




Ansätze zur Überwindung der Nachbaukrankheit bei Apfel

BonaRes ORDIAMur:
Overcoming Replant Disease by an Integrated Approach

Traud Winkelmann
Leibniz Universität Hannover
und alle ORDIAMur Partner

OBSTBAUTAG 2025
Mecklenburg-Vorpommern
Güstrow, 18. Februar 2025



18.02.2025

Traud Winkelmann et al.

1




Danke an alle ORDIAMur-Partner























18.02.2025

Traud Winkelmann et al.

2



Gliederung

- Einführung und Ziele von ORDIAMur
- Ursachenforschung:
 - Einfluss und Reaktionen der Pflanze
 - Veränderungen im Bodenleben
 - Zusammenfassung Teil 1
- Entwicklung von Gegenmaßnahmen:
 - Motivation für die getesteten Maßnahmen gegen die Nachbaukrankheit
 - Weniger anfällige Unterlagen
 - Biofumigation/Anaerobe Bodendesinfektion
 - Inokulation mit förderlichen Mikroorganismen
 - Zwischenfrüchte/Vorkultur
- Zusammenfassung und Fazit

18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

3



Nachbaukrankheit/Bodenmüdigkeit



D (2017): 169 ha Unterlagenbaumschulen,
+ 769 ha Obstbaumschulen
= 938 ha, davon ca. 1/3 betroffen

Foto: B. Strolka



D (2017): 34.000 ha Apfelanbau
Nachpflanzungen nehmen zu,
zunehmende Betroffenheit

18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

4



ARD = Apple replant disease

• Symptome

- Gestauchte Sprosse
- Wurzelwachstum verringert, Verbräunungen
- Reduktion von Ertrag und Qualität

• Starke wirtschaftliche Einbußen

• Eigenschaften von ARD (Hoestra et al. 1994)

- Spezifität
- Immobilität
- Reversibilität
- Persistenz

• Überwindung durch Bodendesinfektion



Mahnkopp et al., 2018

18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

5



Ursachen und Gegenmaßnahmen

• Bodenbürtige mit ARD in Verbindung gebrachte Pathogene

- *Rhizoctonia* (Tewoldemedhin et al. 2011a; Mazzola and Manici 2012; Manici et al. 2013)
- *Cylindrocarpon* and other Nectriaceae (Tewoldemedhin et al. 2011a,b; Franke-Whittle et al. 2015; Manici et al. 2015, 2018)
- *Phytophthora* (Tewoldemedhin et al. 2011a; Mazzola and Manici 2012)
- *Pythium* (Tewoldemedhin et al. 2011a; Mazzola and Manici 2012; Manici et al. 2013)
- *Pratylenchus penetrans* (Mai and Abawi 1978; Jaffee et al. 1982)

• Gegenmaßnahmen

- Bodenentseuchung (chemisch, physikalisch, biologisch)
- Flächenwechsel, Pflanzung zwischen die Reihen
- Tolerante Unterlagen



18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

Foto: A. Wrede

6



Ziele von ORDIAmur

- Entwicklung von nachhaltigen und ökonomisch umsetzbaren Maßnahmen zur Überwindung der Nachbaukrankheit bei Apfel

Spezifische Ziele:

- Untersuchung der Auswirkungen der Apfelkultur auf das **Bodenleben**
- Identifizierung toleranten Material im Genpool von Apfel und Wegbereitung der **Züchtung auf ARD-Toleranz**
- Verständnis, wie **Bodenart und -struktur** die Entwicklung von ARD beeinflussen
- Identifizierung von **Schlüsselorganismen**, die ARD **induzieren** und die der ARD **entgegenwirken**
- Entwicklung von **Nachweisverfahren/Warnsystemen**
- Entwicklung und Prüfung von **Managementstrategien** in Zusammenarbeit mit der **Praxis**
- Wissenstransfer

18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

7



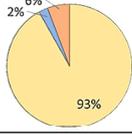
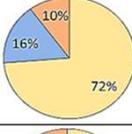
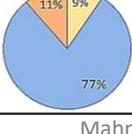
ORDIAMur Referenzflächen



ARD

Grass (control)

Foto: A. Wrede

Reference site	Soil group	Soil texture 	pH	SOC
			CaCl ₂ 0-30 cm	[g kg ⁻¹] 0-30 cm
Heidgraben	Entic Podzol		5.3	25.4
Ellerhoop	Endo-stagnic Luvisol		5.7	18.3
Ruthe	Haplic Luvisol		6.1	8.0

Mahnkopp et al. (2018)

18.02.2025

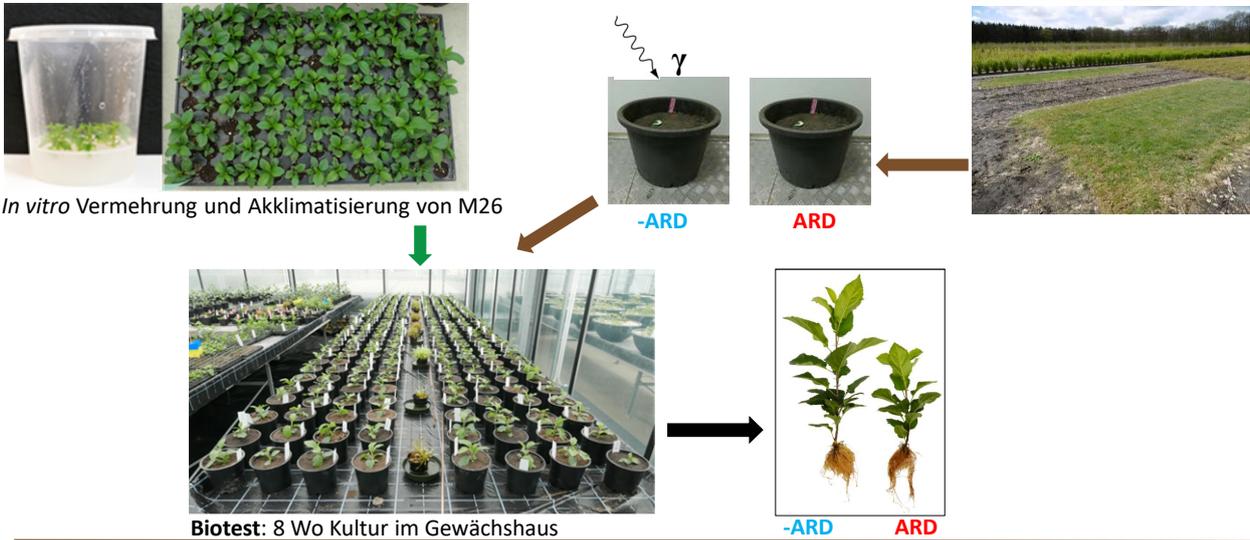


Traud Winkelmann et al.

8



ARD-Nachweis über Biotest



18.02.2025



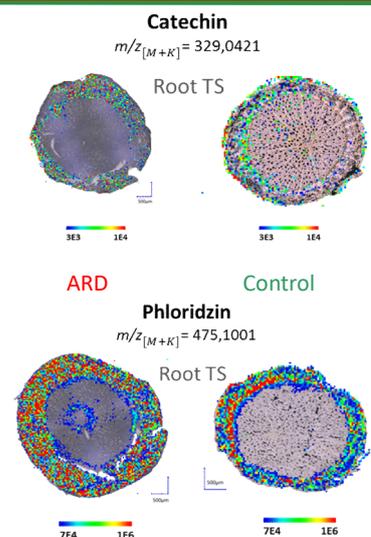
Traud Winkelmann et al.

9



Apfel = Ausgangspunkt des Problems

- Apfelwurzeln produzieren viele phenolische Metabolite:
 - Catechingehalt höher in Wurzeln aus ARD-Boden
 - Sehr hohe Gehalte von **Phloridzin** in Wurzeln in ARD- und Kontrollboden, sogar höhere Gehalte in stärkeren Wurzeln der Kontrollvarianten



Zühlke et al.

18.02.2025

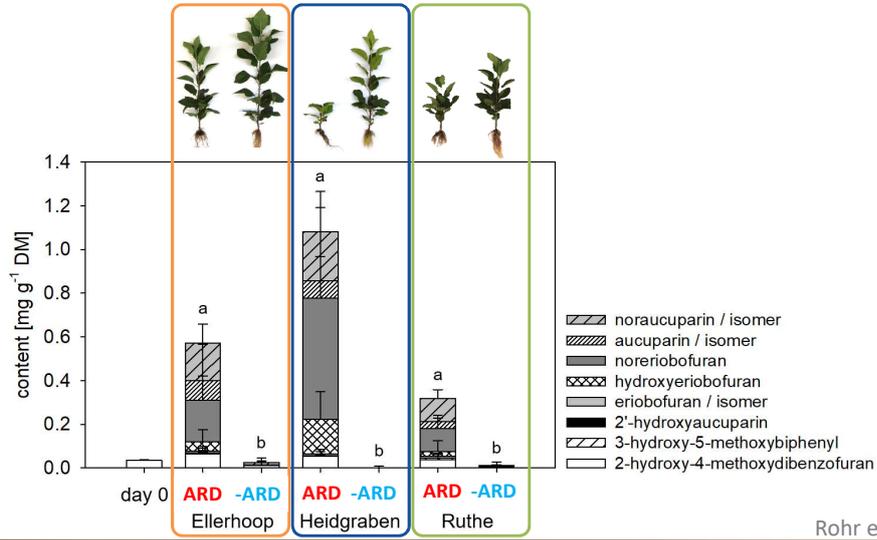


Traud Winkelmann et al.

10



Apfel reagiert mit massiver Abwehrreaktion



Rohr et al. (2020)

18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

11

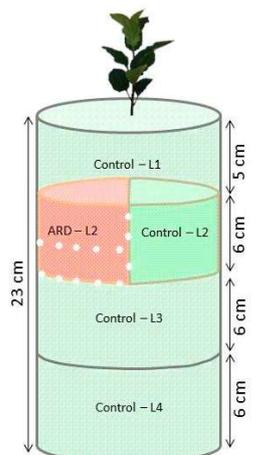


Reaktion auf ARD ist lokal

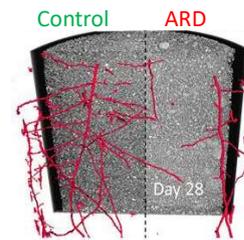


Control

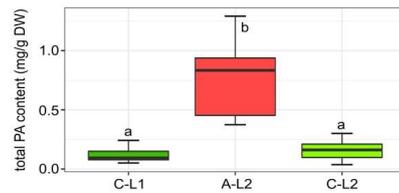
ARD



Balbin-Suarez et al. (2021)



Total Phytoalexins



18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

12



Wo bleiben die Phytoalexine?

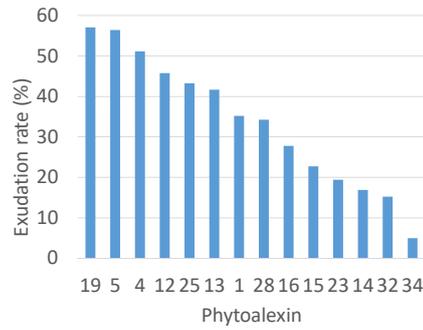
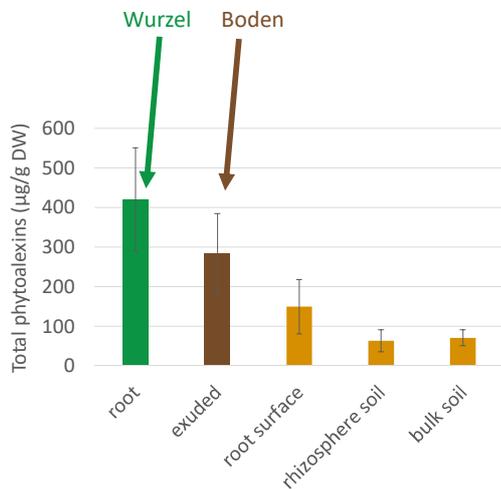


Foto: B. Busnena

N = 5 pools of 4 plants each in ARD soil from Heidgraben

18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

13



Identifizierung toleranter Genotypen

Malus Genbank-Akzessionen im Biotest

- Weniger anfällige Genotypen identifiziert
- ARD-Toleranz ist nicht auf allen ARD-Böden gleich ausgeprägt



Reim et al. (2019)

18.02.2025



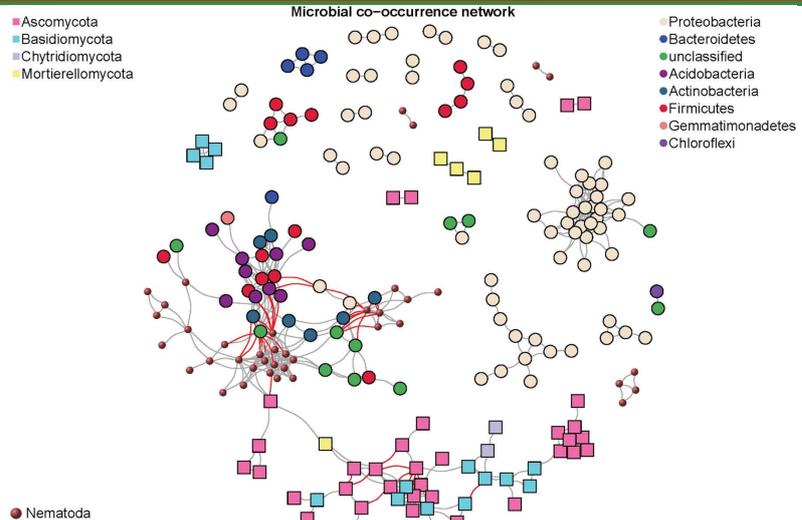
Traud Winkelmann et al.

14



Rolle von Nematoden?

- Pflanzenparasitäre Nematoden wie *Pratylenchus penetrans* sind nicht entscheidend für ARD
- Netzwerke freilebender Nematoden und die mit ihnen assoziierten Pilze sind wichtig



Kanfra et al. (2022)

18.02.2025

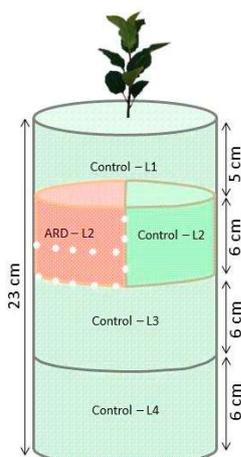


Traud Winkelmann et al.

15



Mikrobielle Gemeinschaften



Balbin-Suarez et al. (2021)

- Diverse Experimente zeigen massive Veränderungen in der Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften in
 - Wurzelfernem Boden
 - Wurzelnahem Boden (Rhizosphäre)
 - Wurzel-Boden-Grenzfläche (Rhizoplane)
 - Wurzel
- Beispiel: Split-Column-Experiment; Rhizoplane

18.02.2025



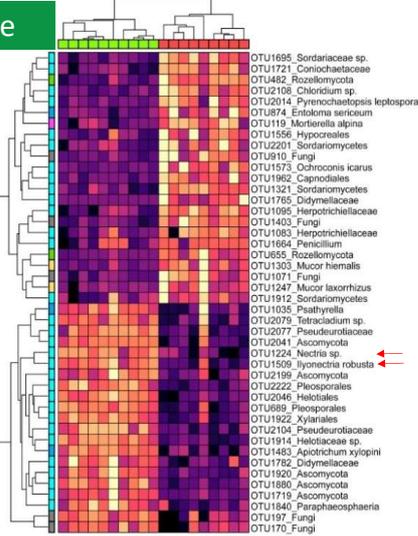
Traud Winkelmann et al.

16

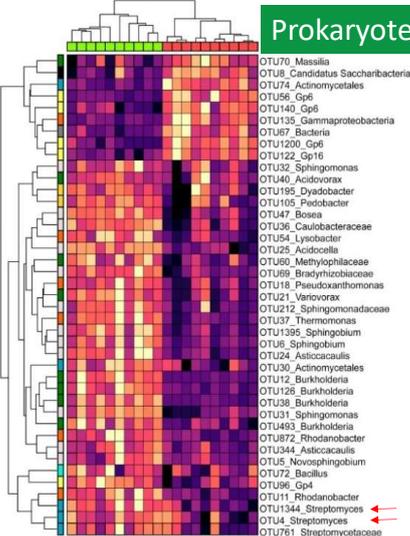


Mikrobielle Gemeinschaften

Pilze



Prokaryotes



Color key

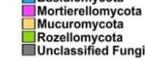


Column side colors



Row side colors

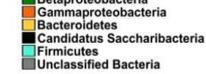
Fungi



Unclassified Fungi



Prokaryotes



Balbin-Suarez et al. (2021)

18.02.2025

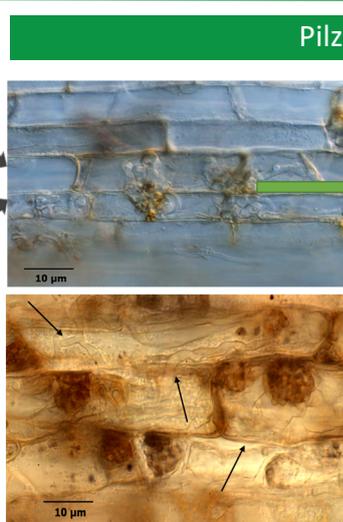
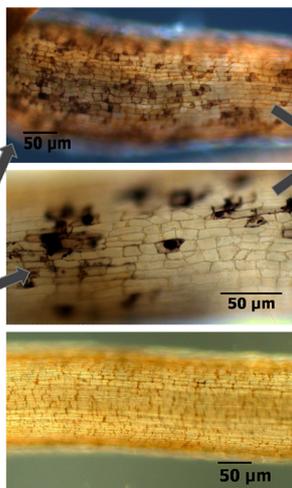


Traud Winkelmann et al.

17



Mikroorganismen in Wurzeln



Pilze

Nectriaceae:

- *Ilyonectria* sp. (*Ilyonectria robusta*)
- *Dactylonectria torresensis*
- *Rugonectria rugulosa*

Popp et al. (2020)

18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

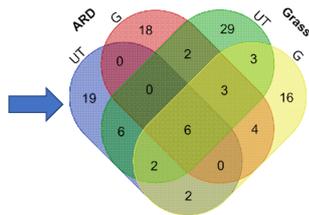
18



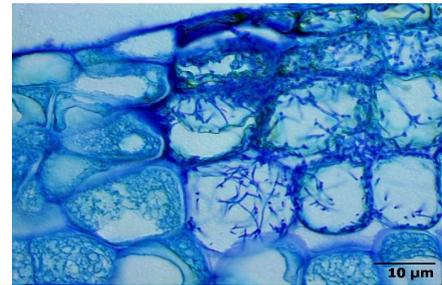
Mikroorganismen in Wurzeln

Bakterien

Heidgraben



ASV	Heidgraben ARD UT RA (%)	Spearman correlation	
		Shoot growth	Shoot FM
Candidatus_P._ASV112	1.86	-0.56	-0.56
Cellvibrio_ASV77	0.59		
Lysobacter_ASV120	0.94		
Methylotenera_ASV209	0.56		
Neorhizobium_ASV47	0.73	-0.53	-0.59
Novosphingobium_ASV29	3.98		
Novosphingobium_ASV92	3.98	-0.59	-0.53
Rhizobium_ASV175	0.82		
Rhizobium_ASV31	0.73		
Rhodanobacter_ASV46	0.52		
Simplicispira_ASV289	0.62	-0.34	-0.40
Sphingobium_ASV20	1.07		-0.30
Streptomyces_ASV121	0.53	-0.47	-0.47
Streptomyces_ASV21	0.53	-0.54	-0.58
Streptomyces_ASV43	1.20	-0.53	-0.54
Streptomyces_ASV66	4.48	-0.43	-0.43
Streptomyces_ASV70	1.27	-0.59	-0.65
Streptomyces_ASV71	2.28	-0.53	-0.52
Streptomyces_ASV76	1.08	-0.59	-0.65



18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

Foto: G. Grunewaldt-Stöcker

19



Mikrobielle Funktionen und Isolate

- Rhizosphäre in ARD:
 - Mikroorganismen zeigen mehr Aktivität von Genen, die Stress anzeigen
 - Geringere Aktivität von Genen für Abbau aromatischer Verbindungen
- Isolation von Bakterien:
 - 2 *Rhodococcus* Stämme 79 and 85
 - *Bacillus* (heute *Priestium*) *megaterium*
 - 2 Mykorrhiza-Stämme (*Rhizophagus irregularis*)

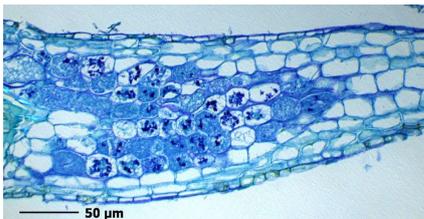
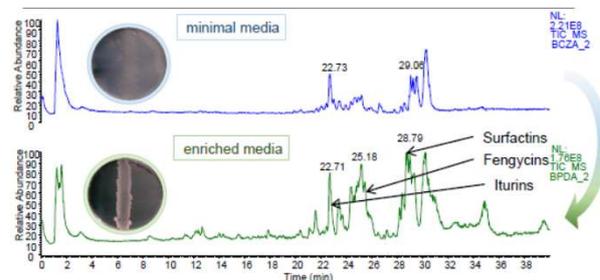


Foto: G. Grunewaldt-Stöcker

Dysbiose



Induzierte Produktion von Allelochemikalien von *P. megaterium*

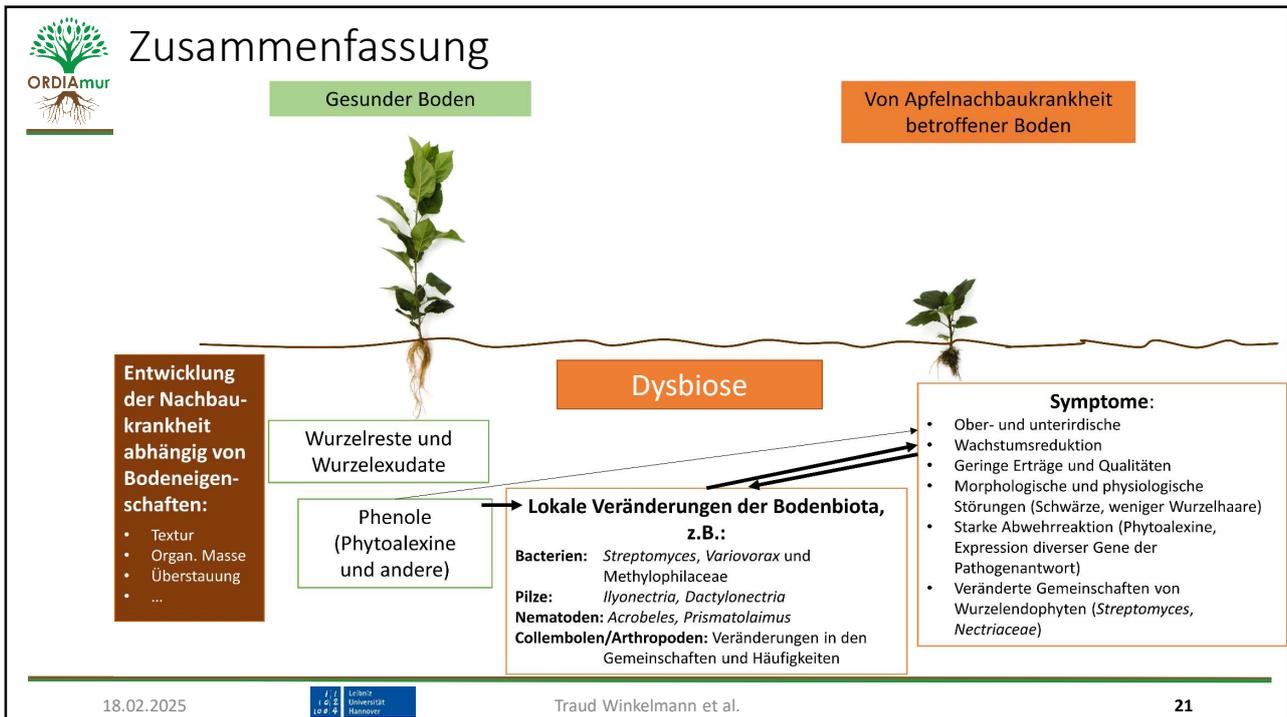
Amin et al. (2022)

18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

20



Motivation für die getesteten Maßnahmen gegen die Nachbaukrankheit

Erkenntnis aus der ORDIAmur-Forschung	Maßnahme gegen ARD
M26 gibt phenolische Substanzen in den Boden ab und produziert sehr hohe Konzentrationen an Phytoalexinen.	➤ Testung anderer Unterlagen auf ihre ARD-Toleranz
Eine Bodendesinfektion hebt die ARD-Symptome auf.	➤ Biologische Bodendesinfektion mit Brassica-Samenmehl oder anaerobe Bodendesinfektion
ARD-Böden weisen ein Bodenleben auf, das aus dem Gleichgewicht geraten ist (Dysbiose) und in dem förderliche Mikroorganismen fehlen.	➤ Inokulation mit förderlichen Mikroorganismen (PGPB: Biokontrolle, Trichoderma, Mykorrhiza)
In ARD-Böden ist nicht nur die Zusammensetzung der Organismen, sondern auch die Funktionalität und Aktivität der Bodenlebewesen ins Negative verschoben.	➤ Förderung der Aktivität des Bodenlebens mit Zwischenfrüchten, z.T. in Kombination mit Inokulation förderlicher Organismen

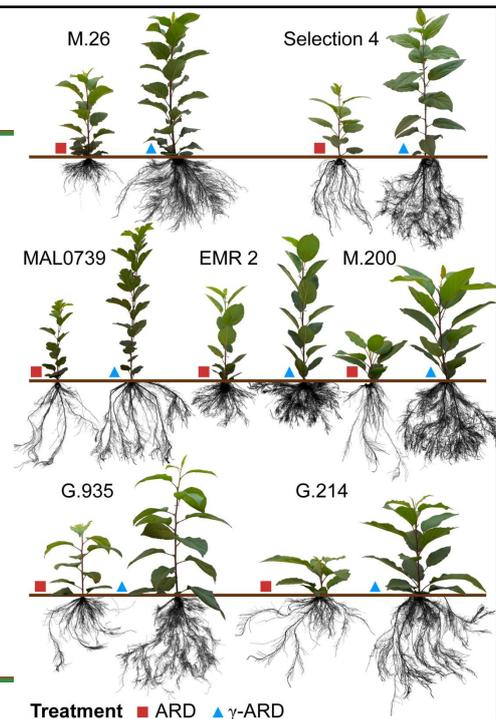
18.02.2025 Leibniz Universität Hannover Traud Winkelmann et al. 22



Testung von Apfelunterlagen

- East Malling Research Station (NIAB EMR) (East Malling, UK) (M.x, EM.x)
- Geneva USDA/Cornell Apple Rootstock Breeding Program (Geneva, USA) (G.x)
- New Zealand Institute for Plant & Food Research Ltd. (Selection 4)
- *Malus* Akzessionen (DE: JKI) (MAL0739)
- Biotest mit ARD Boden aus Heidgraben

Siefen et al. (2024)



18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

Treatment ■ ARD ▲ γ-ARD



Testung von Unterlagen

Wachstums-
reduktion
(-ARD = 100 %)



-ARD ARD



SFM [%]

56	33	52	31	50	42	'M.26'
51	21	51	33	48	36	MAL0130
50	40	62	50	63	60	MAL0739
58	30	39	39	43	31	'EMR.2'
59	40	48	37	52	44	'G.202'
61	10	57	41	58	40	'G.935'
	HG	HO	EH	PI	RU	ME

WFM [%]

71	52	63	37	60	44	'M.26'
59	42	52	38	63	49	MAL0130
46	44	50	31	58	33	MAL0739
60	53	57	41	60	48	'EMR.2'
64	53	56	46	50	44	'G.202'
61	42	64	52	60	56	'G.935'
	HG	HO	EH	PI	RU	ME

18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

Hauschild et al. (accepted)

24



Bewertung der Unterlagenversuche

- Unterlagen unterscheiden sich in ARD-Reaktion in Abhängigkeit des ARD-Bodens
- Bisher keine Unterlage identifiziert, die auf allen ARD-Böden weniger anfällig ist.
- Produktion von Phytoalexinen/Phenolen unterschiedlich, daher auch unterschiedliche Auswirkungen auf das Bodenleben
- Wechsel der Unterlagen kann helfen
- Wuchsstärke der Unterlagen geschickt wählen
- Interaktion Unterlage-Edelsorte muss weiter untersucht werden.

18.02.2025

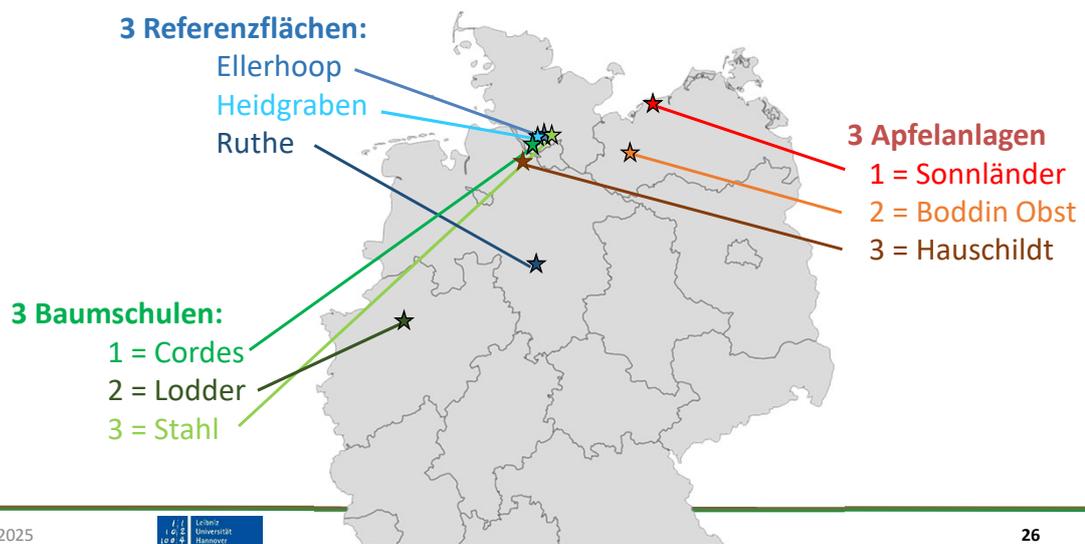


Traud Winkelmann et al.

25



Testung von Gegenmaßnahmen in Feldversuchen



18.02.2025



26



Biofumigation und anaerobe Bodendesinfektion

Sareptasenf-Samenmehl

- Hohe Glucosinolat-gehalte (→ ITC u.a.)
- 5 t/ha (IX)
- Folienabdeckung
- Bezugsquelle: Firma P.H. Petersen, Lundsgaard



Fotos: A. Wrede/P. Schnoor

18.02.2025

Traud Winkelmann et al.

27



Biofumigation und anaerobe Bodendesinfektion

HERBIE: Anaerobe Bodendesinfektion (25 t/ha)

Fotos: A. Wrede/P. Schnoor



18.02.2025

Traud Winkelmann et al.

28



Biofumigation und anaerobe Bodendesinfektion

- Wirkung abhängig von Standort/Boden

Versuchsfläche	Wachstumsunterschied zur Kontrolle (= 100 %)		
	Basamid	Brassica-Samenmehl	Herbie
Ellerhoop [Sprosslänge 2 J.]		7%	49%
Heidgraben [Sprosslänge 2 J.]		45%	106%
Ruthe [Sprosslänge 1 J.]			
Cordes [Sprosslänge 2 J.]	39%	22%	40%
Lodder [Sprosslänge 1 J.]	16%	3%	-3%
Stahl [Sprosslänge 1 J.]	68%	22%	6%
Sonnländer [SDM, 3 J.]			
Boddinobst [SDM, 2 J.]			
Hauschildt [SDM, 2 J.]			

18.02.2025



Traud Winkelmann et al. Daten erhoben von P. Schnoor

29



Inokulation mit förderlichen Mikroorganismen

- CBM = commercial biostimulants
 - Bacillus atrophaeus* (ABiTEP Abi05)
 - Pseudomonas* RU47
 - Trichoderma harzianum* (Vitalin T50)
 - INOQ: *Rhizoglopus irregularis* strain QS81
- OBM = ORDIAMur biostimulants (Pflanzlochzugabe)
 - Rhodococcus*
 - Priestium megaterium*
 - Rhizophagus irregularis*



Foto: A. Wrede

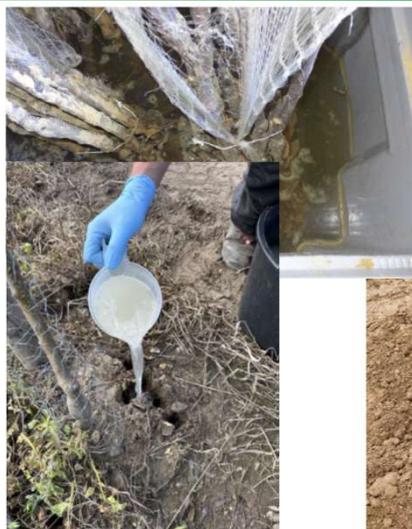


Foto: B. Strolka



Foto: R. Hornig

18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

30



Inokulation mit förderlichen Mikroorganismen

Versuchsfläche	Wachstumsunterschied zur Kontrolle (= 100 %)				
	Basamid	Brassica-Samenmehl	Herbie	Inokulation CBM	Inokulation OBM
Ellerhoop [Sprosslänge 2 J.]		7%	49%	9%	
Heidgraben [Sprosslänge 2 J.]		45%	106%	-1%	
Ruthe [Sprosslänge 1 J.]				22%	
Cordes [Sprosslänge 2 J.]	39%	22%	40%	8%	
Lodder [Sprosslänge 1 J.]	16%	3%	-3%	-3%	2%
Stahl [Sprosslänge 1 J.]	68%	22%	6%	9%	8%
Sonnländer [SDM, 3 J.]				-10%	
Boddinobst [SDM, 2 J.]				0%	
Hauschildt [SDM, 2 J.]				-8%	10%

18.02.2025



Traud Winkelmann et al. Daten erhoben von P. Schnoor und R. Hornig 31



Vorkulturen/Zwischenfrüchte

Tagetes patula 'Nemamix'

- Aussaat Mai 10 kg/ha
- Einarbeitung Herbst



18.02.2025

Traud Winkelmann et al.

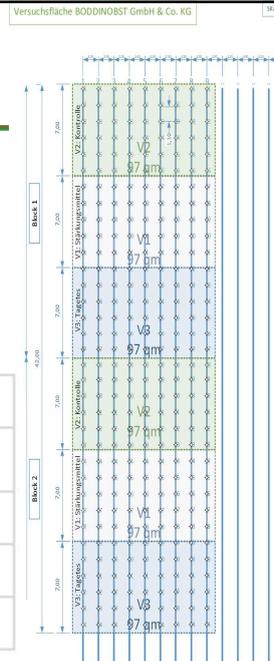
32



Effekte von Tagetes (Boddinobst 2019-2022)



Daten und Foto: R. Hornig



Ertrag, Anzahl Früchte und Fruchtgewicht, 2022 (jeweils Mittelwerte)

	Ertrag (kg)/Baum	Anzahl Früchte (n)/ Baum	Fruchtgewicht (g)
V 1 (Stärkungsmittel)	9,58	91	109
V2 (Kontrolle)	8,99	90	105
V 3 (Tagetes)	14,16	140	102

18.02.2025

Traud Winkelmann et al.

33



Zwischenfruchtmischungen



Mix A

Summer cover crops:

Species	Lat.	Portion [%]
Brown mustard	<i>Brassica juncea</i>	10
Abyssinian mustard	<i>Brassica carinata</i>	5
White mustard	<i>Sinapis alba</i>	5
Oil radish	<i>Raphanus sativus</i>	5
Tillage Radish	<i>Raphanus sativus</i>	5
Crimson clover	<i>Trifolium incarnatum</i>	5
Hairy vetch	<i>Vicia villosa</i>	20
Bokhara clover	<i>Mellilotus albus</i>	5
Bristle oat	<i>Avena strigosa</i>	10
Sorghum	<i>Sorghum sudanense</i>	15
Camelina	<i>Camelina sativa</i>	5
Tagetes	<i>Tagetes patula</i>	10



18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

34



Zwischenfruchtmischungen



Mix B

Winter cover crops

Species	Latin
Italian ryegrass	<i>Lolium multiflorum</i>
Perennial ryegrass	<i>Lolium perenne</i>
Crimson clover	<i>Trifolium incarnatum</i>
Red clover	<i>Trifolium pratense</i>
Buckwheat	<i>Fagopyrum tataricum</i>
Bristle oat	<i>Avena strigosa</i>
Tillage Radish	<i>Raphanus sativus</i>
Camelina	<i>Camelina sativa</i>
Linseed	<i>Linum usitatissimum</i>
Abyssinian mustard	<i>Brassica carinata</i>
White mustard	<i>Sinapis alba</i>
Winter oil seed rape	<i>Brassica napus</i>

Mix C

Perennial cover crops

Species	Lat.
Perennial ryegrass	<i>Lolium perenne</i>
Red fescue	<i>Festuca rubra</i>
Kentucky bluegrass	<i>Poa pratensis</i>
Birdsfoot trefoil	<i>Lotus corniculatus</i>
Crimson clover	<i>Trifolium incarnatum</i>
White clover	<i>Trifolium repens</i>
Alsike clover	<i>Trifolium hybridum</i>
Black medick	<i>Medicago lupulina</i>

18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

35



Zwischenfruchtmischungen



- Kultur von Zwischenfrüchten nicht trivial (Bewässerung!)
- Mix C als Untersaat: Wühlmausproblematik



18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

36



Vorkultur von *Tagetes* oder Zwischenfruchtmischungen

Versuchsfläche	Wachstumsunterschied zur Kontrolle (= 100 %)						
	Basamid	Brassica-Samenmehl	Herbie	Inokulation CBM	Inokulation OBM	Tagetes Vorkultur	Zwischenfruchtmischung Vorkultur
Ellerhoop [Sprosslänge 2 J.]		7%	49%	9%		-10%	10%
Heidgraben [Sprosslänge 2 J.]		45%	106%	-1%		7%	-20%
Ruthe [Sprosslänge 1 J.]				22%		-3%	12%
Cordes [Sprosslänge 2 J.]	39%	22%	40%	8%		20%	-15%
Lodder [Sprosslänge 1 J.]	16%	3%	-3%	-3%	2%	8%	0%
Stahl [Sprosslänge 1 J.]	68%	22%	6%	9%	8%	5%	-6%
Sonnländer [SDM, 3 J.]				-10%		Trockenheit	Trockenheit
Boddinobst [SDM, 2 J.]				0%		Weizen	Weizen
Hauschildt [SDM, 2 J.]				-8%	10%	7%	2%

18.02.2025



Traud Winkelmann et al. Daten erhoben von P. Schnoor und R. Hornig 37



Zusammenfassung und Fazit

- ARD = Ungleichgewicht des Boden(mikro)-bioms, auf das wichtige Apfelunterlagengenotypen mit massiver Abwehrreaktion antworten
- Nachbaukrankheit wirkt sehr lokal und ist heterogen in den Flächen zu finden.
- Maßnahmen gegen ARD müssen auf Wiederherstellung eines gesunden Boden(mikro)bioms ausgerichtet sein.
- Wirksamkeit der Maßnahmen in Feldversuchen mit sehr unterschiedlichen Erfolgen
- Diverse Einflussfaktoren wirksam, sollten in Versuchen mit vielen unterschiedlichen Böden und/oder sehr frühen Stadien von ARD untersucht werden.

18.02.2025



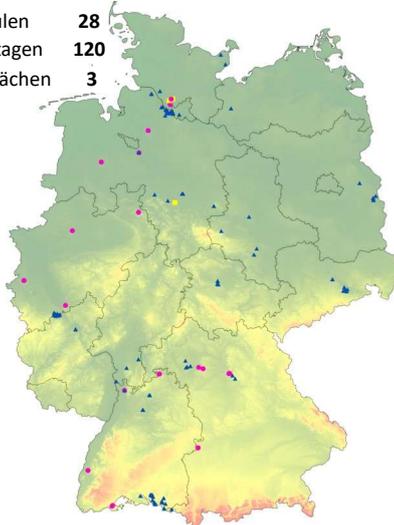
Traud Winkelmann et al.

38

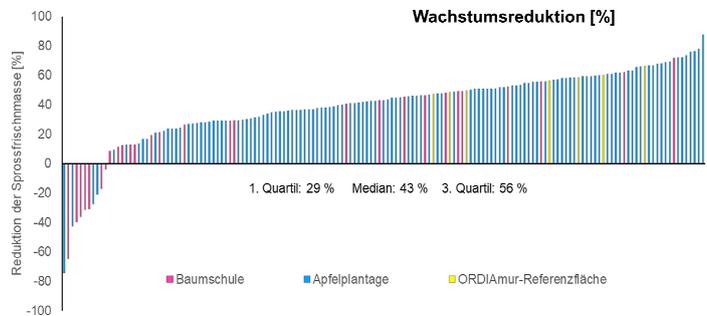


Ausblick

- Baumschulen **28**
- ▲ Apfelplantagen **120**
- Referenzflächen **3**



Kaldun et al.



- Detaillierte Prüfung der Maßnahmen in den Leitbetrieben
- Entwicklung von Indikatoren für ARD Risiko

18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

39



SPONSORED BY THE



Vielen Dank an: ABiTEP, INOQ, Vitalin
Pflanzengesundheit, DSV, Soilwise,
Leitbetriebe!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit und Ihre
Zeit heute!

18.02.2025



Traud Winkelmann et al.

40



References

- BALBÍN-SUÁREZ, A., JACQUIOD, S., ROHR, A.D., LIU, B., FLACHOWSKY, H., WINKELMANN, T., BEERHUES, L., NESME, J., SØRENSEN, S.J., VETTERLEIN, D. AND K. SMALLA (in press): Root exposure to apple replant disease soil triggers local defense response and rhizoplane microbiota dysbiosis. *FEMS Microbiol. Ecol.* 96: fiab031. doi: 10.1093/femsec/fiab031
- KANFRA, X., WREDE, A., MAHNKOPP-DIRKS, F., WINKELMANN, T. AND H. HEUER (2022): Networks of free-living nematodes and co-extracted fungi, associated with symptoms of apple replant disease. *Applied Soil Ecology* 172:104368. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104368>.
- LUCAS, M., BALBIN-SUAREZ, A., SMALLA, K. AND VETTERLEIN, D. (2018). Root growth, function and rhizosphere microbiome analyses show local rather than systemic effects in apple plant response to replant disease soil. *PLoS ONE* 13: e0204922. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204922>
- MAHNKOPP, F., SIMON, M., LEHDORFF, E., PÄTZOLD, S., WREDE, A. AND WINKELMANN, T. (2018): Induction and diagnosis of apple replant disease (ARD): a matter of heterogeneous soil properties? *Scientia Horticulturae* 241 (2018) 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.076>
- MAHNKOPP-DIRKS, F., RADL, V., KUBLIK, S., GSCHWENDTNER, S., SCHLOTER, M. AND T. WINKELMANN (IN PRESS): Molecular barcoding reveals the genus *Streptomyces* as associated root endophytes of apple (*Malus domestica*) plants grown in soils affected by apple replant disease. *Phytobiomes*. <https://doi.org/10.1094/PBIOMES-07-20-0053-R>
- POPP, C., WAMHOFF, D., WINKELMANN, T., MAISS, E. AND G. GRUNEWALDT-STÖCKER (2020): Molecular identification of Nectriaceae in infections of apple replant disease affected roots collected by Harris Uni-Core punching or laser microdissection. *J. Plant Dis. Protect.* 127: 571–582, <https://doi.org/10.1007/s41348-020-00333-x>
- RADL, V., WINKLER, J.B., KUBLIK, S., YANG, L., WINKELMANN, T., VESTERGAARD, G., SCHRÖDER, P. AND M. SCHLOTER (2019): Reduced microbial potential for the degradation of phenolic compounds in the rhizosphere of apple plantlets grown in soils affected by replant disease. *Environ. Microbiomes* 14, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40793-019-0346-2>
- REIM, S., SEWERT, C., WINKELMANN, T., WÖHNER, T., HANKE, M.-V. AND H. FLACHOWSKY (2019). Evaluation of *Malus* genetic resources for tolerance to apple replant disease (ARD). *Scientia Horticulturae*, 108517. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.044>
- REIM, S., ROHR, A., WINKELMANN, T., WEIB, S., LIU, B., BEERHUES, L., SCHMITZ, M., HANKE, M.V. AND H. FLACHOWSKY (2020): Genes Involved in Stress Response and Especially in Phytoalexin Biosynthesis Are Upregulated in Four *Malus* Genotypes in Response to Apple Replant Disease. *Front. Plant Sci.* 10:1724. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01724>
- ROHR, A.-D., SCHIMMEL, J., LIU, B., BEERHUES, L., GÜGGENBERGER, G. AND T. WINKELMANN (2020): Identification and validation of early genetic biomarkers for apple replant disease. *PLoS ONE* 15(9): e0238876. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238876>
- SIEFEN, N., STAUDT, J., BUSNENA, B.A., ORTH, N., BEUERLE, T., LANKES, C., BAAB, G., BEERHUES, L., WINKELMANN, T., SCHMITZ, M. AND B. LIU (2024): Differential accumulation of phenolics and phytoalexins in seven *Malus* genotypes cultivated in apple replant disease-affected soil. *Scientia Horticulturae* 328:112902. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.112902>
- SIMON, M., LEHDORFF, E., WREDE, A. AND AMELUNG, W. (2020): In-field heterogeneity of apple replant disease: Relations to abiotic soil properties. *Scientia Horticulturae*, Vol. 259. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108809>
- WINKELMANN, T., SMALLA, K., AMELUNG, W., BAAB, G., GRUNEWALDT-STÖCKER, G., KANFRA, X., MEYHÖFER, R., REIM, S., SCHMITZ, M., VETTERLEIN, D., WREDE, A., ZÜHLKE, S., GRUNEWALDT, J., WEIB, S. AND M. SCHLOTER (2019): Apple replant disease: causes and mitigation strategies. *Curr. Issues Mol. Biol.* 30: 89-106. <https://doi.org/10.21775/cimb.030.089>
- YIM, B., NITT, H., WREDE, A., JACQUIOD, S., SØRENSEN, S.J., WINKELMANN, T. AND K. SMALLA (2017): Effects of soil pre-treatment with Basamid® Granules, *Brassica juncea*, *Raphanus sativus*, and *Tagetes patula* on bacterial and fungal communities at two apple replant disease sites. *Front. Microbiol.* 8:1604. doi: 10.3389/fmicb.2017.01604