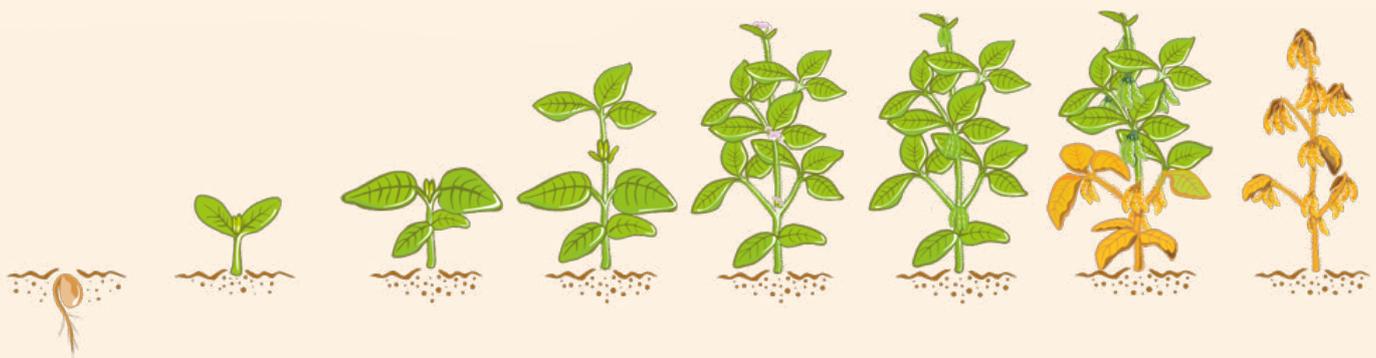


Taifun Sojainfo

Fachinformationen für Sojaerzeuger und -verarbeiter

Landwirtschaftliches Zentrum
für Sojaanbau und Entwicklung

Entwicklungsstadien und Bedürfnisse der Sojabohne



Keimung	Laubblattentwicklung				Blühbeginn	Samenbildung in den Hülsen	Kornfüllung	Bohnenreife und Ernte
BBCH-STADIEN								
06	10	11	12	60	79	85	89	

Quelle: EURALIS Saaten

Entwicklungsstadien amerikanische Literatur							
VE	VC	V1	V2	R1	R4 –R6	R8	

Abbildung 1: Vergleich des europäischen und amerikanischen Systems der Einteilung der Entwicklungsstadien von Soja (Euralis Saaten, Taifun).

Die Ertragsbildung von Pflanzen wird in der Literatur (Murata, 1969) in drei Phasen eingeteilt:

1. Phase: Bildung der pflanzlichen Organe zur Nährstoffaufnahme und Photosynthese (vegetatives Wachstum)
2. Phase: Bildung der Blüten und Samen (generative Phase)
3. Phase: Bildung, Akkumulation und Verlagerung der für den Ertrag wichtigen Komponenten (Samenfüllung)

Im europäischen Raum wird die sogenannte BBCH - (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) Skala verwendet, um die morphologischen Entwicklungsstadien einer Pflanze einheitlich zu bestimmen. Die Skala teilt sich in Makrostadien, die wiederum in Mikrostadien differenziert werden. Im ameri-

kanischen Raum werden die Entwicklungsstadien in vegetative (V-Stadien) und generative/reproduktive Stadien (R-Stadien) unterteilt. Ein Vergleich der beiden Systeme findet sich in Abbildung 1.

Zunächst bildet die Sojabohne im **vegetativen Wachstum** Blätter und Nodien aus, um Photosynthese betreiben zu können. Während der Keimung (Abb. 2) muss die Bodentemperatur mindestens 10 °C betragen, außerdem muss ausreichend Wasser vorhanden sein. Nachdem die Kotyledonen und das erste Blatt voll entfaltet sind (BBCH 10, Abb. 3), versorgen die Energiereserven im Korn sowie die Photosynthese der Kotyledonen den Sämling mit den erforderlichen Nährstoffen für ca. 7 – 10 Tage. Dabei verlieren die Kotyledonen etwa 70 % ihres Trockengewichts. Die Photosyntheserate wird von der gegebenen Photosyntheseleistung der Blätter sowie den Umweltbedingungen wie Sonneneinstrahlung, CO₂-Konzentration,

Temperatur sowie Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit bestimmt. Beikräuter, pilzliche oder bakterielle Krankheiten sowie Schadinsekten können die Photosyntheserate direkt z. B. durch die Reduzierung der Blattfläche oder indirekt z.B. durch Konkurrenz um Wasser beeinträchtigen. In den Entwicklungsstadien 11 – 13 bzw. V1 – V3 entfalten sich das erste bis dritte Dreiblatt. Im V2-Stadium beginnt die aktive N₂ – Fixierung. In den folgenden Stadien V_n bzw. 1_n (wobei n für das n-te vollständig entfaltete Dreiblatt stehen) beträgt das Wurzelwachstum ca. 1 – 2 cm pro Tag.

Die Dauer der vegetativen Wachstumsphase ist abhängig von der Reifegruppe der Sorten. So zeigten in Versuchen mit Sojabohnensorten verschiedener Reifegruppen die später reifen Sorten auf Grund ihrer längeren vegetativen Wachstumsphase eine höhere Bildung an Biomasse als die frühreiferen Sorten (Egli, 2010). Im Vergleich bildeten Sorten der Reifegruppe IV bei Saat Mitte Mai 44% mehr Biomasse in 23 Tagen als zeitgleich gesäte Pflanzen der Reifegruppe I (Egli und Bruening, 2000).

Das Erscheinen der ersten Blüten (Abb. 4) bestimmt den **Beginn des generativen Wachstums** und den Beginn der 2. Phase. In den Stadien R1 bzw. 61 (zu Beginn der Blüte) beträgt das Wurzelwachstum ca. 3 – 8 cm pro Tag und der Wasserbedarf steigt. Diese Phase endet mit dem Entwicklungsstadium R 6 (s.u.), wenn alle Samen angelegt sind und sich deren Anzahl während des generativen Wachstums nicht mehr ändert. Zum Ende der 2. Phase ist der Wasserbedarf der Sojapflanzen am höchsten (s. Tabelle 1 und 2). Tritt hier Trockenstress auf, wird der Ertrag reduziert. Dies liegt vor allem daran, dass die Pflanzen weniger Seitentriebe und somit auch weniger Hülsen ausbilden. Die Blühphase der Sojabohne ist ca. 20 – 40 Tage lang, wobei aber mehr als 70% der Blüten in weniger als der Hälfte der Länge der Gesamtperiode gebildet werden. Genauso wurden in einer Arbeit von Egli und Bruening (2002) 70-80% der Hülsen in nur 12 Tagen einer insgesamt 30-40 Tage langen Hülsenbildungsphase gebildet. Sorten mit determiniertem (begrenztem) Wuchs haben eine kürzere Hülsenbildungsphase als Sorten mit undeterminiertem (unbegrenztem) Wuchs. Die Anzahl der Samen und der Hülsen ist in dieser Phase direkt mit der Photosyntheserate verbunden. Eine erhöhte Photosyntheserate (z.B. durch erhöhtes CO₂ oder mehr Licht und/oder Wasser) erhöht auch die Anzahl der Hülsen und Samen (Hardman und Brun, 1971).

Tabelle 1: Wasserverbrauch zu späten generativen Wachstumsstadien (Yonts, 2008).

Wachstumsstadium	Ungefähre Anzahl Tage bis zur Reife	Wasserverbrauch bis zur Reife (mm)	Mittlerer Wasserverbrauch (mm/Tag)
Ende der Hülsenbildung	37	229	6,2
Beginn des Samenwachstums	29	171	5,9
Ende des Samenwachstums	18	90	5,0
Reife	0	0	0

Tabelle 2: Sojawachstum und Wasserverbrauch (Tacker und Vories, 2017).

Pflanzenentwicklung	Wasserverbrauch (mm/Tag)
Keimung und Sämling	1 – 2,5
Schnelles vegetatives Wachstum	2,5 – 5
Blüte und Hülsenfüllung	5 – 8
Reife bis Ernte	1 – 5

Der Beginn der 3. Phase, der **Samenfüllung**, ist der Beginn der Ertragsanreicherung (Ertragsbildung) (Abb. 5). Jetzt verlangsamt sich das Wurzelwachstum - das Wurzelsystem ist vollständig entwickelt - und die Maxima der Pflanzenhöhe, Nodienanzahl sowie der Blattfläche werden erreicht (zwischen R5 und R6). Zu Beginn dieser Phase ist noch kein Ertrag vorhanden, aber die ganze Pflanze ist darauf programmiert, den Ertrag zu bilden. Die Samenfüllungsphase ist normalerweise 30-40 Tage lang (R5 bis R7), was weniger als 40% des gesamten Wachstumszyklus entspricht (Egli, 2010). Neben den aktuellen Photosyntheseprodukten werden auch schon vorher gespeicherte Kohlenhydrate verlagert. Bei Sojabohnen macht diese Umlagerung aber nur ca. 15% der gesamten Samenmasse aus (bei Weizen sind es bspw. 20-50%). Bei der Samenfüllung kommt es dann auch zu einer Verlagerung der Nährstoffe aus Blättern, Stängeln oder Hülsengewebe in den Samen. Bei N und P geschieht die Verlagerung vor allem aus den Blättern, bei K wird zweimal mehr aus den Stängeln verlagert als aus Blattgewebe. Bei Kupfer wird die Hälfte des in den Blättern vorhandenen Kupfers in die Körner verlagert (s. Abb. 7 a und b).

Wasserstress in der Phase der Samenfüllung hat einen direkten Einfluss auf den Ertrag. Schon eine kurze Stressphase von nur 3 Tagen reicht aus, um zu kleineren, frühreiferen Körnern und einem geringeren Kornertrag zu führen. Die mangelhafte Wasserversorgung verkürzt die Samenfüllungsphase, indem das Absterben der Blätter gefördert wird. Dieser Vorgang ist irreversibel, auch wenn wassergestresste Sojabohnen später wieder genügend Wasser zur Verfügung haben (Brevedan und Egli, 2003).

Aus diesem Grund sollte bei anhaltender Trockenheit in dieser 3. Phase auch nicht zu lange mit der Bewässerung gewartet werden, um Ernteeinbußen zu minimieren. Der Wasserbedarf während dieser Phase liegt mit 5 – 8 mm / Tag am höchsten in der Vegetationsperiode (s. Tabelle 1 und 2). Zu wenig Stickstoff verkürzt die Füllungsphase ebenfalls und beschleunigt die Blattalterung. Die physiologische Reife bezeichnet das Ende der 3. Phase und des ertragsbildenden Prozesses (Abb. 6).

Nährstoffbedarf der Sojabohne zu den unterschiedlichen Entwicklungsstadien

Auch der Nährstoffbedarf der Sojabohnen während der Vegetationsperiode kann generell in drei Phasen unterteilt werden (Bender et al., 2015):

- 1) langsame Aufnahme für 30 Tage nach der Keimung
- 2) höchste Aufnahmerate zwischen der Vollblüte (R2) und Beginn der Samenbildung (R5)
- 3) reduzierte Aufnahme während der späten generativen Phasen, also der Samenreife

Die detaillierte Aufnahme verschiedener Makro- und Mikronährstoffe zu unterschiedlichen Wachstumsstadien und aufgetrennt für Korn, Blüten und Hülsen, Stängel und Blattstiele sowie Blätter zeigen die Abbildungen 7a und 7b. Hier zeigt sich bspw., dass fast $\frac{3}{4}$ der K- und Fe-Aufnahme schon vor Beginn der Samenfüllung (R4) geschehen. Im Gegensatz dazu ist die Aufnahme von N, P, Ca, Mg, S, Zn, Mn, B und Cu gleichmäßiger auf vegetative und generative Phase verteilt, wenn man das R4-Stadium als „Grenze“ zwischen den beiden Phasen betrachtet. Verglichen mit der schnellen Nährstoffaufnahme bei Mais, die direkt zu Beginn der Bestäubung stattfindet (Bender et al., 2013), ist es bei Soja ein gleichmäßiger, über die ganze Vegetation andauernder Vorgang. Sehr schön zu erkennen ist in den Abbildungen 7a+b auch die Umlagerung der Nährstoffe aus anderen Pflanzenteilen in die Körner, die ebenfalls mit dem R4-Stadium beginnt und für die eine gute Wasserversorgung unerlässlich ist.

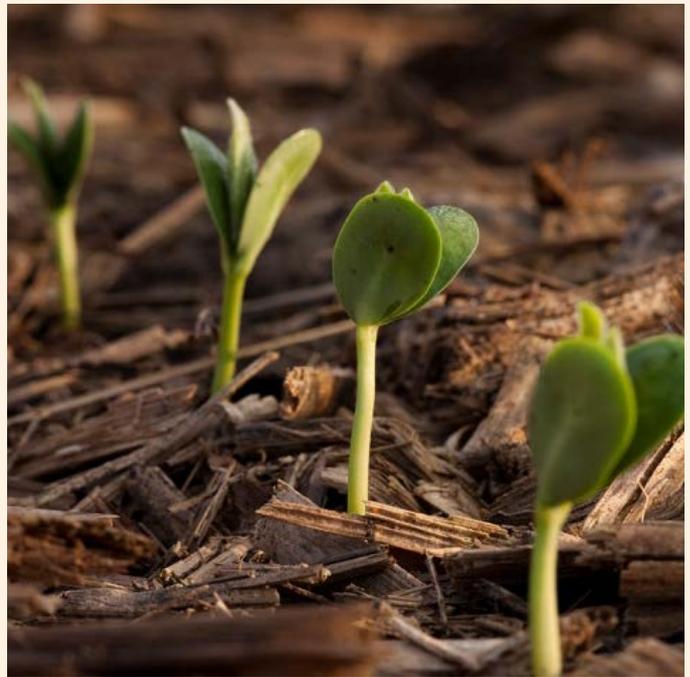


Abbildung 2: VE, Auflauf (Illinois Soybean Association, 2017).



Abbildung 3: VC-Stadium (Taifun, 2015)



Abbildung 4: R2, Vollblüte (Taifun, 2016).

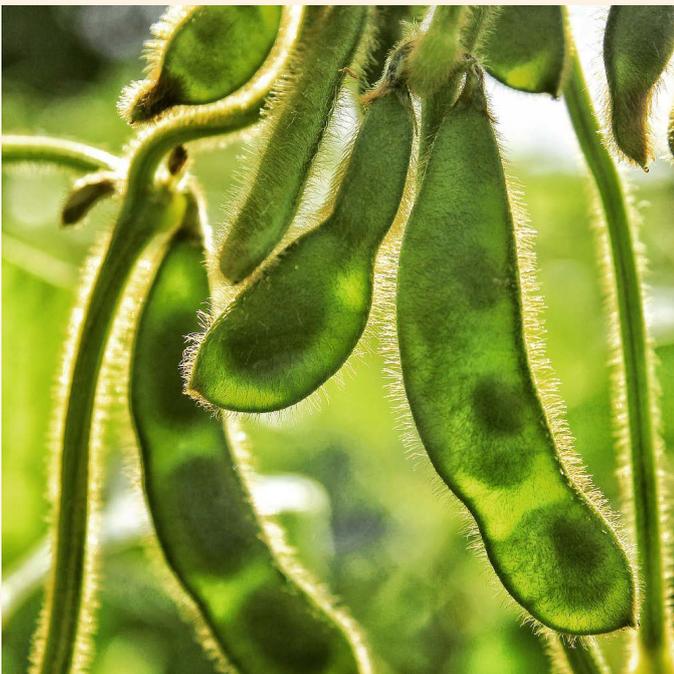


Abbildung 5: Hülsenfüllung (beanbeat.de, 2016).

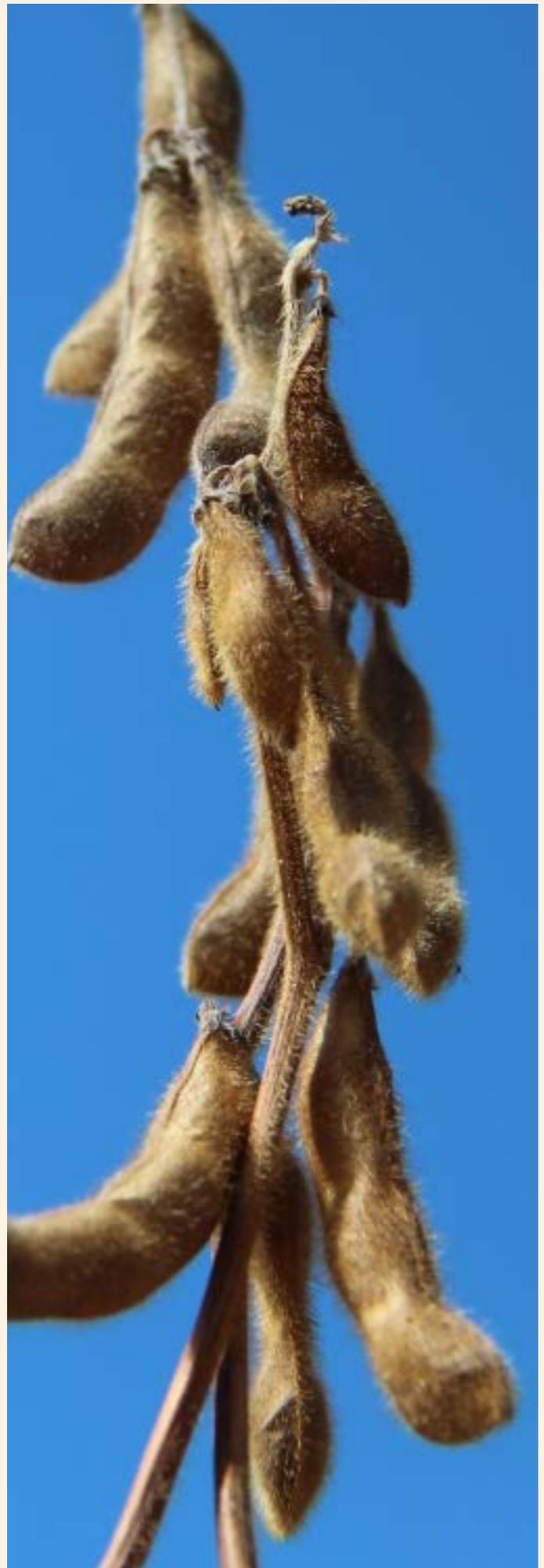


Abbildung 6: Reife Sojabohnen (Taifun, 2015).

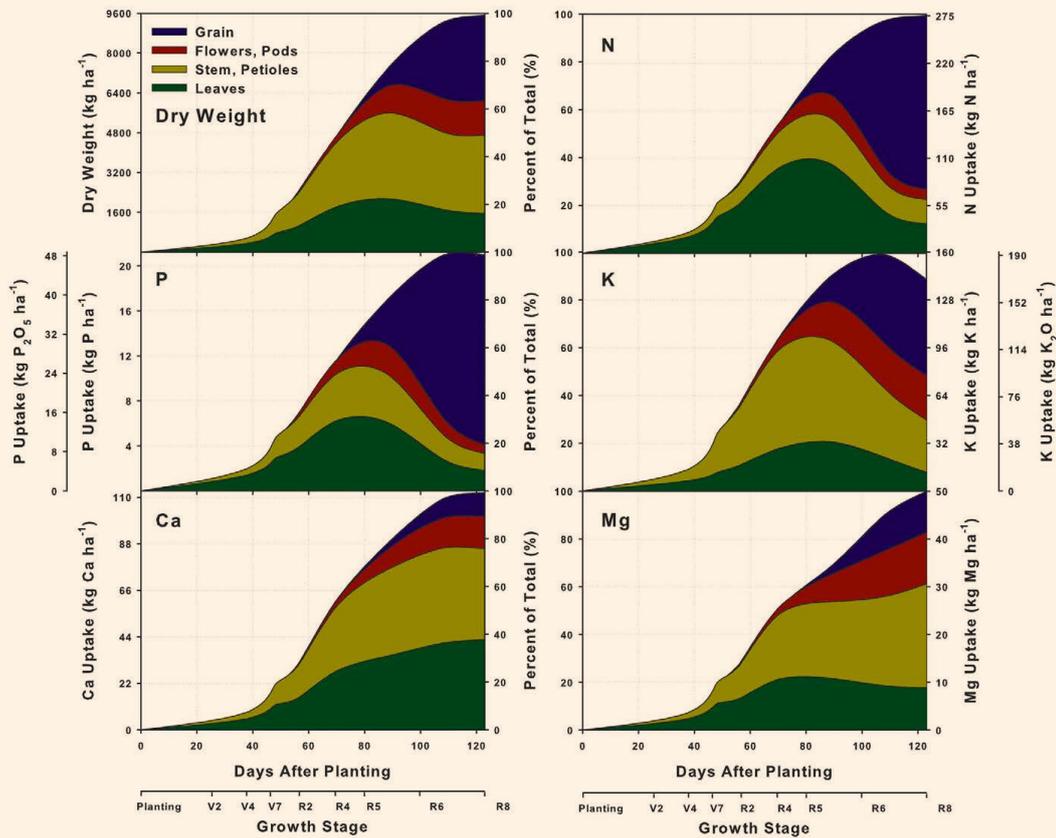


Abbildung 7a: Aufnahme von N, P, K, Ca und Mg von zwei Sojabohnensorten an drei Standorten in den Jahren 2012-2013 zu unterschiedlichen Wachstumsstadien für verschiedene oberirdische Pflanzenteile (Bender et al., 2015). Alle Parameter wurden in der Trockensubstanz gemessen, bei einem durchschnittlichen Ertrag von ca. 3480 kg/ha.

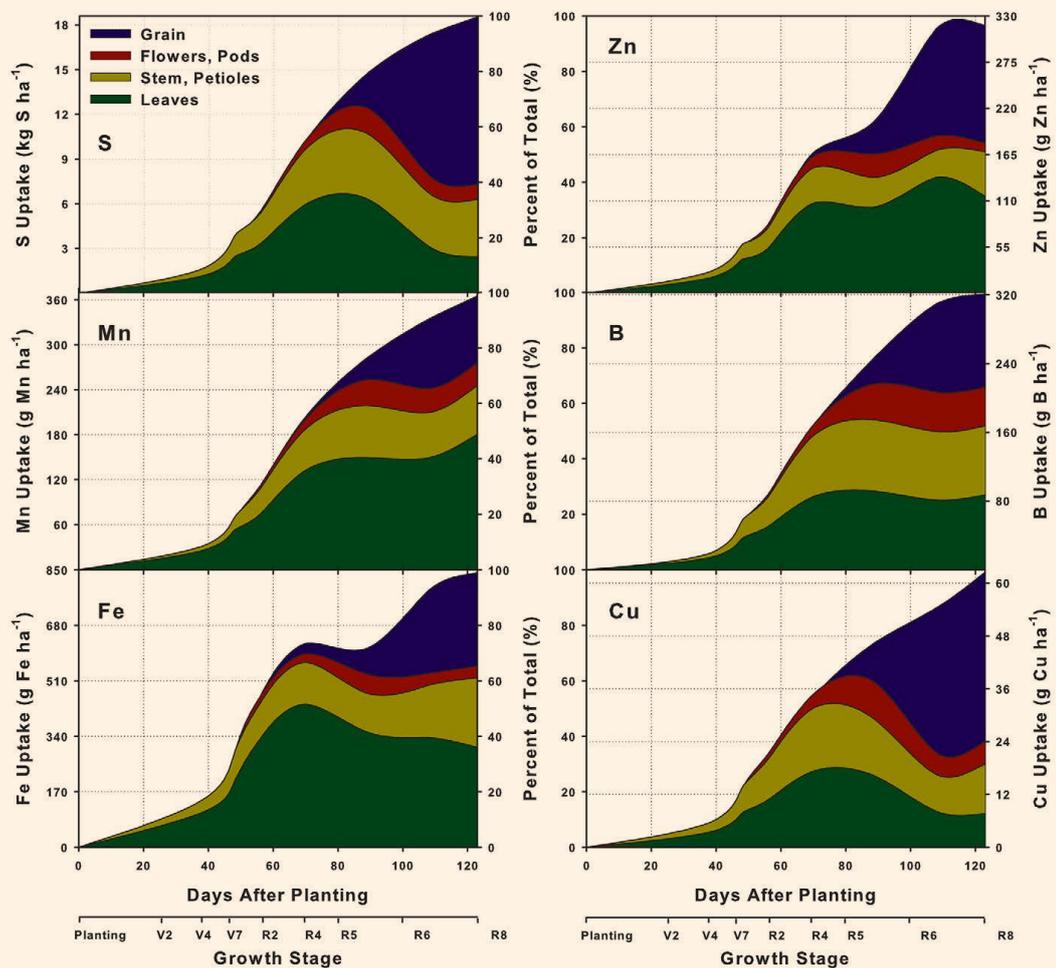


Abbildung 7b: Aufnahme von Zn, Mn, B, Fe und Cu von zwei Sojabohnensorten an drei Standorten in den Jahren 2012-2013 zu unterschiedlichen Wachstumsstadien für verschiedene oberirdische Pflanzenteile (Bender et al., 2015). Alle Parameter wurden in der Trockensubstanz gemessen, bei einem durchschnittlichen Ertrag von ca. 3480 kg/ha.

Quellen

Bender, R. R., Haegele, J. W. und F. R. Below, 2015. Nutrient Uptake, Partitioning, and Remobilization in Modern Soybean Varieties. *Agronomy Journal*, 107 (2), 563-573.

Bender, R. R., Haegele, J. W., Ruffo, M. L. and F. E. Below, 2013. Nutrient Uptake, Partitioning, and Remobilization in Modern, Transgenic Insect-Protected Maize Hybrids. *Agronomy Journal*, 105, 161-170.

Brevedan, R. E. und Eglo, D. B., 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence and yield of soybean. *Crop Science* 43, 2083-2088.

Egli, D. B., 2010. Soybean Yield Physiology in: *The Soybean* (ed. G. Singh), CAB International, 113-141.

Egli, D. B. und Bruening, W. P., 2000. Potential of early-maturing soybean cultivars in late plantings. *Agronomy Journal* 92, 532-537.

Egli, D. B. und Bruening, W. P., 2002. Flowering and fruit set dynamics during synchronous flowering at phloem-isolated nodes in soybean. *Field Crops Research* 79, 9-19.

Hanway, J. J. und C. R. Weber, 1971. Accumulation of N, P and K by soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) plants. *Agronomy Journal*, 63 (3), 406-408.

Hardman, L. L. und Brun, W. A., 1971. Effects of atmospheric carbon dioxide enrichment at different development stages on growth and yield components of soybeans. *Crop Science* 11, 886-888.

Murata, Y., 1969. Physiological Responses to Nitrogen in Plants. *Physiological Aspects of Crop Yield*, Madison, WI, USA, 235-259.

Tacker, P. and Vories, E., 2017. *Arkansas Soybean Handbook*, Chapter 8, Irrigation. www.uaex.edu.

Yonts, C.D., 2008. Predicting the last irrigation of the season. *NebGuide G1871*. University of Nebraska-Lincoln Extension

Weitere Taifun Sojainfos und umfassende Informationen zu allen Themen des Sojaanbaus finden Sie auf: www.sojaforderring.de

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen der BMEL Eiweißpflanzenstrategie.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Impressum

Autor: Kristina Bachteler | Redaktionelle Mitarbeit: Martin Miersch

Herausgeber: Taifun-Tofu GmbH

Bebelstraße 8 | 79108 Freiburg | Tel. 0761 152 10 13 | soja@taifun-tofu.de



Landwirtschaftliches Zentrum für Sojaanbau und Entwicklung