

Effiziente Nutzung von Wasser und Bor bei Raps

OPTIMALE BORVERFÜGBARKEIT STEIGERT DIE TROCKENRESISTENZ DER PFLANZE

Für das Wurzelwachstum, die Ausbildung der Rapsblüten und damit den Ertrag ist eine durchgängige Borversorgung der Pflanzen notwendig. Eine verminderte Wasserverfügbarkeit steht in Relation zum Bormangel, beides verschlechtert die Entwicklung der Pflanze.

Text & Bilder: J.B. Tölle, G.P. Bienert

Der Klimawandel in Europa bringt neben einer Erwärmung auch das häufigere Auftreten von zum Teil kontrastierenden Wetterextremen innerhalb einer einzigen Wachstumsperiode mit sich. Die Erfahrungen der letzten Jahre bestätigen dies: Auf niederschlagsreiche Winter folgen anhaltende Trockenperioden im Frühjahr oder umgekehrt. Solche Wetter-Abfolgen machen die Wasser- und Nährstoffakquirierung für Ackerpflanzen wie Winterraps (*Brassica napus*) und Sommerungen wie z. B. Mais (*Zea mays*) zu einer Herausforderung mit potenziell folgenschweren Konsequenzen für den Ertrag.

KLIMAWANDEL ERSCHWERT EINE AUSREICHENDE BORVERSORGUNG VON PFLANZEN

Höchstleistungssorten unterschiedlicher Kulturpflanzen sind an solche Wachstumsbedingungen nur bedingt angepasst. Bei den oben genannten Wetterabfolgen werden mobile Nährstoffe wie Nitrat, Sulfat und Bor bis zum Frühjahr ausgewaschen und können bei anschließenden Trockenperioden während der Nährstoff-Hochbedarfszeiten die Pflanzenwurzeln auf Grund des ausbleibenden Bodenwassermassenflusses nicht mehr schnell genug oder in nicht ausreichenden Mengen erreichen.

WASSERLIMITIERUNG UND BORMANGEL – SICH GEGENSEITIG VERSTÄRKENDE PROBLEME

Bor ist einer der am häufigsten im Mangel vorliegenden und aktiv verwalteten Mikronährstoffe in Kulturpflanzen (WIMMER ET. AL, 2020). Damit spielt im Besonderen seine

Abb. 1: Am linken Foto sieht man die Auswirkung von Bormangel auf das Wachstum der Staubblätter (Stamina), rechts eine bormangelbedingte Knospenwelke im Raps.



Verfügbarkeit unter diesen Bedingungen für die spätere Ertragsbildung bei Bor-Bedarfen wie z. B. Raps eine kritische Rolle. Eintretender Bormangel führt zu einer schnellen Hemmung (Inhibierung) des Wurzelwachstums. Das damit verbundene Ausbleiben der weiteren Durchwurzelung des Bodes bewirkt, dass benötigtes und bereits limitiert vorliegendes Wasser sowie weitere Nährstoffe weniger aufgenommen werden können. Somit entsteht ein „Teufelskreis“ bei einer verminderten Wasser- und/oder Bor-Verfügbarkeit von Pflanzen: Wasserknappheit führt zu Bormangel, welcher die Wasseraufnahme und die Wasser- und Nährstoffverteilung in Pflanzen zusätzlich vermindert, was wiederum den Bormangel verstärkt und so fort. Eine Abwärtsspirale, in der sich der physiologische Zustand der Pflanzen immer weiter verschlechtert. Entwicklungsdefekte in Pflanzenzellen führen des Weiteren dazu, dass sich Wasserleitbahnen in der Wurzel und im Spross nicht mehr funktionell ausdifferenzieren. Solche de-differenzierten Gewebe können nicht mehr effizient zur Aufnahme von Wasser und Nährstoffen sowie deren Verteilung innerhalb der Pflanze beitragen. Diese gewebespezifischen Schädigungen sind irreversibel und können durch eine erneute Bordüngung nicht rückgängig gemacht werden, sodass der Wasser- und Nährstofftransport in einmal geschädigten Wurzeln auch zu späteren Vegetationszeitpunkten beeinträchtigt bleibt. Der Borstatus einer Pflanze hängt damit unwiderruflich vom Wasserstatus ab und vice versa. Dementsprechend konnte gezeigt werden, dass eine dauerhaft-optimale Borverfügbarkeit die Trockenresistenz unterschiedlicher Kulturpflanzen steigert (NAEEM ET. AL, 2018; ABDEL-MOTAGALLYA ET. AL, 2018).

„BLÜHEN OHNE SAMENANSATZ“ – DIE BEDEUTUNG VON BOR WÄHREND DER BLÜTEZEIT

Auf molekularer Ebene ist Bor essenziell für die Vernetzung von Zellwandbestandteilen und entsprechend von besonderer Bedeutung für die Stabilität von Pflanzen, die Fruchtbarkeit und die Abwehrkraft gegenüber Pathogenen (BRDAR-JOKANOVIC, 2020; MARSCHNER, 2012). Unabhängig vom stark variierenden Bor-Bedarf während des vege-



Abb. 2: Am Bild links sieht man einen schwachen Bormangel (schwacher Blüten-ohne-Samenansatz-Phänotyp). Bei der rechten Blüte besteht kein Bormangel.

tativen Wachstums (hoher Bor-Bedarf bei Raps/Zucker- rübe/Leguminosen, intermediärer (mittlerer) Bor-Bedarf bei Mais und niedriger Bor-Bedarf bei Getreide wie Gerste) sind alle Kulturpflanzen während der reproduktiven Phase höchst anfällig für Bormangel (MARSCHNER, 2012). So werden zum Beispiel Bor-unterversorgte Mais-Schläge auf sandigen Böden beobachtet (www.yara.de). Der im vegetativen Wachstumsstadium latent fortschreitende Bormangel resultiert letztendlich in einem verminderten Ertrag. Dies liegt an der Tatsache, dass Bormangel während der reproduktiven Wachstumsphase aller Samenpflanzen aufgrund einer gestörten Pollenentwicklung zu einer männlichen Sterilität führen kann, obwohl Blüten phänotypisch fast normal ausgebildet werden, oder dass Blütenknospen sich nicht voll entwickeln, sondern absterben wie z. B. bei der Knospenwelke in Raps (MARSCHNER, 2012). Im Folgenden werden bei Raps keine Samen in den Schoten gebildet. Deshalb wird dieses Phänomen auch als „Blühen ohne Samenansatz“-Phänotyp beschrieben. Im Extremfall ist ein signifikanter Ertragseinbruch möglich. Genotypen, die unter klimabedingten Bormangelbedingungen trotzdem einen stabilen Ertrag erzielen, werden als Bor-effizient bezeichnet. Systematische Züchtungsansätze, welche auf Bor-effiziente bzw. gekoppelte Wassernutzungs- und Bor-effiziente Sorten abzielen, würden somit eine nachhaltige Strategie darstellen, um eine ertragsstabile Produktion von Lebensmitteln in dem sich ändernden Klimakontext sicherzustellen. Fatalerweise wird ertragsschädigender Bormangel, welcher sich im Inneren der Pflanze oder unterirdisch im Wurzelsystem manifestiert, durch die landwirtschaftliche Diagnostik, als solcher, meist nicht ans Tageslicht gebracht. Dementsprechend werden Bormangel bedingte Ertragseinbußen in den meisten Fällen nicht auf Bormangel zurückgeführt. So wurde z. B. 2018 in Deutschland die klimabedingt auftretende Knospenwelke und der ausbleibende Schotenansatz beim Raps, welcher zu einer 29%igen Ertragsreduktion gegenüber dem mehrjährigen Durchschnitt führte, durch die Frühjahrstrockenheit erklärt, obwohl Pflanzen deutliche Bormangelsymptome aufwiesen.

BOR-EFFIZIENTE RAPS-KULTIVARE IN GENBANK ENTDECKT

Die Arbeitsgruppe der Professur für Crop Physiology, der Technischen Universität München (www.mls.ls.tum.de/en/cropphys/home) zielt im Rahmen des Projektverbunds „BayKlimaFit 2 – Starke Pflanzen im Klimawandel“ (www.bayklimafit.de/startseite), finanziert vom „Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, darauf ab, Wissen zu generieren, welches erlaubt, zukünftig gezielt 1. genetisch determinierte gekoppelte Boreffizienz- und Wassereffizienzmechanismen für die Züchtung ertragsstabiler Sorten verfügbar zu machen und dies mit 2. einem optimierten Bor-Düngemittelmanagement zu kombinieren, um eine gesunde Wurzel-, Spross- und Blütenentwicklung im Frühjahr/Sommer, selbst bei klimabedingt limitierender Wasserknappheit oder Trockenstress, sicher zu stellen.

In einem umfangreichen Screening konnte das Team unter rund 590 Raps-Genotypen aus der Genbank des IPK Gatersleben, welche Genotypen aus der ganzen Welt beinhaltet, drei hoch Bor-effiziente Raps-Akzessionen identifizieren, welche mit Bor-Konzentrationen weit unter dem Bormangel Gewebeswellenwert von ca. 10–60 mg pro kg Spross-Trockengewicht zur Blüte kommen können (POMMERRENG, 2018). Diese Rapslinien stellen für die Arbeitsgruppe wertvolle genetische Ressourcen zur Aufklärung genetischer, molekularer und physiologischer Faktoren dar, die die Boreffizienz bestimmen. Die Genotypen-Identifizierung gelang nur durch die Entwicklung eines auf Boden-Substrat (Frühstorfer Nullerde) basierenden Anzuchtssystems, das die Analyse von Spross- und Wurzelmerkmalen unter streng kontrollierten und vor allem wiederholbaren Borverfügbarkeiten erlaubt (POMMERRENG, 2018). Dieses nicht-triviale System erlaubt im Gegen-

Abb. 3: Die Boden- und wasserabhängige Borverfügbarkeit unterschiedlich gedüngter „Bor-Formen“ kann dazu führen, dass die entwickelnden Blüten nicht in ausreichender Menge mit Bor versorgt werden können, was eine reduzierte Fruchtbarkeit zur Folge hat.

KlimaFITte Bor-Dünger

Ein Boden- und Klima-angepasstes B-Management ist notwendig



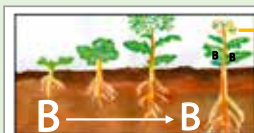
➤ **Borsäure**
– schnell verfügbar

zur Blüte:
– wenig B im Boden
– viel B in Blättern



➤ **Borax**
– moderat verfügbar

zur Blüte:
– moderat B im Boden
– moderat B in Blättern



➤ **Colemanit / Ulexit**
– langsam verfügbar

zur Blüte:
– viel B im Boden
– wenig B in Blättern

satz zu oft verwendeten hydroponischen Systemen oder reinen Sandsubstraten, ganz neue Fragestellungen in Hinblick auf den Mikronährstoff Bor zu bearbeiten. Aus der Kreuzung zweier Raps-Eltern, die sich in ihrer Bor-Effizienz und Wurzelsystemarchitektur extrem unterscheiden, CR2267 (Bor-effizient, taiwanesischer Blattrops) und CR3153 (Bor-ineffizient, kanadischer Ölrops) wurde eine doppelhaploide (DH) Rapspopulation generiert, welche aus vollständig reinerbigen Pflanzen besteht und so die Identifizierung von Genen, welche bestimmte Merkmale wie z. B. die Bor-Effizienz kodieren, erleichtert.

DER BOREFFIZIENZ BEIM RAPS AUF DER SPUR

Um molekular und physiologisch gekoppelte Wassernutzungs- und Boreffizienzmechanismen in Raps zu identifizieren, wurde in einem Gewächshausversuch eine Wachstumssituation für Frühjahrstrockenheit unter limitierter Borversorgung an der DH-Rapspopulation sowie deren Elternlinien erfolgreich simuliert. Es konnten Linien identifiziert werden, die sich unter kombinierter Wasser- und Borlimitierung in Bezug auf Biomasseaufbau und Blütenfertilitätsindikatoren nicht wesentlich von den Elternlinien, welche unter optimaler Wasser- und Borverfügbarkeit wuchsen, unterschieden. Dies deutet darauf hin, dass gekoppelte und nicht-gekoppelte Wassernutzungs- und Boreffizienzmechanismen in der Population vorliegen und genetisch kodiert sind.

Zwei vielversprechende Genomabschnitte, welche wohl für die Effizienzen verantwortlich sind, konnten identifiziert werden. Deren zugrundeliegende und noch zu identifizierende Gene werden im Moment weiter bearbeitet, um diese in Zukunft Züchtern für die züchterische Verwertung zur Verfügung zu stellen.

BORMANGEL FRÜHZEITIG ERKENNEN

Gleichzeitig konnten bestimmte Gene identifiziert werden, die für eine sichere Bormangel-Erkennung, noch weit bevor dieser sichtbar wird, in molekularen Laborstudien unabhängig von der Rapsorte benutzt werden können. Die Zuverlässigkeit dieser Biomarker, unabhängig vom Pflanzenorgan, wurde in weiteren Bor-bedürftigen Pflanzen erfolgreich getestet. Leider sind transkriptionelle Expressionsanalysen heutzutage noch nicht felddauglich und zudem noch viel zu teuer für eine breite Anwendung.

Die Arbeitsgruppe arbeitet zudem intensiv an einer detaillierten entwicklungsabhängigen, phänotypischen Beschreibung unterschiedlicher Bormangelsymptomentwicklungen bei Rapsinfloreszenzen, wie sie unter Bormangel und wasserlimitierten Wachstumsbedingungen auftreten. Diese soll es zukünftig erleichtern, Symptome im Feld besser einzuordnen und Entscheidungen über Düngemaßnahmen gezielter bzw. frühzeitiger treffen zu können, um unter Wasser- und Bor-limitierenden Bedingungen trotzdem eine möglichst große, qualitativ hochwertige und keimfähige Samenanzahl zu produzieren.

DIE BORSPEZIES UND DER APPLIKATIONSZEITPUNKT ENTSCHEIDEN ÜBER DEN DÜNGERFOLG

Neben einer erforderlichen züchterischen Anpassung der Sorten an den Klimawandel selbst, ist ein damit verbundenes angepasstes Düngemittel-Management notwen-

dig. Speziell angepasste Bor-Dünger-Formulierungen oder Applikationen, welche die klimabedingte Wasserverfügbarkeit im jeweiligen Boden-Typ berücksichtigen, sind nicht Bestandteil gängiger Dünge-Praktiken. Der Zusammenhang zwischen Wassernutzungs- und Bor-Effizienz findet in der Praxis kaum Beachtung. Ob schnell oder langsam pflanzenverfügbare Bor-Verbindungen, oder eine Kombination beider, eine ausreichende Borversorgung im zu erwartenden Klimakontext und vor allem bei Bodentrockenheit sicherstellen können, sollte verstärkt Gegenstand aktueller Forschung werden. Dementsprechend beforcht die Arbeitsgruppe im Rahmen des BayKlimaFit2 Projektverbundes am System Boden, komplementär zu den Untersuchungen am System Pflanze, die Düngewirkung der potenziell schnell bzw. langsam pflanzenverfügbaren Bor-Verbindungen Borsäure, Borax, Zinkborat, Ulexit und Colemanit unter Bormangelbedingung und Wasserlimitierung während der Rapsblüte. Es zeigte sich in Boraufnahme- und Wachstumsversuchen, dass die applizierten Bor-Verbindungen aufgrund der verschiedenen schnellen Pflanzenverfügbarkeit, entweder durch deren Löslichkeit oder durch Komplexbildungen im Boden, in unterschiedlichen Entwicklungsstadien quantitativ unterschiedlich aufgenommen werden und damit während der Blütenknospenbildung nur noch bedingt und in Abhängigkeit der absoluten Düngegabe zur Bildung fertiler Blüten zur Verfügung stehen. Folglich resultierten unterschiedliche Schweregrade des Bormangels, unterschiedliche Bormangelsymptome während der Rapsblüte und damit eine variierende Reduktion der Fertilität. Dies deutet darauf hin, dass eine längerfristige Kombination aus unterschiedlich schnell verfügbaren Bor-Spezies zu einer optimaleren Borversorgung von Kulturpflanzen über die Vegetationsperiode hinweg führen kann als die Gabe einzelner Bor-Spezies. Unter schweren Bormangel- und trockenen Wachstumsbedingungen geht keine der applizierten Borverbindungen mit einer gesteigerten Fertilität einher. Dies zeigt deutlich, wie wichtig eine ausreichende Bodenwasserversorgung in Borbedarfszeiten ist. Eine wichtige Komplementierung zur Borbodendüngung ist selbstverständlich eine Borblattspritzung, um den Mikronährstoff zur richtigen Zeit direkt an die Orte des Bedarfes in den Pflanzen zu bringen. ■

Dieses Projekt wird im Rahmen des Projektverbunds „BayKlimaFit 2 - Starke Pflanzen im Klimawandel“ vom „Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz“ finanziert.

Verwendete weiterführende Literaturangaben bei der Redaktion erhältlich.

DIE AUTOREN

Prof. Dr. Gerd Patrick Bienert und Jilina Bernadette Tölle,
Technische Universität München
E-Mail: patrick.bienert@tum.de