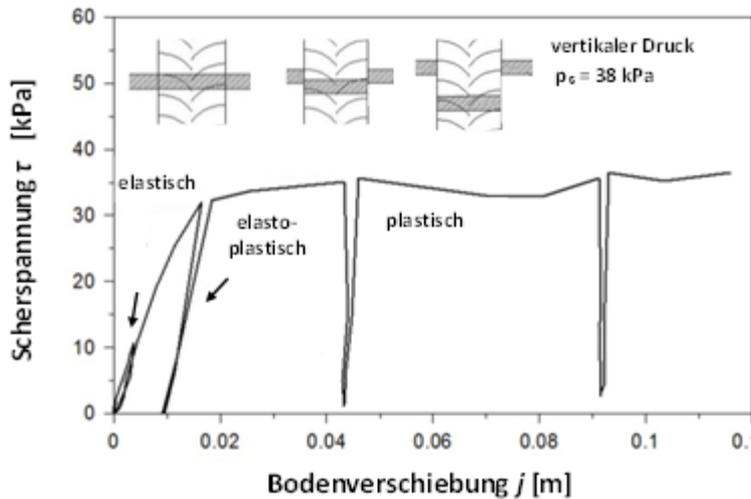
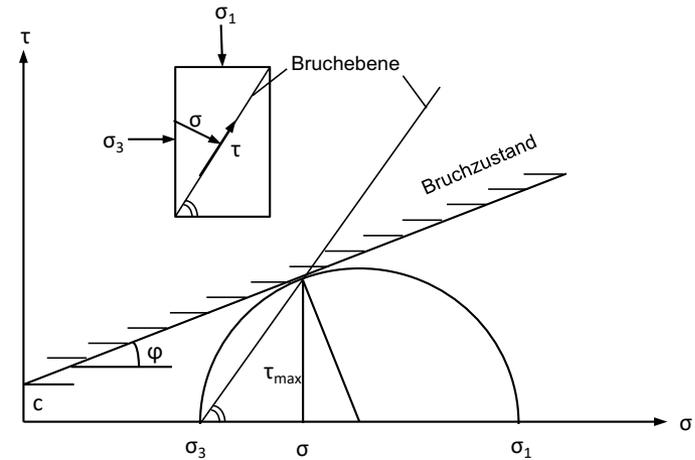
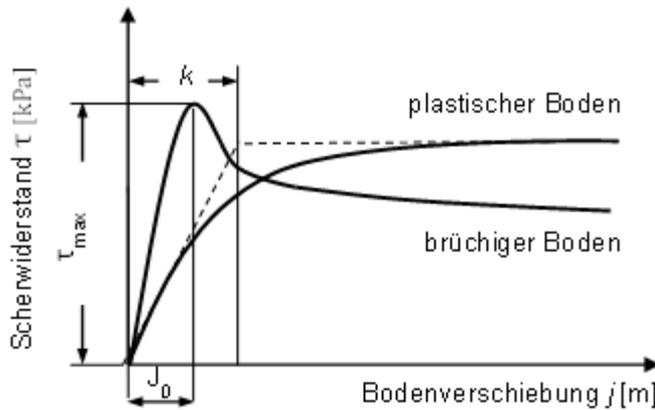
- D = Zugkraftbedarf [N]
- F = Bodenparameter, Textur abhängig
- i = 1 für Ton-, 2 für Lehm- und 3 für Sandböden
- A, B und C = Maschinenparameter
- S = Fahrgeschwindigkeit [km/h]
- W = Maschinenbreite [m] / Anzahl Aggregate [n1] / Anzahl Reihen [n2]
- T = Bearbeitungstiefe [cm]



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



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

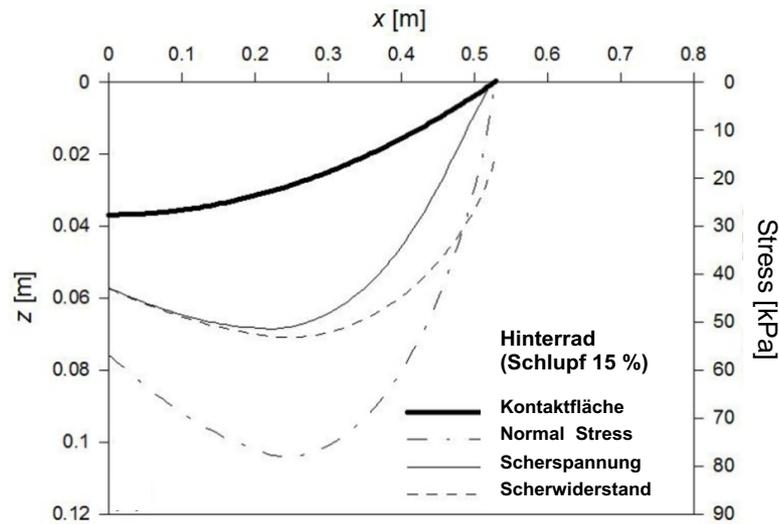
Eine Annäherung mit:

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

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



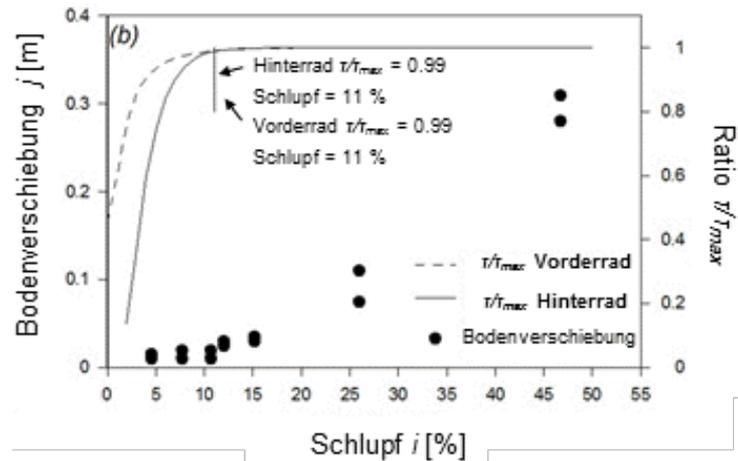
Bodenscherung - Voraussetzungen



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

Bodenverschiebung – Messungen versus Berechnungen

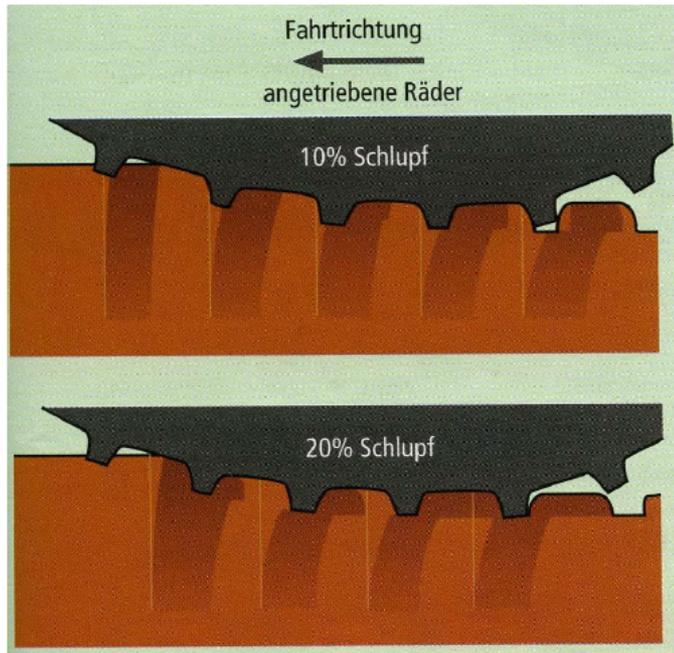
Traktor:
 Hürlimann DT 88, 65 kW
 Gewicht 4 t., pression 1.6 bar
 Boden: 27 % T; 53 % U; 20 % S



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

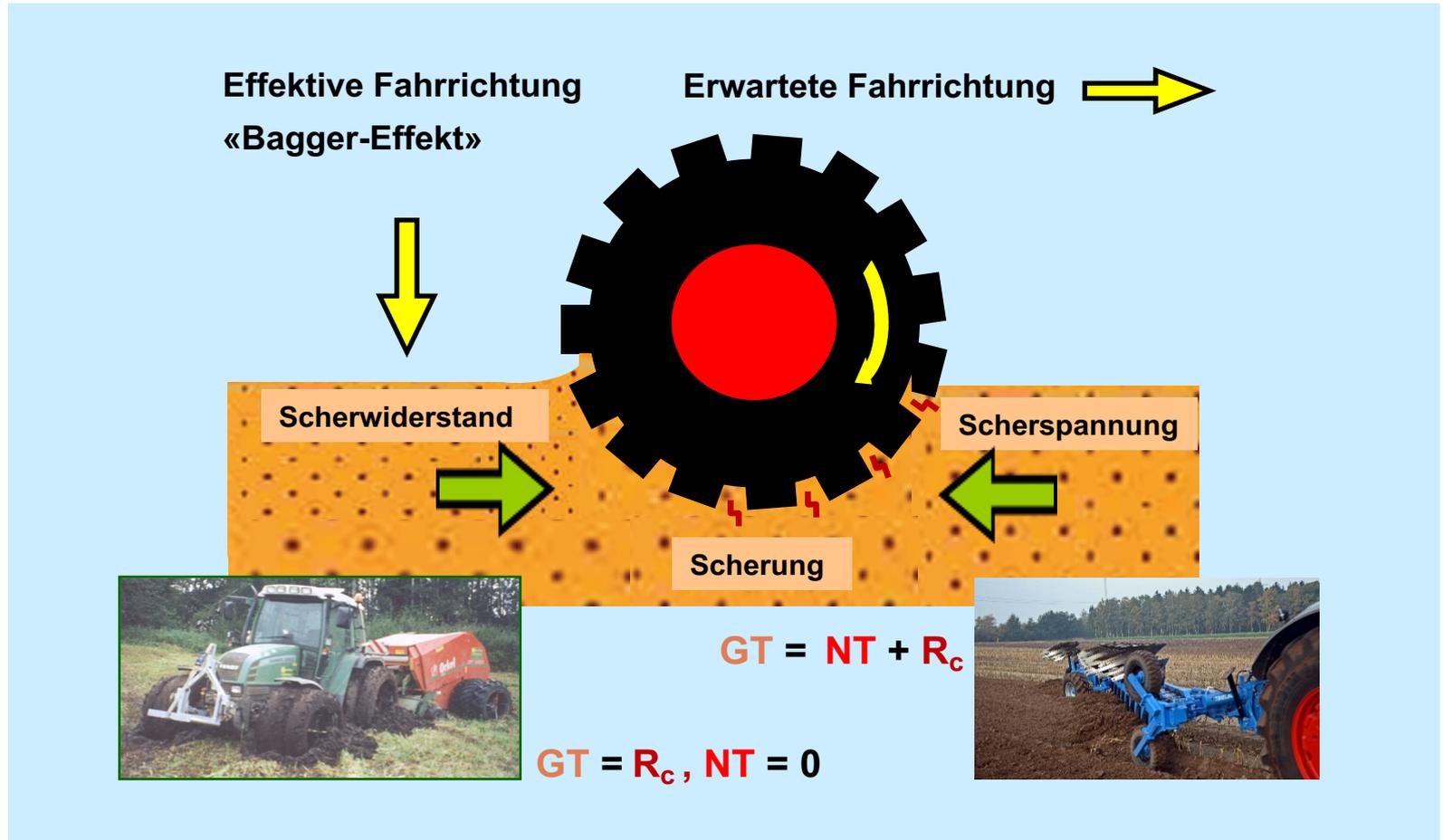
Über 10 % wird Kontaktfläche
abgeschert

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)

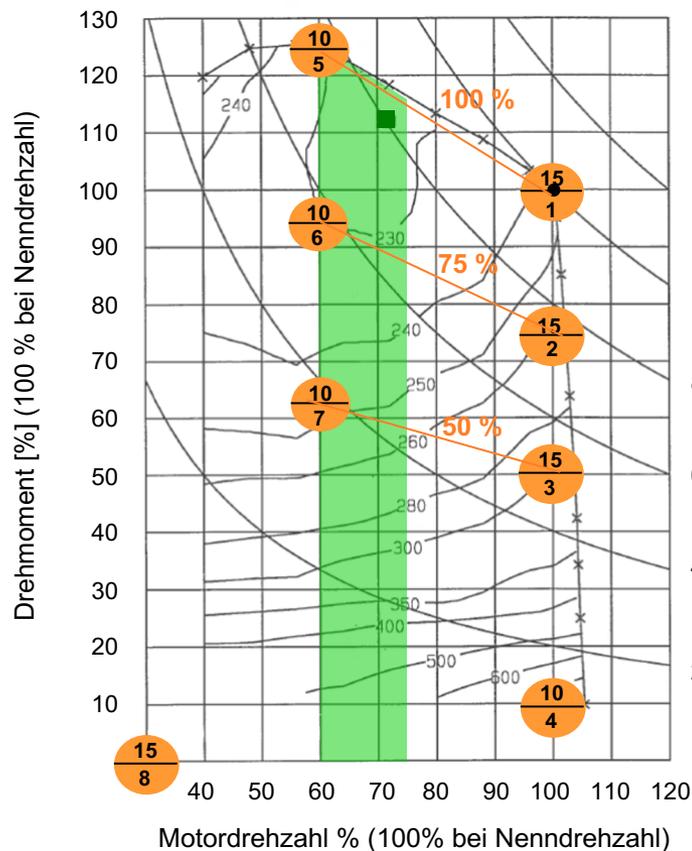
Spez. Treibstoffverbr. netto

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

P_{NT} : Zugkraft netto [kW]



Spezifische Treibstoffverbrauch (Motor)



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

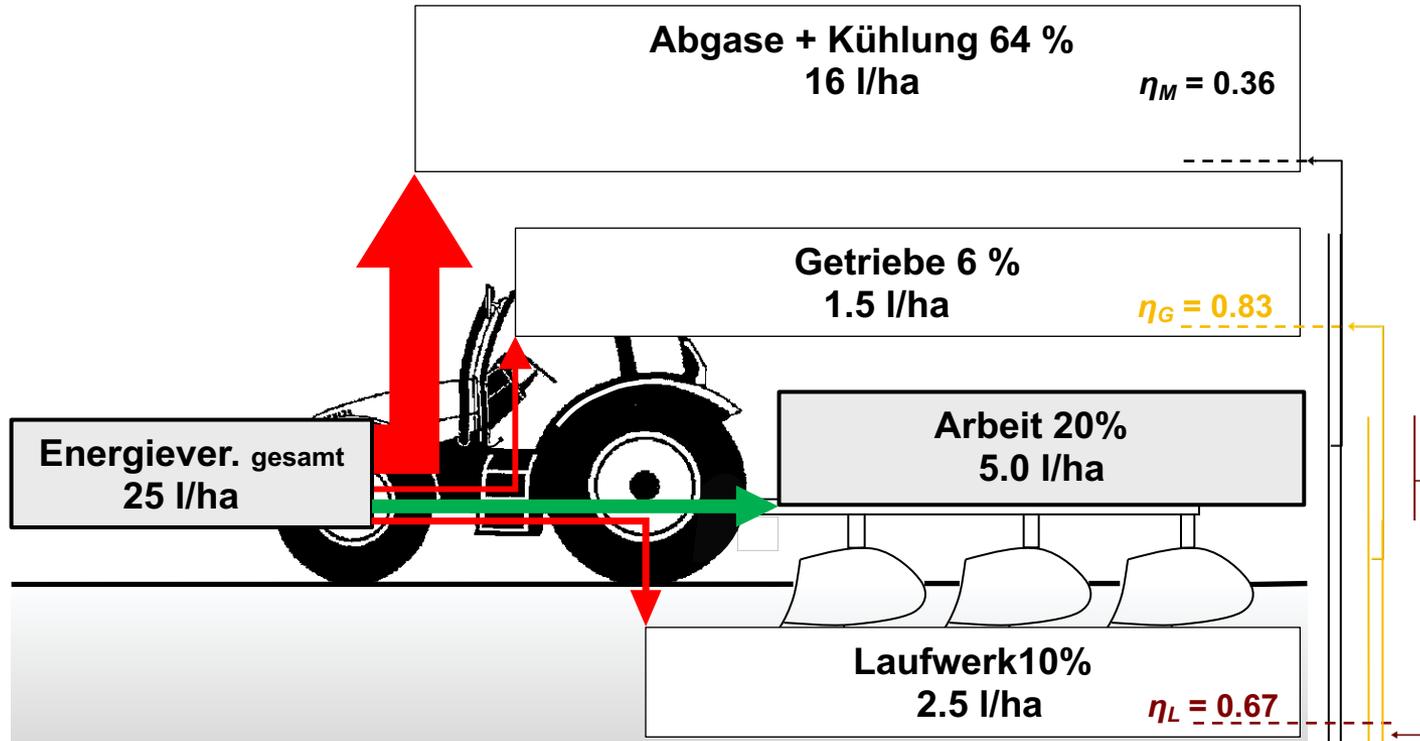
ISO 8178 C1

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

Quelle: Schöffeler U., Keller M., 2008

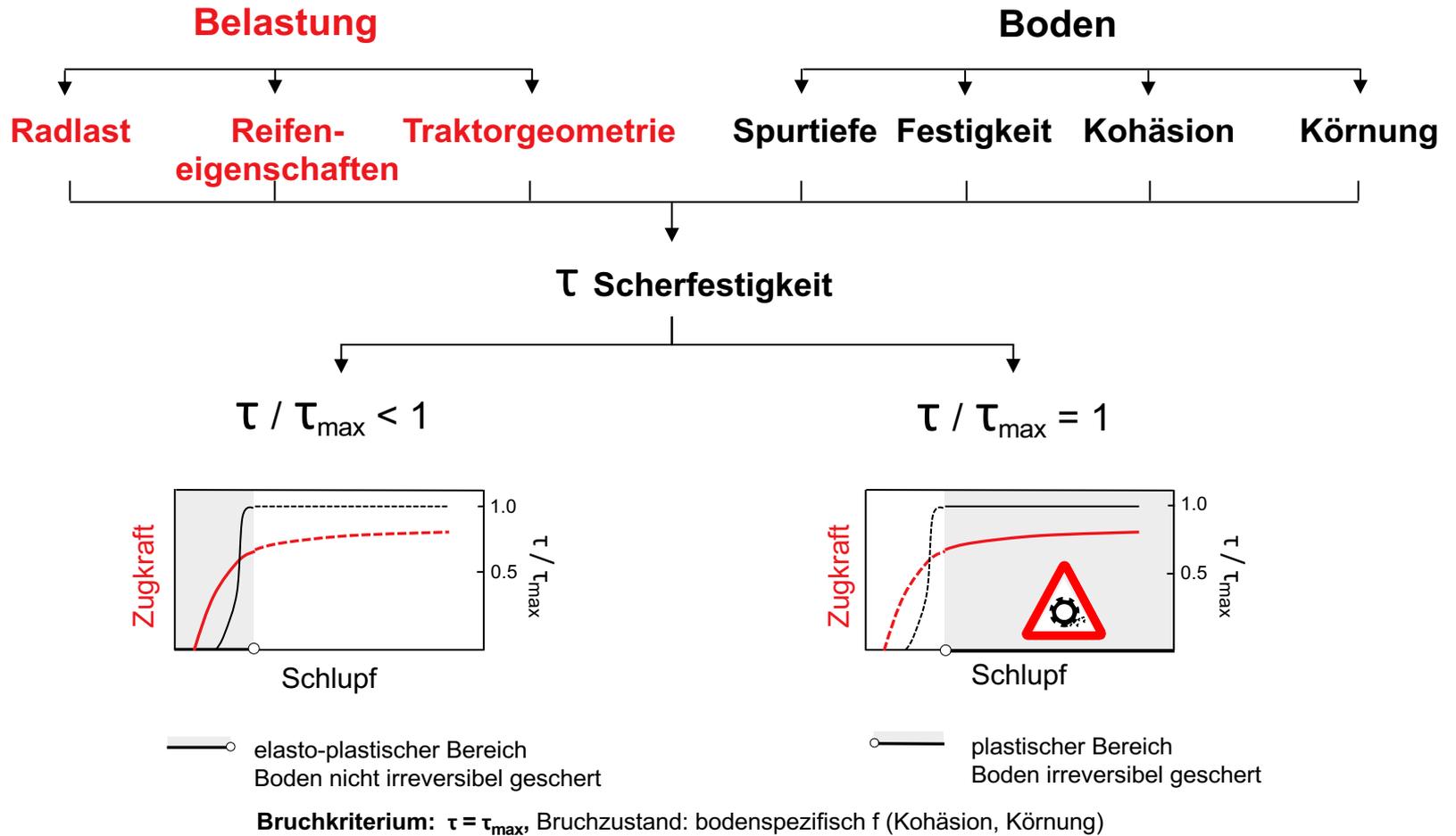


Energieverluste am Traktor und Wirkungsgraden





TASC-Grundprinzip - Oberbodengefährdung durch Scherung





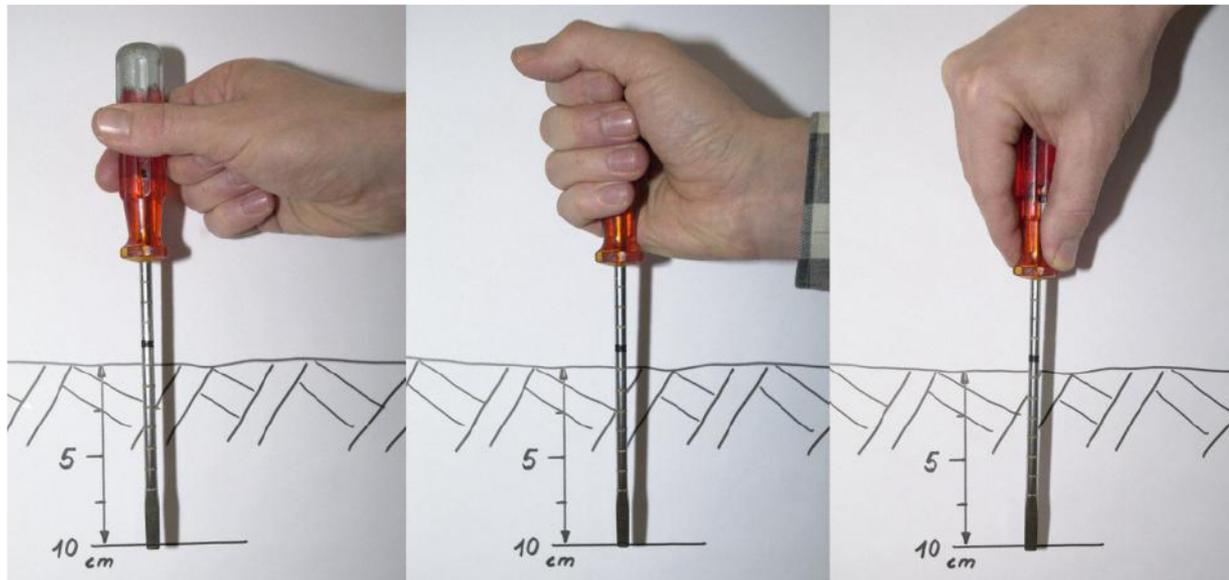
TASC- Feldtests

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
($pF \geq 2.5$)

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

