

IMPFUNG



Sojaknöllchen: Zum Ende der Blüte erreichen die Knöllchen ihre maximale Leistung – zu erkennen an der blutroten Farbe im Inneren.

Biologische N-Fixierung der Leguminosen: Bodenmilieu, Fruchtfolge und Impfung

Wie gelingt die Knöllchenbildung?

Fabian von Beesten, Breisgau

Um das Potenzial der Hülsenfrüchte zur N-Fixierung voll auszuschöpfen, kommt es neben der sorgfältigen Impfung auf weitere Details an.

Leguminosen sind ein Schlüssel für die Bodenfruchtbarkeit und gesunde Fruchtfolgen. Mit einer intensiven Knöllchenbildung können sie einen erheblichen Teil zur N-Versorgung der Fruchtfolge beitragen. Weltweit ist der Anteil der Leguminosen an der Stickstoffversorgung der Landwirtschaft mit 30 bis 50 % nach wie vor erheblich. Manche Betriebe können sich regelmäßig über üppige, tiefrote Wurzelknöllchen an Klee, Lupine oder Soja freuen – bei anderen geht es hingegen schief. Was brauchen Pflanzen und Rhizobakterien, um gemeinsam produktive Knöllchen entwickeln zu können? Hochwertige Impfmittel sind mittlerweile für fast alle Kulturen verfügbar, Know-how zu den Details der Impfung selber ebenso. Daher sollen nachfolgend einige praxisrelevante Details der biologischen N-Fixierung beschrieben werden.

— Mikrobiologie: Hintergründe verstehen

Unmittelbar nach der Keimung beginnen die im Boden oder durch Impfung am Saatgut vorhandenen Bakterien, die Wurzeln zu besiedeln. Die Pflanze ernährt ihre Partnerbakterien mit Energie in Form von Kohlenhydraten aus dem Samenkorn bzw. später von Assimilaten aus den Blättern. Nur mit diesem Energieschub können sie Luftstickstoff (N₂) in pflanzenverfügbares Ammoniak umwandeln. Wenn das Milieu passt, kommt es zur Massenvermehrung und letztlich zur Bildung der bis zu murmelgroßen Wurzelknöllchen als wahre Eiweißschmieden unter Tage. Damit bietet die Wurzel ihren Partnern einen geschützten Arbeitsraum.

Jede Leguminosen-Art braucht dabei eine andere, spezifische Rhizobien-Art als Partner. Weltweit wurden bis heute an die



Die Selektion der effektivsten Rhizobien-Stämme ist langwierige Laborarbeit.



Typisch im Erstanbau: Die Knöllchen bündeln sich oben an der Hauptwurzel, wo sich der geimpfte Samen befand.

100 verschiedene Rhizobienarten beschrieben, rund 40 davon werden in kommerziellen Impfmitteln verwendet. Die Forschung ist noch lange nicht abgeschlossen. Vielfach ist eine Rhizobienart zwar imstande, mehrere Leguminosenarten zu besiedeln, bringt jedoch nur mit einem spezifischen Partner die optimale N-Fixierung zustande.

Serradella kann beispielsweise mit Lupinen-Impfstoff geimpft werden – die N-Bindung ist jedoch noch höher, wenn man spezifische Serradella-Rhizobien verwenden würde. Diese sind allerdings hierzulande bis dato wegen der geringen Anbaubedeutung von Serradella nicht verfügbar. Auch Erdnüsse neigen besonders dazu, mit diversen Rhizobienarten Knöllchen zu bilden, die „wilden“ Stämme binden aber mitunter kaum N. Durch reichliche Saatgutimpfung können die optimalen Rhizobien jedoch konkurrenzfähig etabliert werden.

Innerhalb der Rhizobien-Arten gibt es wiederum zahllose regionale Unterarten und Stämme, die teilweise erhebliche Leistungsunterschiede aufweisen. Mitunter haben sie ihre Stärken und Schwächen unter besonderen Standortverhältnissen. In China treten nach Jahrtausenden des Sojaanbaus vielerorts extrem hohe Soja-Rhizobiendichten in den Böden auf. Vielfach können die dort etablierten Stämme jedoch hinsichtlich der N-Fixierungsleistung nicht mit selektierten Stämmen konkurrieren. Daher wird neuerdings selbst dort verstärkt geimpftes Saatgut verwendet. Berichten zufolge sind dabei jedoch enorme Impfmittelmengen erforderlich, um die dort sehr stark vorhandenen etablierten Stämme zu verdrängen. Welche Schwächen die modernen Stämme haben, insbesondere wenn

einmal der Impfmittel-Nachschub ausgeht, bleibt abzuwarten.

Bodenverhältnisse

Neben der Vorherrschaft der richtigen Rhizobien ist auch ein gesundes Milieu im Boden Voraussetzung für leistungsfähige Knöllchen. Grundsätzlich sind die Bedürfnisse von Pflanze und Rhizobium bezüglich Lufthaushalt, Wasser- sowie Nährstoffversorgung etc. ähnlich. Von besonderer Bedeutung für die Rhizobien ist der pH-Wert. Besonders unter sehr sauren Bodenverhältnissen gerät die biologische N-Fixierung vielfach ins Stocken. Auf extrem sauren Böden kann mitunter eine Kalk-Beize des geimpften Saatguts zur lokalen Anhebung des pH-Wertes Erfolg versprechen. Auf sauren Böden ist auch die Langlebigkeit der Rhizobien eingeschränkt. Die Säure-Empfindlichkeit hängt stark von der Rhizobienart ab. Säuretolerante Pflanzen haben generell auch säuretolerantere Rhizobienstämme als Partner. Soja- und Lupinen-Stämme (beides Bradyrhizobien) vertragen beispielsweise geringere pH-Werte als Luzerne-Stämme (Sinorhizobien).

Niedrige N_{\min} -Gehalte zur Aussaat sind stets förderlich für die Knöllchenbildung. Bei guter N-Versorgung schränken die Pflanzen dagegen die Versorgung der Rhizobien ein. Wenn aber zu wenige Knöllchen ausgebildet werden, rächt sich das später zur Kornfüllung, wenn der N_{\min} -Vorrat aufgebraucht ist. Dies zeigt sich auch auf viehlosen Ökobegebenheiten, wo das Klee gras gemulcht und nicht abgefahren wird. Die N-Fixierungsleistung geht beim neuen Aufwuchs naturgemäß deutlich zurück.

Bei den sonstigen Pflanzennährstoffen gilt dasselbe wie beim pH-Wert: Leguminosenart und dazugehöriger Rhizobienstamm haben generell ähnliche Ansprüche. Wenn es dem einen gut geht, floriert auch der andere. Phosphor und Schwefel haben eine besondere Bedeutung für die N-Fixierung und Eiweißsynthese, bei den Mikronährstoffen ist es Molybdän. Bei niedrigen pH-Werten wird Molybdän aber stark im Boden festgelegt, hier wurden teilweise mit einer Gabe zum Saatgut sehr gute Erfolge erzielt.



Foto: Tofu GmbH

Soja bildet auf manchen Standorten besonders große Knöllchen aus, was jedoch nicht immer mit dem Ertrag und der Effizienz der N-Fixierung korreliert.

Auch Humusgehalt und -qualität sowie die sonstige Mikrobenflora im Boden haben sicher einen erheblichen Einfluss auf das Wohlbefinden der Rhizobien. Hier gibt es noch erheblichen Forschungsbedarf. Dem Autor ist ein Sojapionier bekannt, der entgegen der Empfehlung seit Jahren auf die Impfung verzichtet und dennoch ausnahmslos exzellente Eiweißwerte hat. Eventuell konnten sich die Rhizobien dank langjährigem intensivem Zwischenfrucht-Anbau,

gesunden Fruchtfolgen und regelmäßiger Stallmist-Düngung bei ihm besonders gut etablieren. Auf anderen Standorten funktioniert dies so jedenfalls nicht.

Typisch ist beim Erstanbau von Soja, dass sich die Knöllchen oben an der Hauptwurzel bündeln, wo der geimpfte Samen lag. Bei günstigen Bodenverhältnissen können Rhizobien etliche Jahre ohne Wirtspflanze überdauern. Beim zweiten Sojaanbau auf dem Feld werden zahlreiche Knöllchen auch in der Wurzel-Peripherie hinzukommen – ein klares Zeichen, dass Rhizobien im Boden überdauern konnten.

Bei welchen Leguminosen-Arten lohnt sich die Impfung?

Die Strategien beim Impfen gehen stark auseinander. Manche Betriebe impfen nur wenige Kulturen wie z. B. Soja. Dagegen gehen einige Ökobetriebe, wo der Stickstoff doppelt wertvoll ist, mittlerweile ganz auf Nummer sicher und impfen grundsätzlich alle Hülsenfrüchte. Wird eine Leguminosen-Art erstmals auf einem Acker angebaut, so wird generell zur Impfung geraten, zumal die Kosten verglichen mit den sonstigen Anbaukosten und dem Verlust bei fehlenden Knöllchen marginal sind. Das gleiche gilt bei Anbaupausen über vier Jahren oder wenn Knöllchenbesatz, Blattfarbe oder Eiweißgehalt beim letzten Anbau unbefriedigend



Foto: Tofu GmbH

Dieser Sojabestand wurde mit einem Granulatstreuer geimpft. Wo einzelne Reihen heller sind, war die Granulatleitung verstopft.



Erdnüsse neigen besonders dazu, mit diversen Rhizobienarten Knöllchen zu bilden, die jedoch mitunter kaum N binden.

waren. Wurde auf Böden im normalen pH-Bereich innerhalb der letzten vier Jahre dieselbe Art erfolgreich und mit guter Knöllchenentwicklung angebaut, kann aber bei vielen Arten auf eine Impfung verzichtet werden. Nachfolgend ein paar Fakten zu den wichtigsten Arten im heimischen Anbau:



Kichererbsen, rechts geimpft: Der Ertrag dürfte um 20–30 % höher liegen als in der Kontrollvariante – bei besserer Kornqualität.

Sojabohne: Soja ist die Leguminose par excellence, die praktisch immer geimpft wird. Selbst bei den Pionieren, die bereits seit 30 Jahren Soja anbauen, wird fast ausnahmslos geimpft. Es gibt Standorte mit langjährigem Sojaanbau, auf denen in manchen Jahren kaum ein Unterschied mit oder ohne Impfung auftreten wird.



Bei Lupinen sind die Erfahrungen, ob eine Impfung grundsätzlich Sinn macht, je nach Standort sehr unterschiedlich.

Doch die preiswerte Impfung bietet eine Absicherung, zumal Soja vielfach nach Eiweißgehalt bezahlt wird. Zudem haben erfahrene Sojabauern sich das Impfverfahren meist praktisch eingerichtet, so dass sich der Arbeitsaufwand in den arbeitsreichen Saattagen in Grenzen hält.

Kichererbse: In den traditionellen Anbaugebieten wird die Kichererbse oft nicht geimpft. Betriebe in Südfrankreich haben mir Rückmeldung gegeben, dass die Impfung dort nach langjährigem Anbau keinen Effekt gezeigt habe. Im Burgund und in Österreich hingegen, wo die Kultur recht neu ist, ist der Effekt der Impfung durchschlagend.

Klee- und Luzernearten: Bei den hierzulande geläufigen Klee- und Luzernearten sind im Wesentlichen drei Gruppen zu unterscheiden: Luzernearten, einjährige Trifolium-Arten (wie Perser- und Alexandrinerklee) sowie mehrjährige Trifolium-Arten (wie Rot- und Weißklee). Jede der drei Gruppen hat spezifische Rhizobienstämme, mit denen die höchste N-Fixierung erreicht wird. Knöllchen, die mit den Rhizobien einer der anderen Gruppen gebildet werden, sind jeweils deutlich weniger effektiv.

Im Gegensatz zu den Klee-Arten, wo nur geimpft wird, wenn die Bestände in der Vergangenheit zu wenige Knöllchen hatten, hat sich die konsequente Impfung bei Luzerne bewährt und durchgesetzt.

Besonders in fertigen Saatmischungen ist die Luzerne häufig bereits „fixfertig“ geimpft, um dem Landwirt das Impfen der gesamten Mischung zu ersparen. Interessant ist die Beobachtung, dass Luzerne bei guter Knöllchenbildung eine sichtbar bessere Jugendentwicklung hat, während der Effekt der Impfung bei den Grobleguminosen meist erst später zur Blüte sichtbar wird. Wahrscheinlich liegt dies am kleineren Samenspeicher der Luzerne.

Erbse, Wicke und Platterbse: Erbsen werden hierzulande bisher selten geimpft, und oft ist in der Praxis auch kein Effekt der Impfung festzustellen. Dies mag daran liegen, dass sie mit denselben Rhizobien in Symbiose gehen wie Wicke und Platterbse, welche oft als Zwischenfrüchte bzw. in der Acker-Begleitflora seit jeher regelmäßig vorhanden sind. In einzelnen Versuchen hatte die Impfung von Erbsen jedoch einen durchschlagenden Erfolg.

Ackerbohne und Linse: Ähnlich sieht es bei Ackerbohnen und Linsen aus, die ebenfalls ihren bevorzugten Rhizobien-Partner teilen. Die Impfung kann auf manchen Standorten deutliche Effekte bringen, vielfach bleiben diese jedoch aus.

Lupine und Serradella: Lupinen und Serradella werden von derselben Rhizobienart besiedelt. In der Praxis hängt die Notwendigkeit der Impfung stark



Foto: arava.gartensoja.de

Kichererbsen haben eher zierliche Knöllchen, bilden davon aber unter günstigen Bedingungen sehr viele aus.

vom Standort ab. Insbesondere bei den hochpreisigen Lupinen für den Konsum wird häufiger geimpft. Viele Praktiker impfen die Lupinenarten jedoch nicht, weil die Bestände von selber ordentlich Knöllchen ausbilden. Manche haben die Impfung mehrfach ausprobiert und keinen Effekt festgestellt. Dies deckt sich mit den Ergebnissen mancher Versuche. Auf anderen Standorten und Versuchen zeitigte die Impfung regelmäßig deutliche Mehrerträge. Der Anbau geimpfter Serradella als Zwischenfrucht ist ein möglicher Kunstgriff, um das Rhizobien-Niveau in Lupinen-Fruchtfolgen zu heben. In Australien gibt es für Serradella spezielle effizientere Rhizobienstämme, die bei uns jedoch nicht verfügbar sind.

Phaseolusbohnen: Interessanterweise haben Buschbohnen und andere Phaseolus-Arten oft bereits im Erstanbau Knöllchen, selbst wenn der Acker noch nie Phaseolus gesehen hat. Auf anderen Feldern bleiben die Knöllchen ohne Impfung auch nach mehrmaligem Anbau aus. Hier lohnt sich also genaues Hinschauen und gegebenenfalls ein vergleichender Anbau mit und ohne Impfung.

— Kontrolle: Hat sich die Impfung gelohnt?

Um für einen Standort zu entscheiden, ob zukünftig geimpft werden soll oder nicht, empfiehlt sich ein einfacher Tastversuch. Mit wenig Aufwand werden dazu möglichst auf mehreren Schlägen Streifen mit und ohne Impfung gesät, gegebenenfalls auch mit zwei oder drei verschiedenen Mitteln. Wichtig: Der N_{\min} -Gehalt sollte im Testjahr möglichst gering sein. Bei hohem N_{\min} -Werten (z. B. nach trockenem Winter oder ungeeigneter Vorfrucht) sind die Unterschiede mitunter zu gering, um sie in einem einfachen Feldversuch optisch zu erkennen. Einen guten ersten Eindruck bekommt man schon anhand der Blattfarbe. Bestände mit schlechterem Knöllchenbesatz hellen nach der Blüte auch schneller auf.

Die vielfach empfohlene Knöllchenbonitur ist recht aufwändig, wenn man belastbare Ergebnisse erzielen will. Ein Blick auf die Knöllchen lohnt sich jedoch immer, um einen groben Eindruck zu bekommen. Für ein genaueres Bild müssen bei feuchtem Boden mit dem Spaten jeweils mehrere Pflanzen ausgegraben und die Wurzeln vorsichtig freigelegt werden. Am besten werden die Wurzeln mit Wasser abgespült. Wichtig zu wissen ist, dass die Knöllchen mit dem Ende der Kornfüllung absterben. Nun ist es normal, wenn sie innen braun statt rot sind. Je nach Leguminosen-Art können Knöllchengröße, -form und -menge stark variieren.

Nach der Ernte geben Ertrag und Eiweißgehalt Aufschluss über die Wirkung der Impfung. Dabei sagt der Eiweißgehalt mehr aus als der Ertrag, weil er weniger von Bestandeslücken usw. beeinflusst wird als der Ertrag. Außerdem ist eine teilflächen-genaue Ertragsserhebung in der Praxis auch aufwändiger als eine sorgfältige Musternahme und Eiweißuntersuchung.

— Literaturtipps

Umfangreiche aktuelle Praxistipps zur Impfung, eine aktuelle Marktübersicht für Soja-Impfmittel sowie ein Video zur Impfung hat der deutsche Sojafördererring zusammengestellt:

www.sojafoerderring.de

In Australien werden sehr viele Hülsenfrüchte angebaut. Keine der bekannten Arten ist dort ursprünglich heimisch, entsprechend war das Thema Impfung dort bereits vor hundert Jahren entscheidend für den Anbau, es gibt deshalb etliche sehr gute Studien und Veröffentlichungen.

Hier zwei Einstiege, der erste kompakt:



der zweite sehr detailliert:



— Fazit

Die N-Verluste durch Auswaschung und Ausgasung sind bei Mineraldüngern doppelt so hoch wie bei biologisch fixiertem Stickstoff – bei erheblichem Verbrauch an fossiler Energie. In Anbetracht der allgemeinen Forderung nach einer umweltschonenderen Landwirtschaft dürfte daher der „grüne Stickstoff“ der Leguminosen in Zukunft auch außerhalb des Ökolandbaus stark an Bedeutung gewinnen. Bei verbesserter Anbaupraxis könnten viele Leguminosen-Bestände weit mehr Luftstickstoff binden. Die Erfahrungen dafür sind bereits vorhanden, weitere Erkenntnisse sind zu erwarten. Dabei sind Maßnahmen zur Verbesserung des Leguminosen-Anbaus stets Maßnahmen zugunsten der gesamten Fruchtfolge.

— Der Autor

Fabian von Beesten beschäftigt sich seit langem schwerpunktmäßig mit Sojaanbau und Saatgutvermehrung. Aktuell baut er einen Vertrieb für hochwertige Impfmittel für alle Hülsenfrüchte sowie für Edamame-Saatgut auf und hält Vorträge und Schulungen rund um die Sojabohne:

www.gartensoja.de