



Bodenalgen auf Ackerflächen – Unterschätzte Artenvielfalt phototropher Mikroorganismen

Stefan Barthel

12.6.25

SAG

Culture Collection of Algae



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN IN PUBLICA COMMODO
SINCE 1737

U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

ÖKOLOGISCHE
AGRAR
WISSENSCHAFTEN

Vegetationsaufnahmen in Thüringen

Wiederholungskartierung im Eichsfeld

- Kalkäcker mit besonderer Vegetation
- basierend auf Diplomarbeit von 2006 und Arbeit von 1992

- Aus Zeitgründen nur begrenzt Aufnahmen möglich: 2023 (27)/2024 (24)
- Fokus auf Flächen mit seltenen Arten!



Vegetationsaufnahmen in Thüringen

Wiederholungskartierung im Eichsfeld 2023/2024

- Kalkäcker mit besonderer Vegetation
- basierend auf Diplomarbeit von 2006 und Arbeit von 1992
- Meist artenarme Vegetation mit typischen Vertretern



Vegetationsaufnahmen in Thüringen

Wiederholungskartierung im Eichsfeld 2023/2024

- Kalkäcker mit besonderer Vegetation
- basierend auf Diplomarbeit von 2006 und Arbeit von 1992
- Meist artenarme Vegetation mit typischen Vertretern
- Viele Vertreter des *Caucaledion*



Sherardia arvensis



Euphorbia exigua



Fumaria



Valerianella dentata

Vegetationsaufnahmen in Thüringen

Wiederholungskartierung im Eichsfeld 2023/2024

- Kalkäcker mit besonderer Vegetation
- basierend auf Diplomarbeit von 2006 und Arbeit von 1992
- Meist artenarme Vegetation mit typischen Vertretern
- Viele Vertreter des *Caucalidion*



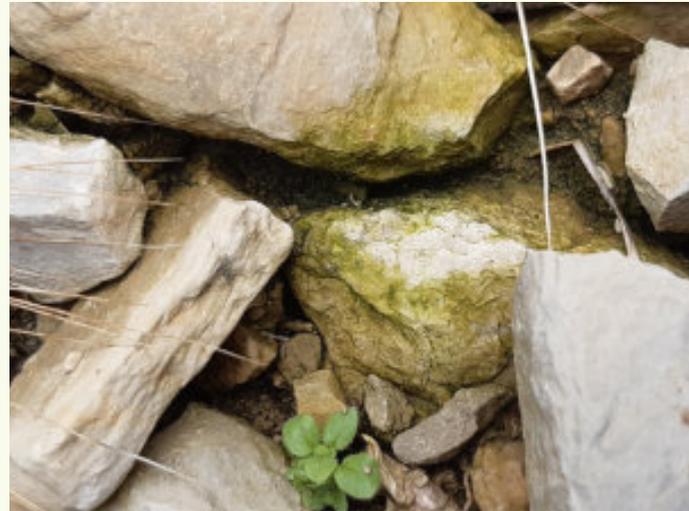
Vegetationsaufnahmen in Thüringen

Wiederholungskartierung im Eichsfeld 2023/2024

- Kalkäcker mit besonderer Vegetation
- basierend auf Diplomarbeit von 2006 und Arbeit von 1992
- Meist artenarme Vegetation mit typischen Vertretern
- Viele Vertreter des *Caucalidion*
- Aber auch sehr seltene Arten



Vegetationsaufnahmen in Thüringen

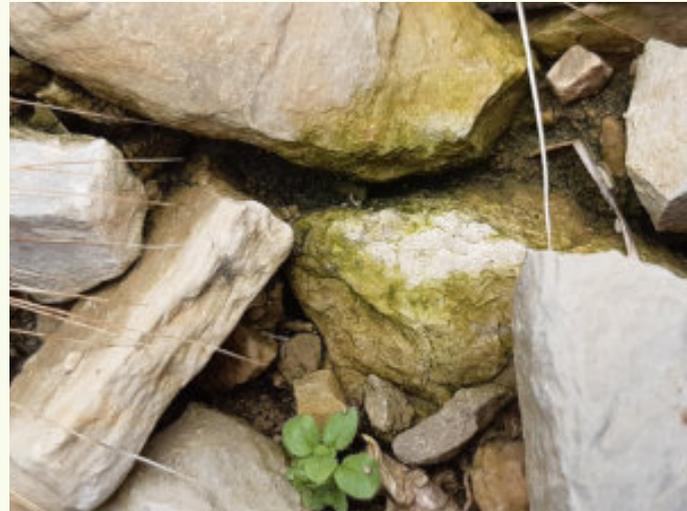


Vegetationsaufnahmen in Thüringen



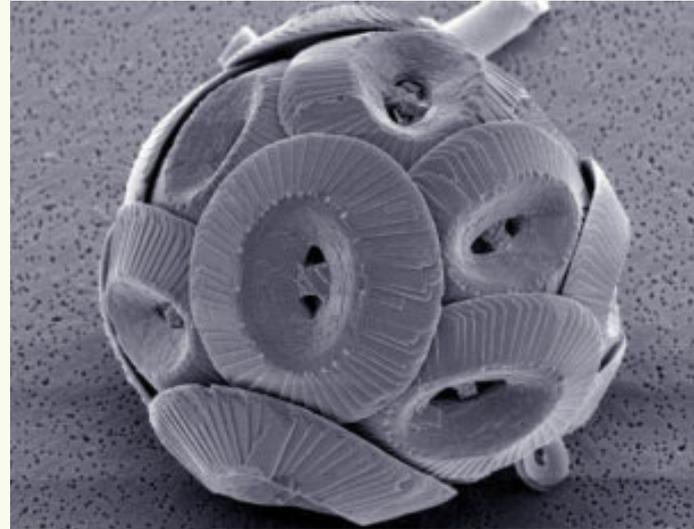
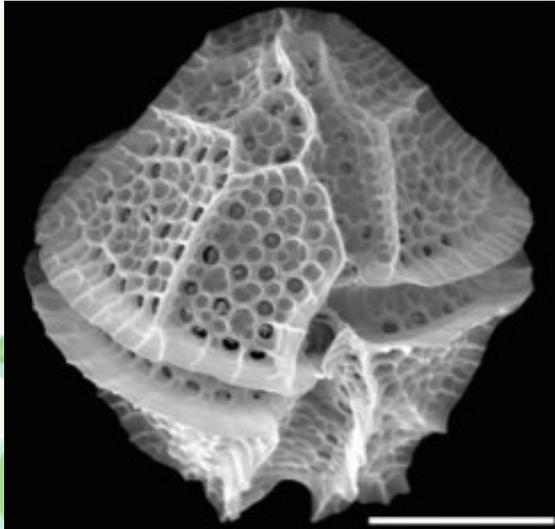
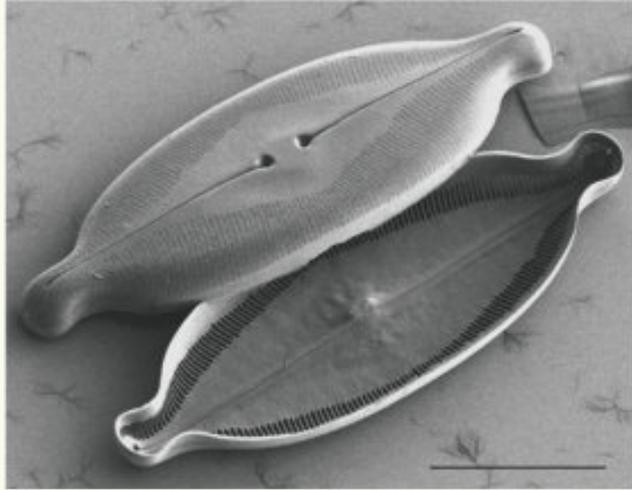
Bodenalgen!

- was ist bekannt?
- Kaum Literatur/paper



Zusammenhang mit
höherer Vegetation?

Diversität von Algen – marine Arten

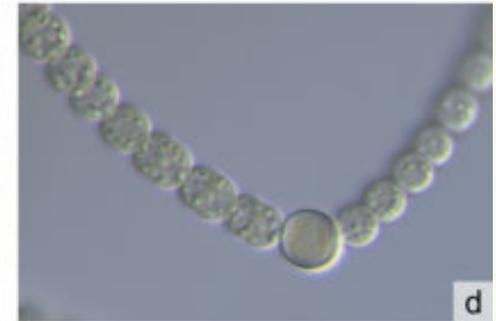
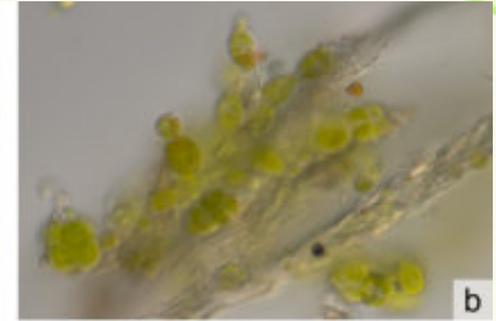


Ref.: [1] <https://seaweed-research-steinhagen.com/2022/09/06/a-stable-taxonomic-framework-for-ulva-new-article/> [2] <https://www.wikidata.org/wiki/Q133219> [3] Chapman, R.L., 2013. Algae: the world's most important "plants"—an introduction. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 18, pp.5-12 [4] <https://jordbaelt.dk/events/tagesueberraschung-die-pflanzen-des-meeres/?lang=de> [5] <https://rwu.pressbooks.pub/webboceanography/chapter/7-2-the-producers/>



Diversität von Algen – terrestrische Arten

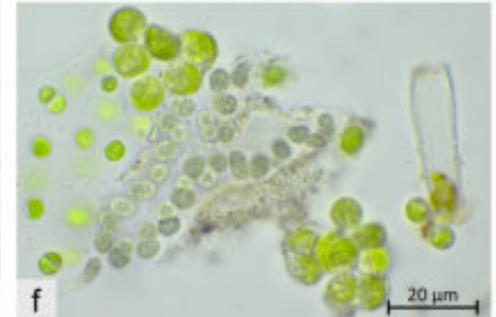
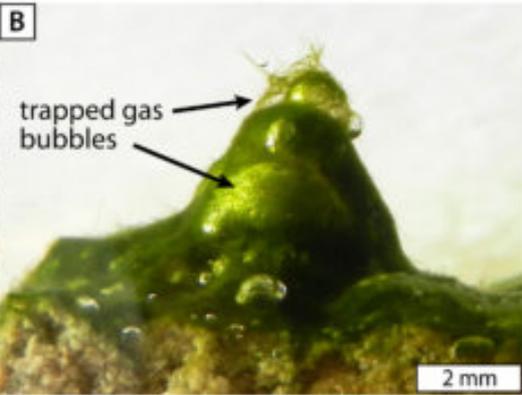
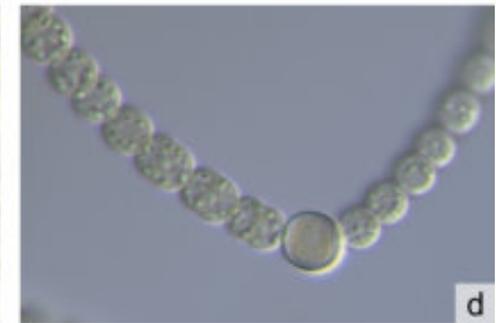
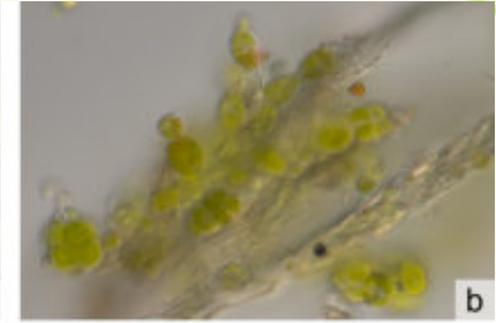
- Als Biofilm auf feuchten Oberflächen
 - Im Boden
 - Auf Steinen oder Statuen
 - Auf Blättern oder Baumrinden
- Für ca. 6% der terrestrischen primär Produktion verantwortlich





Diversität von Algen – terrestrische Arten

- Als Biofilm auf feuchten Oberflächen
 - Im Boden
 - Auf Steinen oder Statuen
 - Auf Blättern oder Baumrinden
- Für ca. 6% der terrestrischen primär Produktion verantwortlich¹
- Evolutionär sehr **alt**
- Gehören zu den **ersten Landorganismen**
- Spezielle Adaptationen an das Leben an land, z.B. Produktion von Schleimstoffen

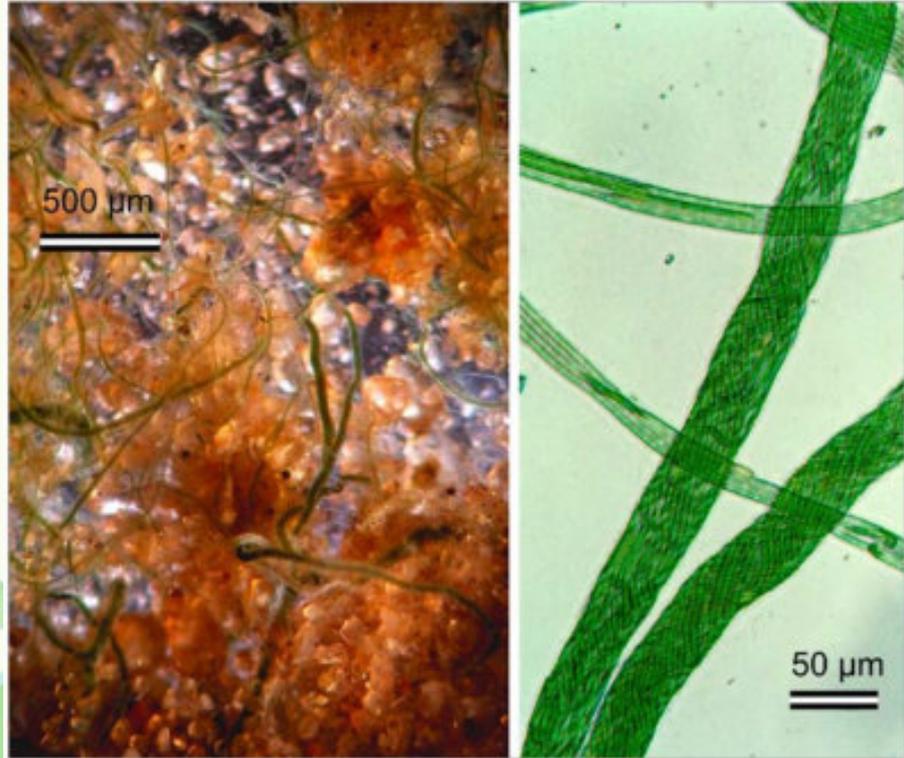


Ref.: [1] Jassey, V.E., Walcker, R., Kardol, P., Geisen, S., Heger, T., Lamentowicz, M., Hamard, S. and Lara, E., 2022. Contribution of soil algae to the global carbon cycle. *New Phytologist*, 234(1), pp.64-76 [2] Barthel et al. (unpublished). [3] Homann, M., Heubeck, C., Airo, A., Tice, M.M., 2015. Morphological adaptations of 3.22 Ga-old tufted microbial mats to Archean coastal habitats (Moodies Group, Barberton Greenstone Belt, South Africa). *Precambrian Research* 266, 47–64. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.04.018>



Bodenalgen in extremen Habitaten

- Wichtig in Wüsten
- Bildung von Bodenkrusten durch Ausbildung von Filamenten welche Bodenpartikel zusammenhalten
- Wichtig für höhere Pflanzen – vor allem Cyanobakterien



“...destruction of the soil crust by vehicles and overgrazing” [2]



Ref.: [1] Garcia-Pichel, F. and Wojciechowski, M.F., 2009. The evolution of a capacity to build supra-cellular ropes enabled filamentous cyanobacteria to colonize highly erodible substrates. PloS one, 4(11), p.e7801. [2] KLAUS WILHELM 2021: ALGAL BLOOM IN THE DESERT SAND

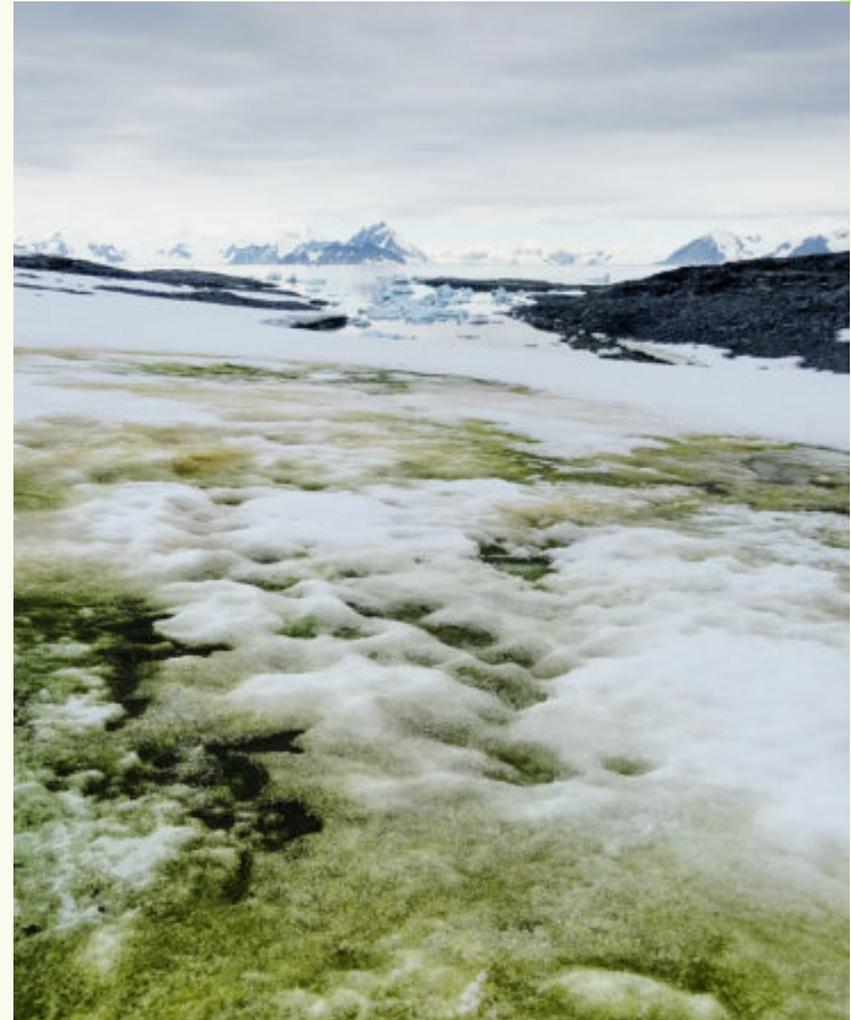


Bodenalgen in extremen Habitaten

- Häufig die einzige “Vegetation” in den Polarregionen
- Sogar als grüne Schneeralgen bekannt
- Ebenfalls auf Steinen (oft zusammen mit Flechten und Moosen)



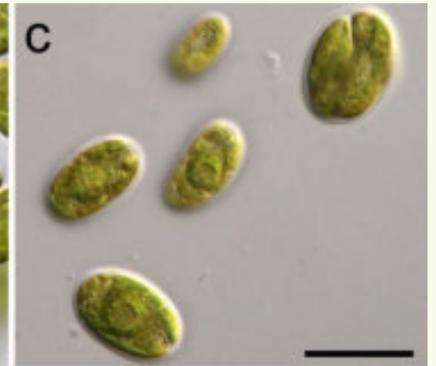
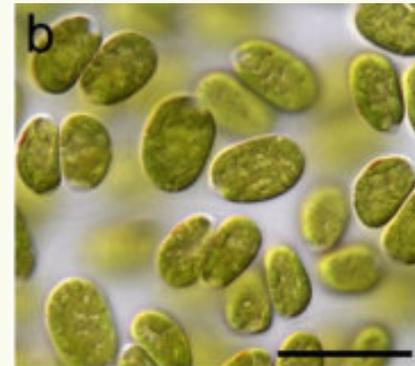
Lichens and algae growing on wet coastal rocks © British Antarctic Survey, Peter Convey



Bodenalgen in gemäßigten Klimaten – Wälder



- Vor allem sogenannte Grünalgen
- Wenig Licht durch dichtes Kronendach
- Relativ geringe Diversität





“**Bodenalgen** sind terrestrische photoautotrophe Pro- und Eukaryoten, welche vorübergehend oder dauerhaft im Boden wachsen” [1]

Bodenalgen Taxonomie



“**Bodenalgen** sind terrestrische photoatrophe Pro- und Eukaryoten, welche vorübergehend oder dauerhaft im Boden wachsen” [1]

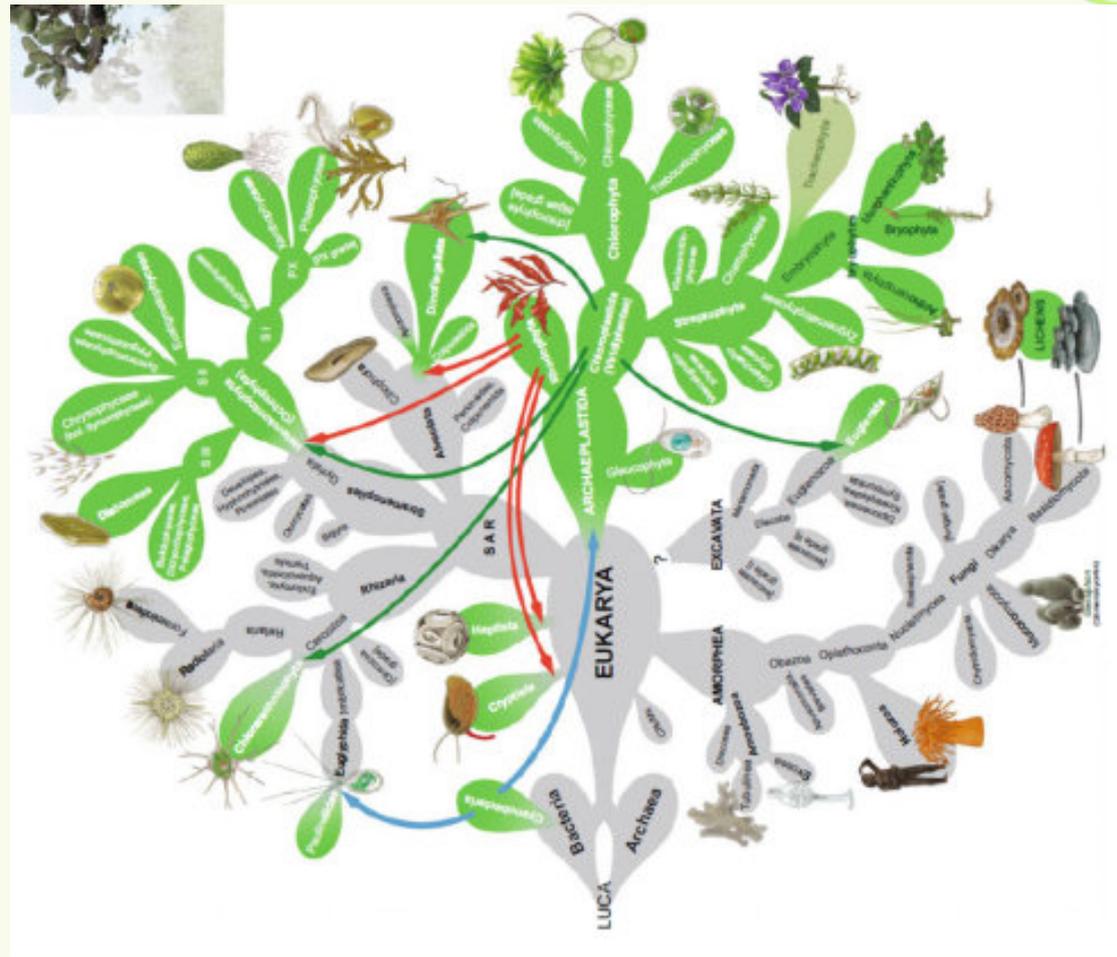
• Die wichtigsten Gruppen:

- Cyanobacteria
- Chlorophyta
- Streptophyta (nicht Embryophyta)
- Bacillariophyta (Kieselalgen)
- Xanthophyta
- Eustigmatophyta
- Euglenophyta

Blualgen

Grünalgen

Stramenopile Algen

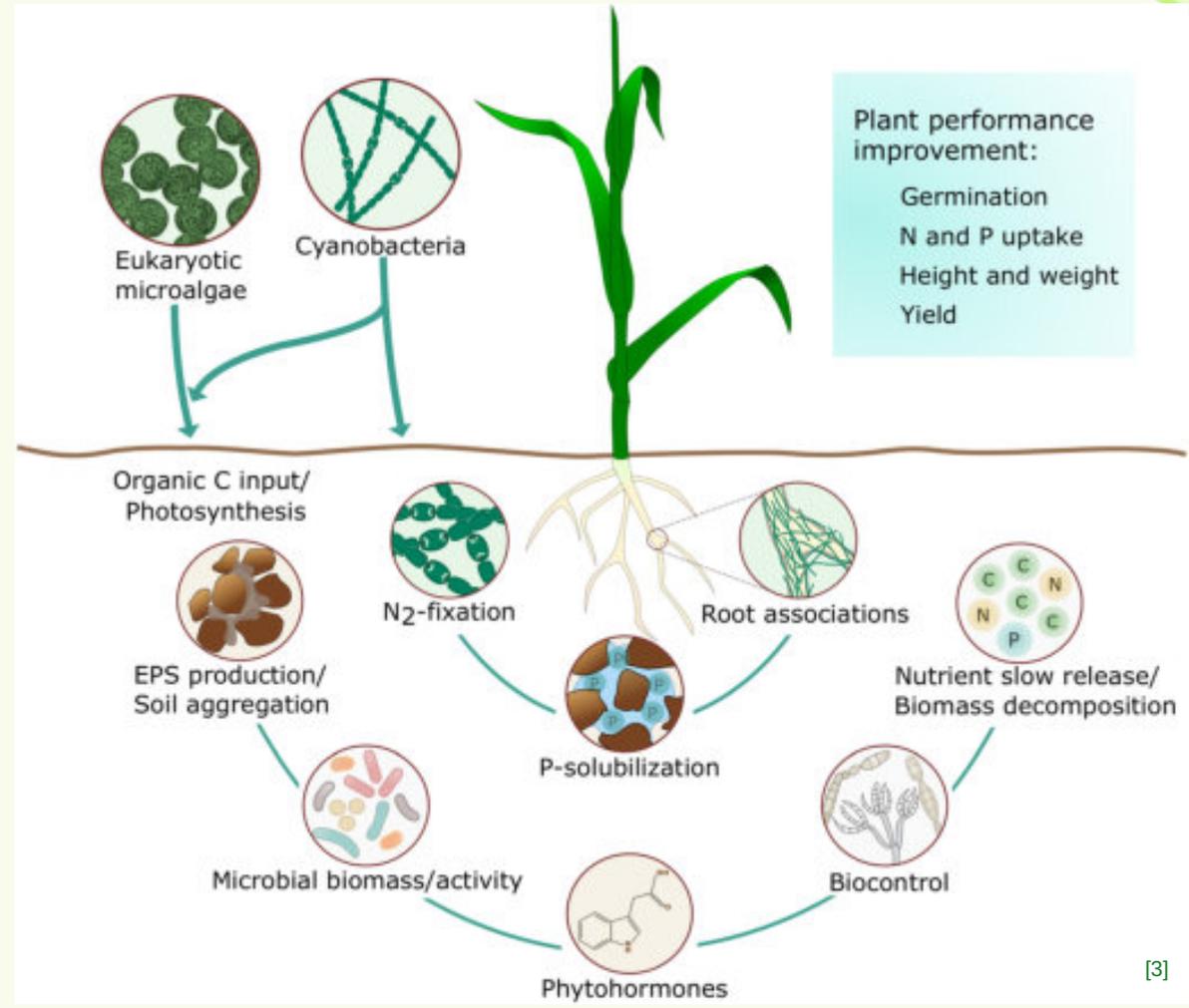


Ref.: [1] Joseph, J. and Ray, J.G., 2024. A critical review of soil algae as a crucial soil biological component of high ecological and economic significance. Journal of Phycology. [2] Büdel, B., Friedl, T. and Beyschlag, W. eds., 2023. Biology of Algae, Lichens and Bryophytes. Springer.

Ökologische Funktion von Bodenalgen auf dem Acker



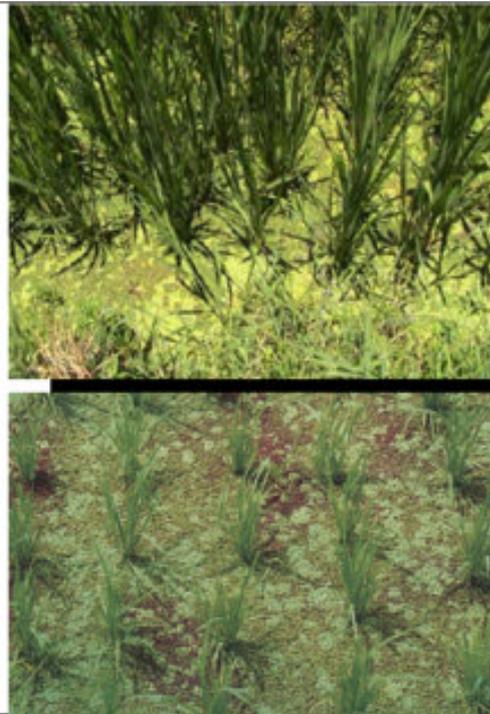
- Erfüllen wichtige Funktionen für die "Gesundheit" des Bodens:
 - **Organisches C**
 - Cyanobakterien: **Stickstofffixierung**
 - Bodenstruktur – Binden von Bodenpartikeln
 - ...
- ➔ Wichtige Biomasse auf dem Ackerland



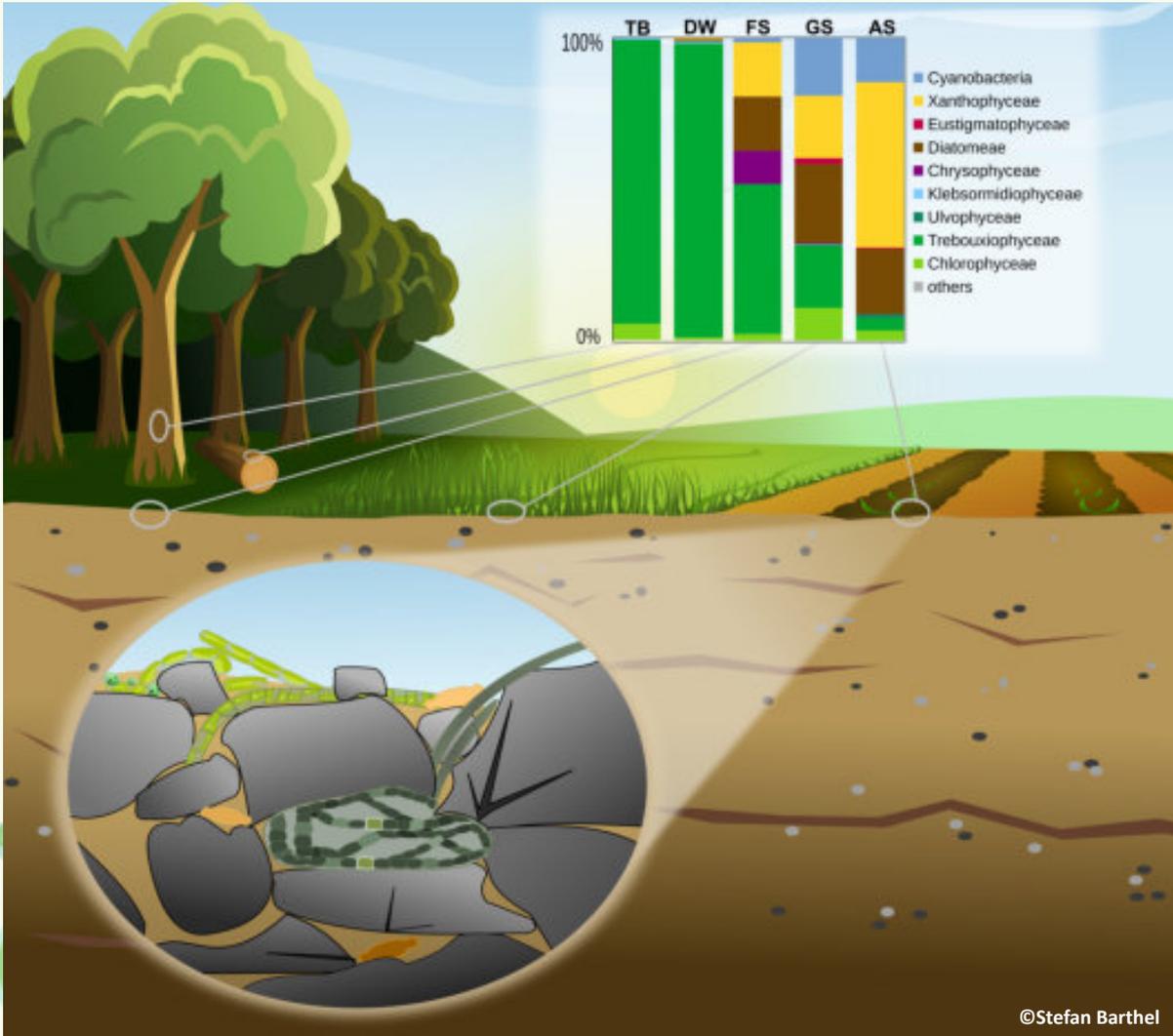
[3]

Einsatz von Algen in der Landwirtschaft

- Bio-Dünger → **N-Fixierung** (Reis Produktion mithilfe von *Azolla* und *Anabaena*)
- **Biodiversität** der “natürlichen” Algen auf dem Acker kaum bekannt

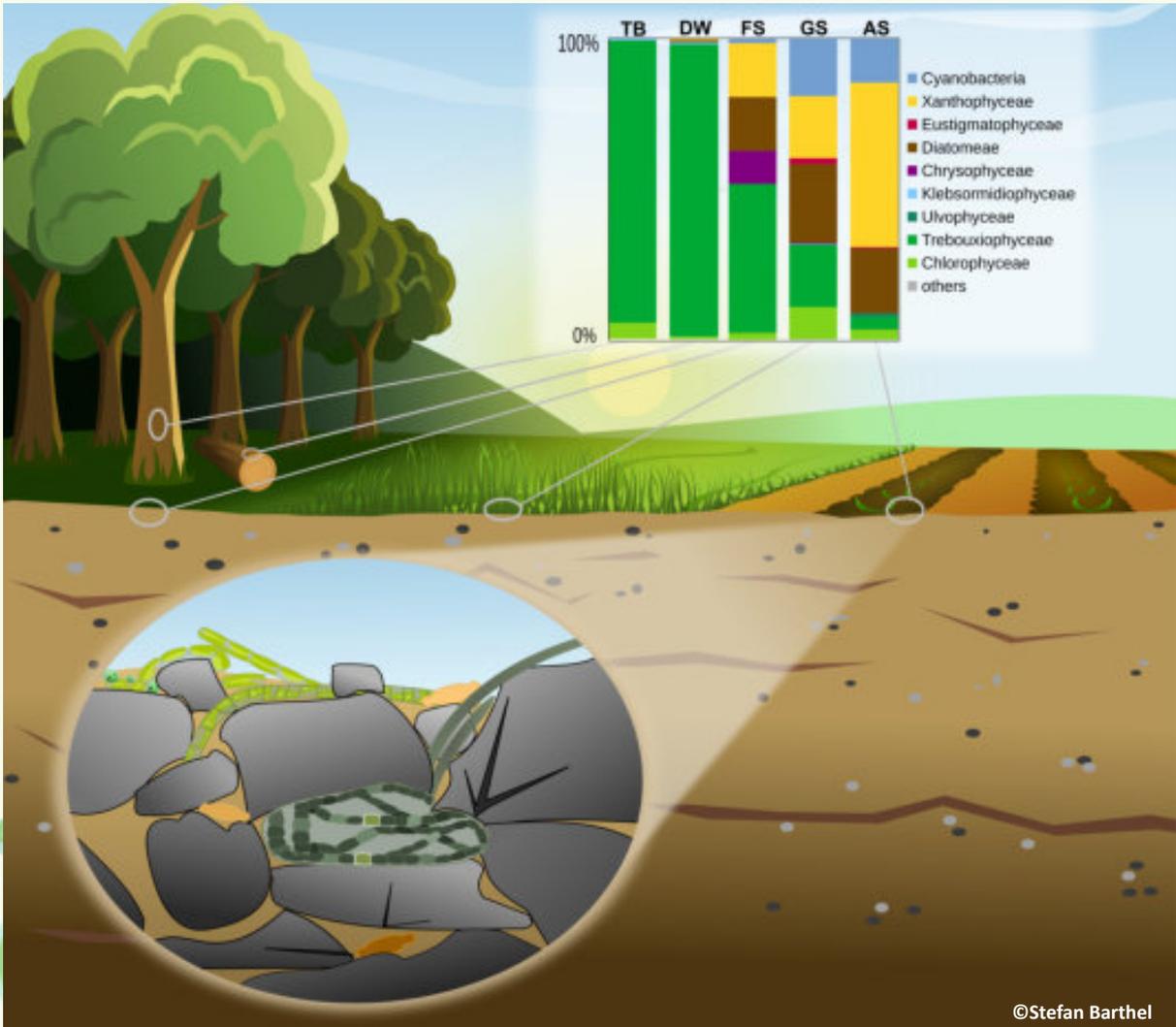


Forschung am EPSAG – Biodiversität terrestrischer Algen

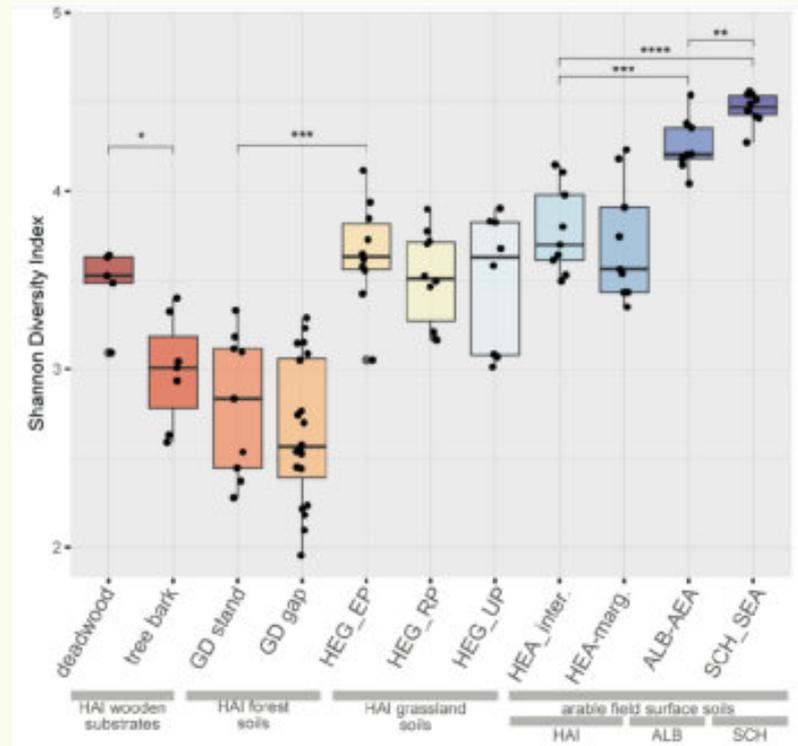


- DNA-Metabarcoding
- Viele Proben aus den Biodiversitäts exploratorien: Baumrinde, Totholz, Wald- und Grünlandböden
- Außerdem: **Ackerböden!**

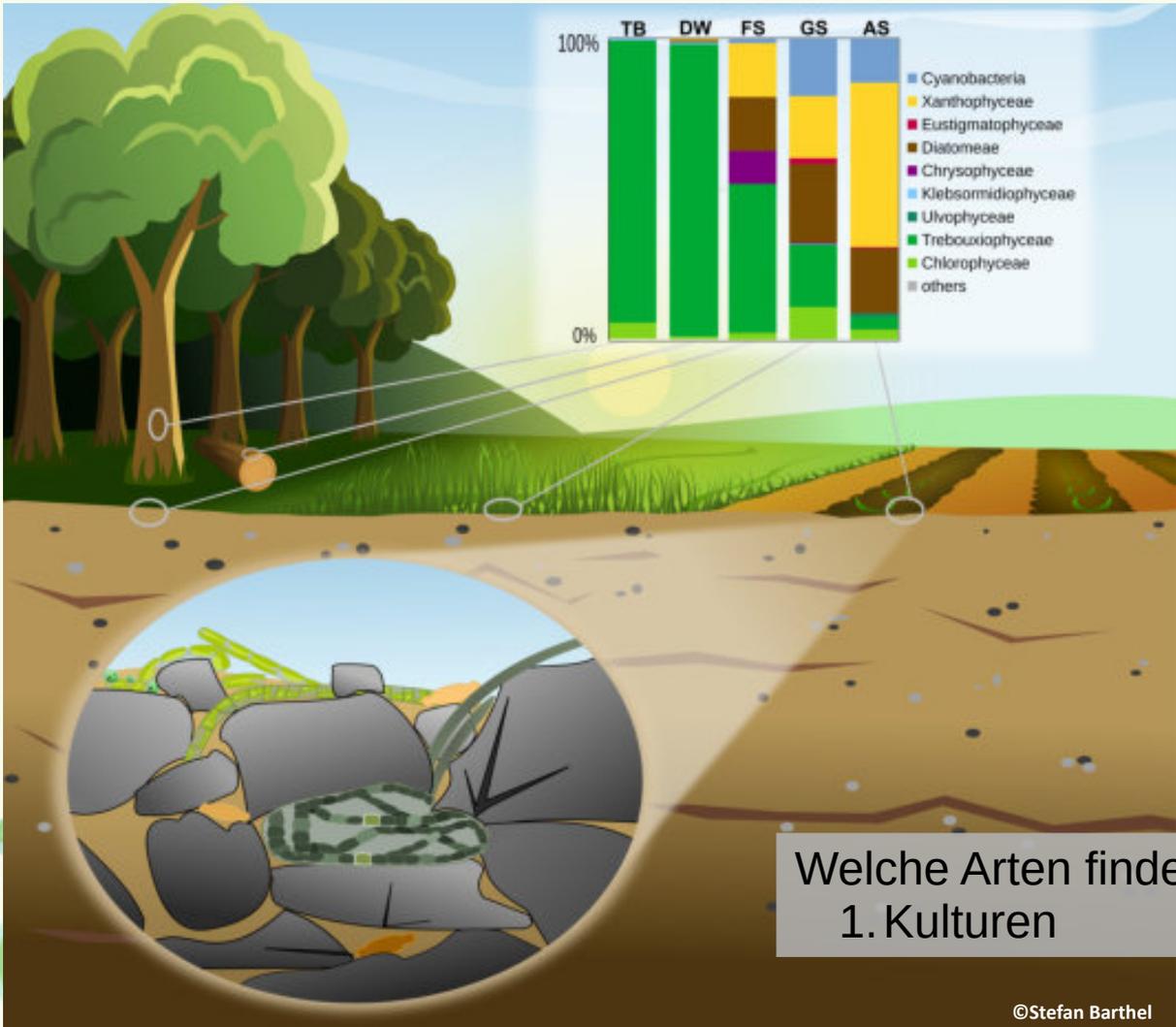
Forschung am EPSAG – Biodiversität terrestrischer Algen



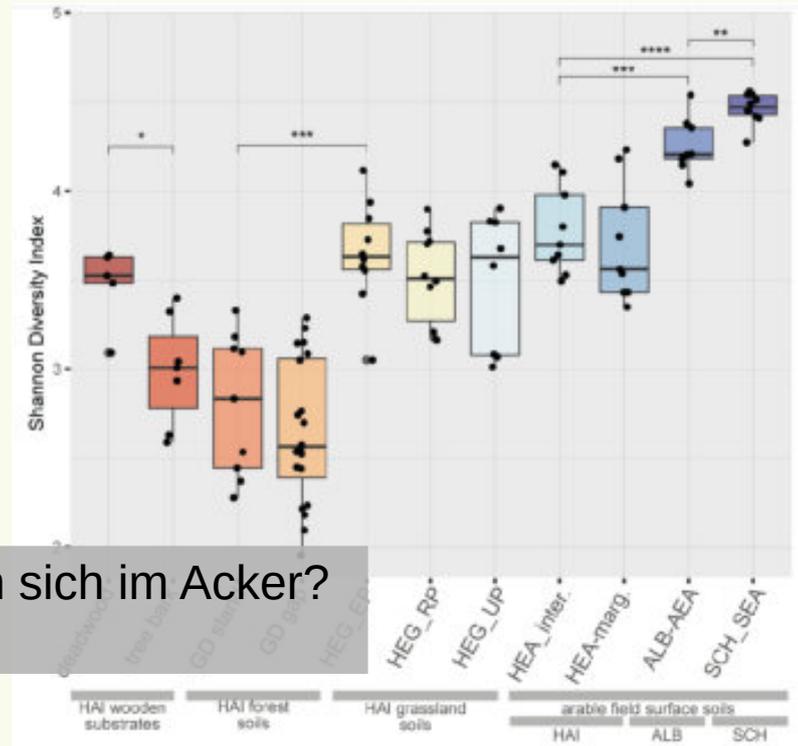
- DNA-Metabarcoding
- Viele Proben aus den Biodiversitäts exploratorien: Baumrinde, Totholz, Wald- und Grünlandböden
- Außerdem: **Ackerböden!**



Forschung am EPSAG – Biodiversität terrestrischer Algen



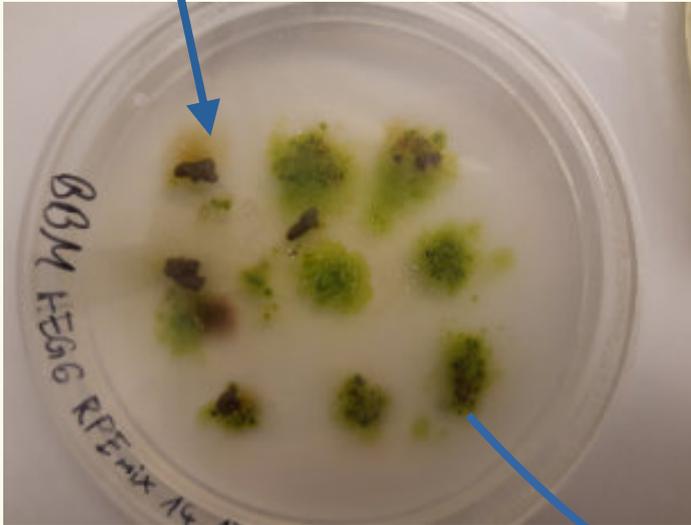
- DNA-Metabarcoding
- Viele Proben aus den Biodiversitäts exploratorien: Baumrinde, Totholz, Wald- und Grünlandböden
- Außerdem: **Ackerböden!**



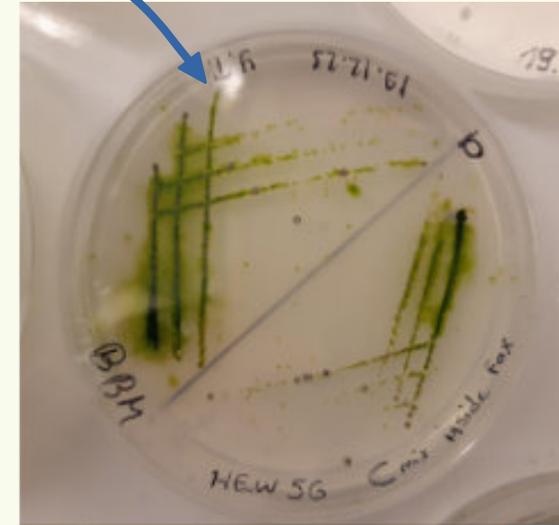
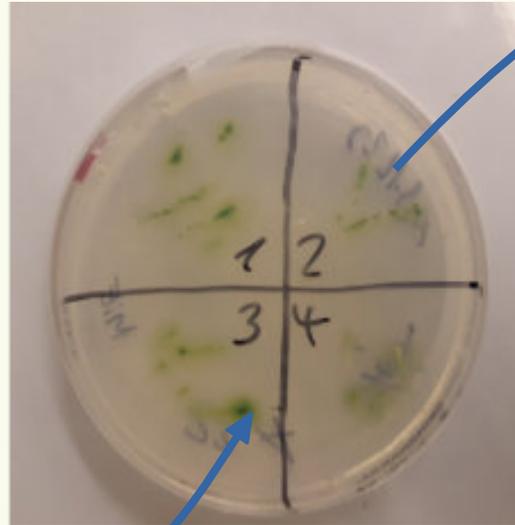
Kulturen



Kultivieren von
Boden direkt auf
Medium (z.B. BBM)

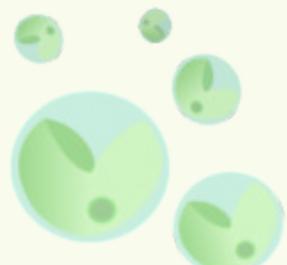


Streak Plate –
Verdünnungsausstrich zur
“reinigung” der Kultur

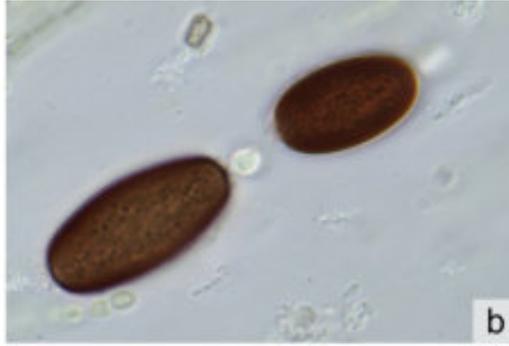
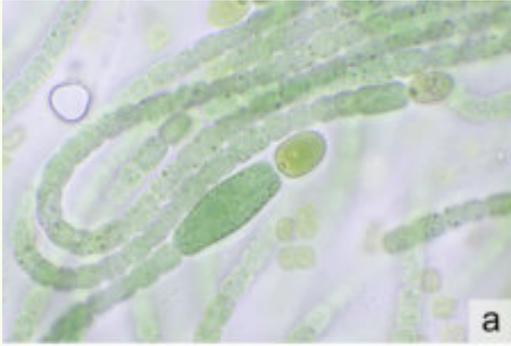


Colony Picking –
Überführen von Zellmaterial
auf neue Agarplatte

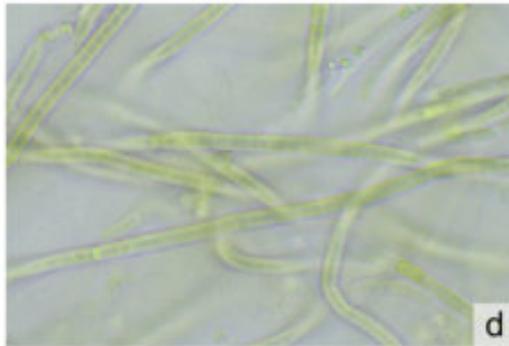
Unialgale Kulturen



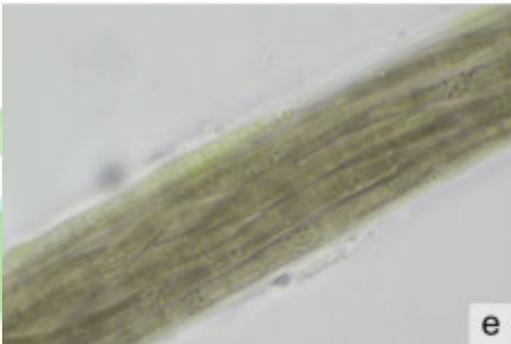
Cyanobacteria - Blaualgen



a,b – *Cylindrospermum* sp.; N-fixing Heterocytes, dormant cells - Akinetes

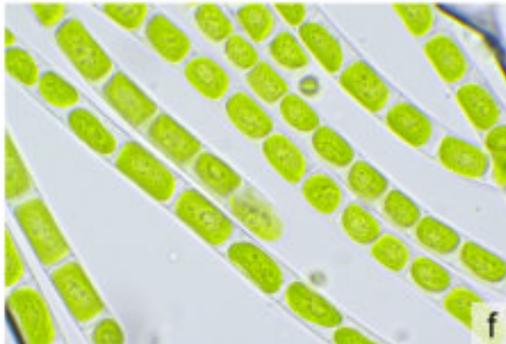
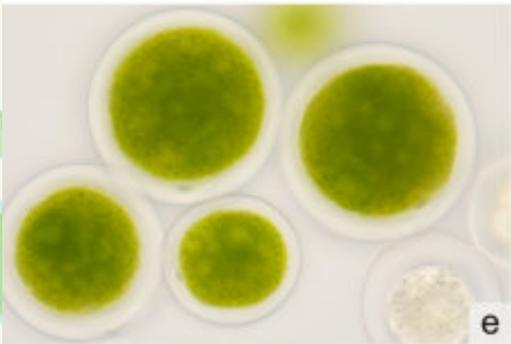
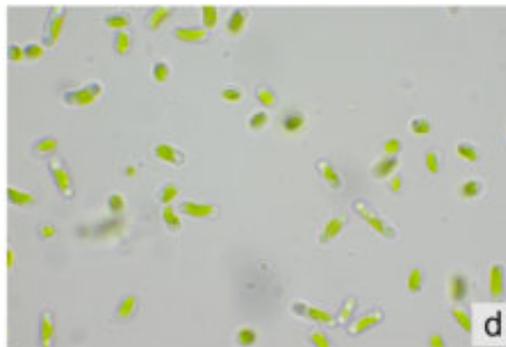
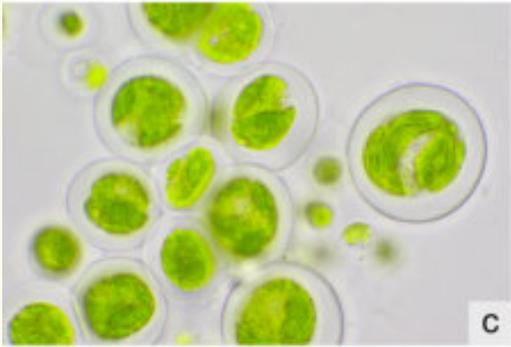
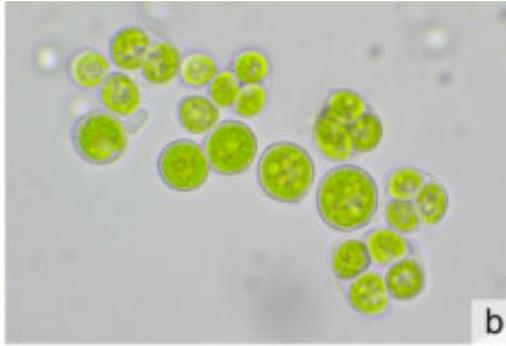
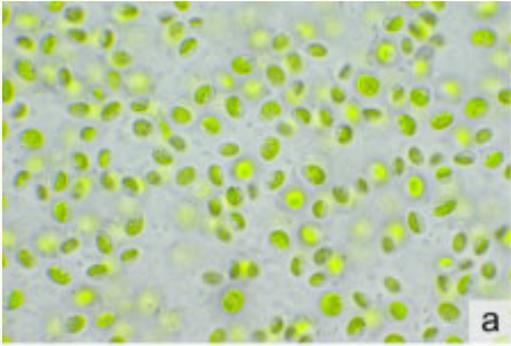


c – *Nostoc* sp.; N-fixing Heterocytes
d – *Leptolyngbya* sp.



e – *Microcoleus* sp.
f – *Phormidium* sp.

Grünalgen – primäre Endosymbiose



a – *Edaphochlorella* sp.

b – *Coelastrella* sp.

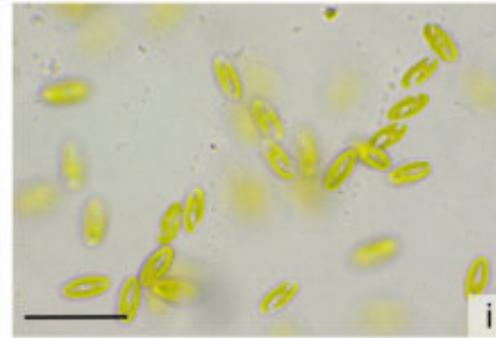
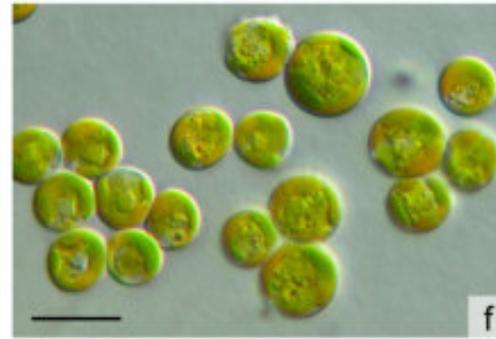
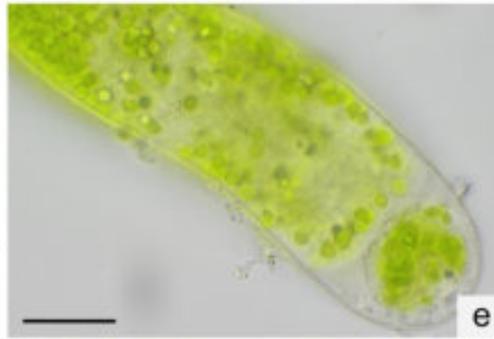
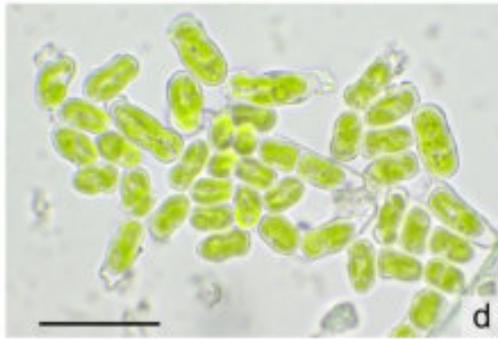
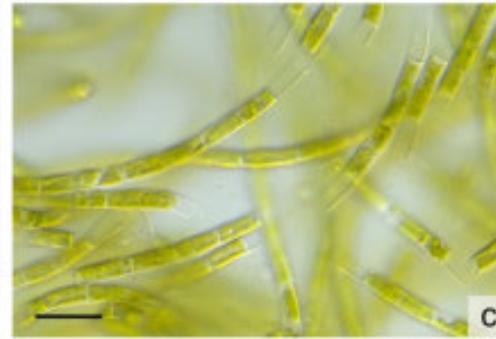
c – *Chlorococcum* sp.

d – *Stichococcus* sp.

e – *Macrochloris* sp.

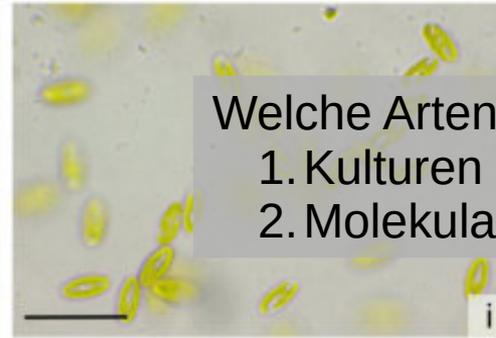
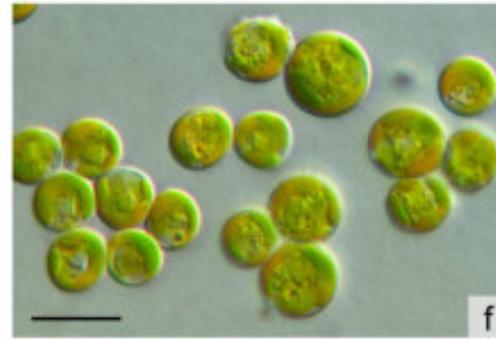
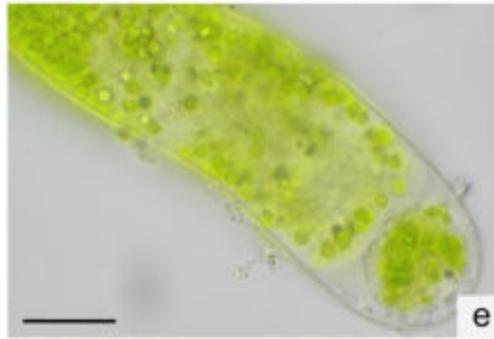
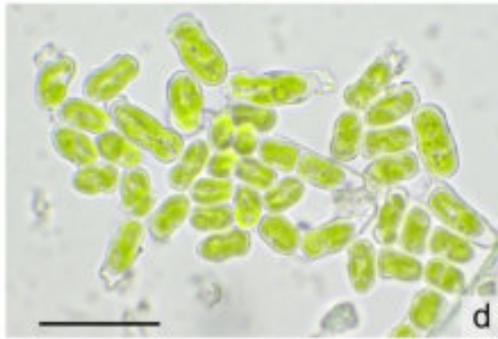
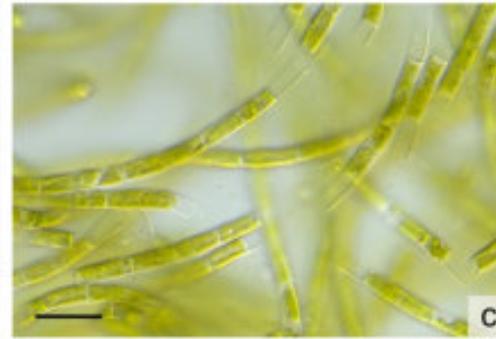
f – *Klebsormidium* sp.

Stramenopile Algen – sekundäre Endosymbiose



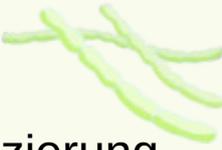
- a – *Xanthonema* sp.
- b – *Heterococcus* sp.
- c – *Tribonema* sp.
- d – *Bumilleriopsis* sp.
- e – *Vaucheria* sp.
- f – *Vischeria* sp.
- g – *Hantzschia* sp.
- h – *Luticola ventricosa*
- i – *Mayamea* sp.

Stramenopile Algen – sekundäre Endosymbiose

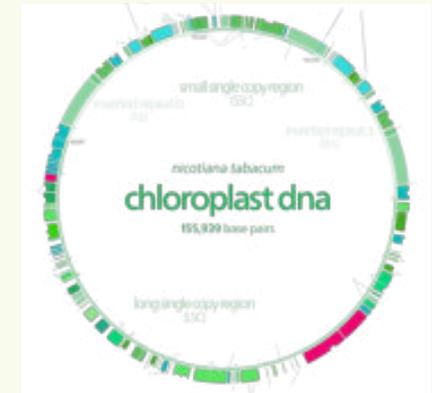
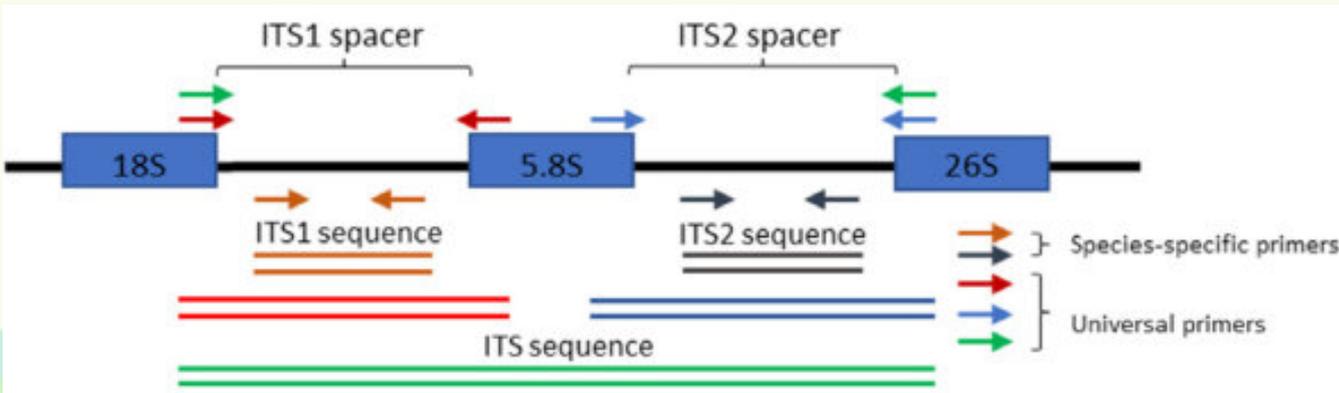


- a – *Xanthonema* sp.
- b – *Heterococcus* sp.
- c – *Tribonema* sp.
- d – *Bumilleriopsis* sp.
- e – *Vaucheria* sp.
- f – *Vischeria* sp.
- g – *Hantzschia* sp.
- h – *Luticola ventricosa*
- i – *Mayamea* sp.

Welche Arten finden sich im Acker?
1. Kulturen
2. Molekulare Methoden (**NGS**)



- DNA basierte Identifizierung und Quantifizierung der Arten
 - Testen von verschiedenen molekularen Markern – **PCR** basiert
 - DNA Sequenzierung
 - Bioinformatische Analyse (cutadapt, DADA2, BLASN, ggplot2,...)
 - **Sehr Zeit- und Kostenintensiv!**
- Ausgewählte Acker unter (mehr oder weniger) kontrollierten Bedingungen



Ref.:

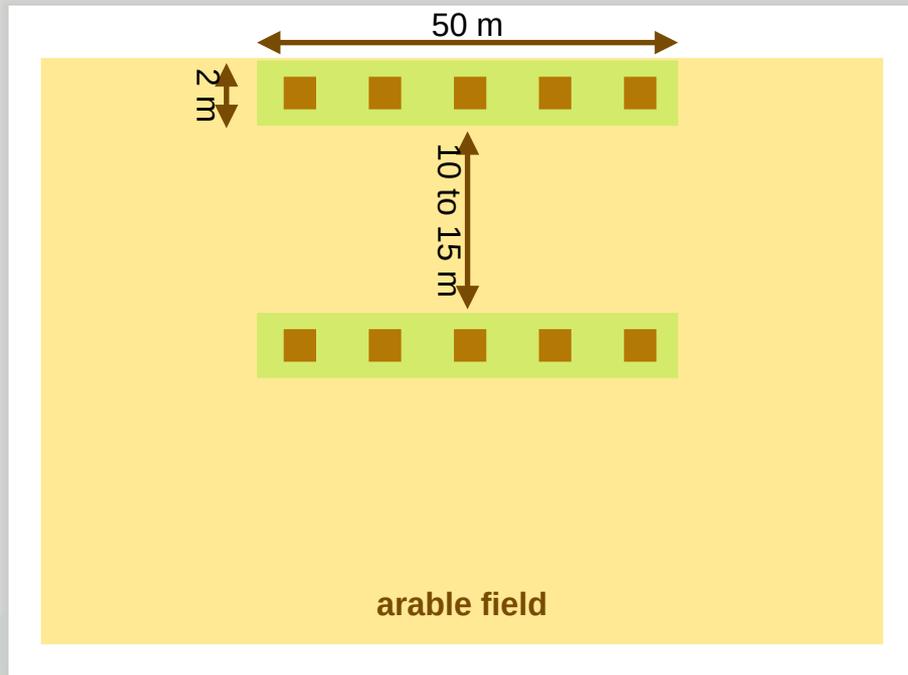
[1] <https://www.qiagen.com/us/products/discovery-and-translational-research/dna-rna-purification/dna-purification/microbial-dna/dneasy-powersoil-pro-kit>

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/Chloroplast_DNA

[3] Sherwood, Alison R., and Gernot G. Presting. "Universal primers amplify a 23S rDNA plastid marker in eukaryotic algae and cyanobacteria 1." Journal of phycology 43.3 (2007): 605-608.

Forschung am EPSAG – Biodiversität terrestrischer Algen

- Domäne gehört zur Uni Kassel
- Organisch bewirtschaftete Weizenfelder (5x)
- **Innen- und Randfläche** → **parallele zur höheren Vegetation?**



Forschung am EPSAG – Biodiversität terrestrischer Algen

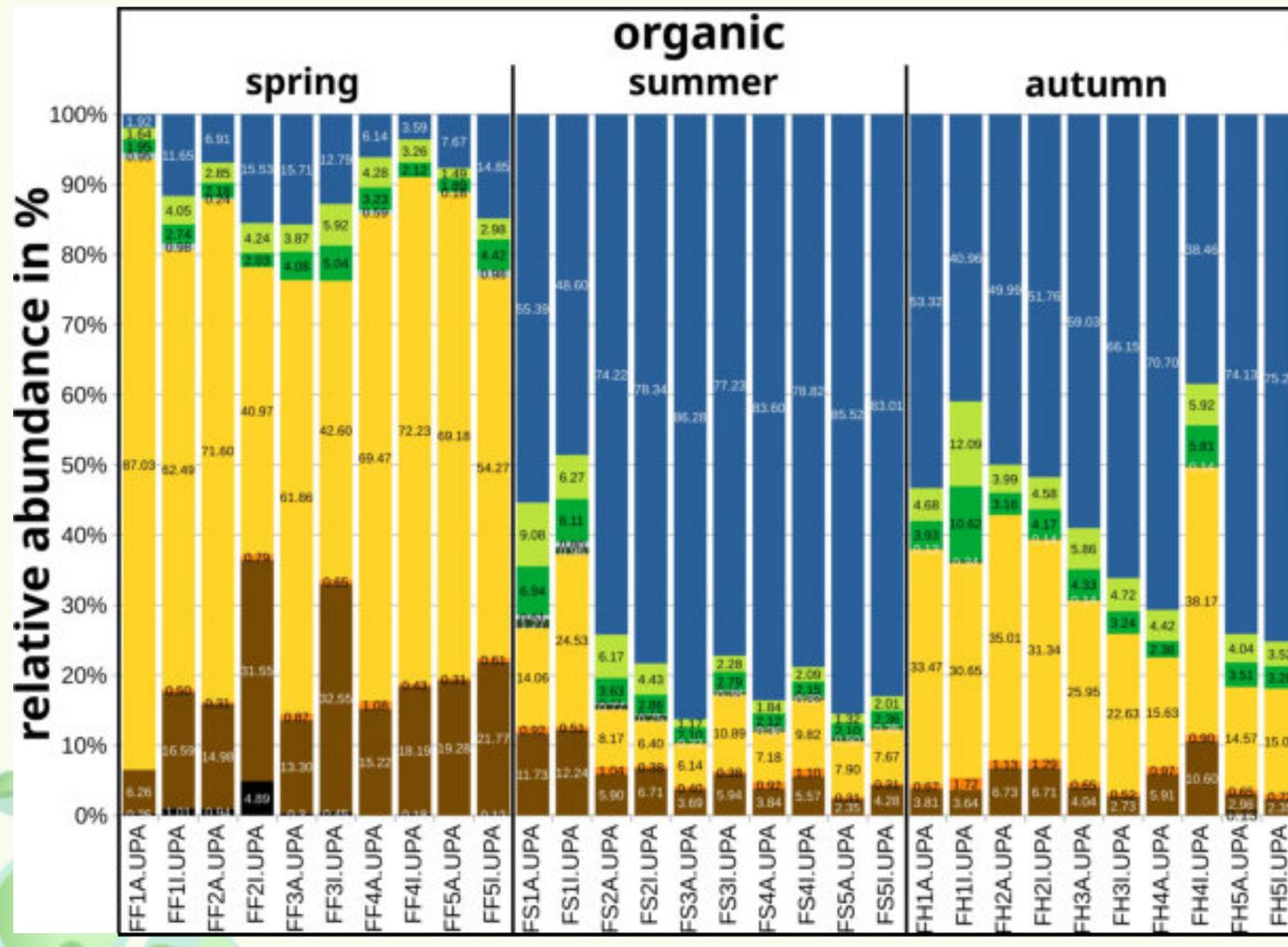
- Domäne gehört zur Uni Kassel
- Organisch bewirtschaftete Weizenfelder (5x)
- **Innen- und Randfläche** → **parallele zur höheren Vegetation?**
- Untersuchung zeitlicher Veränderung: **März, Juli, und November**
- Zusätzliche konventionelle Äcker zum Vergleich

- Multiple-Metabarcoding:

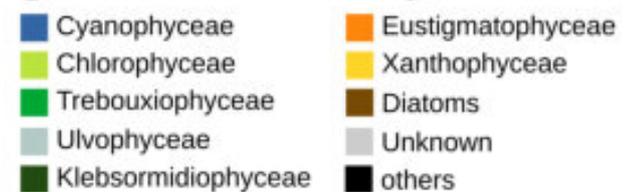
- ▶ **ITS2**
 - ▶ **18S**
 - ▶ **23S UPA**
 - ▶ **rbcL**
 - ▶ All primers with indices for multiplexing
- } nuclear
- } plastidal



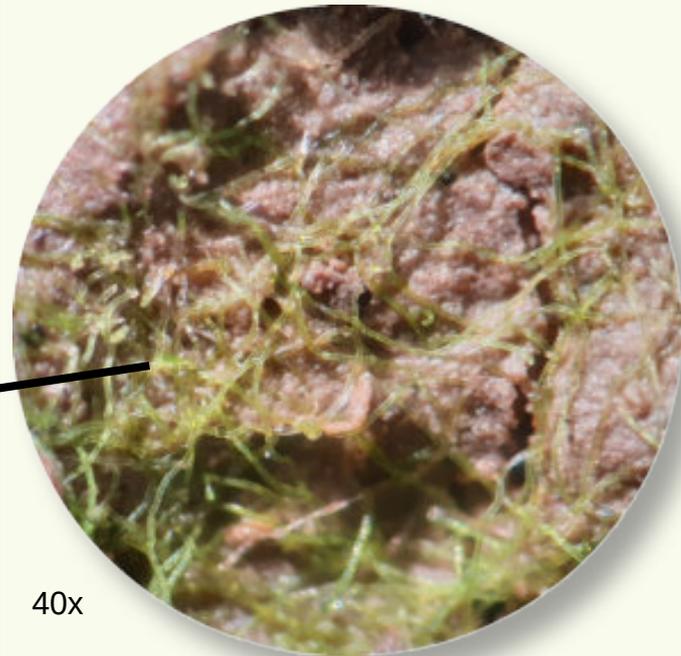
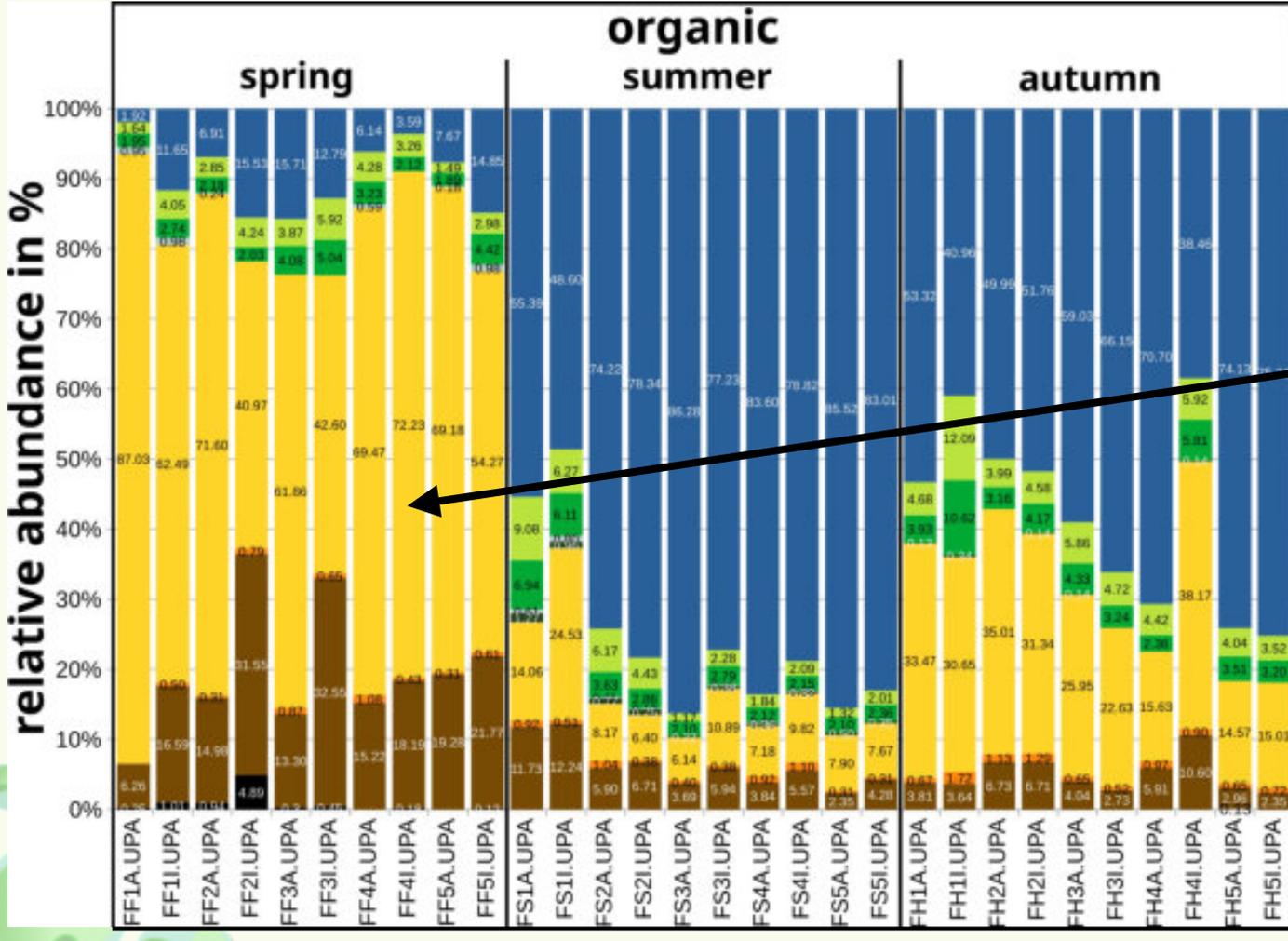
DNA Ergebnisse – zeitliche Dynamik



- Algen-Gesellschaft kann mittels UPA (23S rDNA) Marker gesamtheitlich analysiert werden
- Hauptgruppen:
 - Grünalgen
 - Cyanobacteria
 - Stramenopiles
- Starke Veränderungen im Jahresverlauf
 - Cyanobacteria häufiger im Sommer
 - Stramenopiles häufiger im Frühling - **Xanthophyceae** und Diatoms



DNA Ergebnisse – zeitliche Dynamik

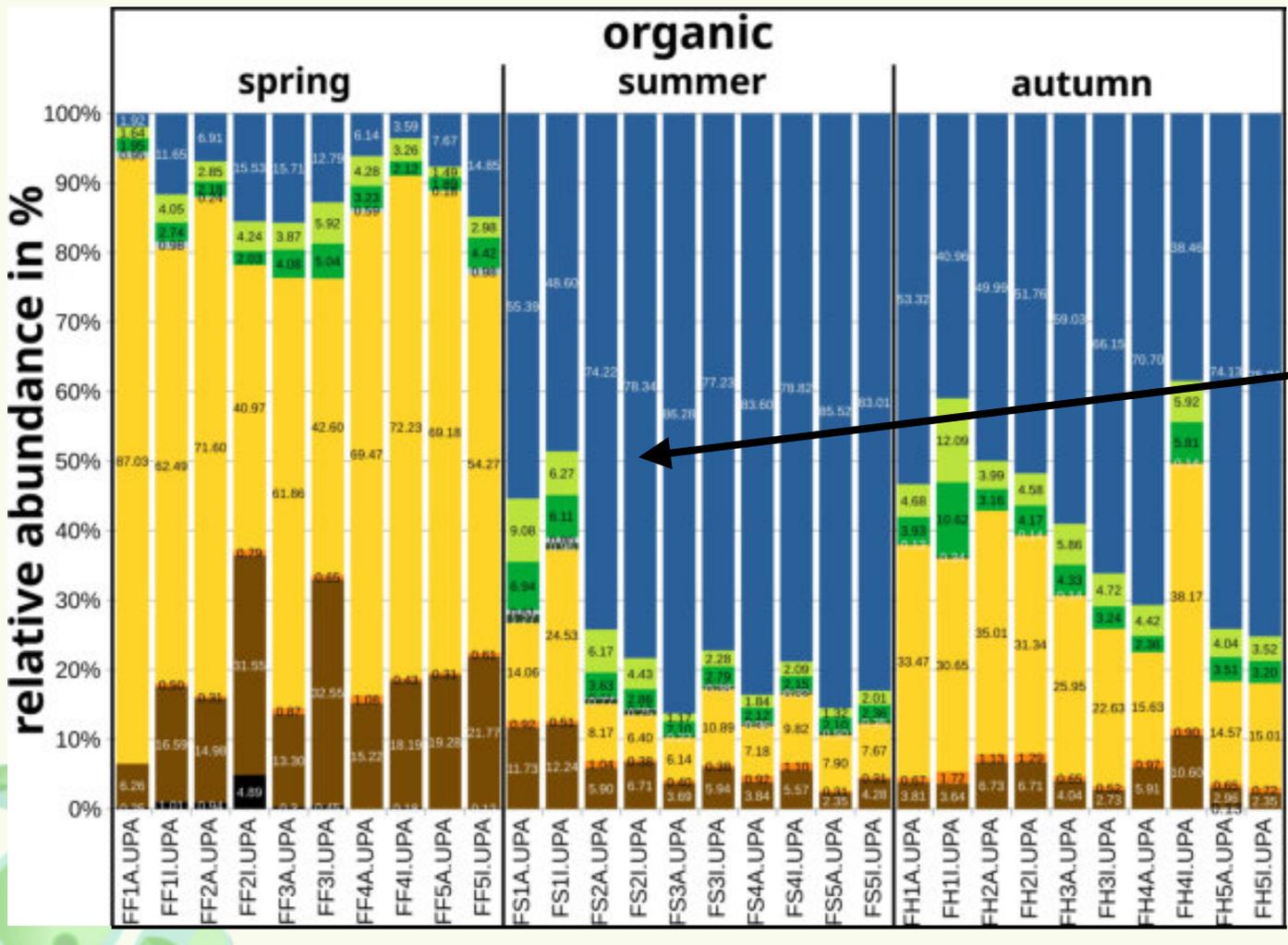


40x

Vaucheria

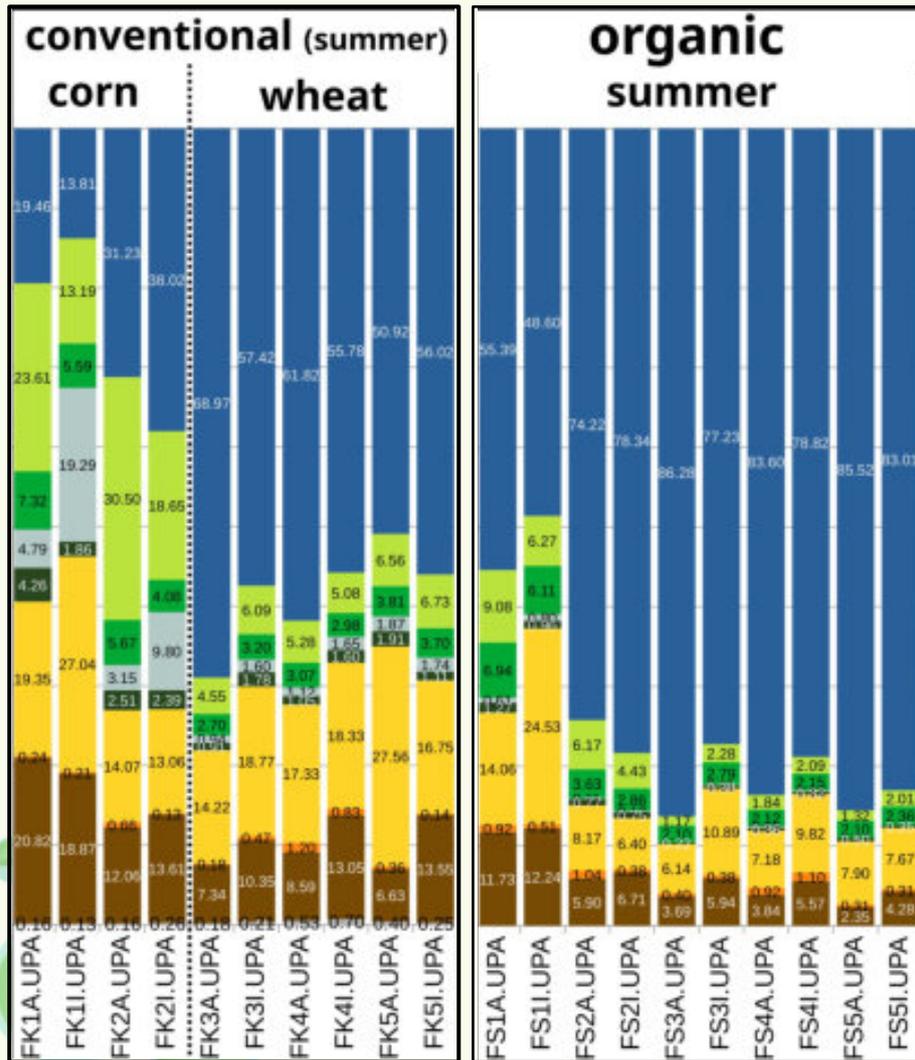
- Cyanophyceae
- Eustigmatophyceae
- Chlorophyceae
- Xanthophyceae
- Trebouxiophyceae
- Diatoms
- Ulvophyceae
- Unknown
- Klebsormidiophyceae
- others

DNA Ergebnisse – zeitliche Dynamik



Cylindrospermum

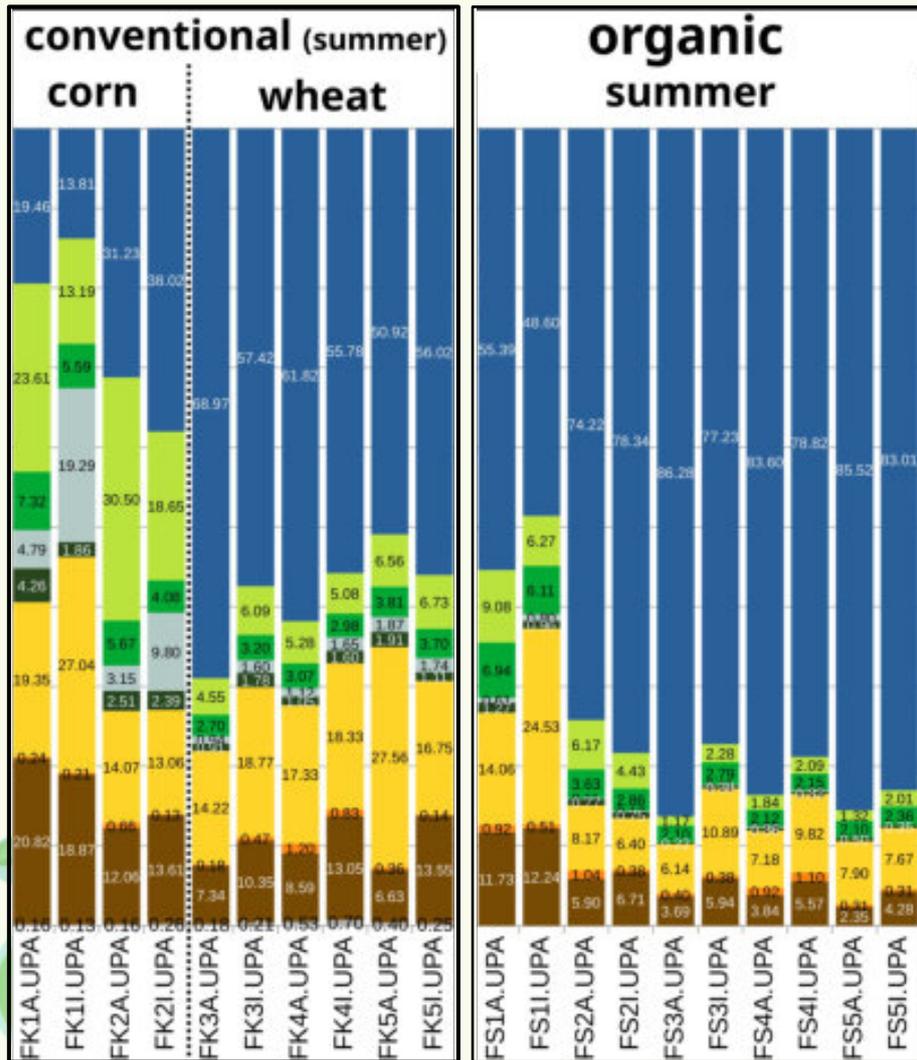
DNA Ergebnisse – Bewirtschaftungsform



- Geringe Unterschiede zwischen ökologischen und konventionellen Äckern
- Aber: Grünalgen besonders häufig im Mais!
 → Unterschiedliche Bodenoffenheit



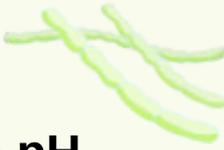
DNA Ergebnisse – Bewirtschaftungsform



- Geringe Unterschiede zwischen ökologischen und konventionellen Äckern
- Aber: Grünalgen besonders häufig im Mais!
→ Unterschiedliche Bodenoffenheit

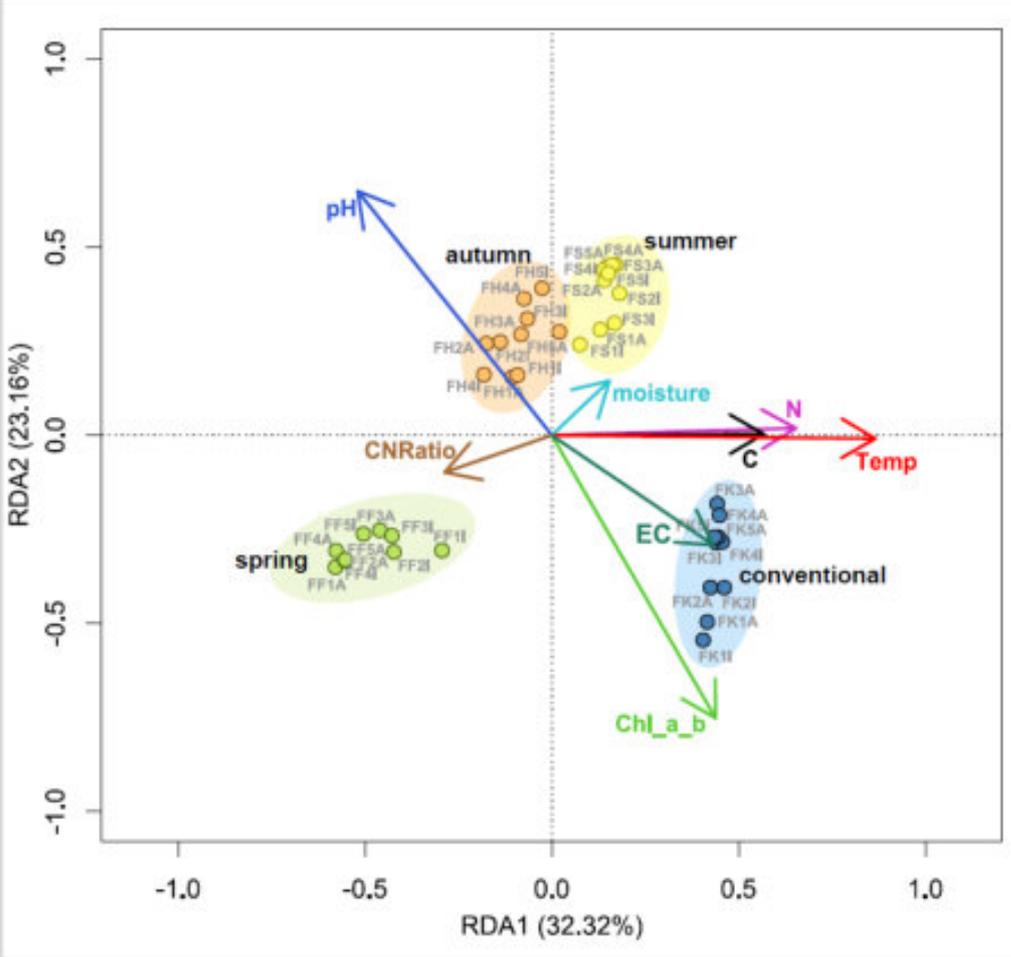


→ Weitere Faktoren...



DNA Ergebnisse – abiotische Faktoren

distance-based redundancy analysis (db-RDA) based on algal 23S rDNA (UPA) ASVs (hellinger transformed)



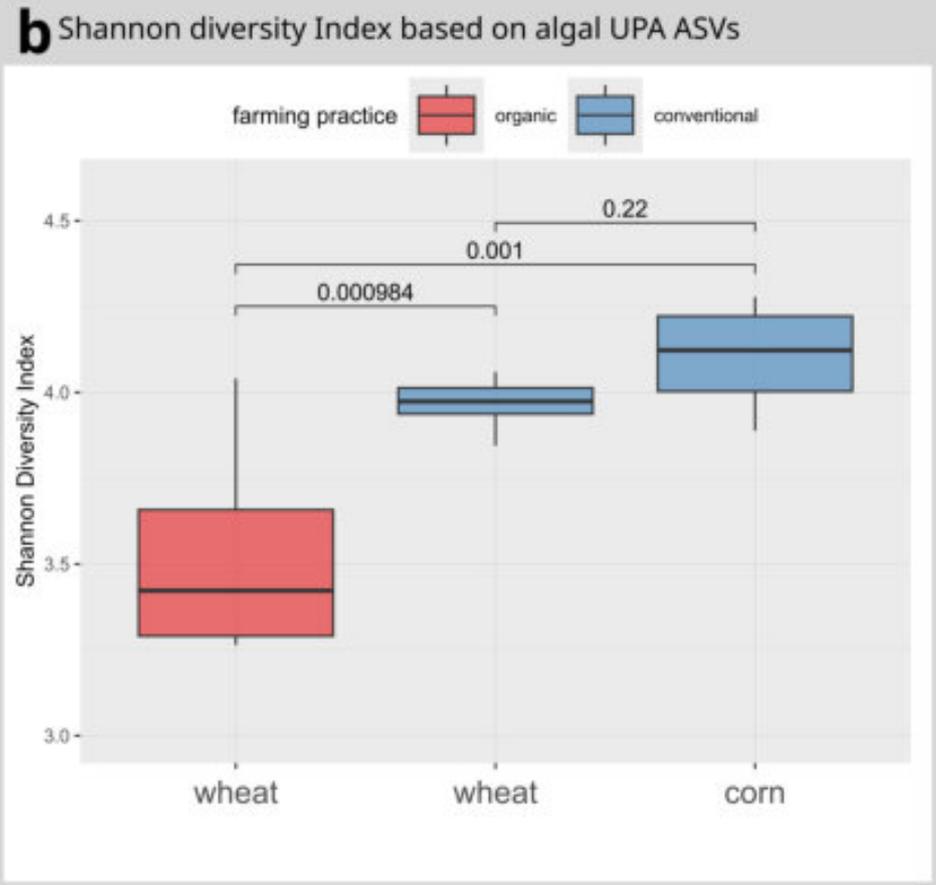
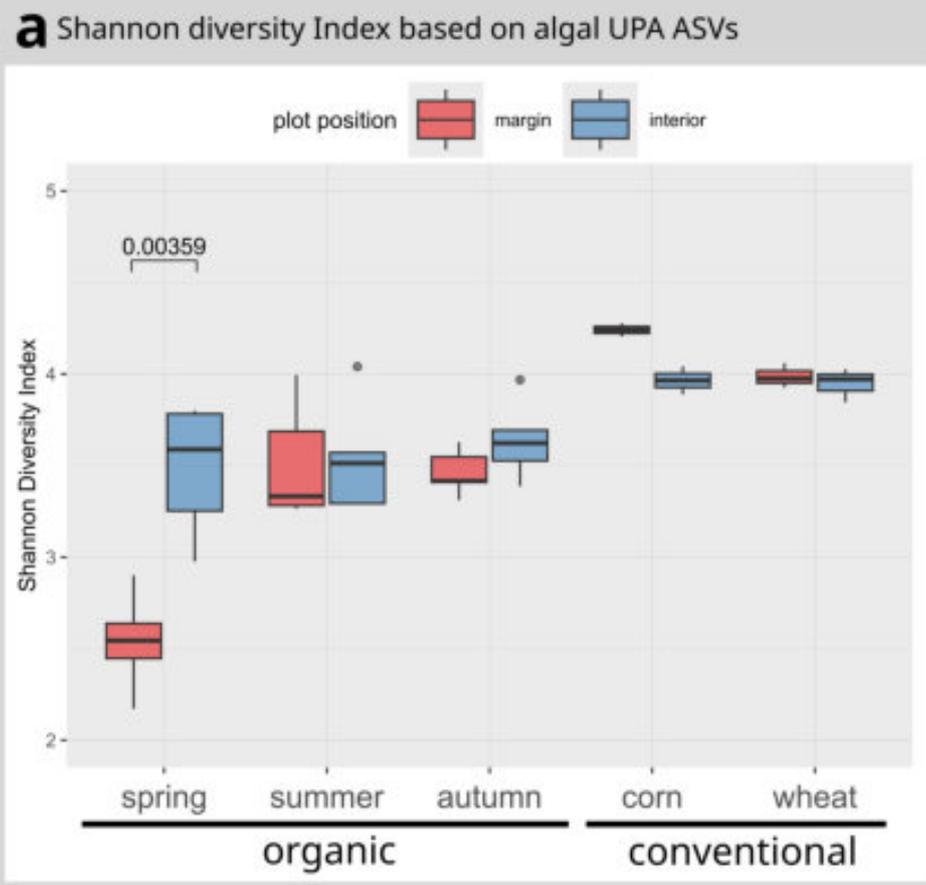
- Algen community beeinflusst durch **pH**, **Stickstoff** und **Temperatur**
- Feuchtigkeit nicht signifikant (nasses Jahr 2024 – geringe Variation)

PERMANOVA (n=40)

	R2	p
pH	0.207	0.001
N	0.099	0.001
C	0.027	0.053
moisture	0.030	0.021
CNRatio	0.027	0.050
Chl_a_b	0.063	0.002
Temp	0.104	0.001
EC	0.035	0.014
Residual	0.408	
Total	1.000	

Außerdem: dreifacher Salzgehalt im Mais → *Desmochloris halophila*

DNA Ergebnisse – Diversität



→ **Höhere Diversität mit Störung/weniger Konkurrenz mit Wildkräutern?**

Algen Identifizierung mittels “multiple-barcoding”



Phylum	Class	Genera ^a	marker and no. of ASVs				
			LPA	rbcl	ITS2	18S	
Stramenopiles	Xanthophyceae	15	<i>Asterosiphon</i> , <i>Botrydiopsis</i> , <i>Botrydium</i> , <i>Bumilleria</i> , <i>Bumilleriopsis</i> , <i>Chlorellidium</i> , <i>Heterococcus</i> , <i>Heterothrix</i> , <i>Mischococcus</i> , <i>Ophiocytium</i> , <i>Pleurochloris</i> , <i>Sphaerosorus</i> , <i>Tribonema</i> , <i>Vaucheria</i> , <i>Xanthonema</i>	65 (18)	38 (16)	n.a.	17 (8)
	Diatomeae	20	<i>Amphora</i> , <i>Brachysira</i> , <i>Chamaepinnularia</i> , <i>Craticula</i> , <i>Eolimna</i> , <i>Epithemia</i> , <i>Eucampia</i> , <i>Fistulifera</i> , <i>Gomphoneis</i> , <i>Gomphonema</i> , <i>Halamphora</i> , <i>Hantzschia</i> , <i>Haslea</i> , <i>Luticola</i> , <i>Mayamaea</i> , <i>Nitzschia</i> , <i>Pinnularia</i> , <i>Stauroneis</i> , <i>Surirella</i>	47 (4)	30 (7)	n.a.	38 (4)
	Eustigmatophyceae	4	<i>Eustigmatos</i> , <i>Monodopsis</i> , <i>Pseudocharaciopsis</i> , <i>Vischeria</i>	4 (2)	6 (3)	n.a.	1 (1)
	total	39		116 (23)	74 (26)	n.a.	56 (17)
Chlorophyta	Chlorophyceae	40	<i>Actinochloris</i> , <i>Bracteacoccus</i> , <i>Chlamydomonas</i> , <i>Chlorococcum</i> , <i>Chlororhamnos</i> , <i>Chlorosarcina</i> , <i>Chlorosarcinopsis</i> , <i>Coelastrella</i> , <i>Coleochlamys</i> , <i>Deasonia</i> , <i>Desmodesmus</i> , <i>Desmotetra</i> , <i>Dictyococcus</i> , <i>Eubrownia</i> , <i>Fasciculochloris</i> , <i>Haematococcus</i> , <i>Halochlorella</i> , <i>Hemiflagellochloris</i> , <i>Heterochlamydomonas</i> , <i>Heterotetracystis</i> , <i>Hormotilopsis</i> , <i>Lobomonas</i> , <i>Macrochloris</i> , <i>Microglena</i> , <i>Neochloris</i> , <i>Neochlorosarcina</i> , <i>Neocystis</i> , <i>Neosporangiococcum</i> , <i>Planktosphaeria</i> , <i>Pleurastrum</i> , <i>Protosiphon</i> , <i>Pseudomuriella</i> , <i>Rotundella</i> , <i>Scenedesmus</i> , <i>Spongiochloris</i> , <i>Spongiococcum</i> , <i>Spongiosarcinopsis</i> , <i>Tetracystis</i> , <i>Tetrademus</i> , <i>Vitreochlamys</i>	31 (10)	51 (23)	132 (27)	105 (39)
	Trebouxiophyceae	28	<i>Apatococcus</i> , <i>Auxenochlorella</i> , <i>Chlorella</i> , <i>Chloroidium</i> , <i>Coccomyxa</i> , <i>Deuterostichococcus</i> , <i>Diplosphaera</i> , <i>Edaphochlorella</i> , <i>Edaphochloris</i> , <i>Elliptochloris</i> , <i>Endolithella</i> , <i>Laetitia</i> , <i>Lobosphaeropsis</i> , <i>Meyerella</i> , <i>Microctinium</i> , <i>Muriella</i> , <i>Myrmecia</i> , <i>Nannochloris</i> , <i>Parietochloris</i> , <i>Pseudochlorella</i> , <i>Pseudococcomyxa</i> , <i>Pseudostichococcus</i> , <i>Raphidonema</i> , <i>Stichococcus</i> , <i>Trebouxia</i> , <i>Tritostichococcus</i> , <i>Watanabea</i> , <i>Xerochlorella</i>	13 (7)	21 (9)	76 (22)	48 (23)
	Ulvophyceae	6	<i>Desmochloris</i> , <i>Fernandinella</i> , <i>Planophila</i> , <i>Scotinosphaera</i> , <i>Tupiella</i> , <i>Ulothrix</i>	2 (1)	0	14 (2)	8 (6)
	Pedinophyceae	1	<i>Pedinomonas</i>		3 (0)		
	total	79		51 (22)	77 (33)	234 (55)	165 (82)
Streptophyta	Klebsormidiophyceae	2	<i>Klebsormidium</i> , <i>Streptosarcina</i>	5 (4)	2 (1)	12 (4)	2 (2)
	Zygnemophyceae	1	<i>Cylindrocystis</i>				1 (1)
		1	<i>Mesotaenium</i>				1 (0)
Bacteria	Cyanobacteria	16	<i>Allocoleopsis</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Calothrix</i> , <i>Crinalium</i> , <i>Cylindrospermum</i> , <i>Drauetiella</i> , <i>Microcoleus</i> , <i>Nodosilinea</i> , <i>Nodularia</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Phormidium</i> , <i>Pseudanabaena</i> , <i>Romeria</i> , <i>Trichormus</i> , <i>Trichorquatus</i>	82 (8)	n.a.	n.a.	n.a.
	grand total	134		249 (54)	151 (59)	234 (55)	221 (99)

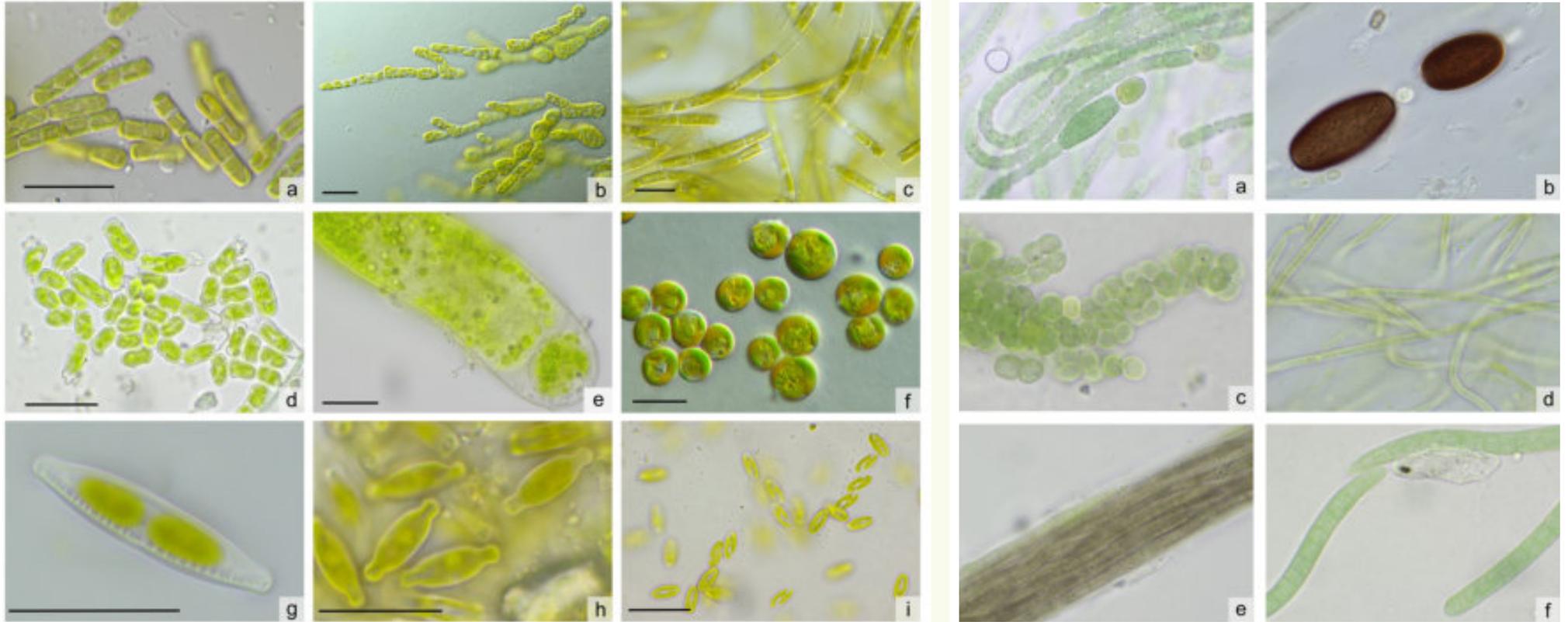
Auf nur 10 Äckern!

^aASV with identity level with reference sequences $NI \geq 1.75$, ASV matches with at least two different markers in brackets, no. of ASVs with perfect match with reference sequence ($NI = 1.85$)

Zusammenfassung

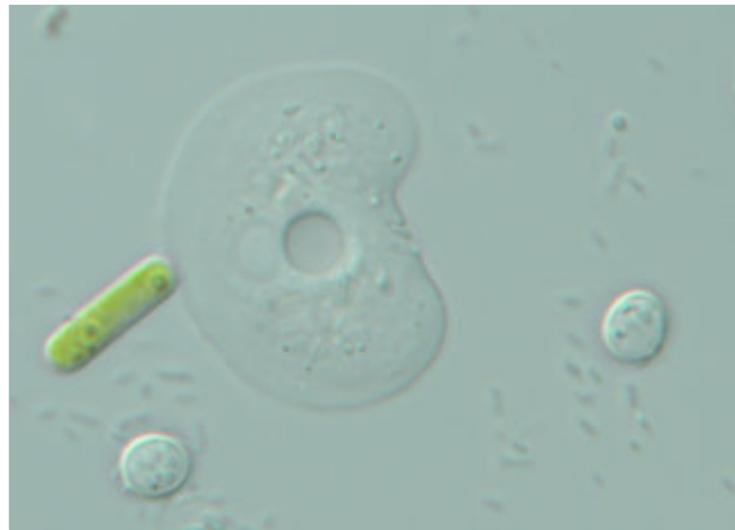


- Große Diversität im Acker zu finden
- Verschiedene Methoden und DNA-Metabarcodes notwendig zur Identifizierung
- Vor allem Xanthophyceae und Cyanobakterien
- Wichtige abiotische **Faktoren**: pH, Stickstoff und Temperatur



- Genauere Untersuchung von **Bewirtschaftungsfaktoren**:
 - DOK-Versuch in der Schweiz - Bewirtschaftungssystem
 - TRIO Versuche in Frankenhausen – Biodynamische Präparate
 - Düngungsversuche in Frankenhausen
 - AKWHA Versuch - Bodenbearbeitung
- Außerdem neue DNA Barcodes für Co-Occurrence Network mit:
 - Eukaryoten (18S)
 - Bakterien (16S)
 - höheren Pflanzen (Vegetation Analyse)

} Über 250 Proben!





Das Team

- Danke an mein Betreuer*Innen Team!!
- die gesamte SAG
- die Hessischen Staatsdomäne Frankenhäusen
- dem Organisationsteam der Tagung



Prof. Friedl



Prof. Athmann



Dr. van Elsen

SAG

Culture Collection of Algae



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN IN PUBLICA COMMODO
SEIT 1737

U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

ÖKOLOGISCHE
A G R A R
W I S S E N S C H A F T E N

A light micrograph showing a biological specimen, likely a cross-section of a plant stem or a similar structure. The specimen is stained, revealing various cellular components. A central text overlay reads "Danke für die Aufmerksamkeit!". A scale bar in the bottom right corner indicates 20 μm. The specimen shows a central vascular cylinder surrounded by cortical cells. The vascular cylinder contains large, circular cells, likely xylem vessels or tracheids, and smaller cells, likely phloem. The cortical cells are arranged in a regular pattern, and the overall structure is symmetrical.

**Danke für die
Aufmerksamkeit!**

20 μm