



# *N.U. Agrar GmbH*

Bodenbearbeitung und Wurzelwachstum

Wie reagieren unsere Kulturen?

Josef Parzefall

Email-Anschrift: [nu-agrar@nu-agrar.de](mailto:nu-agrar@nu-agrar.de)

Internet: [www.nu-agrar.de](http://www.nu-agrar.de)



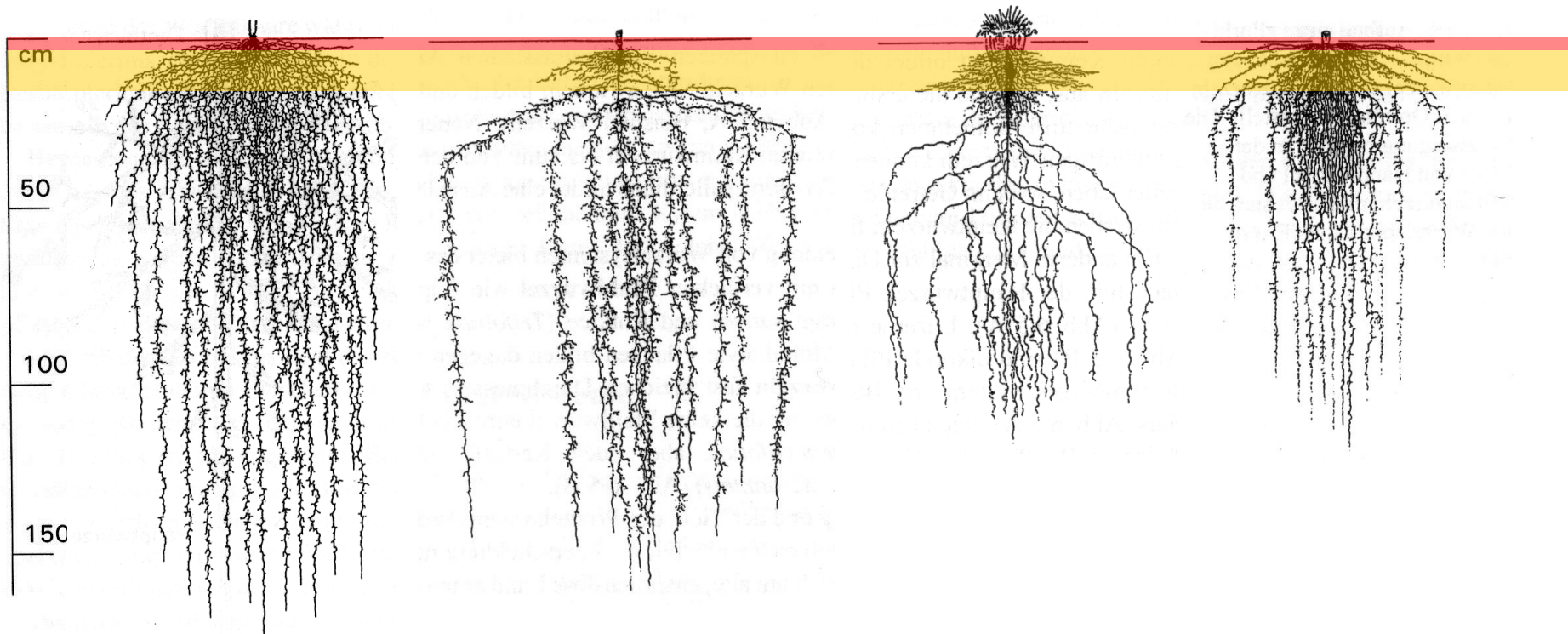
# Wurzelsysteme verschiedener Kulturpflanzen

*Weizen*

*Raps*

*Zuckerrübe*

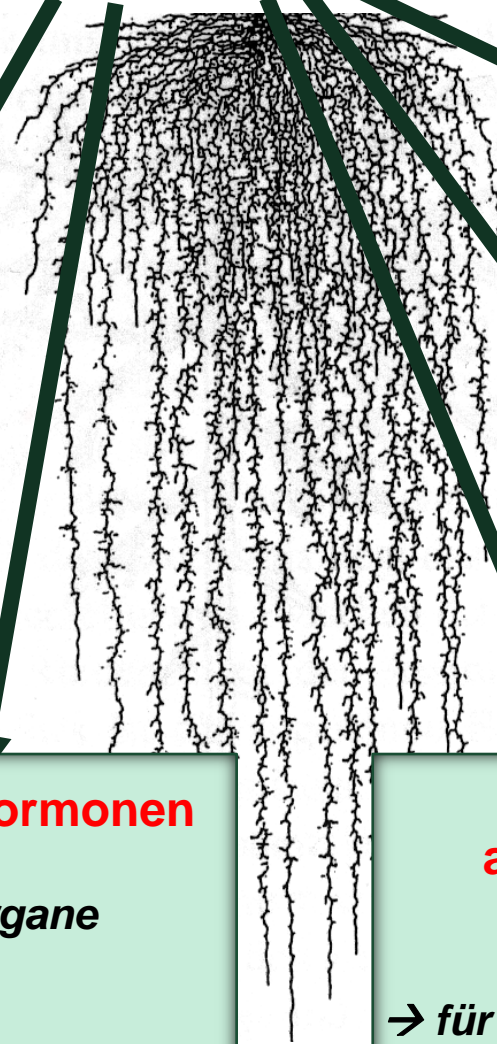
*Mais*



Kutschera 1960



# Funktionen der Wurzel



**Wasseraufnahme**  
(passiv → Transpiration)

**Nährstoffaufnahme**  
→ Massenfluß  
→ Diffusion (Konz.-gradient)  
→ Interzeption

**Abgabe org. Substanzen**  
= Rhizodeposition  
(z.B. Mucigel,  $\text{HCO}_3^-$ )

**Statik**  
→ bei oberirdisch  
wachsendem Sproß  
(Getreide, Mais, Raps)

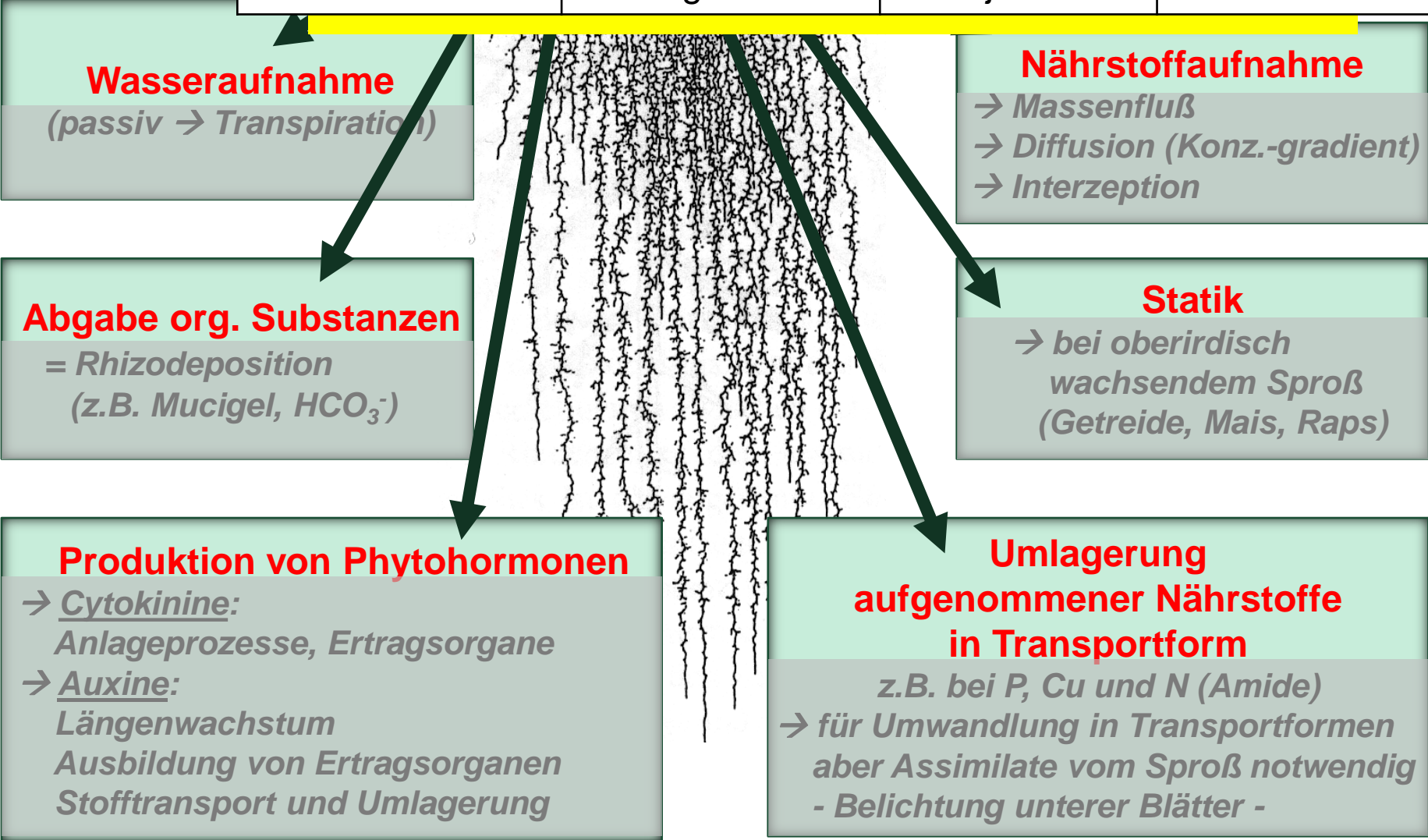
**Produktion von Phytohormonen**  
→ Cytokinine:  
Anlageprozesse, Ertragsorgane  
→ Auxine:  
Längenwachstum  
Ausbildung von Ertragsorganen  
Stofftransport und Umlagerung

**Umlagerung  
aufgenommener Nährstoffe  
in Transportform**  
z.B. bei P, Cu und N (Amide)  
→ für Umwandlung in Transportformen  
aber Assimilate vom Sproß notwendig  
- Belichtung unterer Blätter -



# Ergebnis: Korrelation Wurzeleistung → Sproßleistung

Kartoffel	+++	Zuckerrübe	+++	Mais	++	Raps	+
Winterweizen	+	Wintergerste	++	Soja	+	Erbsen	++



# Wurzeltypen



Pfahlwurzel

z.B.



Büschelwurzel

z.B.





# Wurzeltypen

## Pfahlwurzel

- ➔ Keimwurzel ist spätere Pfahlwurzel
- ➔ bei Dikotyledonen z.B.: Zuckerrübe, Raps, Soja, Lupine, Ackerbohne
- ➔ Seitenwurzel entspringen an Pfahlwurzel (im oberen Drittel)
- ➔ Pfahlwurzel → Wasseraufnahme, Reservestofflager  
Seitenwurzel → Nährstoffaufnahme, Phytohormon-Produktion, Knöllchenbesatz, Mykorrhiza
- ➔ Pfahlwurzellänge → Sproßlänge / ~ -masse
- ➔ Wurzeltiefgang wichtiger als Seitenwurzelbildung
- ➔ Priorität Bodenbearbeitung hat Lockerung
- ➔ streifige Lockerung möglich / sinnvoll (→ Bodenart)



# Wurzeltypen

## Pfahlwurzel

➔ Pfahlwurzelreaktion auf:

Bodenverdichtung	--	(Oberboden > Unterboden)
zu wenig Feinerde	∅	(ZR ∅ Ackerbohne +)
Staunässe	--	
Trockenheit	+	
Nährstoffmangel	+	
Sauerstoffmangel	∅	
Störschichten (Stroh, ZR-Blatt)	--	(ZR -- Raps ∅)
Temperatur	++	(Soja > ZR > Raps)



# Wurzeltypen

## Büschelwurzel

- ➔ Keimwurzel oft absterbend, aber Ausnahme z.B. Mais  
Für Gesamtwurzelleistung selbst nicht relevant  
aber: Keimwurzelwachstum → Mesokotylwurzelleistung
- ➔ Kronenwurzel (= Adventivwurzeln) von Stängelknoten aus  
z.B. Getreide → von Bestockungsknoten  
    Mais → von 1 bis 4 Stängelknoten
- ➔ Additivwurzeln
  - Nährstoffaufnahme
  - Wasseraufnahme
  - Phytohormonproduktion
  - Knöllchenbesatz, Mykorrhiza
  - Transportformbildung
- ➔ Bei Getreide, Mais, Erbsen, Wicken, Klee, Sonnenblume, Ramtill





# Wurzeltypen

## Büschelwurzel

➔ Kronenwurzelreaktion auf:

Bodenverdichtung	-	
Feinerdeanteil	+++	
Nährstoffmangel	-	(P < K > NH <sub>4</sub> > NO <sub>3</sub> )
Verschlämmung	--	
Mulchdecke	-	
Trockenheit	--	
Temperatur	++	
Staunässe	-	

**bei Getreide: Kronenwurzel → Bestockung → Korndichte/m<sup>2</sup>**

Kronenwurzelmasse	→	TKG ++	KZ/Ä +
Kronenwurzelzahl	→	Triebdichte ++ (Ä/m <sup>2</sup> )	
Kronenwurzellebensdauer	→	TKG ++	Qualitätsparameter ++



# Einflußfaktoren auf Kronenwurzeleistung bei Getreide und Mais

➔ Kronenwurzelzahl      ➔ alle Ertragsorgane

Lagerungsdichte	0 - 10 cm	++
Bodenfeuchte	0 - 10 cm	+++
Verschlämmung		--
Temperatur		++
Einstrahlung:	Getreide	++
	Mais	+++
N-Form		++
P-Versorgung	0 - 10 cm	+++
K-Versorgung	0 - 10 cm	++
Wachstumsregler		++
Bodendurchlüftung		+



# Einflußfaktoren auf Kronenwurzelleistung bei Getreide und Mais

➔ Kronenwurzelmasse → TKG, Qualitäten

Lagerungsdichte	0 - 30 cm	+++
Bodenfeuchte	0 - 30 cm	++
Feinerdeanteil	0 - 30 cm	+
Assimilatversorgung	durch bodennahe Blätter	+++
N-Form		+++
PK-Versorgung		++
Bodendurchlüftung		++



# Einflußfaktoren auf Kronenwurzeleistung bei Getreide und Mais

➔ Kronenwurzelebensdauer → TKG, Qualitäten

Assimilatversorgung vom Sproß	+++
Bodendurchlüftung	+++
N-Versorgung	++
P-Versorgung	+
K-Versorgung	++
Bodenfeuchte	+
Krankheiten: Schwarzbeinigkeit WW	--
Rhizoctonia Mais	--



# Bedeutung Keimwurzel

- ➔ Pfahlwurzler > Büschelwurzler
- ➔ Keimwurzelwachstum → Dauer Feldaufgang (→ Tageslänge)
- ➔ FA-Dauer korreliert relativ stark mit Ertragspotenzial

Mais	++	Zuckerrübe	+++	Kartoffel	∅	Wintergerste	+
Raps	++	Soja	+	Erbsen	++	Winterweizen	-

- ➔ Assimilate für Keimwurzel aus Saatkorn  
(kritisch: Auswuchs, Krankheiten, Nährstoffmangel)



# Bedeutung Keimwurzel

➔ Einfluß auf Keimwurzel-Entwicklung (∅ aller Kulturen)

Feinerde	+++	Bodentemperatur	++
Nährstoffversorgung	-	Bodenfeuchte	-
		Herbizide (z.B. Chloractamide)	-
Stroh/Mulchreste	-	Beizung (z.B. Azole, Insektizide)	-

zu Nährstoffe: zu hohe Nitratkonzentration --  
 zu hohe P-Konzentration -  
 Bor ---

zu Bodenfeuchte: zu naß --  
 zu staunaß ---  
 zu trocken --

zu org. Substanz: C/N weit --  
 C/N enger ∅  
 „siliert“ → ph ↓↓ ---



# Einflüsse auf Entwicklung Keimwurzel → FA-Dauer

Kultur \ Boden- zustand	zu trocken	zu naß	zu rauh/grob	ver- schämmt	zu viel Stroh	zu tiefe Ablage	zu flache Ablage	schlechte Saatgut- bedeckung
Mais	-	::	::	-	::	+	∅	:
ZR	∅	-	∅	+	∅	-	++	++
Raps	∅	-	:	∅	-	::	++	++
WW	-	+	++	+	+	++	+	++
WG	::	::	::	::	::	+	-	-
Soja	∅	∅	+	∅	+	∅	-	:
Kartoffel	++	-	-	∅	∅	+	∅	∅
Klee	-	∅	::	∅	-	::	++	++
Erbsen/Wicken	-	+	∅	∅	-	+	-	:
Phacelia	∅	+	-	+	--	::	+	++
Ramtill	∅	+	-	∅	--	::	+	∅
Senf	+	+	∅	+	-	-	++	+++
Ölrettich	∅	++	∅	+	∅	-	+	+
Rauhafer	--	++	+	+	+	++	-	-



## Wurzel braucht Assimilate

- ➔ für Wurzelwachstum
- ➔ für Strohabgabe im Boden (→ Rhizodeposition)
  - Gasaustausch
  - Ladungsausgleich bei Nährstoffaufnahme
- ➔ Bildung von Transportformen für Nährstoffe (N, P)
- ➔ Mykorrhizabesiedelung
- ➔ Knöllchenbakterien bei Leguminosen
- ➔ für Wurzellevensdauer

**Produktionsort: Wurzel- / bodennahe Blätter**

**C-Quelle:** bodenbürtiges  $\text{CO}_2$  aus  $\text{C}_{\text{mob}}$   
→ Faktor Humus bzw. Humusmineralisation





# Bodenbearbeitung - Wurzelabsicherung

## *Einfluß der Bodenbearbeitung auf den Ertrag*

Kartoffel	+++	Mais	+++
Zuckerrübe	∅	Winterweizen	-
Wintergerste	++	Raps	∅
Soja	∅	Zwischenfrüchte	++



# Ansprüche der Kulturen an Bodenbearbeitung

	tiefe Lockerung	Feinerde 0-10 cm	Durchwurzelbarkeit		Kapillar- anstieg	flächige Lockerung	Rück- verfestigung	Stroh- einarbeitung
	unter 15-20 cm		0-20 cm	> 20 cm				
Mais	∅	+++	+++	∅	+	++	-	++
ZR	++	∅	∅	++	-	-	+	+
Kartoffel	+	+++	+++	+	+	+++	-	++
Winterweizen	-	∅	∅	++	+	+	++	++
Wintergerste	∅	++	+++	+	+	+++	++	+++
Raps	++	+	+	++	∅	-	+	∅
Soja	∅	+	+	+	+	∅	∅	-
Erbsen	∅	++	+++	∅	++	++	+	++
Klee	--	++	++	-	∅	++	++	++
Phacelia	∅	++	++	+	+	++	+	+++
Ramtill	+	+++	+++	+	++	++	∅	+++



# Problemfelder der Bodenbearbeitungssysteme

## ***Pflug***

- Überlockerung,  
bei Trockenheit Rückverfestigung schwierig
- starker An Schub von Mineralisationsprozessen,  
z.B. Nitrifikation, Bodenatmung → nutzbar?
- höchstes Erosionsrisiko (je nach Bodenart);  
schnellstmögliche Bodenbedeckung anstreben
- intakte Struktur wird zerstört (wenn vorhanden)  
aber: relativ schneller Wiederaufbau



# Problemfelder der Bodenbearbeitungssysteme

***pfluglos***

***intensiv***

- bei Nässe/hohere Bodenfeuchte auf schweren Böden kaum Saatbett möglich
- starke Zerkleinerung und bestmögliche Verteilung org. Substanz unabdingbar
- bei Trockenheit zu viele Hohlräume

***Merke: Boden wird von oben her nass  
und er wird von oben her trocken.***



# Problemfelder der Bodenbearbeitungssysteme

***pfluglos***

***extensiv***

- fehlende Ausnutzung von Mineralisationspotenzialen tieferer Bodenschichten
- Ungräserproblematik (AFU, Trespen) kaum mehr beherrschbar
- Umsetzungsprozesse im festen Unterboden kommen fast zum Erliegen



# Die größten Fehler bei der Bodenbearbeitung

- ➔ mangelhafte Rückverfestigung
  - nach Lockerung
  - bei Trockenheit
  - nach zu feuchter Bodenbearbeitung
- ➔ zu schlechte Verteilung und Zerkleinerung org. Substanz
  - Zwang zu tieferer Bearbeitung
  - Haufen-/Mattenbildung (z.B. dann Moosknopfkäfer bei ZR, Rhizoctonia bei Kartoffel/Mais/ZR)
  - Mäusebefall
- ➔ zu langes Warten mit Bodenbearbeitung nach Vorfruchternte
  - Krümelfähigkeit nimmt ab (nach ersten Regen)
- ➔ Nichtausnutzen stabiler Schönwetterperioden für tiefe Lockerungsvorgänge (Sommer, März)
  - bei zu feuchten Böden
  - bei strukturgeschädigten Böden (nach 2013)

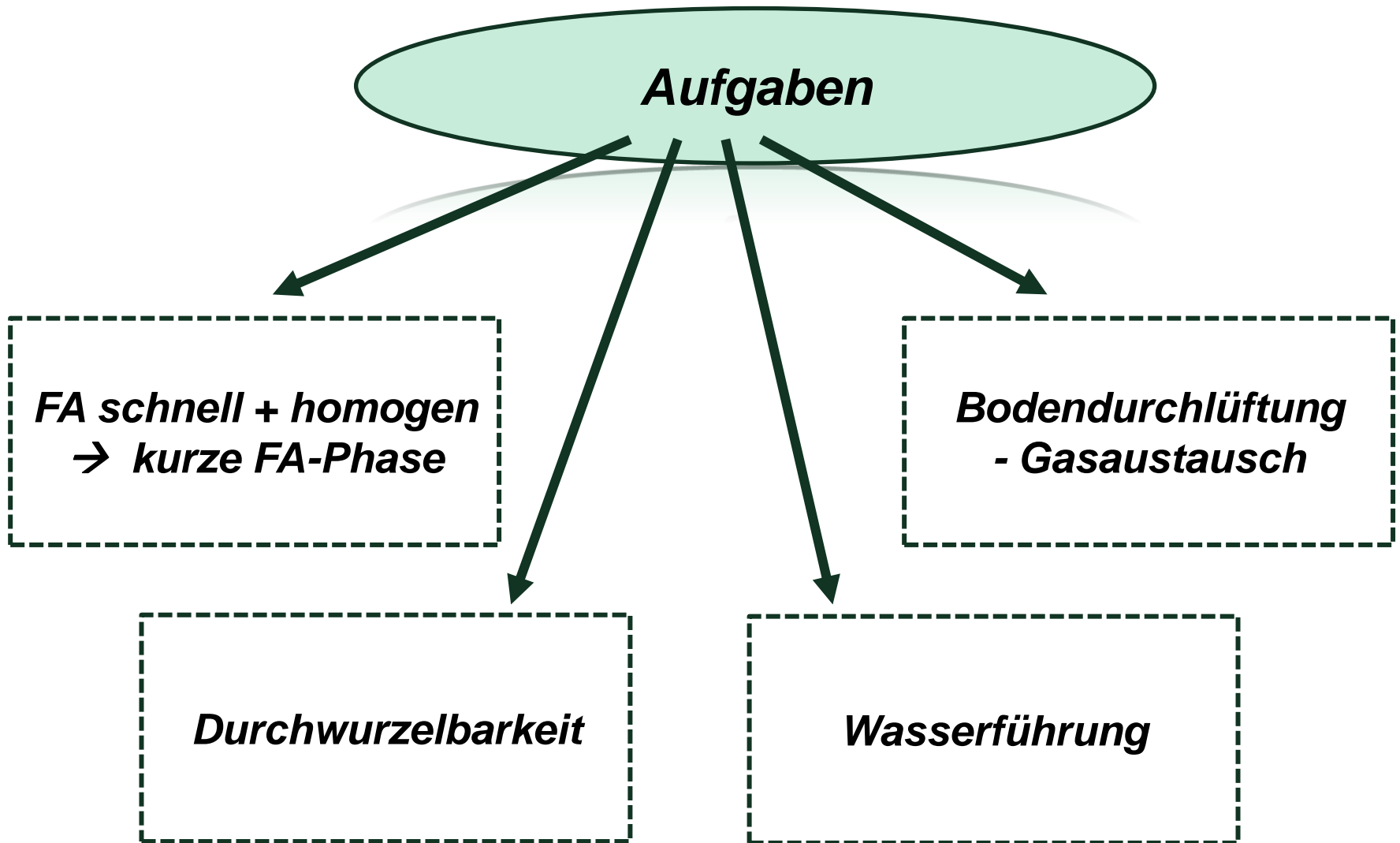


# Die größten Fehler bei der Bodenbearbeitung

- ➔ krümelnde Bodenbearbeitung bzw. Aussaat kurz vor Regen
  - besonders bei sowieso schon feuchten Böden
  - auf verschlammungs-sensiblen Böden
  
- ➔ tiefe Lockerung kurz vor Regen
  - Einwaschung von Feinerde → Schicht weiter unten
  - sehr kritisch bei feuchten Böden oder in Kombination mit Gülleausbringung
  
- ➔ unebene Flächen bzw. zu tiefe Fahrspuren (→ CTF?)
  - besonders kritisch bei Pfluglosverfahren
  - exaktes flaches Arbeiten nicht mehr möglich



# Aufgaben der Bodenbearbeitung







# Aufgaben der Bodenbearbeitung

***FA schnell + homogen  
→ kurze FA-Phase***

- ➔ Wirkung der Bodenbearbeitung unter kritischen, kühlen, nassen Bedingungen am stärksten
- ➔ Saatgutbedeckung  
Mais > Kartoffel > grobkörnige Leguminosen > WG/SoG > WW  
> ZR > Raps > Klee
- ➔ FA-Phase → Keimwurzel / Mesokotylwurzeln  
→ Jugendentwicklung



# Aufgaben der Bodenbearbeitung

## *Durchwurzelbarkeit*

- ➔ Tiefwurzler: UB > OB    ZR, Raps, WW  
Flachwurzler: OB >> UB    Mais, Kartoffel, WG, Erbsen
- ➔ **Flachwurzler → OB entscheidend**  
**Tiefwurzler → UB entscheidend**



# Aufgaben der Bodenbearbeitung

## ***Bodendurchlüftung - Gasaustausch***

- ➔ O<sub>2</sub> im Boden
  - Wurzelwachstum
  - C-/N-Mineralisation, Bodenfauna
  - Denitrifikation vermeiden
  - N<sub>2</sub>-Fixierung bei Leguminosen
- ➔ CO<sub>2</sub>-Abtransport
  - CO<sub>2</sub> hemmt Wurzelwachstum
  - CO<sub>2</sub> hemmt Bodenfauna
  - CO<sub>2</sub>-Versorgung der Wurzeln
- ➔ vermeiden reduzierender Verhältnisse
  - Nährstofffestlegung
  - Al/Mangan-Toxizität



# Aufgaben der Bodenbearbeitung

## *Wasserführung*

- ➔ Infiltration bei Starkregen - Erosionsschutz
- ➔ Wasserspeicherung: Porengröße, Zugänglichkeit Unterboden
- ➔ Staunässe verhindern → Verdichtungen
- ➔ Kapillarität, v.a. bei Trockenheit  
(z.B. Feinerde im Saatbett bei Trockenheit entscheidend für Keimwasser)



# Reaktionen des Wurzelwachstums

	zu wenig Feinerde Oberboden	Verdich- tungen Oberboden	Verdich- tungen Unterboden	Stroh im Saatbett	Stau- nässe	Ver- schlammung
Mais	--	---	∅	--	--	---
ZR	-	-	--	∅	--	-
Raps	∅	-	-	∅	-	-
Kartoffel	--	--	-	--	--	∅
Winterweizen früh	-	-	∅	-	-	-
Winterweizen spät	+	∅	--	∅	--	-
Wintergerste	--	--	-	---	---	-
Erbsen	-	--	-	∅	---	-
Soja	-	-	∅	∅	-	∅



# Reaktionen des Wurzelwachstums

**tonig -  
lehmige  
Böden  
(*> 25% Ton*)**

- sehr hohe Kapillarität
- höchste Humusgehalte möglich + notwendig
- sehr hohe Wasserleitfähigkeit  
→ langsames Abtrocknen
- strukturstabil (Winter, Starkregen)



# Reaktionen des Wurzelwachstums

**tonig -  
lehmige  
Böden  
(> 25% Ton)**

## ***tiefe Lockerung***

- Schaffung von Grob-/Mittelporen
- Vermeidung/Aufheben der Dichtlagerung, v.a. in tieferen Schichten
- Mineralisierungsprozesse fördern ( → hohes Potenzial)
- Durchlüftung fördern (O<sub>2</sub>-Mangel → Denitrifikation)
- Erschließung Unterboden (Wasser/Nährstoffe)
- Boden feucht → ganzflächige Lockerung  
oben naß → Pflug - Flügelschar ist Gift!



# Reaktionen des Wurzelwachstums

**tonig -  
lehmige  
Böden  
(> 25% Ton)**

## ***tiefe Lockerung***

Boden trocken

- teilweise Lockerung (streifig)
- Stielschare + enger Strichabstand
- Pflug + Packer





# Reaktionen des Wurzelwachstums

**tonig -  
lehmige  
Böden  
(> 25% Ton)**

## **Probleme**

**zu trocken (z.B. 2003, 2004, 2014)**

- ➔ zu grobe ausgetrocknete Grobkluten:
  - nicht durchwurzelbar
  - Feinerde „verschwindet“ nach unten
  - kein Kapillaranstieg
  - schlechter Strohabbau
  - ausgetrocknete Grobkluten lange konserviert
  - ➔ sehr „frostdolerant“



# Reaktionen des Wurzelwachstums

**tonig -  
lehmige  
Böden  
(*> 25% Ton*)**

## ***Probleme***

***zu naß (z.B. 2002, 2006, 2010)***

- keine ausreichende Feinerde
- Bearbeitungssohlen / Schmierschichten
- austrocknen grober nasser Kluten
- hohes Verdichtungsrisiko
- wenn obere Schicht naß  
→ pfluglos kaum möglich



# Reaktionen des Wurzelwachstums



## *Feinerdeschaffung*

**tonig -  
lehmige  
Böden  
(> 25% Ton)**

**- *Durchwurzelungseffekt >> Technik:***

- ⇒ flache Bearbeitung immer sofort nach Ernte;  
vor erstem Regen
- ⇒ Zwischenfrüchte konsequent nutzen

**- *Quellung - Schrumpfung sehr effektiv***

- ⇒ Frühjahrskulturen
- ⇒ sehr frühzeitige Lockerungsgänge

**- *hoher Vorfruchtertrag* → mehr Feinerde  
für Folgefrucht**

- z.B. ▶ extreme Unterschiede bei Mais  
▶ sehr hoher Weizenertrag → viel Feinerde  
für Raps, WG oder Zwischenfrucht



# Reaktionen des Wurzelwachstums



## *Feinerdeschaffung*

### Ziele

**tonig -  
lehmige  
Böden  
(> 25% Ton)**

### ***bei trockenen Bedingungen:***

- Kapillarität sicherstellen durch Rückverfestigung
- nicht wendende Lockerung, u.U. auch streifig
- bestmögliche Strohverteilung/-zerkleinerung
- Feinerde der Vorfruchtwurzeln nicht vergraben
- schmale Grubberschare: Feinerde bleibt oben
- Lockerung und Saat sofort hintereinander
- Risiko: zu tiefe Ablage durch Grobkluten  
(Raps, Zwischenfrüchte)



# Reaktionen des Wurzelwachstums



## *Feinerdeschaffung*

### Ziele

**tonig -  
lehmige  
Böden  
(> 25% Ton)**

### *bei zu feuchten Bedingungen:*

- besser strukturierten Unterboden hocharbeiten  
Pflug +++ Grubber --
- Saat nie kurz vor nächsten Niederschlag  
(siehe Oktober 2014)
- flache Lockerung oft unmöglich  
(v.a. auf tonigen Flächen)
- Regel: nach nassem Okt. oft ab Mitte Nov.  
wesentlich bessere Bedingungen (2013 + 2014)
- auf gut strukturierten Flächen  
u.U. flache Direktsaat sinnvoll  
z.B. 1x KSE → Direktsaat (Raps ZWFR)



# Reaktionen des Wurzelwachstums

## sandige Böden

- geringe Kapillarität, niedrige nFK
- Unterboden oft schlecht durchwurzelbar (meist C-Horizont)
- sehr hohe Verdichtungsempfindlichkeit, v.a. wenn Humusgehalte niedrig sind
- nicht strukturstabil (über Winter, Starkregen)
- oft schnell hohe Lagerungsdichten (→ „Straßenbau“)
- keinesfalls für Extensiv-Verfahren
- aber hohe Umsetzungsaktivität, weil schnell erwärmbar und durchlüftbar
- immer gut bearbeitbar, auch bei hoher Bodenfeuchte
- Humusgehalt entscheidender Faktor



# Reaktionen des Wurzelwachstums

**sandige  
Böden**

## ***tiefe Lockerung***

- sehr oft notwendig, auch im Frühjahr
- keinesfalls kurz vor Niederschlagsperioden bzw. im Spätherbst
- Striptill in Kombination mit Saatgut
- bei feuchten Böden möglich, aber dann gutes Wetter
- am besten kurz vor Saat
- bei Trockenheit unbedingt rückverfestigen



# Reaktionen des Wurzelwachstums

**sandige  
Böden**



***Feinerde***

- Risiko Entwicklung → immer wieder hochholen
- sehr hohes Erosionsrisiko / Verschlämmung
  - ⇒ Mulchsaaten





# Reaktionen des Wurzelwachstums

## Ziele

**sandige  
Böden**

- regelmäßige, abwechselnd tiefe Lockerung
  - bei trockenen Bedingungen nach Lockerung sofort stark rückverfestigen
  - anhaltender Erosionsschutz
  - Lockerung flächig, Striptill zur Saat
  - tiefe Lockerung um Feinteilchen, Nährstoffe wieder hochzuholen
  - Kultureignung:
    - Pfahlwurzler - aber Raps >> ZR
    - Büschelwurzler +
    - Raps + ZR -- Soja -- Erbsen ∅
    - WW ∅ WG + Mais ++ Kartoffeln +++
- (Mais/Kartoffeln mit Beregnung 1A)



# Reaktionen des Wurzelwachstums

## **schluffig- lehmige Lößböden**

- gut bis sehr gut durchwurzelbar
- hoher Feinerdeanteil,  
aber auch Einwaschungsrisiko
- hohes Erosions-/Verschlämmungsrisiko
- hohe Starkregenempfindlichkeit
- Dichtlagerungsrisiko hoch, auch im Oberboden
- Verdichtungsempfindlichkeit (Unterboden, B<sub>t</sub>-Horizont)
- mittlere Humusgehalte ausreichend



# Reaktionen des Wurzelwachstums

**schluffig-  
lehmige  
Lößböden**

## ***tiefe Lockerung***

- wenn möglich nicht vor Regenperioden bzw. nicht im Spätherbst
- Lockerungsgeräte egal
- nach Verdichtungen ganzflächige tiefe Lockerung
- anhaltend zu flache Lockerung
  - ⇒ Ertragsverzicht bei Tiefwurzlern nicht sehr hoch
- tiefe Lockerung schnell stabilisieren
  - ⇒ kurz vor Saat bzw. nachfolgend sofort ZWFR
- organische Substanz breitflächig tief einmischen
  - ⇒ sehr schnelle Umsetzung



# Reaktionen des Wurzelwachstums

**schluffig-  
lehmige  
Lößböden**



***Feinerde***

- oft zu fein → Mulchsaaten
- Saat keinesfalls vor stärkeren Niederschlägen (außer Mulchsaaten)
- zu starke mechanische Zerkleinerung  
sehr kritisch → Kreiselegge --
- Stroh als Erosionsschutz oft zu wenig



# Reaktionen des Wurzelwachstums

**schluffig-  
lehmige  
Lößböden**

## ***Probleme***

- Verschlämmung/Erosion
- Ton/Schluffeinwaschung
- fehlende Ausnutzung  
***hoher Wasser-, Nährstoff- und C-Reserven***  
im Unterboden
- zu tiefe Saatgutablage



# Reaktionen des Wurzelwachstums

## Ziele

**schluffig-  
lehmige  
Lößböden**

- Lockerung ohne Rückverfestigung
- Lockerung am besten bei trockenen Bedingungen, vor Regenperiode
- ZWFR mit bester Stabilisierungswirkung: Leguminosen (Wicken, Klee), Phacelia
- Flügelschare bei Grubber o.k.
- sehr schluffige Böden besser im Frühjahr tief lockern, dann aber rückverfestigen
- maximal lange Bodenbedeckung anstreben
- Reifen grobstollig >> flaches Profil