



# Bodenverdichtung

**Wodurch wird sie verursacht,  
wie lässt sie sich vermeiden?**

**Techniken für die Regeneration der  
Bodenstruktur**

**Peter Weisskopf**

4. Nationale Ackerbautagung Murten, 24.1.2017



# Inhalt

## ❖ **Einleitung**

→ Bodenstruktur: Eigenschaften und Bedeutung

## ❖ **Ursachen für Strukturschäden**

→ Bodenbelastungen und Stabilität der Bodenstruktur

## ❖ **Strukturschonende Bewirtschaftung**

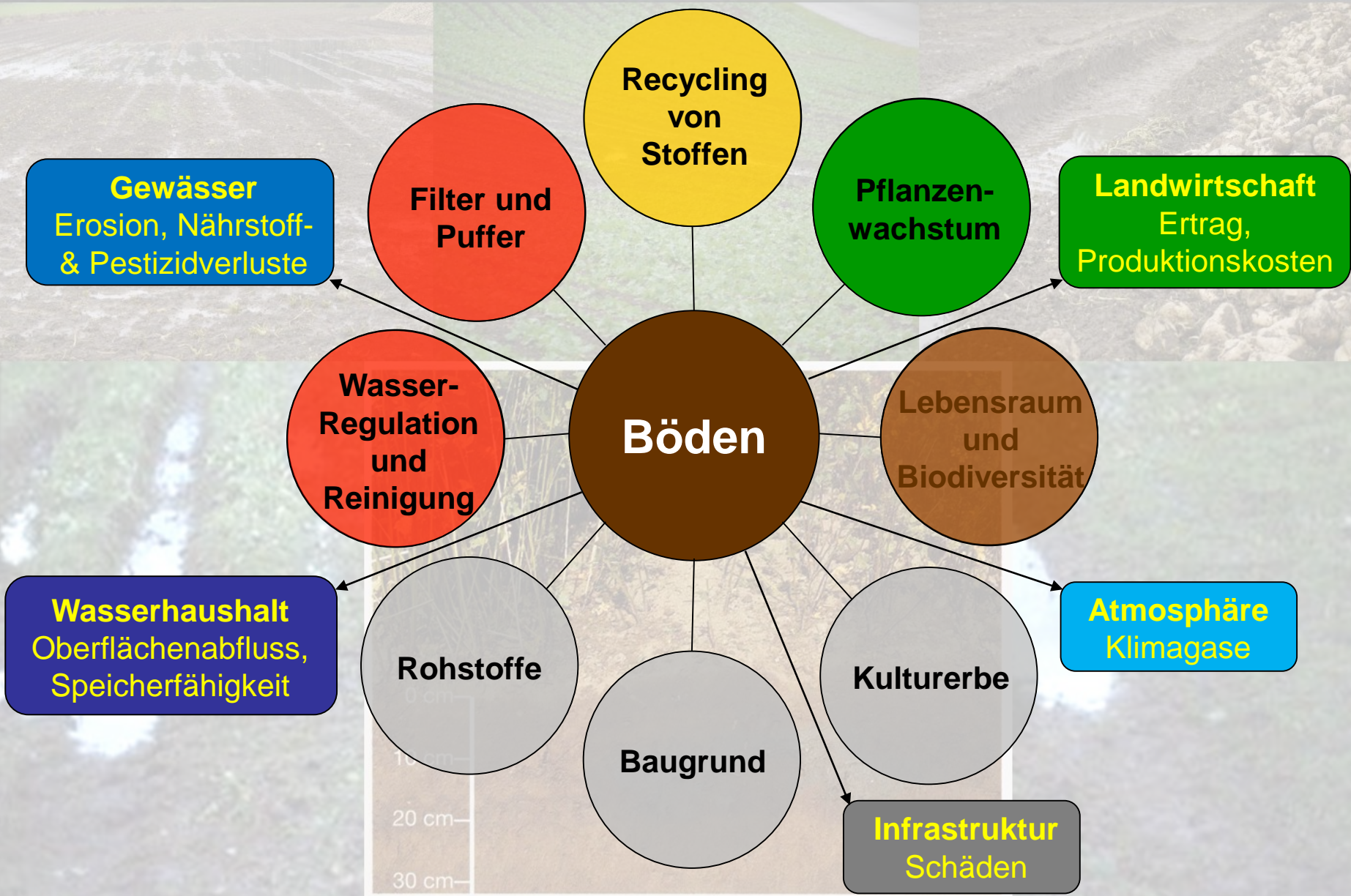
→ Vermindern des Verdichtungsrisikos

→ Fördern der Bodenstruktur-Bildung

## ❖ **Schlussfolgerungen**



# Bodenfunktionen und Bodenstruktur





Einleitung

# Lebensraum Boden und Bodenstruktur

Bodenmikroorganismen

Bodentiere  
Regenwürmer

Nähr- und Schadstoffe (gelöst)

Nähr- und Schadstoffe (sorbiert)

organische Bodensubstanz („Humus“)

mineralische Festsubstanz

Wurzeln

Bodentiere  
Insekten, Milben, ...

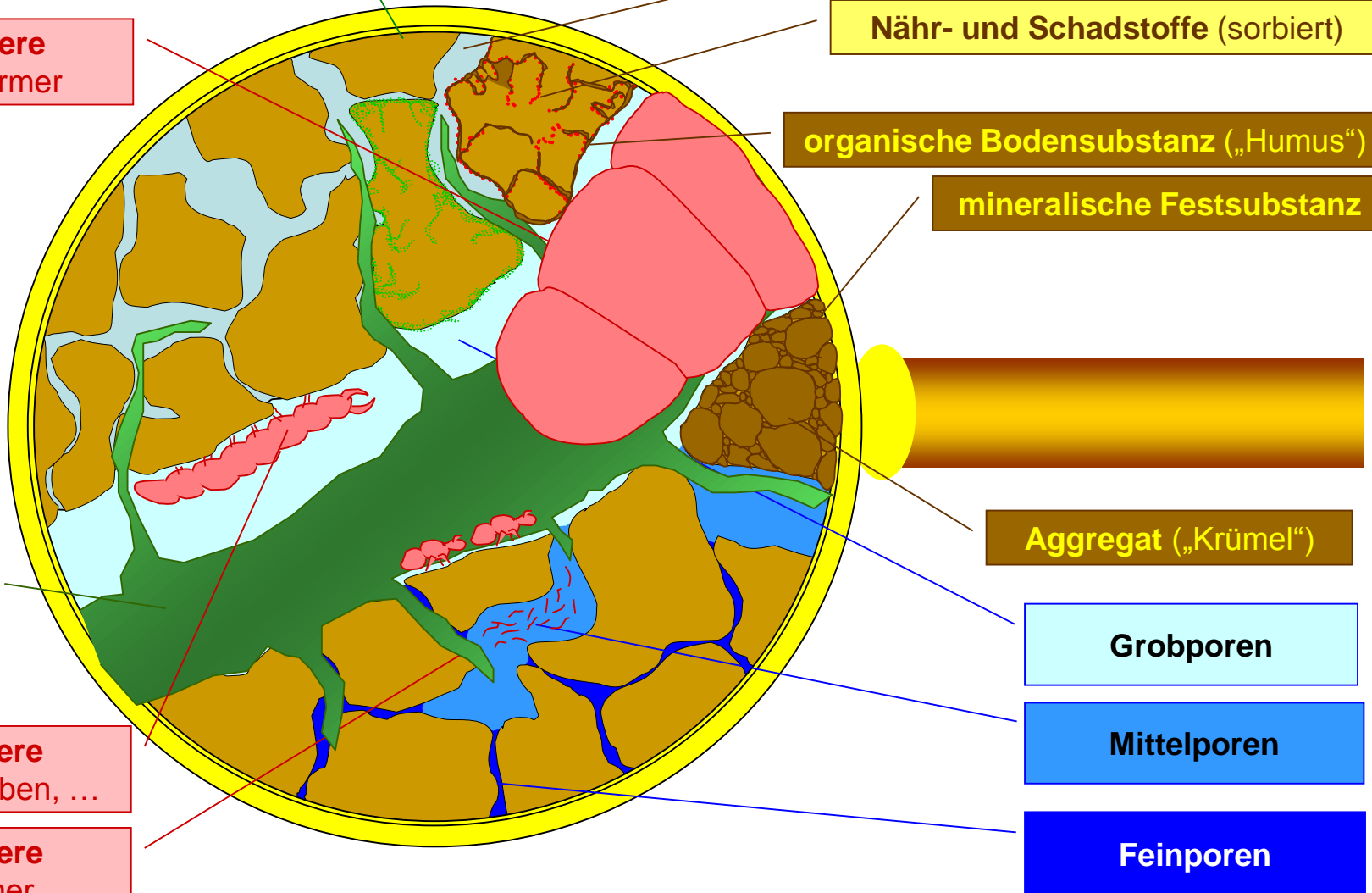
Bodentiere  
Fadenwürmer, ...

Aggregat („Krümel“)

Grobporen

Mittelporen

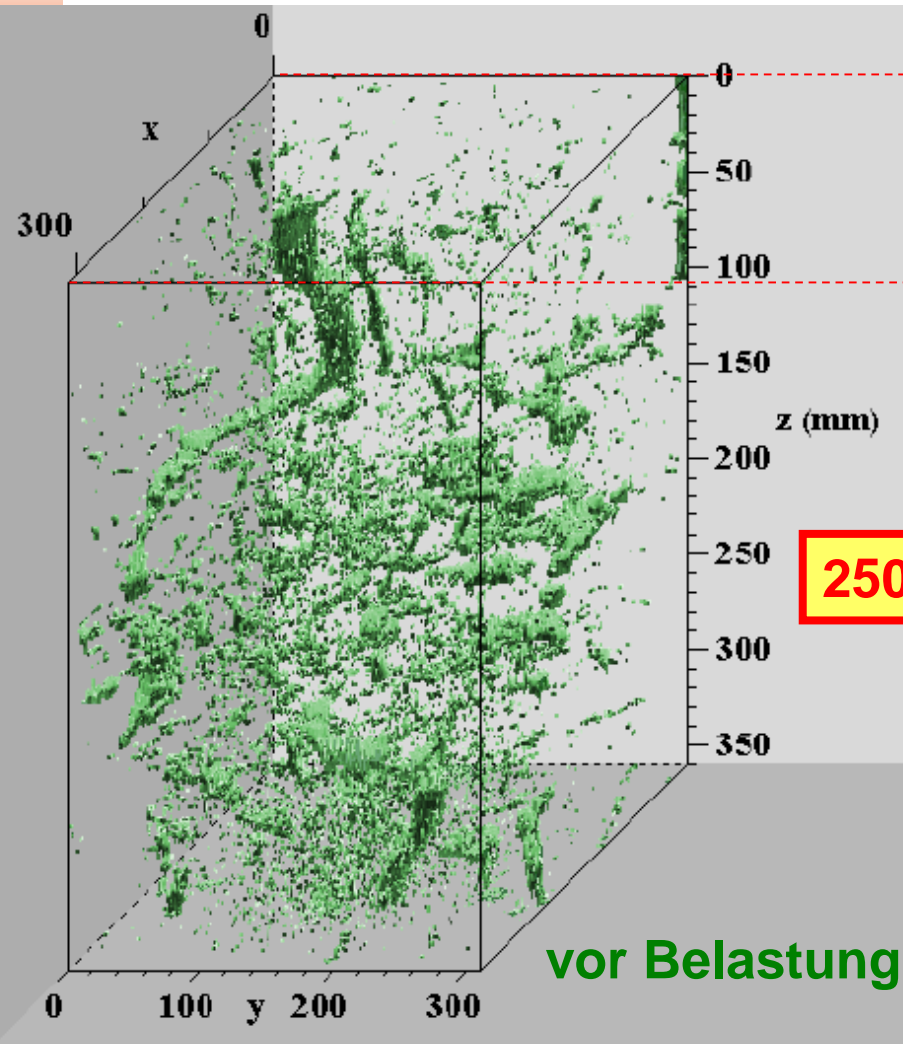
Feinporen



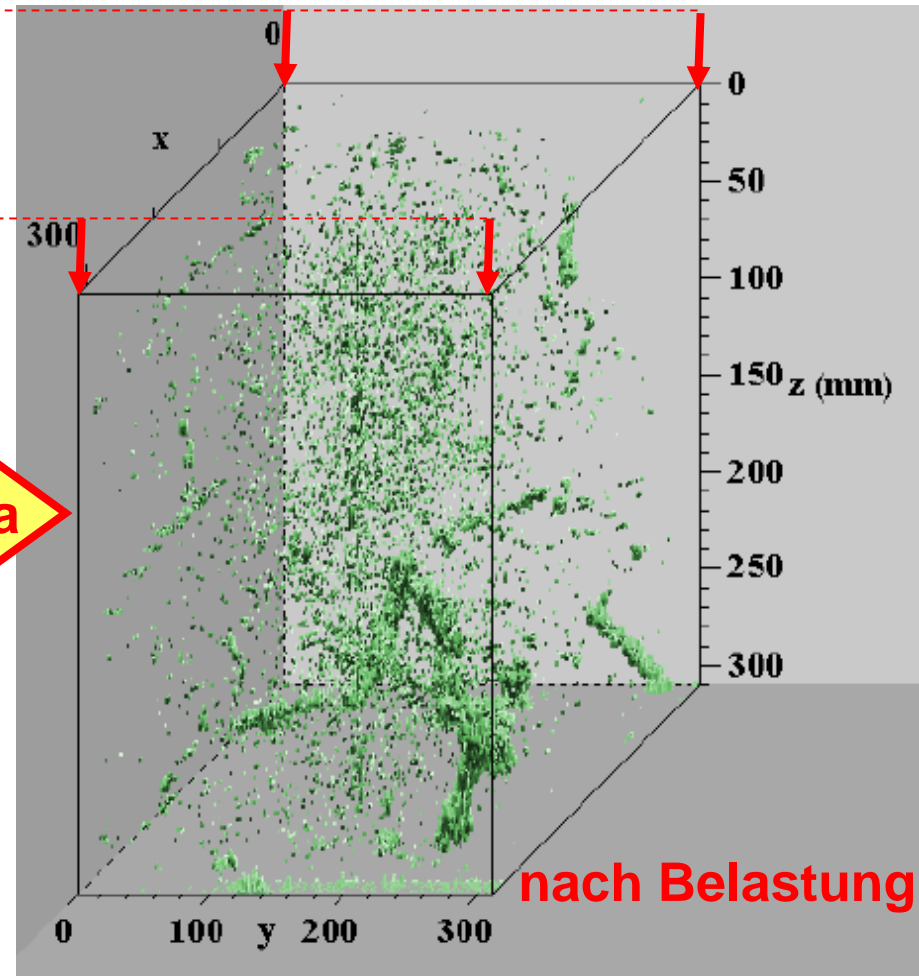


Einleitung

# Verdichtung = Strukturschaden



250 kPa





# Folgen von Verdichtungsschäden



www.sd.nrcs.usda.gov

Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen Lebensraum

- Biomasseproduktion, Wasserspeicherung, Wasser- und Gastransport, Umsatz der organischen Substanz, ...  
(Pflanzenerträge, Nitrifikation↓, Denitrifikation↑, ...)



G. Brändle, ART

Beeinträchtigung der Bodenfunktion Pflanzenwachstum

- Kulturentwicklung, Ertrag und Qualität  
(Durchwurzelungstiefe, Nährstoffaufnahme, ...)

Erschwerte Bewirtschaftung

- Höhere Kosten, mehr Input (Energie, Zeit!), verringerte Effizienz, erschwerte Organisation  
(weniger verfügbare Feldarbeitstage, ...)



en.eesj.edu.gt

Beeinträchtigung der Bodenfunktionen Wasser- & Stoffhaushalt

- Wasserregulierung, Oberflächenabfluss, Versickerung  
(Überschwemmungen, Erosion, Nährstoff- und Pestizidverluste, reduzierte Grundwasserneubildung, ...)
- Stoffumsatz (Klimagase, ...)



# Grundlegender Widerspruch



G. Brändle, ART

Böden als  
**Lebensraum** für Pflanzenwurzeln und  
Bodenorganismen:

→ Zugänglichkeit und Funktionalität des Porenraumes  
(Speicherung, Transport, pH, Redox, ...)



www.claas.de

Böden als  
**Fahrbahn** für landwirtschaftliche Fahrzeuge:

→ permanente, uneingeschränkte Befahrbarkeit  
(Tragfähigkeit, Rollwiderstand, ...)



# Bodenfestigkeit vs. Bodenbelastung



www.sd.mcs.usda.gov

## Bodenfestigkeit = Bodeneigenschaften

- **Bodenzusammensetzung:** Textur (Mineralogie), organische Bodensubstanz (Qualität), Steine, ...
- **Bodenstruktur:** Aggregattyp und -grösse, Dichte, ...
- **Bodenfeuchte:** Bodentyp, Klima, Drainage, ...
- *Bodenbewirtschaftung: Fruchtfolge, Bearbeitung, ...*



## Bodenbelastung = Fahrzeugeigenschaften und Befahrungsorganisation

- **Fahrwerk:** Anzahl, Grösse und Anordnung von Rädern bzw. Gummiraupen
- **Gewicht und Gewichtsverteilung:** Radlasten
- **Reifen-/Raupen-Eigenschaften:** Grösse, Steifigkeit, Reifeninnendruck, ...
- **Antrieb:** angetrieben (2/4WD), gezogen, ...
- **Befahrungsorganisation:** produktive vs. unproduktive Fahrstrecke, Arbeitsverfahren, Transportkette, ...

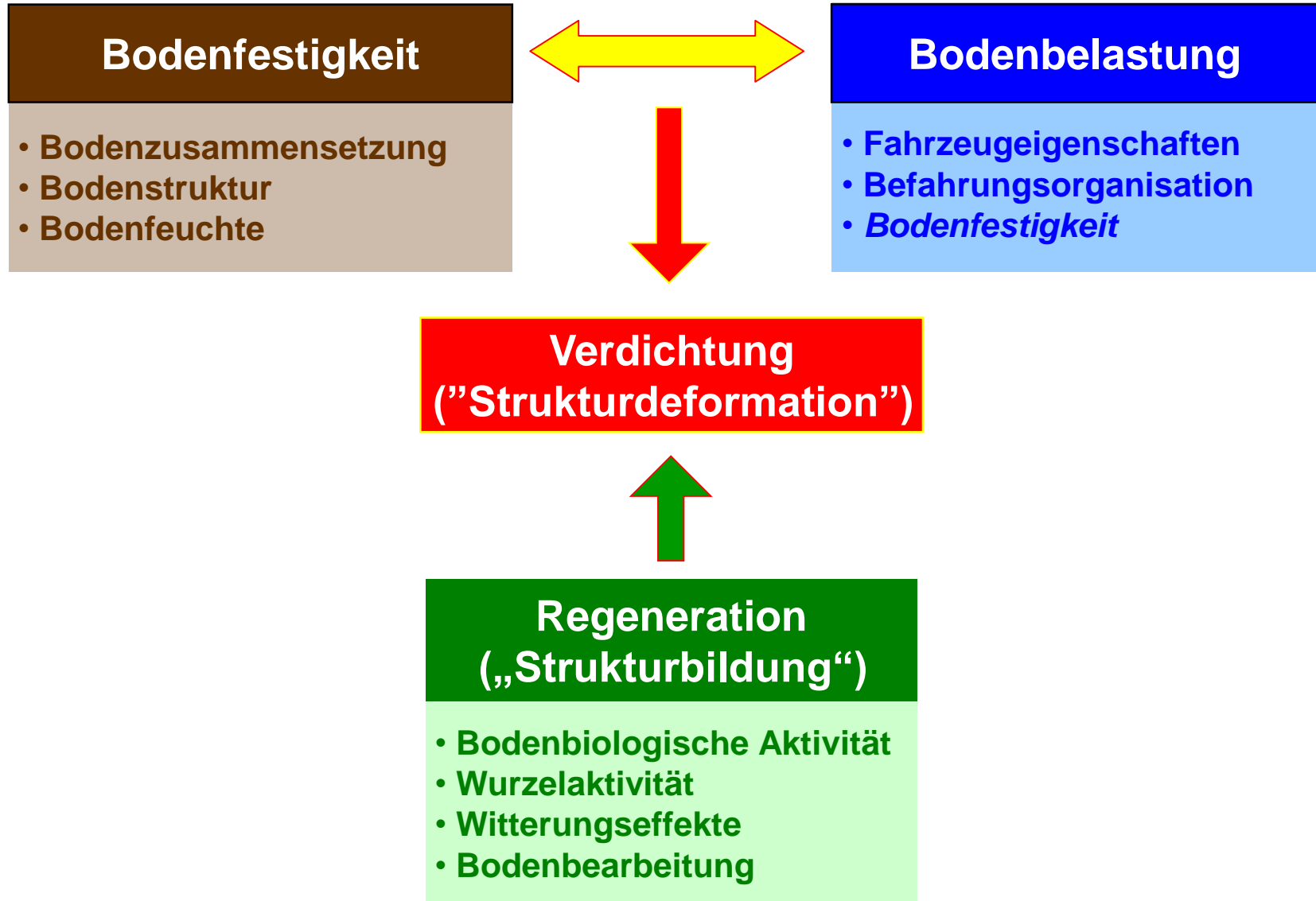


www.teroerde-landtechnik.de





# Mechanischer Verdichtungsprozess





# Strukturschwache Böden



## Strukturschwache Böden

→ oberflächliche Verschlammung

→ Verdichtungshorizont („Einlagerungsverdichtung“)

= schluffreiche Böden

= Böden mit einem zu geringen Humusgehalt

→ ungenügende Versorgung mit organischer Substanz

→ zu intensiv bearbeitet

www2.lanuv.nrw.de/boden/bodenschutz\_nrw



Vermindern des Verdichtungsrisikos

# Beurteilen des Verdichtungsrisikos

Offiziell genehmigte Anwendung der beiden Bundesämter für Landwirtschaft und für Umwelt

→ expert

→ light

terranimoch

Anmelden | Registrieren D | F | E

## Willkommen bei Terranimo®

**Terranimo®** ist ein Simulationsmodell für die Berechnung des Bodenverdichtungsrisikos beim Einsatz von landwirtschaftlichen Fahrzeugen.

Es sind zwei Versionen verfügbar:

→ **Terranimo® light**

für die einfache und schnelle Risikoeinschätzung von Standardsituationen.

→ **Terranimo® expert**

für die umfassende Analyse des Verdichtungsrisikos bei spezifischen Bedingungen.

siehe Referat von Matthias Stettler:

„Terranimo – Akzeptanz in der Praxis und künftige Entwicklungen“

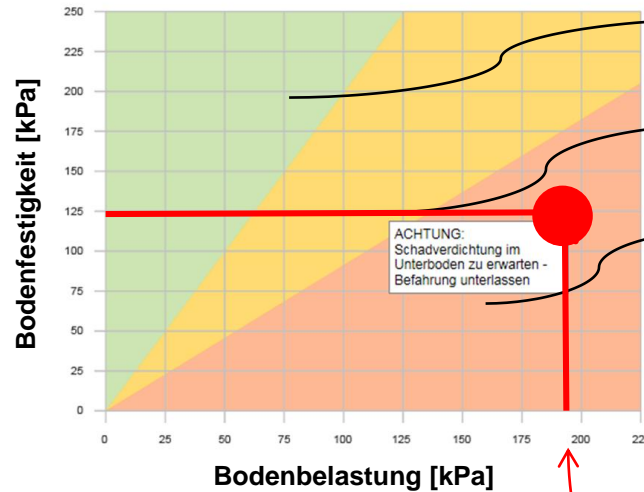


Vermindern des Verdichtungsrisikos

# Verdichtungsrisiko-Beurteilung

## Entscheidungsdiagramm

Entscheidungsdiagramm (gültig für 35 cm Bodentiefe)

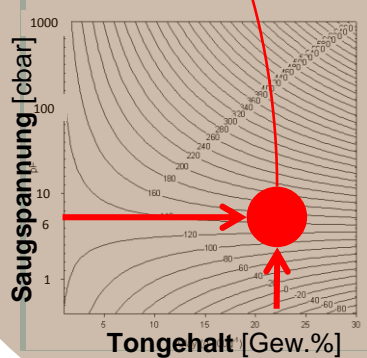


**“keine Gefährdung”**  
→ Verdichtung unwahrscheinlich

**“beträchtliche Gefährdung”**  
→ Verdichtung möglich

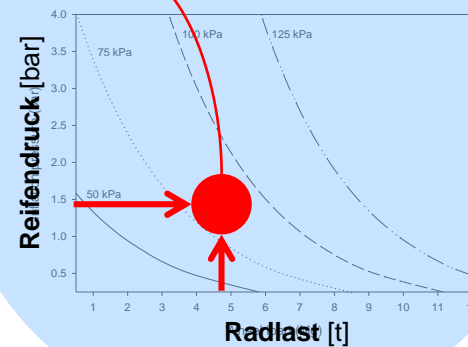
**“grosse Gefährdung”**  
→ Verdichtung wahrscheinlich

## Bodenfestigkeit



Computer

## Bodenbelastung



Computer



Vermindern des Verdichtungsrisikos

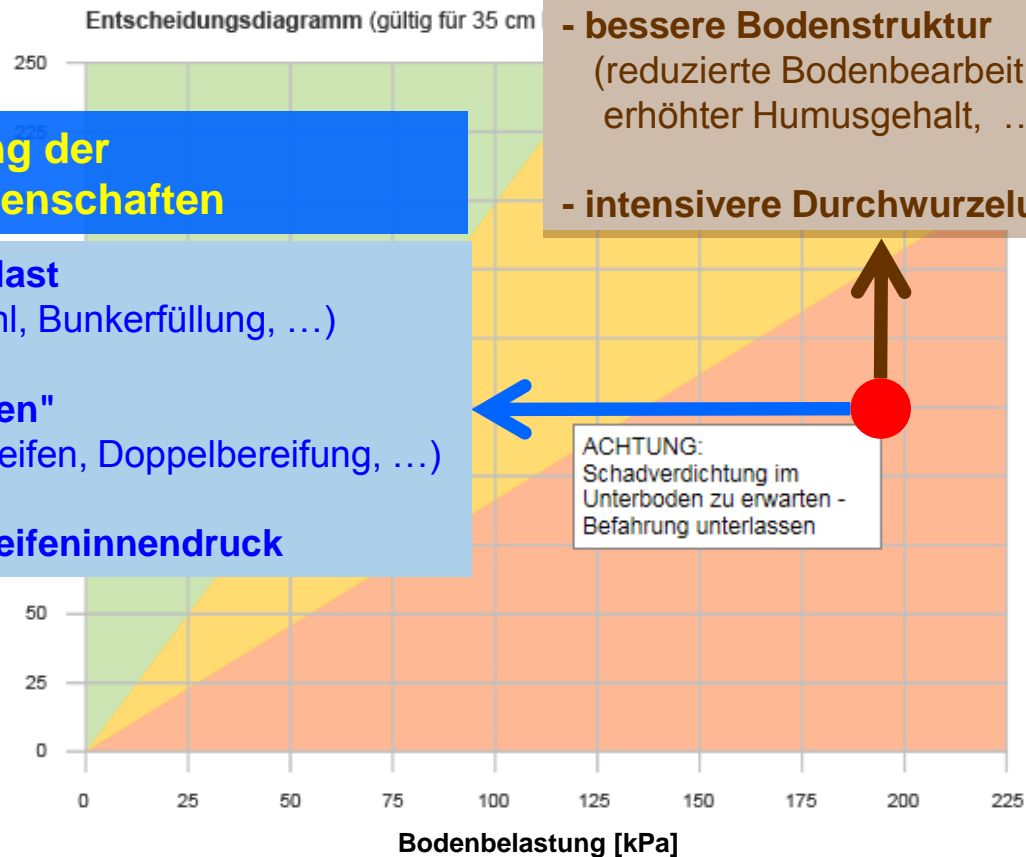
# Strategien zur Risikominderung

## Verbesserung der Fahrzeugeigenschaften

- kleinere Radlast  
(Fahrzeugwahl, Bunkerfüllung, ...)
- bessere Reifen"  
(Niederdruckreifen, Doppelbereifung, ...)
- geringerer Reifeninnendruck

## Verbesserung der Bodeneigenschaften

- trockenerer Boden
- bessere Bodenstruktur  
(reduzierte Bodenbearbeitung, erhöhter Humusgehalt, ...)
- intensivere Durchwurzelung





Vermindern des Verdichtungsrisikos

# Verbessern der Fahrzeugeigenschaften



## Fahrwerk

- Lastverteilung auf unabhängige Lastflächen
- Mehrfachbefahrungen vs. Einfachbefahrung  
= Rollwiderstand, Schadensausmass



## Reifentyp und -größe, Reifeninnendruck

- grössere Kontaktfläche = bessere Oberbodenschonung  
= geringere senkrechte Drücke im Oberboden  
= geringerer Schlupf = geringere horizontale Drücke  
(→ Zugkraft, Energiebedarf)
- Reifendruck an Radlast und Fahrgeschwindigkeit anpassen!  
= Reifendruckregelanlage (oder: neue Reifengeneration)



Vermindern des Verdichtungsrisikos

# Bodenschonung und effizientes Befahren



Bildquellen: Weissbach, 2006; Moizi, 2007



Vermindern des Verdichtungsrisikos

# Verbessern des Fahrzeugeinsatzes



images.agcanada.ironolutions.com

## Organisation des Feldverkehrs verbessern

- Nichtproduktive Fahrstrecke reduzieren  
(minimal notwendige Fahrstrecke anstreben)
- Überladeverfahren optimieren



www.caseiurope.com

## Alternative Befahrungssysteme entwickeln

- Genauigkeit der Anschlussfahrten  
(Lenksysteme)
- Controlled Traffic: Permanente Fahrspuren  
(Trennung von befahrener / unbefahrener Fläche)

siehe Referat von Annette Latsch:

„Controlled Traffic Farming – eine Lösung zur Verminderung von Bodenverdichtungen?“





Vermindern des Verdichtungsrisikos

# Verbessern des Fahrzeugeinsatzes



Wikimedia Commons-

## Transport grosser Gütermengen

(Abtransport von Erntegüter, Zufuhr von Düngemitteln)

- Trennung von Feld- und Strassentransport?  
= spezialisierte Fahrzeuge, Überladeorganisation!
- kombinierter Feld- und Strassentransport?  
= flexible Bereifung, Reifendruckregelanlage

## Alternativverfahren

(geringere Bodenbelastung, weniger befahrene Fläche)

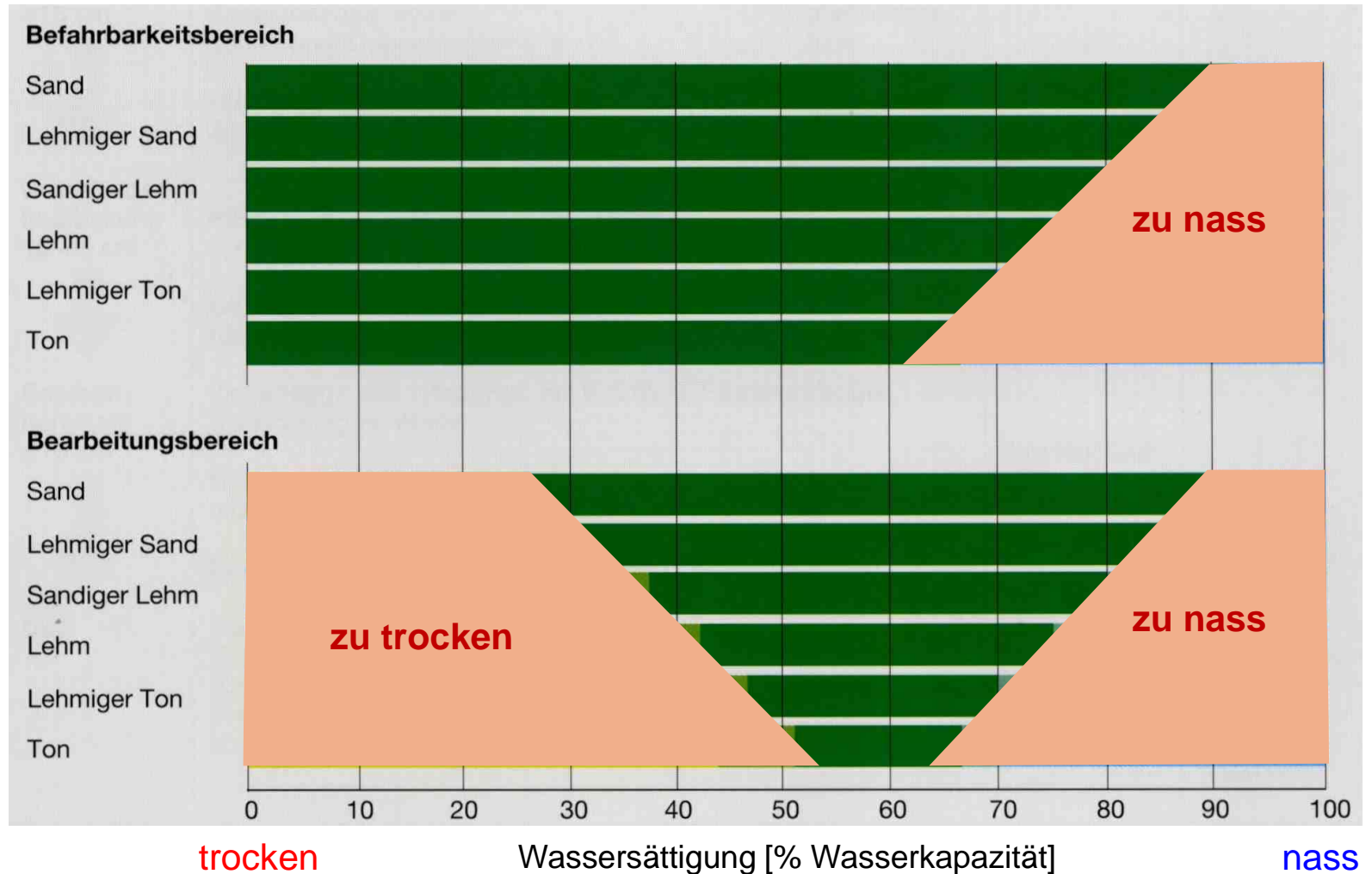
- z.B. Onland-Pflügen  
= geringere Bodenbelastung in Furchentiefe
- z.B. Gülle verschlauchen  
= geringere Bodenbelastung + weniger befahrene Fläche





Vermindern des Verdichtungsrisikos

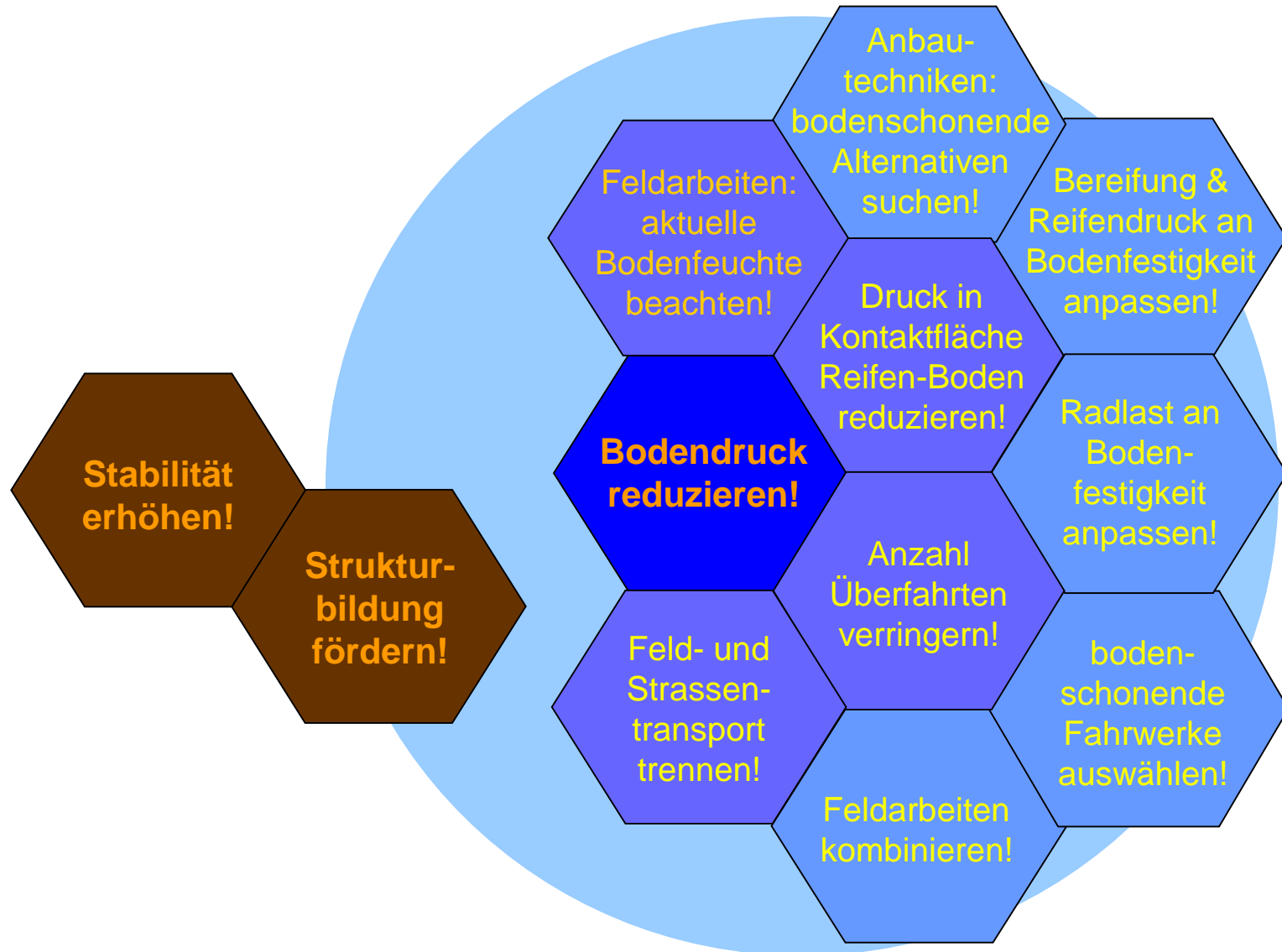
# Verbessern des Fahrzeugeinsatzes: Bodenfeuchte beachten!





Vermindern des Verdichtungsrisikos

# Fahrzeugeigenschaften und Fahrzeugeinsatz

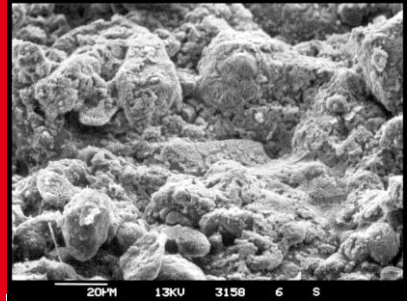




# Strukturbildungsprozesse



bbcgardenersworld.files.wordpress.com



www.ars.usda.gov



inwebworks.biz



soilquality.org

## Physikalische Prozesse

- **mechanische Lockerung** (Bodenbearbeitung)
- **Quellen/Schrumpfen** (Befeuchtungs/Austrocknungszyklen)
- **Frostspaltung**
- **Verfestigung** (Bodenfeuchte: Wassermenisken)

## Chemische Prozesse

- **Bindung, Aggregation** (Hüllen, Komplexe, ...)

## Biologische Prozesse

- **Durchwurzelung** (Austrocknung, Bindung, Nahrung, ...)
- **Aktivität Bodenorganismen** (Lockerung, Stabilisierung, Vermischung, Aggregation, ...)



# Fördern physikalischer Prozesse



www.agweb.com



www.lemken.com



www.agrigate.ch



img.fotocommunity.com

## Bodenbearbeitung, Bestelltechnik

- **Lockerung:** Grund-Bodenbearbeitung, Saatbettbereitung, ...
- **Verfestigung:** Walzen

- = **Arbeitsqualität wichtig!** (Bodenfeuchte, Gerätewahl und -einstellung, ...)
- = **kein Aggregieren!**
- = **nur im Grobmasstab!**

## Bodenbearbeitung, Bestelltechnik, Fruchtfolge, ...

- **Quellen/Schrumpfen:** Tongehalt, Wetter; Bodenbearbeitung, FF/Kulturwahl, Bewässerung, ...
- **Frostsprennung:** Wetter; Bodenbearbeitung, FF/Kulturwahl, ...



# Fördern chemischer & biologischer Prozesse

## Mineralische Düngung

→ Bindung, Aggregierung: Kalkung, Düngerform

## Organische Düngung

→ Bindung, Aggregierung: Hofdünger, Recyclingdünger

## Fruchtfolge/Kulturwahl, Bestelltechnik, ...

→ Bindung, Aggregierung: Fruchtfolge/Kulturwahl

→ Durchwurzelung: Boden, Wetter; Fruchtfolge /Kulturwahl, Bestelltechnik, ...

→ Aktivität **Bodenorganismen** Boden, Wetter; Fruchtfolge/Kulturwahl, Bestelltechnik, Düngung, ...



phs-lohnunternehmen.ch



2.bp.blogspot.com





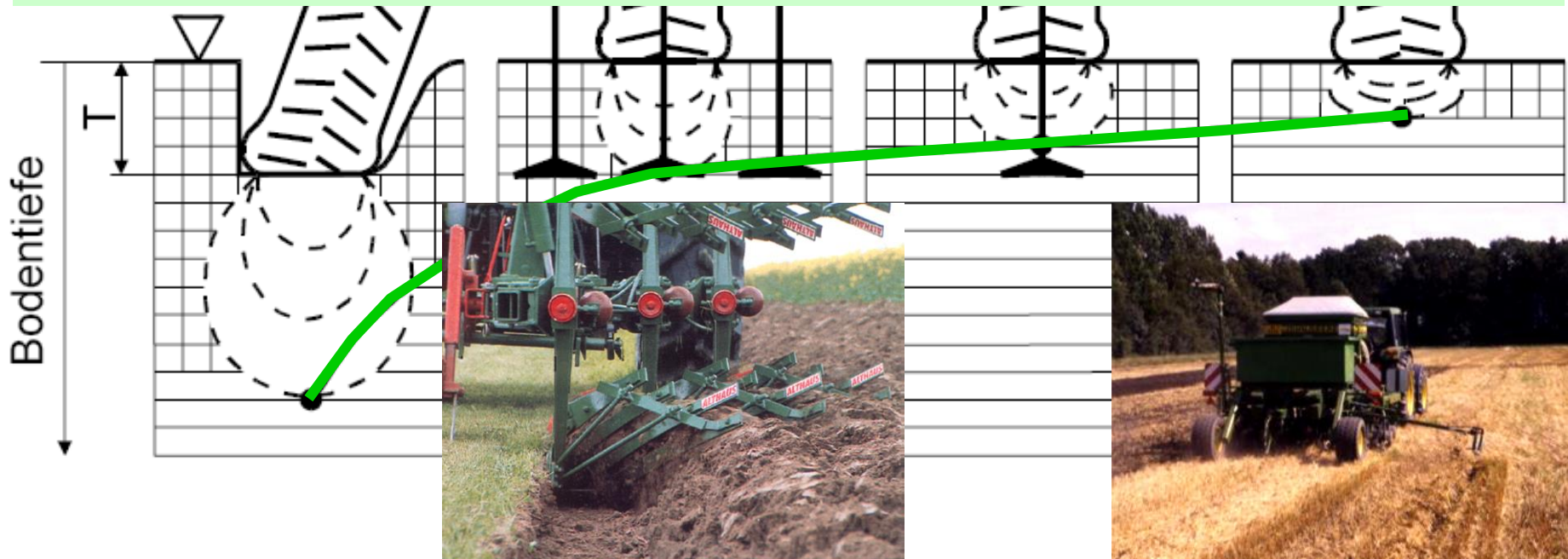
Fördern der Strukturbildung

# Bestelltechnik und Strukturbildung

Konventionelle Bodenbearbeitung mit Pflug

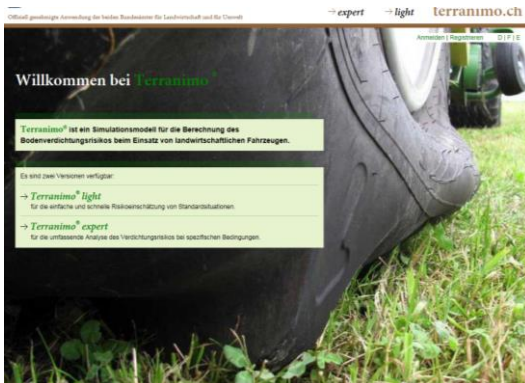
Konservierende Bodenbearbeitung ohne Pflug  
übliche fruchtfolgespezifische ohne  
Lockerung

- intensive mechanische Lockerung ist nur bei verdichtetem Boden nötig!
- Reduktion der Bodenbearbeitungs-Intensität (flächen- und tiefenbezogen) ist möglich, wenn das Verdichtungsrisiko kontrolliert wird!





# Elemente strukturfördernder Bewirtschaftung



**kontrolliertes  
Verdichtungsrisiko**



**Bodenbedeckung und  
-durchwurzelung**

**→ strukturfördernde Bewirtschaftung lockert auch das Innere verdichteter Bodenteilchen auf und stabilisiert durch Aggregation!**



**keine zu intensive  
Bodenbearbeitung**

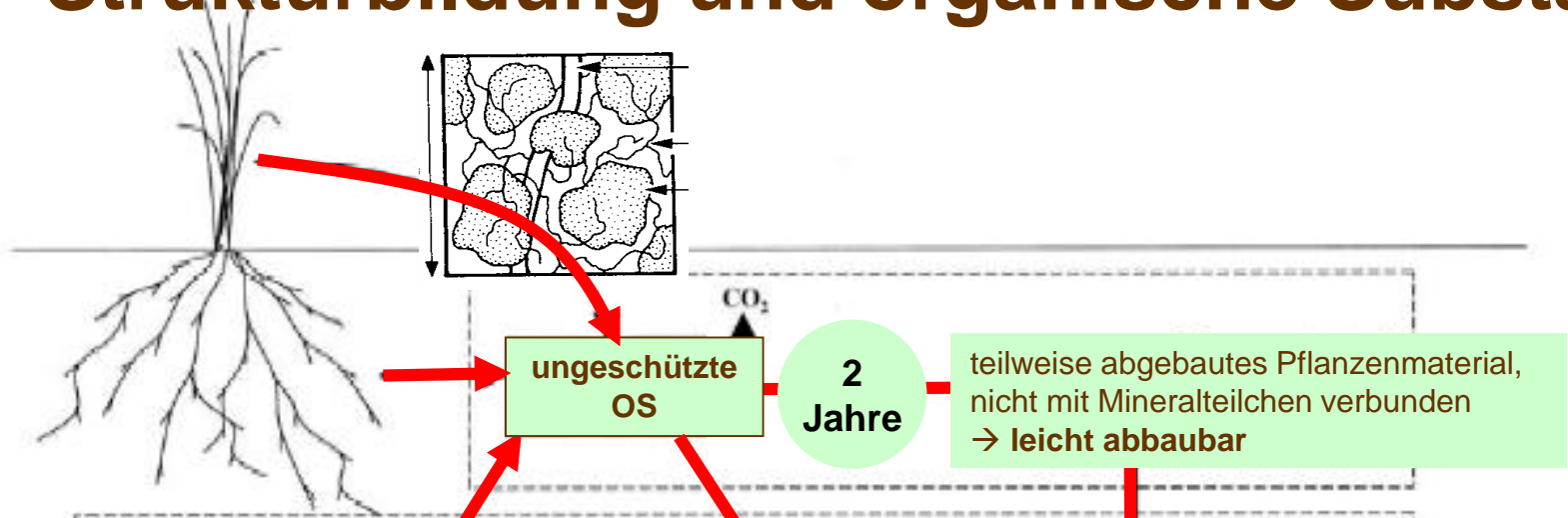


**umsichtige Düngung  
(Humusbilanz, pH)**

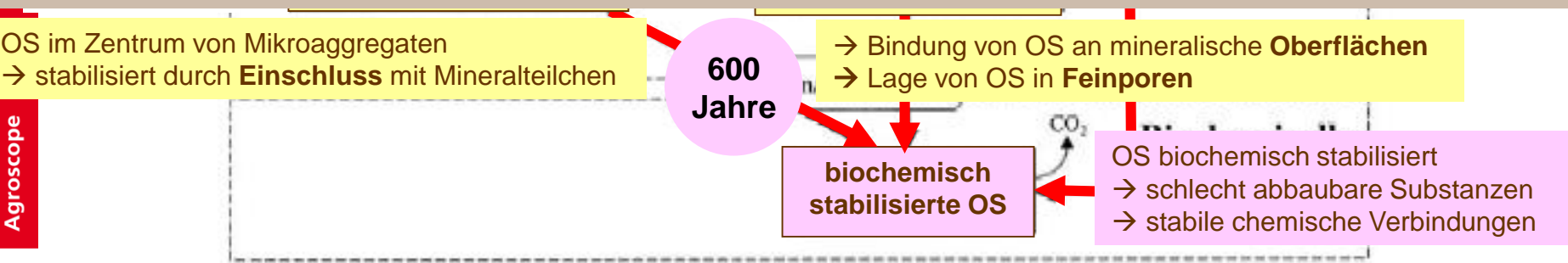




# Strukturbildung und organische Substanz



→ Bei der Humuswirtschaft geht es nicht nur um das **Erhalten eines Humusgehaltes als Baustoff im Boden**:  
 mindestens so wichtig ist **die organische Substanz als Betriebsstoff für die Aktivität der Bodenorganismen**, damit diese ihre Leistungen erbringen können!

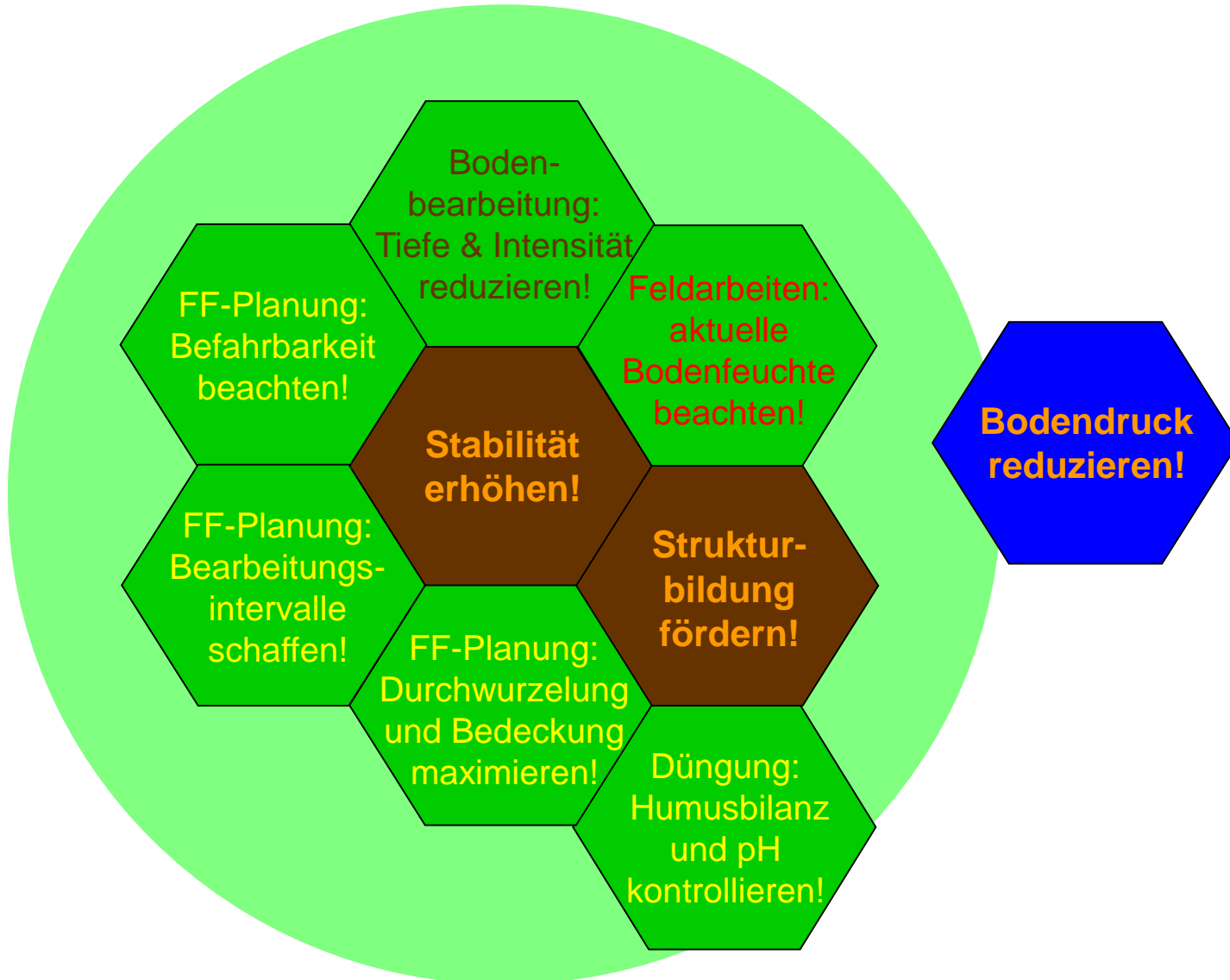


Agroscope

Figure 3. Conceptual model of soil organic matter (SOM) dynamics with measurable pools. The soil processes of aggregate formation/degradation, SOM adsorption/desorption and SOM condensation/complexation and the litter quality of the SOM determine the SOM pool dynamics.



# Pflanzenbau und Verdichtungsrisiko-Minderung





Schlussfolgerungen

# Verdichtungsrisiko vermindern

- Das Verdichtungsrisiko hat zwei Aspekte:  
einzelne Fahrspur vs. befahrener Feldflächenanteil
- Für die Verdichtungsrisiko-Beurteilung müssen Boden- und Fahrzeugeigenschaften berücksichtigt werden!

Verdichtungsrisiko-Beurteilung = kompliziertes Zusammenwirken von Boden- und Fahrzeugeigenschaften

- **Programme als nützliche Entscheidungshilfsmittel**  
(Datenbereitstellung, Berechnungen, Interpretation)

Verdichtungsrisiko in einzelner Fahrspur verringern:

- **Fahrzeugeigenschaften an Bodenstabilität anpassen**
- **Arbeitsorganisation entsprechend ausrichten**



Schlussfolgerungen

# Verdichtungsrisiko vermindern

Verbesserung der Fahrzeugeigenschaften, kurzfristig wirksam:

→ **Bereifung, Reifeninnendruck, Nutzlast, ...**

**win-win-Situation bodenschonende Bereifung:**

→ Oberbodenschonung, Zugkraftverbesserung, Energie- und Zeitersparnis

**Transportarbeiten oft mit grossem Verdichtungsrisiko**

→ Feldtransport und Zusammenspiel mit Strassentransport überprüfen

**Bei hohen Verdichtungsrisiken Alternativen prüfen:**

→ Gülleverschlauchung, Onland-Pflügen (bzw. pfluglose Arbeit)

Heute oft noch zu wenig systematisch beachtet:

→ **Verdichtungsrisiko der gesamten Feldfläche vermindern**



Schlussfolgerungen

# Strukturbildung fördern

→ **Lockerung im Feinstmassstab nur durch strukturbildende natürliche Prozesse, nicht durch Bodenbearbeitung!**

→ **effektive Stabilisierung durch Aggregation, nur durch strukturbildende natürliche Prozesse!**

**strukturfördernde Bewirtschaftung**

**= Nutzung natürlicher strukturbildender Prozesse**

→ Regeneration verdichteter Böden

→ Verbesserung des Bodenstruktur-Zustandes

Befahrungsregime und Bodenbearbeitung:

→ **reduzierte Bodenbearbeitungsintensität ist möglich, wenn Verdichtungsrisiko kontrolliert wird**

→ **organische Substanz ist im Boden nicht nur Baustoff, sondern auch Betriebsstoff!**



# Agroscope

[peter.weisskopf@agroscope.admin.ch](mailto:peter.weisskopf@agroscope.admin.ch)