

Trockentoleranz bei Kartoffeln und Ackerbohnen

Durch Züchtungsforschung zu angepassten Kulturpflanzen

Christiane Balko (Groß Lüsewitz)

Auch wenn noch nicht im Einzelnen vorhersagbar ist, wie sich die prognostizierten Klimaänderungen auf regionaler Ebene konkret auswirken, so deutet doch viel darauf hin, dass die Sommer in Mittel- und Südeuropa im Mittel niederschlagsärmer werden. Die Landwirtschaft bekommt die Folgen des veränderten Klimas auf Grund ihrer hohen Abhängigkeit von den natürlichen Umweltbedingungen ganz besonders zu spüren. Pflanzenzüchtung ist eine wichtige Präventionsmaßnahme, um klimatischen Einflüssen zu begegnen – dazu gehört auch die Züchtung auf Trockentoleranz bei den Kulturpflanzen, die besonders empfindlich auf Trockenheit reagieren, zum Beispiel Kartoffeln und Ackerbohnen. Dabei haben die Züchtungsforscher nicht nur stabile Erträge im Blick, sondern auch die Sicherung der Qualität für den Food- und Nonfood-Bereich.

Trockenstress und Trockentoleranz

Trockenstress ist für die Kulturpflanze ein komplexes Problem. Mehrere Faktoren wirken hier zusammen: der Zeitpunkt der Trockenheit, die Dauer der Stressphase

und die Intensität der Trockenheit. Diese wiederum hängt ab von Bodenwasserhaushalt, Luftfeuchte, Temperatur, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und anderen Faktoren. Doch auch wie die Pflanze auf den Trockenstress reagiert, wird von vielen verschiedenen Merkmalen beeinflusst. Das macht die Arbeit der Züchter

und Züchtungsforscher nicht gerade einfach.

Um auf Trockentoleranz selektieren zu können, muss das Erbgut der Pflanzen für dieses Merkmal eine genetische Variabilität aufweisen. Für die praktische Arbeit sind indirekte Selektionskriterien von Vorteil, die einfach zu messen und deutlich mit der Trockentoleranz korreliert sind. Zunächst aber muss klar sein, was unter Trockentoleranz überhaupt zu verstehen ist.

Trockentoleranz wird – ebenso wie die Toleranz gegenüber anderen abiotischen Stressfaktoren – definiert als das Ertragen der Stresssituation unter weitgehender Beibehaltung der physiologischen Aktivität. Aus Sicht der Landwirtschaft heißt das: Eine tolerante Kulturpflanze kann auch unter Einwirkung von Trockenstress (Abb. 1) noch relativ hohe Erträge bringen. Ist der Ertragsverlust in einem trockenen Jahr im Vergleich zu einem feuchten Jahr gering, spricht man von Ertragsstabilität. Ertragsstabilität ist vor allem bei Kulturarten, die große Ertragsschwankungen bei Trockenheit aufweisen, von Interesse. Neben der Höhe des Ertrags spielt aber auch – sowohl im Food- als auch im Nonfood-Bereich – die Qualität des Ernteguts eine wichtige Rolle.



Abb. 1: Demonstrationsversuch zum Wachstum von Kartoffeln unter Trockenstress. Tolerante Sorten können auch unter Stressbedingungen noch relativ hohe und stabile Erträge bringen.

Beispiele Kartoffel und Ackerbohne

Im Mittelpunkt unserer Untersuchungen am Institut für abiotische Stresstoleranz der Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen (BAZ) stand die Ertragsstabilität bei den trockenheitsempfindlichen Kulturpflanzen Kartoffel und Ackerbohne. Dazu wurden verschiedene Genotypen in mehrjährigen Feldversuchen an verschiedenen Standorten sowie unter Stress- und Kontrollbedingungen mit Hilfe von Rain out-Sheltern – das sind stationäre oder mobile, lichtdurchlässige Überdachungen, die den Niederschlag von den Versuchspartzellen abhalten – und Tröpfchenbewässerung angebaut (Abb. 2). In begleitenden Gefäßversuchen wurde Trockenstress durch eine Reduktion der Wasserkapazität des Bodens in verschiedenen Entwicklungsstadien der Pflanze simuliert.

Feld- und Gefäßversuche ergaben, dass die Ertragsstabilität zwischen den verschiedenen Ackerbohnen- und Kartoffelgenotypen unter Trockenstressbedingungen eine beträchtliche Variabilität aufweist. Bei der Kartoffel konnte gezeigt werden, dass diese Variabilität durch die Einbeziehung von Wildarten noch erhöht wird (Abb. 3).

Bei der Ackerbohne nahm die Ertragsstabilität mit zunehmendem Ertragsniveau ab. Das hat zur Folge, dass eine Selektion auf hohes Ertragsniveau in der Regel zu wenig ertragsstabilen Typen führt und umgekehrt eine Selektion auf Ertragsstabilität zu ertragsschwachen Genotypen. Bei Kartoffeln hingegen ist die Kombination von Ertragsstabilität mit hohen Stresserträgen eher möglich. Dies hängt sehr wahrscheinlich mit der untersuchten Fähigkeit einiger Kartoffelgenotypen zusammen, Wasser unter Trockenstress effizienter zu nutzen.

Wasser und Wassernutzungseffizienz

Die Ertragsbildung unter Trockenstressbedingungen hängt wesentlich vom Umgang der Pflanze mit der Ressource Wasser ab. Zwei Komponenten spielen eine



Abb. 2: Trockenstressversuche mit Kartoffeln in Rain out-Sheltern

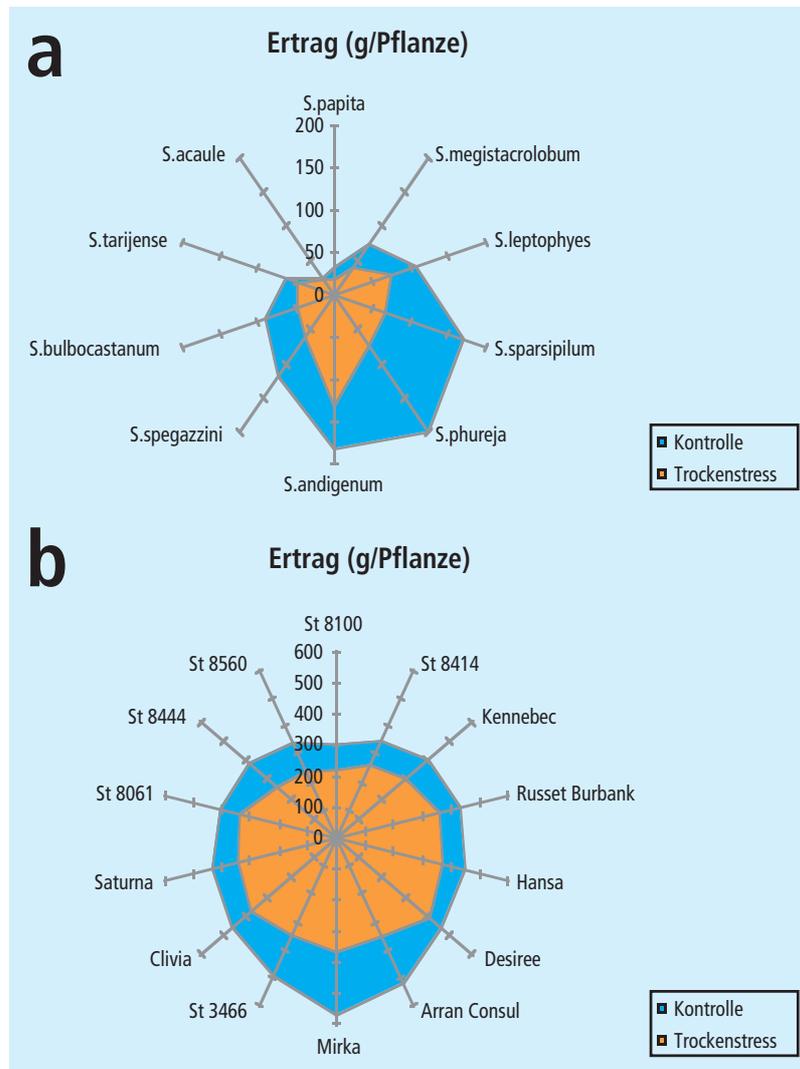


Abb. 3: Ertrag von (a) wilden Kartoffelformen und (b) Kulturkartoffeln unter Kontroll- und Trockenstressbedingungen (Gefäßversuch)

Rolle: das Wasseraneignungsvermögen und die Wassernutzungseffizienz.

Um zu sehen, in welchem Maße die Pflanzen in der Lage sind, sich das wenige vorhandene Wasser anzueignen, wurden Keramiksaugsonden unter den Parzellen in die Erde gebracht. Mit Hilfe eines Tensiometers konnte dort die Bodensaugspannung gemessen und daraus indirekt auf die Saugkraft der Wurzeln geschlossen werden (Abb. 4).

Im Verlauf der Entwicklung der Pflanzenbestände zeigten sich bei den einzelnen Genotypen Unterschiede in der Saugspannung (Messtiefe 60 cm) – sowohl bei Kartoffeln als auch bei Ackerbohnen. Die im Mittel der Stressperiode erreichte Saugspannung korrelierte mit der oberirdischen Biomassebildung und auch mit dem unter Stress gebildeten Ertrag, war jedoch kein Maß für die Ertragsstabilität.

Die Fähigkeit, sich Wasser aus dem Boden anzueignen, ist aber nur eine Seite der Medaille. Wichtig ist auch, wie die Pflanze das angeeignete Wasser nutzt. Die Wassernutzungseffizienz ist ein Maß dafür, wie effektiv die Pflanze Wasser in Biomasse bzw. in Ertrag umsetzt.

Untersuchungen dazu erfolgten in Gefäßversuchen, wobei die durch die Pflanzen entzogene Wassermenge täglich bis zu einem bestimmten Anteil der maximalen Wasserkapazität des Bodens ersetzt wurde. Die so konsumierte Wassermenge wurde in Relation zum Ertrag gesetzt.

Bei den untersuchten Ackerbohnen änderte sich die Wassernutzungseffizienz in



Abb. 4: Mit Hilfe von Keramiksaugsonden im Boden und Tensiometermessungen kann die Bodensaugspannung ermittelt werden – ein indirektes Maß für die Saugkraft der Wurzeln.

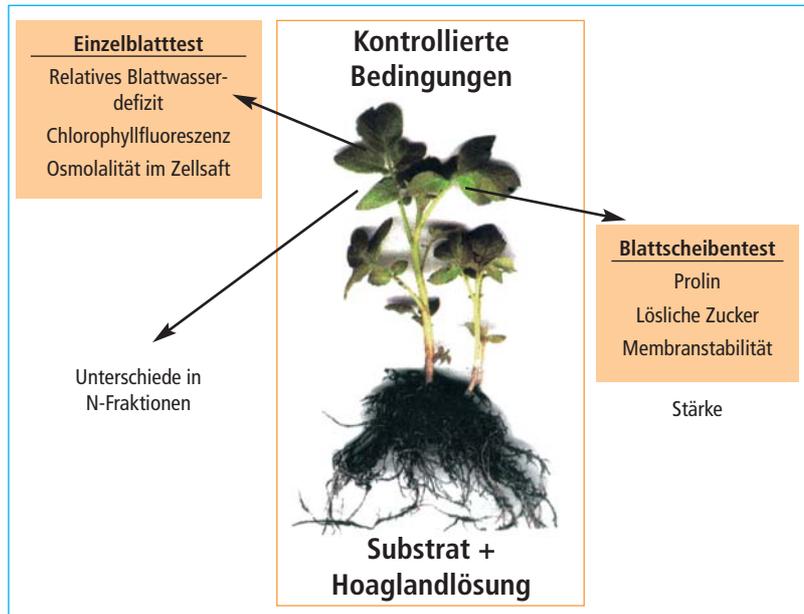


Abb. 5: Bestimmung von Veränderungen an Kartoffelblättern bzw. Ackerbohnenblättern im Labortest unter kontrollierten Trockenstressbedingungen – die unterlegten Merkmale werden als indirekte Selektionskriterien serienmäßig bestimmt

Reaktion auf den Trockenstress kaum. Im Gegensatz dazu waren bei Kartoffeln eine Reihe von Genotypen in der Lage, die Wassernutzungseffizienz bei Trockenstress noch zu steigern. Dieselben Genotypen hoben sich auch durch höhere Stresserträge und eine bessere Ertragsstabilität hervor. Damit spielt die Wassernutzungseffizienz zumindest bei der Trockentoleranz der Kartoffel als Selektionskriterium eine wichtige Rolle.

Indirekte Selektionskriterien

Untersuchungen zur direkten Beurteilung der Trockentoleranz, die die gleichzeitige Kultivierung von Genotypen in gut bewässerten und trocken gestressten Umwelten einschließen, sind im Allgemeinen teuer und die Anzahl der Testkandidaten ist meist begrenzt. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, indirekte Selektionskriterien zu identifizieren, die in möglichst frühen Entwicklungsstadien der Pflanze genutzt werden können und die für ein Screening größerer Genotypenzahlen geeignet sind.

Eine Reihe von Merkmalen (Abb. 5), die zur Ertragsstabilität unter Trockenstress beitragen, können bereits an 3–4 Wochen alten Pflanzen bestimmt werden, die unter kontrollierten und damit reproduzierbaren Bedingungen in einer Klimakammer angezogen wurden.

Das Einrollen der Blätter wird in der Praxis immer wieder als Merkmal für die Empfindlichkeit gegenüber Trockenheit herangezogen. Ein damit in Zusammenhang stehendes, aber nicht immer übereinstimmendes Merkmal ist das relative Wasserdefizit des Blattes unter kontrollierten Stressbedingungen. Dieses erwies sich als gut reproduzierbarer Indikator

(Abb. 6), welcher bei den untersuchten Kartoffellinien signifikant negativ mit der Ertragsstabilität wie auch mit dem Ertrag unter Trockenstress korrelierte. Das heißt, je geringer das relative Wasserdefizit, umso stabiler war der Ertrag. Bei Ackerbohnen jedoch war der Indikator weder mit Ertrag noch mit Ertragsstabilität korreliert.

Die Chlorophyllfluoreszenz ist ein sehr komplexes Merkmal, das die Effizienz des Elektronentransports in der Photosynthese widerspiegelt und somit Schäden am Photosyntheseapparat sichtbar machen kann. Unsere Ergebnisse ergaben bei Trockenstress genotypische Unterschiede im Quantenertrag Φ_{PSII} (einem Näherungswert für die Effizienz des Photosystems II), die bei beiden untersuchten Kulturarten tendenziell negativ mit der Ertragsstabilität korreliert waren.

Auch die Stabilität der Zellmembran wird als ein guter physiologischer Indikator der Trockentoleranz angesehen. Unter simulierten Stressbedingungen wurde sie im Test mit Hilfe der Leitfähigkeitsmethode bestimmt. Bei Ackerbohnen ergaben sich Unterschiede in der Membranstabilität der einzelnen Genotypen, die sowohl mit der Änderung von Φ_{PSII} als auch mit dem relativen Wasserdefizit korreliert waren, selbst aber nicht signifikant zur Variabilität der Ertragsstabilität oder der des Stressertrages beitragen. Bei Kartoffeln konnte keiner dieser Zusammenhänge bestätigt werden.

Es ist bekannt, dass zahlreiche Pflanzenarten bei Trockenstress in ihren

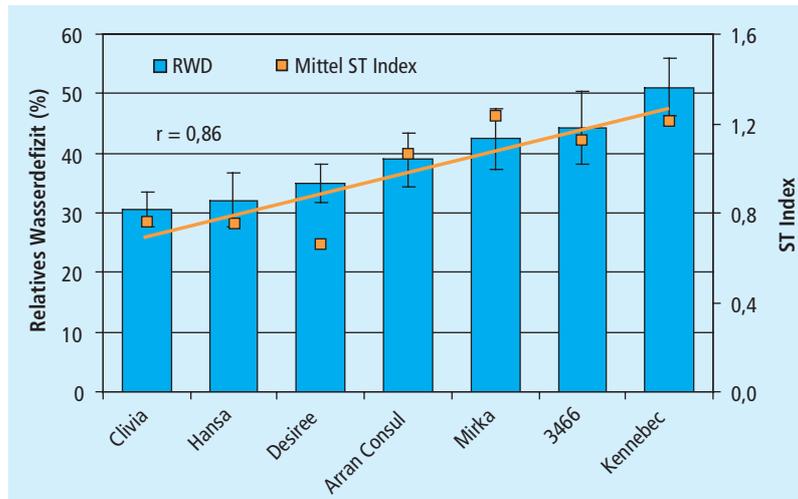


Abb. 6: Relatives Wasserdefizit des Blattes unter simulierten Welkebedingungen und Korrelation zur Ertragsstabilität bei Kartoffeln

Zellen freies Prolin – eine bestimmte Aminosäure – anreichern. Im Allgemeinen wird eine hohe Prolin-Akkumulation mit einer größeren Toleranz gegenüber Trockenstress in Zusammenhang gebracht, auch wenn die Rolle von Prolin bei der Verbesserung der Toleranz noch nicht völlig geklärt ist. Es wurde ein Blattscheibentest entwickelt, der es erlaubt, die Prolin-Akkumulation unter osmotischem Stress reproduzierbar zu bestimmen. Auf Grund einer signifikanten Korrelation der Prolin-Akkumulation zur Ertragsstabilität der untersuchten Genotypen beider Kulturarten lässt sich dieses Merkmal gut als indirektes Selektionskriterium nutzen (Abb. 7).

Analog zu Prolin treten im Blattgewebe auch Veränderungen im Gesamtgehalt löslicher Zucker unter Trockenstress auf. Diese Veränderungen wurden in einem Blattscheibentest unter simulierten Welkebedingungen ermittelt. Bei Kartoffeln wie auch Ackerbohnen konnte dabei ein Anstieg im Gesamtgehalt löslicher Zucker in den Blattscheiben beobachtet werden. Obwohl die Korrelation zu Stressertrag und Ertragsstabilität bei beiden Kulturarten nicht signifikant war, kann bei Kartoffeln eine Differenzierung in tolerante und sensitive Genotypen vorgenommen werden.

In der Zusammenfassung ergibt sich, dass die geprüften Merkmale unterschiedlich gut geeignet sind, die Ertragsstabilität unter Trockenstress auf indirekte Weise zu charakterisieren. Gute indirekte Selektionskriterien sind die Akkumulation von freiem Prolin, die Chlorophyllfluoreszenz sowie bei Kartoffeln das relative Wasserdefizit des Blattes. Letztendlich wird es aber notwendig sein, mehr als ein Merkmal für die Charakterisierung der Trockentoleranz eines Genotyps zu berücksichtigen, um die komplexe Pflanze-Stress-Interaktion hinreichend widerzuspiegeln.

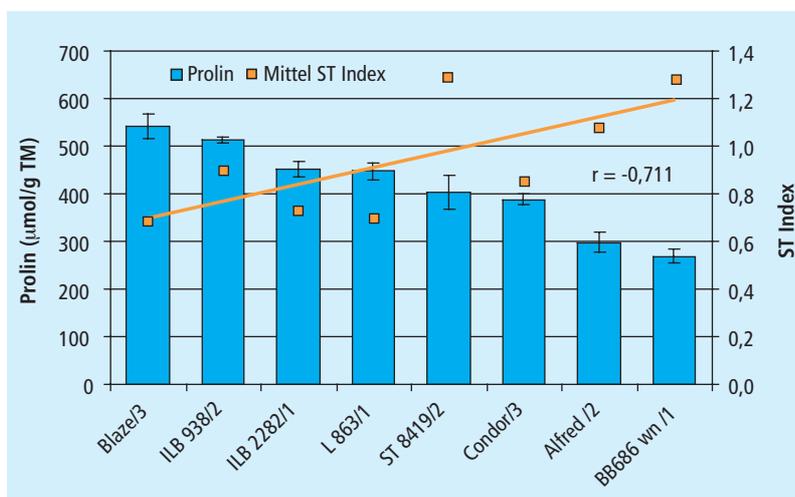


Abb. 7: Akkumulation von freiem Prolin in Blattscheiben von Ackerbohnen unter simuliertem Trockenstress und Korrelation zur Ertragsstabilität



Dr. Christiane Balko, Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen (BAZ), Institut für abiotische Stresstoleranz, Rudolf-Schick-Platz 3, 18190 Groß Lüsewitz. E-Mail: c.balko@bafz.de