

## Diversifizierung von Ackerfutter-Fruchtfolgen durch GPS-Gemenge:

### Wer streut, rutscht nicht

**Der intensive Anbau von Mais wird häufig im Hinblick auf Erosions- und Grundwasserschutz kritisch diskutiert. Neben der Optimierung des Mais-Anbaus per se durch konservierende Bodenbearbeitung, eine gute Kalkversorgung des Bodens und eine ausgewogene Düngung, ist eine Diversifizierung von Energie- bzw. Ackerfutterfruchtfolgen sinnvoll.**

Zwar ist der Anbau von Silomais angesichts des sehr hohen Ertrags- und Energiepotenzials eine zentrale Säule des Ackerfuttersbaus, die Integration von GPS-Gemengen ist aber nicht nur auf Grund der Vorgaben zum Fruchtwechsel interessant. In den letzten Jahren gestaltete sich der Mais-Anbau vielerorts aufgrund von schwierigen Aussaatbedingungen und anschließender Frühsommertrockenheit schwierig. Durch die Ergänzung der Fruchtfolge mit GPS-Gemengen und Ackergras können Winterfeuchte und wüchsige Bedingungen in April und Mai hingegen sehr gut ausgenutzt werden. Wenn alles glatt läuft, kann so schon im Mai/Juni ein beachtlicher Teil des Silos gefüllt und die Abhängigkeit von guten Wachstumsbedingungen für den Mais in den Folgemonaten reduziert werden. Darüber hinaus sorgen GPS-Gemenge für eine gute Bodenbedeckung und ein geringes Nährstoff-Auswaschungsrisiko im Winter. Bodenstruktur und Bodenleben profitieren zusätzlich durch die intensive Durchwurzelung und eine hohe Diversität an Wurzelexsudaten.

Als GPS-Gemenge werden häufig Getreide (Triticale, Roggen) und Leguminosen (Wintererbse, Zottelwicke) kombiniert. Aussaatstärke und Mischungsverhältnis der jeweiligen Partner müssen an den Standort angepasst werden. Generell sollte die Saatstärke der Leguminosen nicht mehr als ca. 10 Prozent der Reinsaatstärke betragen, um starkes Lager zu vermeiden und eine gute Silierbarkeit zu gewährleisten. Da Leguminosen selbst Luftstickstoff fixieren, empfiehlt es sich die N-Düngung gegenüber einer Getreide-Reinsaat um ca. 30 kg N/ha zu reduzieren. Eine gute Versorgung der Böden mit Calcium, Magnesium und Schwefel fördert eine vitale Entwicklung der Leguminosen. Ein Herbizideinsatz ist angesichts der Leguminosen als Gemegepartner nicht möglich, in der Regel zeigen sich die Bestände allerdings auch sehr konkurrenzstark. Trotzdem sollte der Anbau von GPS-Gemengen nicht unbedingt auf Problem-Standorten erfolgen. Bei Bedarf kann ein Striegel zur mechanischen Unkrautregulierung genutzt werden.

Auf den Einsatz von Fungiziden kann bei einer ausgewogenen Pflanzenernährung oft verzichtet werden, da sich der Anbau verschiedener Pflanzenfamilien im Gemenge positiv auf die Pflanzengesundheit auswirkt. Des Weiteren freuen sich Insekten und natürlich auch SpaziergängerInnen über die Blütentracht der Leguminosen. Gegebenenfalls kann bereits bei der Aussaat des GPS-Gemenges oder auch im Nachgang Ackergras als Untersaat ausgebracht werden. So spart man sich mehrere Arbeitsgänge für die

Aussaat der Nachfrucht und genießt letztlich mehr Flexibilität für die effektive Ausbringung organischer Dünger. Zwar kann es durch die Kombination mit einer Untersaat (v.a. durch Weidelgras) zu einer Ertragsreduktion der Deckfrucht in Folge von Wasser- und Nährstoffkonkurrenz kommen, die Ernte der Untersaat im weiteren Verlauf des Jahres gleicht das aber in der Regel mehr als aus.

Wenn keine Untersaat etabliert wurde, und die GPS-Ernte nicht bei nassem Boden erfolgte, bieten sich gute Voraussetzungen, um nachfolgend eine vielfältige Zwischenfrucht mit wenig Bodenbearbeitung zu etablieren. Durch die lange Vegetationszeit kann sich die Zwischenfrucht bei ausreichender Feuchtigkeit üppig entwickeln und ihre zahlreichen Funktionen hinsichtlich Nährstofffixierung und -mobilisierung, Erosionsschutz sowie Bodenstruktur- und Humusaufbau erfüllen. So wird die Grundlage für einen erfolgreichen Mais-Anbau im Folgejahr geschaffen. Bei dringendem Futterbedarf und günstigen Bedingungen stellt auch der Nachbau von Mais oder Sorghum als Zweitfrucht eine weitere Option dar.



Abb. 1 Triticale-Wicken-Gemenge hinterlässt eine gute Bodenstruktur



Mit wenig Aufwand hinsichtlich Düngung und Pflanzenschutz kann durch GPS-Gemenge eine beachtliche Menge an Biomasse und letztlich Energie erzeugt werden. Erträge über 12 t TM sind bei passenden Bedingungen ohne Probleme möglich. Auch hinsichtlich Flexibilität, Risikomanagement und der Ausnutzung von Arbeitszeitfenstern ergeben sich viele Vorteile. GPS-Gemenge sind also nicht nur aus Sicht des Erosionsschutz und Humusaufbaus als eine wertvolle Ergänzung von Mais-Fruchtfolgen zu sehen.

#### Ausgewählte Literatur

LfL (2020): *Optimierungsversuch mit Getreide GPS*

Eberl, V., T. Lunenberg und M. Fritz (2018): *Leguminosen-Getreide-Gemenge als Biogassubstrat*. In: *Biogas Forum Bayern bif1*, Hrsg. ALB Bayern e.V., <https://www.biogas-forum-bayern.de/bif1>, Stand 17.07.2024

### In dieser Ausgabe

Diversifizierung von Ackerfutter-Fruchtfolgen durch GPS-Gemenge: Wer streut, rutscht nicht  
Klimaangepasste Landwirtschaft: Porenverteilung im Boden und kapillare Wasserbewegung  
Das Pflanzenmikrobiom: Bedeutung und Potenziale für die landwirtschaftliche Praxis



## Klimaangepasste Landwirtschaft: Porenverteilung im Boden und kapillare Wasserbewegung

In der Landwirtschaft ist letztlich die Verfügbarkeit von Wasser maßgeblich, ob die ausgesäten Kulturen ihr Ertragspotenzial erreichen können. Wasser ist Grundlage für einen lebendigen Boden und ermöglicht den Pflanzen erst die Aufnahme von Nährstoffen, den Einbau von Wasserstoff in die pflanzliche Biomasse sowie zahlreiche weitere lebenswichtige Funktionen, beispielsweise die Regulation der „Körpertemperatur“.

Im Zuge des Klimawandels wird der Umgang mit Wasser wesentlich anspruchsvoller. In Deutschland ist mit einer ungünstigeren Verteilung der Niederschläge zu rechnen. Laut Prognosen wird sich der Jahresniederschlag zunehmend in den Winter verschieben. Im Frühjahr und Sommer hingegen wird es vermehrt zu längeren Trockenperioden, die von extremen Niederschlagsereignissen unterbrochen werden, kommen. Zusätzlich verstärken höhere Temperaturen in den Frühlings- und Sommermonaten die unproduktive Verdunstung von Wasser. Die Kombination dieser Entwicklungen bringt für die Landwirtschaft enorme Herausforderungen mit sich. Um Strategien abzuleiten, die den immer extremen Bedingungen begegnen können, ist ein Grundverständnis über das Verhalten von Wasser im Boden hilfreich.

Die Bodenstruktur - genauer gesagt das Porensystem des Bodens - ist letztlich dafür verantwortlich, wie viel Wasser der Boden aufnimmt, wie schnell dieses bei Starkregenereignissen in die Tiefe abgeleitet werden kann (Sickerwasser) und wie groß der Anteil an Wasser ist, der gegen den Einfluss der Schwerkraft in den Bodenporen gespeichert wird und somit den Pflanzen in Trockenperioden zur Verfügung steht (Haftwasser). Die Bewegung des Wassers im Boden wird hauptsächlich von Adsorptionskräften und Kapillarkräften bestimmt. Adsorptionswasser entsteht durch die Bindung der polaren Wassermoleküle an geladene Bodenpartikel (z. B. Tonminerale, Humus). Es umhüllt quasi die Oberflächen der einzelnen Teilchen und ist sehr stark an diese gebunden. Kapillarwasser ist Wasser, das in den Bodenporen gespeichert wird und sich über diese im Boden bewegen kann.

### Die Porenverteilung des Bodens

Die wichtigsten Porengrößenbereiche im Boden sind weite Grobporen ( $> 50 \mu\text{m}$ ), enge Grobporen ( $10 - 50 \mu\text{m}$ ), Mittelporen ( $0,2 - 10 \mu\text{m}$ ) und Feinporen ( $< 0,2 \mu\text{m}$ ). Weite Grobporen sind in der Regel mit Luft gefüllt und sorgen somit für eine ausreichende Sauerstoffversorgung des Bodens. Bei Niederschlagsereignissen können sie sich mit Wasser füllen und leiten dieses kontinuierlich in die Tiefe ab. Aufgrund ihres großen Durchmessers kommen Kapillarkräfte kaum zum Tragen, sodass das Wasser der Schwerkraft folgt und nicht gespeichert wird. Enge Grobporen verhalten sich ähnlich wie weite Grobporen, allerdings versickert das Wasser angesichts des engeren Porendurchmessers wesentlich langsamer und kann somit länger von Pflanzen genutzt werden. Ein ausreichender Anteil von Grobporen ist nicht nur für Durchlüftung und Drainage von großer Bedeutung, sondern auch Voraussetzung für eine gute Durchwurzelbarkeit der Böden. Regenwürmer sind Spe-



Abb. 2: Regenwürmergänge sind sehr große Grobporen, die meisten Poren sind mit bloßem Auge nicht sichtbar.

zialisten für die Anlage von stabilen Grobporen, sofern diese nicht durch Bodenbearbeitung zerstört werden. Im Gegensatz zu den Grobporen können Mittelporen Wasser dauerhaft gegen die Schwerkraft halten und damit langfristig speichern. Daher spielen sie eine besonders wichtige Rolle zur Versorgung von Pflanzen während Trockenphasen. Eine gute Entwicklung von Seitenwurzeln und Wurzelhaaren sowie eine aktive Symbiose mit Mykorrhizapilzen unterstützen die Wasser-Aufnahme aus Mittelporen. Wasser, das in Feinporen gespeichert ist, ist nicht

mehr pflanzenverfügbar und wird daher auch als „Totwasser“ bezeichnet. Dieses Phänomen lässt sich besonders gut bei Tonböden beobachten. Tonböden weisen einen sehr hohen Anteil an Feinporen auf und können dort eine große Menge Wasser speichern. Dieses ist aber aufgrund des engen Poren-Durchmessers so stark gebunden, dass das Wasser kaum der Versorgung der Pflanzen zugutekommt. Außerdem sind Pflanzen nicht dazu in der Lage, Feinporen mit ihrem Wurzelwerk zu erschließen.

Ausschlaggebend für die Porenverteilung ist in erster Linie die Textur des Bodens. Sandige Böden haben einen hohen Grobporenanteil und sind daher gut durchlüftet, können aber nur wenig Wasser gegen die Schwerkraft speichern. Tonige Böden hingegen speichern in ihren Feinporen große Mengen Wasser, dieses ist aber oft nicht pflanzenverfügbar. Zudem neigen Tonböden bei nassen Bedingungen zu Staunässe, Sauerstoffmangel und dadurch langsamer Erwärmung, was besonders bei Kulturen wie Gerste oder Mais schnell sichtbar wird. Lehmböden weisen eine ausgewogene Porenverteilung auf und sind dadurch für den Ackerbau am besten geeignet. Generell lässt sich sagen: Je enger die Bodenporen und je trockener der Boden, desto stärker ist das Wasser gebunden. Durch kleinporige Strukturen und Trockenheit entsteht im Boden eine Art „Sog“, der hauptverantwortlich für die Bewegung von Kapillarwasser ist. Kleinporige Zonen „ziehen“ das Wasser, großporige Bereiche wiederum können den kapillaren Aufstieg brechen (ähnlich wie z. B. Frostschutzkies). Durch das gezielte Anlegen einer Kapillarbruchzone kann der Wasseraufstieg im Boden gesteuert werden. Dieser Effekt ist für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung von zentraler Bedeutung, um eine gute Wasserversorgung und damit gleichmäßiges Auflaufen sowie eine vitale Jugendentwicklung der Kulturen auch bei schwierigen Bedingungen zu gewährleisten. Säen und auf Wasser von oben hoffen ist vor allem bei Sommerungen und Raps kein zukunftsfähiges Erfolgsrezept.

1 mm

100  $\mu\text{m}$  = 0,1 mm

50

10

2  $\mu\text{m}$

Abb. 2: Millimeter und der Durchmesser von Poren - Darstellung im Größenverhältnis 1:100



## Ableitungen für die landwirtschaftliche Praxis

- Verdichtungsschichten sind fatal für Luft- und Wasserhaushalt und daher durch angepassten Reifendruck und möglichst niedrige Maschinengewichte zu vermeiden
- Bodenbearbeitung nur so tief wie nötig um etwaige Verdichtungsschichten zu lockern (Spatenprobe!)
- Kein Unterpflügen von Stroh-/Mulchmatten, Stör-schichten beeinträchtigen den kapillaren Wasser-aufstieg
- Grobklutige Strukturen nach Bodenbearbeitung durch Nachläufer/Walzen zerkleinern, damit Boden nicht komplett austrocknet, bei tiefer Lockerung vor der Saat gute Rückverfestigung nötig um kapillaren Wasser-aufstieg zu gewährleisten

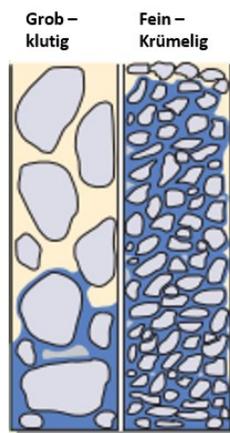


Abb. 4 Kapillarer Aufstieg abhängig von Bodenstruktur, verändert nach Brady & Weil (2016)

- Eine üppige Mulchschicht bricht kapillaren Wasser-aufstieg erst an der Oberfläche, so wird Wasseraufstieg bis in den Saatbereich ermöglicht, aber Verdunstung verhindert, gleichzeitig Hitzeschutz durch Strahlungsreflektion
- Saatbettbereitung idealerweise nicht tiefer als Saatgutablage damit kapillarer Aufstieg in gewachsenem Boden bis ans Saatkorn ermöglicht wird
- Exakte Saatgutablage auf wasserführende Schicht durch passende Sätechnik
- Bei verschlammten Böden kann ein Aufreißen durch Striegeln/Hacken helfen, um Sauerstoff in den Boden zu bekommen, aber auch um den kapillaren Wasser-aufstieg durch grobklutige Schicht an der Oberfläche gezielt zu brechen
- Aktive Bodenbiologie unterstützt eine gute Porosität des Bodens mit vielen Grob- und Mittelporen

Ausgewählte Literatur: Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde Brady & Weil (2016): The Nature and Properties of Soil, Global Edition, Pearson Education Limited

## Das Pflanzenmikrobiom:

### Bedeutung und Potenziale für die landwirtschaftliche Praxis

**In den letzten Jahren ist die Aktivität von Mikroorganismen als entscheidender Faktor für Bodenfruchtbarkeit zunehmen in den Fokus geraten. An den Universitäten haben Forschende durch moderne Methoden eine Vielzahl neuer Organismen und interessanter Interaktionen entdeckt. Auch in der landwirtschaftlichen Praxis spielt das Management der Bodenbiologie eine zentrale Rolle bei einem Großteil innovativer Anbauverfahren. Nicht zuletzt haben auch landwirtschaftliche Industrieunternehmen mittlerweile eine große Bandbreite an Produkten auf den Markt gebracht, die eine positive Beeinflussung mikrobieller Prozesse im Boden, bzw. in der Pflanze zum Ziel haben.**

Die Forschung zeigt, was wir mit bloßem Auge nicht erkennen können: Mikroorganismen sind beinahe überall. Nicht nur im Boden und der Rhizosphäre, sondern auch auf und sogar in den Pflanzen selbst (Epiphyten/Endophyten) – egal ob Wurzel, Stängel, Blatt oder Samen. Bakterien und Pilze liegen entweder bereits im, bzw. auf den Samen vor und breiten sich nach der Keimung weiter aus, oder werden im Laufe der Zeit aus der Luft oder aus dem Boden aufgenommen. Pflanzen geben eine riesige Bandbreite von Wurzelexsudaten in den Boden ab und interagieren dann auf komplexe Art und Weise mit den angelockten Mikroorganismen. Durch mikrobielle Gemeinschaften, die in den Samen einer

Pflanze überdauern, können diese auch an nachfolgende Generationen weitergegeben werden. Die Gesamtheit der Mikroorganismen, die die Pflanzen besiedeln, bildet das Pflanzen-Mikrobiom. Dieses hat viele direkte und indirekte Einflüsse auf immer wichtiger werdende Aspekte wie beispielsweise Nährstoffaneignungsvermögen, Pflanzengesundheit und Trockenheitsresistenz.

Zuträgliche Mikroorganismen fördern die Pflanzengesundheit, indem sie durch ihre Stoffwechselprodukte das pflanzeneigene Immunsystem aktivieren und dadurch wiederum die Abwehrkräfte der Pflanze gegen schädliche Mikroorganismen (Krankheitserreger/Pathogene) erhöhen. Außerdem können Mikroorganismen durch die Ausscheidung von antibiotisch wirksamen Stoffen Pathogene aktiv bekämpfen. Zusätzlich führt ein direktes Konkurrenzverhalten um Nährstoffe zur Hemmung von Pathogen-Populationen. Ein aktives, den Pflanzen zuträgliches Boden- und Pflanzenmikrobiom wirkt somit dem Krankheitsdruck entgegen. Daher ist das Management mikrobieller Gemeinschaften ein wichtiger Ansatz, um die Abhängigkeit von Pflanzenschutzmitteln nachhaltig zu reduzieren. Besonders die biologische Saatgutbehandlung birgt großes Potenzial, um die Widerstandskraft gegen bodenbürtiger Pathogene von Grund auf zu erhöhen.



Ein zentraler Faktor zur Erhöhung von Trockenheitsresistenz und Nährstoffaneignungsvermögen ist die positive Beeinflussung des Wurzelwerks durch die Aktivität von Mikroorganismen. Studien zeigen, dass Endophyten durch komplexe Interaktionen mit der Pflanze, Wurzellänge, Wurzelverzweigung und die Ausprägung von Wurzelhaaren erhöhen können.

Neben diesem indirekten positiven Effekt hinsichtlich Nährstoffversorgung, unterstützen Bakterien Pflanzen durch den sogenannten Rhizophage-Zyklus direkt bei der Aufnahme von Nährstoffen. Die Pflanzen nehmen von Wurzelexsudaten angelockte Bakterien über die Wurzelspitze auf und extrahieren anschließend wertvolle Nährstoffe (z. B. N, P, K, Zn) aus den Bakterienzellen. Die Ausschüttung von pflanzlichem „Superoxid“ löst die Zellwand der Bakterien auf und führt zu Löchern in deren Zellmembran, sodass ein Nährstoff-Transfer von Bakterium zu Pflanze stattfinden kann. Anschließend werden die Bakterien über Wurzelhaare wieder in den Boden abgegeben. Dort können sie ihre Zellwand wiederherstellen und sich mit neuen Nährstoffen „aufladen“, sodass der Zyklus von Neuem beginnen kann.

Eine weitere, vielfach beschriebene, direkte Symbiose zur Verbesserung des Nährstoffaneignungsvermögens der Pflanzen ist die Interaktion mit Mykorrhizapilzen. Auch Mykorrhizapilze dringen bis in die pflanzliche Zellstruktur vor. Dort werden sie von kohlenstoff-haltigen Photosyntheseprodukten ernährt. Im Gegenzug erbringen sie zahlreiche Dienstleistungen für die Pflanze. Durch ihr ausgedehntes Netzwerk von Pilzfäden (Hyphen) wird die Oberfläche des pflanzlichen Wurzelsystems um ein Vielfaches vergrößert und somit die Versorgung mit Nährstoffen und nicht zuletzt auch Wasser verbessert. Darüber hinaus sind auch vielfältige positive Auswirkungen hinsichtlich Pflanzengesundheit, Bodenstruktur und Kohlenstoffspeicherung bekannt.

Die beeindruckenden Ausmaße, in denen Mikroorganismen Pflanzen (und im Übrigen auch Menschen) beeinflussen, werden Stück für Stück weiter erforscht. Während früher fast ausschließlich Pathogene und deren schädliche Wirkung im Zentrum der Betrachtung standen, werden mittlerweile vielmehr die unterstützenden Potenziale der Mikroorganismen in den Fokus gerückt. Dazu gibt es extrem viele spannende Erkenntnisse, allerdings sicherlich noch mehr offene Fragen und wichtige Details, die für einen zuverlässigen Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis wichtig sind. Klar ist: Die Förderung einer den Pflanzen zuträglichen Biologie wird ein immer wichtigerer Aspekt landwirtschaftlicher Systeme, die eine Reduktion des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln und synthetischen Düngern anstreben. Es lohnt sich bei sämtlichen Entscheidungen die potentiellen Auswirkungen auf Mikroorganismen mitzudenken und diese gezielt zu fördern. Von grundlegender Bedeutung dabei ist, durch eine weite Fruchtfolge, eine gute Bodenstruktur und ausgewogene Düngung ein gutes Milieu für das Bodenleben zu schaffen. In Anbetracht der Erkenntnisse über das Mikrobiom in Pflanzensamen, das gewissermaßen vererbt werden kann und als „Starter-Pack“ die nächste Generation unterstützt, bekommt auch der Anbau von eigenem/regionalem Saatgut sowie dessen biologische Behandlung einen neuen Stellenwert.

**Ausgewählte Literatur:**

Kong et al. (2019): *Inheritance of seed and rhizosphere microbial communities through plant-soil feedback and soil memory.*

Verma et al. (2021): *Endophyte roles in nutrient acquisition, root system architecture development and oxidative stress tolerance.*

White et al. (2019b): *Evidence for widespread microbivory of endophytic bacteria in roots of vascular plants through oxidative degradation in root cell periplasmic spaces.*

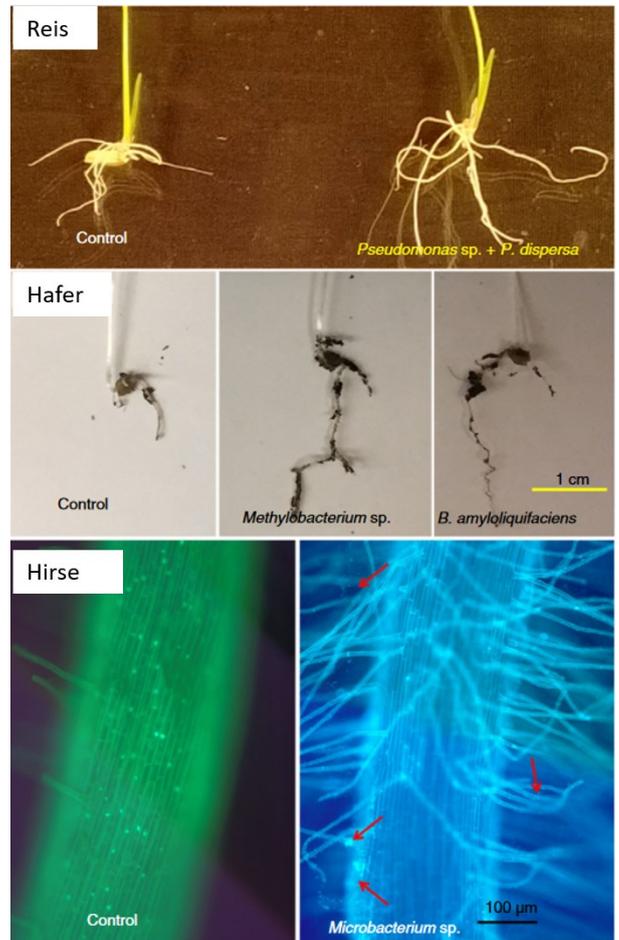


Abb.:5: Wurzelentwicklung mit und ohne Inokulation mit Mikroorganismen, verändert nach Verma (2021)

**HERAUSGEBER**



GeoTeam -  
Gesellschaft für umweltgerechte Land- und Wasserwirtschaft mbH

Wilhelmsplatz 7  
95444 Bayreuth

Tel.: 0921 990926-50  
Fax: 0921 990926-79

E-Mail: bayreuth@geoteam-umwelt.de

**REDAKTION**

Reinhard Wesinger  
Johannes Herold  
Dr. Heidi Lehmal

© Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers gestattet.

Der nächste info:brief erscheint im Herbst 2024