



Wertschöpfung durch heimische Sojabohnen

Leitfaden für Anbau und Verwertung von gentechnikfreien
Futtersojabohnen aus konventionellem Anbau

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

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

IMPRESSUM

Herausgeber: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Neßlerstr. 25, 76227 Karlsruhe

Tel.: 0721/9468-0, Fax: 0721/9468-209, E-Mail: poststelle@ltz.bwl.de, www.ltz-augustenberg.de

Bearbeitung und Redaktion: Dr. Martina Mayus, Dr. Kurt Möller, Dr. Andreas Butz, Anne Reutlinger, Jürgen Recknagel, Janina Schmid, Tobias Pabel, Hanna Krautscheid, Benedikt Paeßens, Volker Hahn (Landessaatzuchtanstalt, Universität Hohenheim), Götz Lechler (ZG Raiffeisen eG), Dieter Schleihau (Kraichgau Raiffeisen Zentrum eG), Marion Hennig (HL Hamburger Leistungsfutter GmbH)

Titelfoto: Jürgen Recknagel

Layout: Brigitte Fasler, Jörg Jenrich

Dezember 2018

Der Einsatz von Sojabohnen ist in der Tierfütterung kaum zu ersetzen. In Deutschland wurde bis vor kurzem fast ausschließlich importiertes Soja aus Übersee verfüttert. Hohe Anteile dieser Importe bestehen aus gentechnisch veränderten Sorten. Daher stieg in den letzten Jahren in Deutschland die Nachfrage nach heimischen Sojaprodukten. Vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Lebens- und Futtermittelproduktion ist der Import von Futtersoja, insbesondere wegen Vorbehalten der Verbraucher gegenüber gentechnisch veränderten Organismen in die Diskussion geraten. In diesem Sinne wurden – im Rahmen des Projektes „Modellhaftes Demonstrationsnetzwerk zur Ausweitung und Verbesserung des Anbaus und der Verwertung von Sojabohnen in Deutschland“ – drei Soja Wertschöpfungsketten entwickelt, und zwar für Lebensmittel, ökologisch produziertem Futter sowie Futter aus konventionellem Anbau.

Ziel dieses Leitfadens ist es, die Erfahrungen in der Wertschöpfungskette „Gentechnikfreie Futtersojabohnen aus konventionellem Anbau“ weiter zu geben. Daher sind in dieser Broschüre, wenn von ‚Sojabohnen‘ die Rede ist, „gentechnikfreie Futtersojabohnen aus konventionellem Anbau in Deutschland“ gemeint. Diese Wertschöpfungskette wurde beispielhaft für Baden-Württemberg konzipiert. Die Herausforderungen und Potenziale werden herausgestellt. Wesentliche Aspekte der Prozesse in der Wertschöpfungskette werden beschrieben und im Kontext der gesamten Kette betrachtet.

- Sie sind Landwirtin oder Landwirt, bauen Sojabohnen an und vermarkten diese oder verwerten sie im eigenen Betrieb?
- Sie beraten zu Anbau oder Vermarktung und Verwertung von Sojabohnen in Deutschland?
- Sie interessieren sich für den Aufbau einer Wertschöpfungskette landwirtschaftlicher Produkte?

Dann hilft Ihnen dieser Leitfaden dabei Kenntnisse zum Anbau und der Verwertung von Sojabohnen in Deutschland zu erlangen und auszubauen und die mit dem Anbau und der Verwertung von Sojabohnen in Deutschland verbundenen Potenziale und Hemmnisse zu verstehen. Der Leitfaden kann als Modell für andere Wertschöpfungsketten im Bereich Landwirtschaftliche Produktion dienen.

Ihr Sojateam, LTZ Augustenberg

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	8
1 Einleitung	9
2 Das Konzept der Wertschöpfungskette	10
3 Wertschöpfungskette „Gentechnikfreie Futtersojabohnen aus konventionellem Anbau“ am Beispiel Baden-Württemberg	13
3.1 Übersicht der Wertschöpfungskette „Gentechnikfreie Futtersojabohnen“	13
3.2 Züchtung	15
3.2.1 Überblick	15
3.2.2 Einleitung	16
3.2.3 Zuchtziele	16
3.2.4 Zuchtmethodik	17
3.2.5 Sorten für den Anbau von Sojafutter in Deutschland	19
3.3 Vermehrung	21
3.3.1 Überblick	21
3.3.2 Einleitung	22
3.3.3 Optimierungsmöglichkeiten bei der Saatgutgewinnung	23
3.4 Impfmittel	27
3.4.1 Überblick	27
3.4.2 Einleitung	28
3.4.3 Effektivität verschiedener Knöllchenpräparate	28
3.5 Anbau	30
3.5.1 Überblick	30
3.5.2 Einleitung	31
3.5.2 Standortansprüche	31
3.5.4 Fruchtfolge	32
3.5.5 Sortenwahl	32
3.5.6 Aussaat	33
3.5.7 Saatgutimpfung	35
3.5.8 Düngung	37
3.5.9 Unkrautregulierung	38
3.5.10 Krankheiten und Schädlinge	39
3.5.11 Bewässerung	39

3.5.12 Ernte	39
3.5.13 Lagerung	41
3.5.14 Sojabohnen-Ganzpflanzensilage	41
3.6 Erfassung und Vermarktung	42
3.6.1 Überblick	42
3.6.2 Einleitung	43
3.6.3 Preis- und Vermarktungsmodell am Beispiel ZG Raiffeisen eG	43
3.6.4 Erfassung, Vermarktung und Vermarktungskriterien/Konzepte der WSK gentechnikfreie Futtersojabohnen	45
3.6.5 Netzerkennung im Handel am Beispiel ZG Raiffeisen eG	46
3.7 Aufbereitung	47
3.7.1 Überblick	47
3.7.2 Einleitung	48
3.7.3 Parameter der Futterqualität für Sojabohnen und Erbsen	49
3.7.4 Parameter zur Analyse der Futterqualität und Bestimmung der Toastqualität	50
3.7.5 Aufbereitungsanlagen	53
3.8 Veredelung	58
3.8.1 Überblick	58
3.8.2 Einleitung	58
3.8.3 Heimisches Sojafutter und Eiweißergänzungsfutter am Beispiel „KraichgauSoja“	59
3.8.4 Heimisches Soja in der Geflügelfütterung am Beispiel Legehennenhof Leis	60
3.8.5 Einsatz von KraichgauSoja in der Schweinemast: Vergleich importiertes Sojaextraktionsschrot und „Erbsofit®“	61
3.8.6 Heimisches Soja in der Rinderfütterung	64
4 Zusammenfassung und Ausblick	65
5 Akteure der Wertschöpfungsketten konventionelles Futtersoja	68

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Stufen einer Wertschöpfungskette.	10
Abbildung 2:	Vereinfachte Darstellung der modellhaften Wertschöpfungskette „Gentechnikfreie Futtersojabohnen“	11
Abbildung 3:	Die Stufen einer modellhaften Wertschöpfungskette „Gentechnikfreie Futtersojabohnen aus konventionellem Anbau“ mit den unterschiedlichen Akteuren.	12
Abbildung 4:	Die Stufen und Akteure der modellhaften Wertschöpfungskette „Gentechnikfreie Futtersojabohnen aus konventionellem Anbau“ in Baden-Württemberg.	14
Abbildung 5:	Keimfähigkeit von aufbereiteten Sojasaatgutpartien in den Jahren 2014–2016 (ZG in Hüfingen).....	23
Abbildung 6:	Abnahme der Keimfähigkeit im Verlauf des Ernteprozesses von Sojabohnen (Mittelwerte aus 6 Partien).	24
Abbildung 7:	Veränderung der Keimfähigkeit durch die Aufbereitung von Sojasaatgut mit einer Saatgutreinigungsanlage Typ „Delta Pre Cleaner 138.2“ am Standort Hüfingen.	24
Abbildung 8:	Einfluss der Impfung und der verwendeten Impfmittel auf den Ertrag von Sojabohnen (GD: Grenzdifferenz, Tukey-Test $p < 0,05$).....	29
Abbildung 9:	Zeitlicher Verlauf und Risiko-Chance Profil bei der Sojavermarktung mit Treuhandrische Vermarktung Plus (TVP).	45
Abbildung 10:	Wertschöpfungskette konventionelles Sojafutter: Stationen der Sojabohnen vom Landwirt bis zum Futter-Vertrieb.	45
Abbildung 11:	Sojaaufbereitungsanlagen in Deutschland – Stand 02/2018.	48
Abbildung 12:	Schematischer Aufbau der Anlage der hydrothermischen Sojatoastanlage der Ebert-Mühle Dielheim GmbH.	53
Abbildung 13:	Temperaturverlauf während des Toastprozesses in der hydrothermischen Sojatoastanlage (Ebert Mühle Dielheim GmbH).....	55
Abbildung 14:	Ergebnis der Qualitätsanalysen: Eiweißlöslichkeit und Ureaseaktivität von Sojabohnen, die mit dem EST-Toaster aufbereitet wurden.....	56
Abbildung 15:	Produktionskreislauf vom Legehennenfutter vom Hof Leis – KraichgauSoja.	61
Abbildung 16:	Stoffflüsse und Wissenstransfer innerhalb der Wertschöpfungskette „gentechnikfreie Futtersojabohnen aus konventionellem Anbau“ in Baden-Württemberg.	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiel-Sorten für Gunstlagen im 0/00-Bereich mit späterer Abreife. Mittelwerte aus fünf Standorten 2015–2017.....	18
Tabelle 2: Beispiel-Sorten für mittlere Lagen und Grenzlagen im 0/00-Bereich mit früher Abreife. Mittelwerte aus vier Standorten 2015–2017.....	18
Tabelle 3: Soja-Vermehrung in Baden-Württemberg (ha) von 2013–2017.	23
Tabelle 4: Einfluss der Saatstärke (keimfähige Körner/m ²) auf die Sojabohnenerträge (dt ha ⁻¹ bei 86% TM) in den Jahren 2014–2016	35
Tabelle 5: Vergleich der Deckungsbeiträge von Soja mit Winterweizen, Körnermais und Futtererbsen; konventionelle Betriebe im Oberrheingraben, 2013–2017	44
Tabelle 6: Verfahren der Sojaaufbereitung.	49
Tabelle 7: Futterqualitätsparameter – Vergleich zwischen Erbsofit® (getoastet) und den Rohwaren von Soja und Erbse.	51
Tabelle 8: Parameter für die Toastqualität – Vergleich zwischen Erbsofit® (getoastet) und den Rohwaren von Soja und Erbse.	52
Tabelle 9: Futterwerte bzw. Inhaltsstoffe von Sojabohnen, Sojakuchen und Sojaschrot von Bedeutung für Geflügel und Schweine.	59
Tabelle 10: Inhaltsstoffe des Eiweißergänzungsfuttermittels „Erbsofit®“.....	60
Tabelle 11: Futtermischungen für Mastschweine mit und ohne einheimischen Proteinträger.	62
Tabelle 12: Mastleistungen von Mastschweinen bei Fütterung mit einheimischen Proteinträgern (Ergänzer) im Vergleich zur Fütterung mit Sojaextraktionsschrot.....	62
Tabelle 13: Schlachtleistungen und Fleischqualität von Mastschweinen bei Fütterung mit einheimischen Proteinträgern im Vergleich zur Fütterung mit Sojaextraktionsschrot.	62
Tabelle 14: Ökonomische Bewertung des Einsatzes von Mastrationen mit unterschiedlichen Proteinträgern bei einem Basispreis von 1,40 Euro je kg Schlachtgewicht.	64
Tabelle 15: Akteure aus Baden-Württemberg und deren Tätigkeiten.....	69

Abkürzungsverzeichnis

GPS	Ganzpflanzensilage
GVO	Genetisch veränderte Organismen
K	Kalium
KRZ	Kraichgau Raiffeisen Zentrum eG (Eppingen)
LTZ	Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg
LSV	Landessortenversuche
LSZ	Landesanstalt für Schweinezucht, Boxberg
ME	Metabolische Energie
N	Stickstoff
N _{min}	Gehalt des Bodens an verfügbarem mineralisiertem Stickstoff
ÖVF	Ökologische Vorrangfläche
P	Phosphor
PSM	Pflanzenschutzmittel
PZO	Pflanzenzucht Oberlimpurg
RKW	Raiffeisen-Kraftfutterwerk Kehl
RP.....	Rohprotein
S	Schwefel
TKM	Tausendkornmasse
TM	Trockenmasse
VO	Vermehrung Organisation
WSK	Wertschöpfungskette
ZG	ZG Raiffeisen eG Zentralgenossenschaft Raiffeisen eG (Karlsruhe)



Sojabohnen

Foto: Anne Reutlinger/LTZ

1 Einleitung

Martina Mayus (LTZ)

Die Sojabohne ist weltweit eine der wichtigsten Kulturpflanzen. Eine besondere Zusammensetzung an wertvollen Inhaltsstoffen, insbesondere einem hohen und hochwertigen Eiweißgehalt, gekoppelt mit einem hohen und wertvollen Ölgehalt, ermöglicht eine vielfältige Nutzung dieser Kultur. In Deutschland wird Soja vor allem als Futter für Geflügel und Mastschweine verwendet. Der Großteil des Sojafutters, zurzeit etwa 80 %, ist Importware aus Süd- und Nordamerika. Diese Situation scheint sich gerade etwas zu ändern.

Aufgrund der an europäische und deutsche Klimaregionen angepassten Sorten und Anbautechniken gewinnt der Sojaanbau hierzulande an Bedeutung. Ähnliches gilt für unsere Nachbarländer. Der Eiweißbedarf kann langsam, aber stetig zunehmend mit heimischer und europäischer Soja gedeckt werden. Das Vermarktungspotenzial ist gegeben, denn die Nachfrage nach gentechnikfreiem Futter und Lebensmitteln steigt ebenfalls an, während die Importware weiterhin zu mehr als 90 % gentechnisch verändert ist. Um das Vermarktungspotenzial zu realisieren, wird eine Wertschöpfungskette vom gentechnikfreien Sojasaatgut über das Futter bis zum Lebensmittelprodukt benötigt.

2 Das Konzept der Wertschöpfungskette

Martina Mayus, Anne Reutlinger (LTZ)

Eine Wertschöpfungskette ist eine Prozesskette mit vielen Beteiligten (Abbildung 1). In mehreren aufeinander folgenden Schritten wird ein Produkt mittels zusätzlicher Ressourcen weiterentwickelt und erhält so einen Mehrwert. Auf diese Weise kann der Gewinn für die beteiligten Akteure erhöht und/oder gesichert werden, vorausgesetzt die Wertschöpfungskette funktioniert, d. h. alle Akteure leisten ihren spezifischen Beitrag zur Erzeugung des Endproduktes. Die Kooperation zwischen den Akteuren ist demnach essentiell für den Erfolg, an dem alle Beteiligten in fairer Weise teilhaben sollten.

Für den Aufbau einer vollständigen Wertschöpfungskette müssen zunächst die Akteure für jeden der notwendigen Prozessstufen identifiziert und an der Wertschöpfungskette beteiligt werden. Generell umfasst eine Wertschöpfungskette fünf Hauptstufen (Abbildung 1).

In einer Wertschöpfungskette für Futtersoja ist die Produktion von Sojabohnen der zentrale Prozess (d. h. die Primärproduktion), der mit den vor- und nachgelagerten Prozessen bzw. Stufen stark gekoppelt ist (Abbildung 2). Je nach Verwendung des Primärproduktes Sojabohne, d. h. entweder zur hofeigenen Fütterung oder Verkauf als Futtermittel, gestaltet sich die Kette etwas anders.

Zur Verbesserung der Verarbeitungs- und Verwertungsmöglichkeiten für heimische Sojabohnen wurde im Rahmen des Soja-Netzwerkes die modellhafte Wertschöpfungskette „Gentechnikfreie Futtersojabohnen aus konventionellem Anbau“ konzipiert. Alle maßgeblichen Stationen von der Züchtung, über die Saatgutproduktion

bis hin zum fertigen Futter wurden berücksichtigt und zusammengeführt (Abbildung 3). Von Beginn an wurden alle wichtigen Akteure in die Konzeption und Umsetzung dieser Wertschöpfungskette integriert (Abbildung 4). Die Koordination erfolgte durch das LTZ in Kooperation mit den Genossenschaften Kraichgau Raiffeisen Zentrum eG (KRZ), ZG Raiffeisen eG (ZG) und dem Raiffeisen-Kraftfutterwerk Kehl (RKW).

Der Ansatz zum Aufbau der Wertschöpfungskette beinhaltet:

- Intensive Betreuung und Zusammenarbeit mit 38 Landwirtschaftsbetrieben (Sojaproduktion),
- Zusammenarbeit mit Akteuren in den Bereichen Saatguterzeugung, Erfassung, Aufbereitung, Futterherstellung, Vermarktung und Veredelung,
- Zusammenarbeit mit Pflanzenbauberatern.

Das LTZ hat die Akteure bei der Etablierung der Wertschöpfungsketten unterstützt. Basierend auf einer sog. SWOT-Analyse (Strengths = Stärken, Weakness = Schwächen, Opportunities = Chancen und Threats = Bedrohungen) wurden kritische Erfolgsfaktoren bestimmt (www.sojafueroerring.de). Die ermittelten Faktoren bildeten die Grundlage für Optimierungsmaßnahmen entlang der Wertschöpfungskette. Das LTZ begleitete darüber hinaus den Sojaanbau durch Feldveranstaltungen und Wissenstransfer mittels Seminaren, Pressearbeit, Fachartikeln und Beteiligung an Messeveranstaltungen.

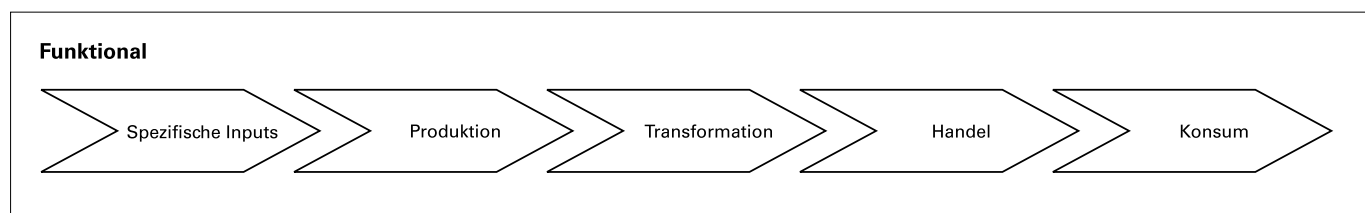


Abbildung 1: Stufen einer Wertschöpfungskette.

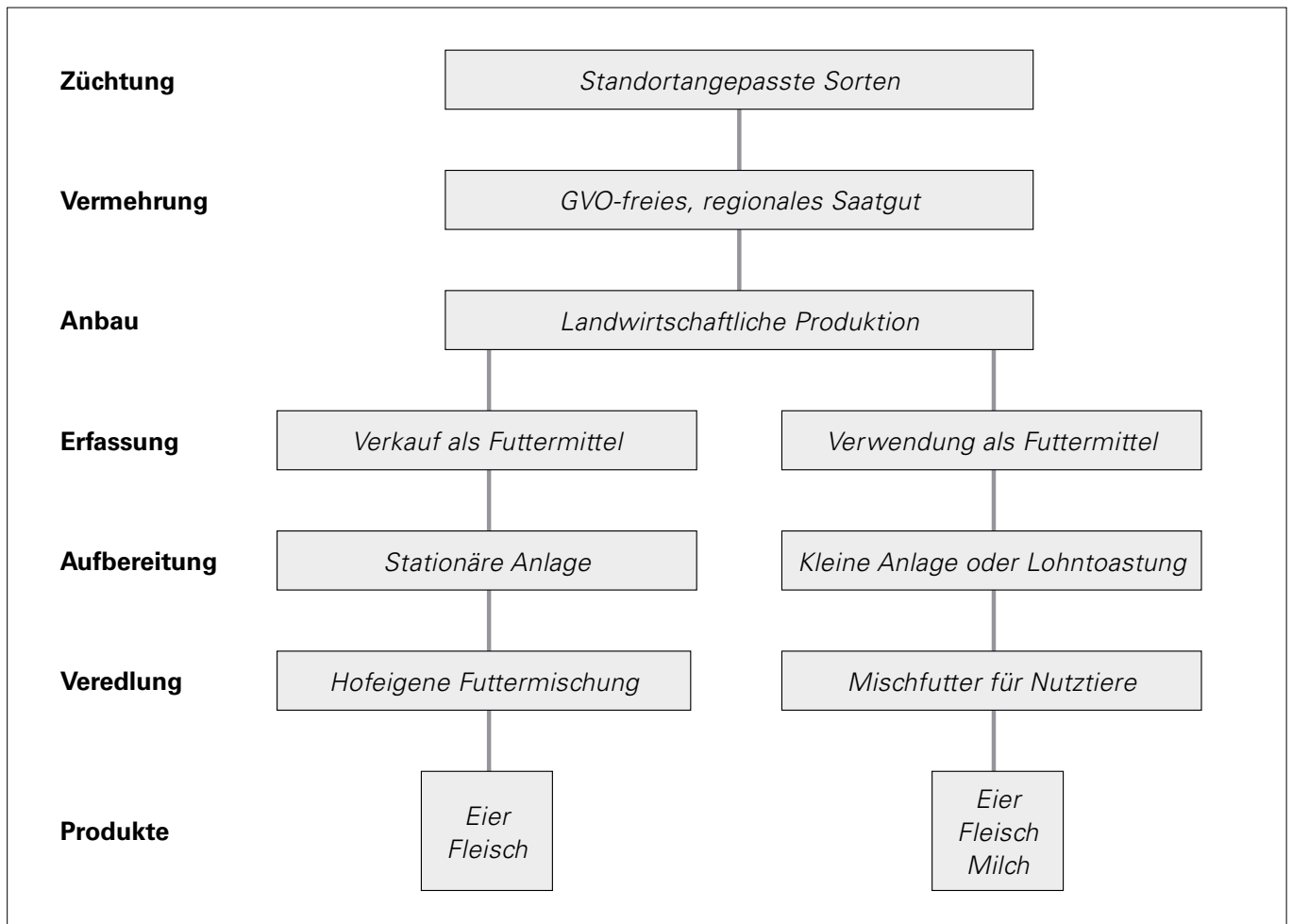


Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung der modellhaften Wertschöpfungskette „Gentechnikfreie Futtersojabohnen“

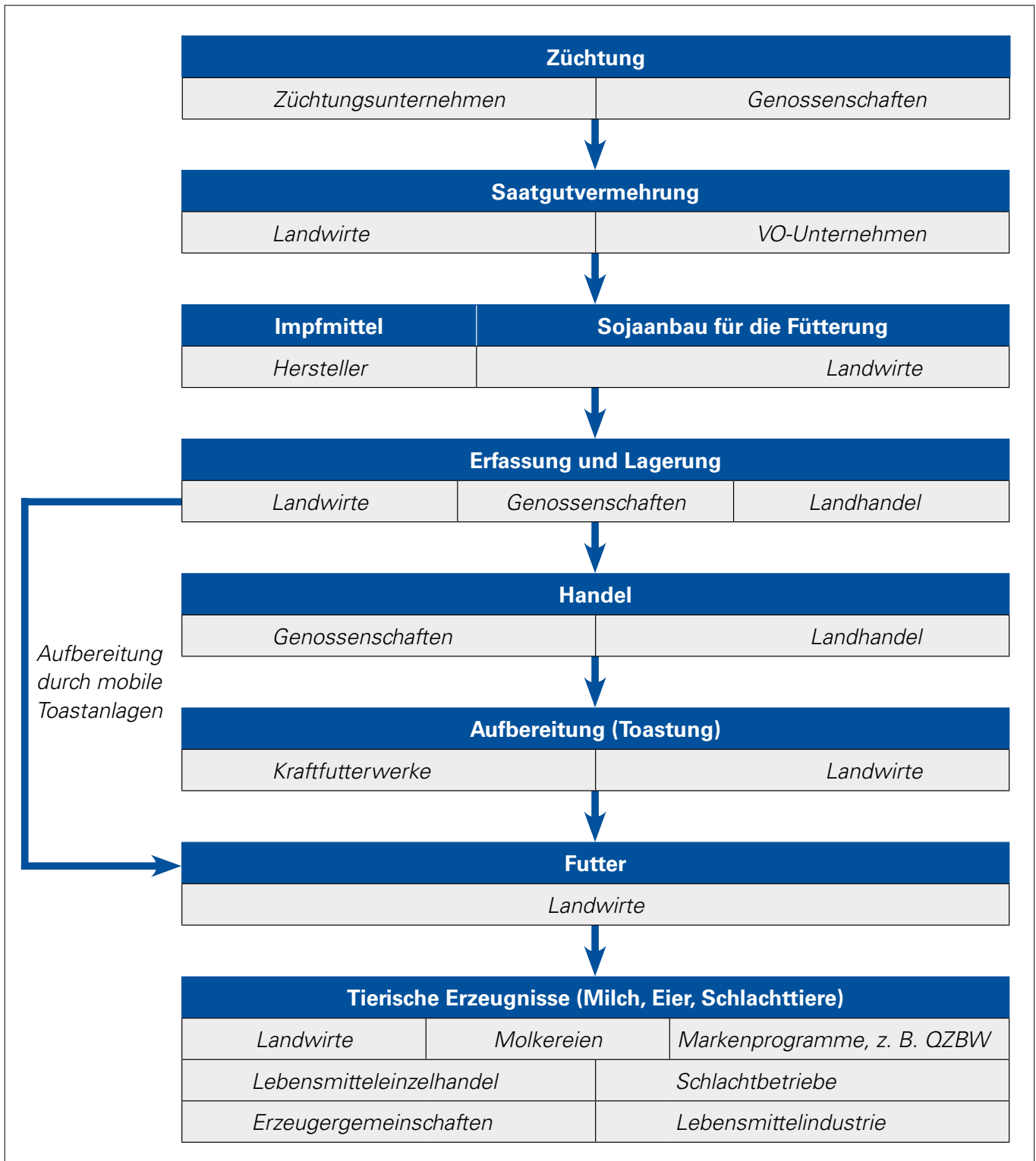


Abbildung 3: Die Stufen einer modellhaften Wertschöpfungskette „Gentechnikfreie Futtersojabohnen aus konventionellem Anbau“ mit den unterschiedlichen Akteuren.



Soja

Foto: Jörg Jenrich/LTZ

3 Wertschöpfungskette „Gentechnikfreie Futtersojabohnen aus konventionellem Anbau“ am Beispiel Baden-Württemberg

3.1 Übersicht der Wertschöpfungskette „Gentechnikfreie Futtersojabohnen“

Martina Mayus, Anne Reutlinger (LTZ)

In diesem Leitfaden werden die unterschiedlichen Stufen in der Reihenfolge der Prozesskette beschrieben. Ziel ist es, Faktoren, Techniken sowie erstrebenswerte Weiterentwicklungen hinsichtlich der Qualität und Wertschöpfung der Sojabohne von der Aussaat bis hin zum Sojafutter herauszustellen und die einzelnen Stufen im Kontext der gesamten Kette zu betrachten. Die Akteure der einzelnen Stufen der modellhaften Futtersoja-Wertschöpfungskette für Baden-Württemberg sind in Abbildung 4 angegeben.

Die erste Stufe ist die **Züchtung** (Kapitel 3.2), die maßgeblich dazu beigetragen hat, dass Soja unter den klimatischen Bedingungen Deutschlands angebaut werden kann. Die Standortansprüche der unterschiedlichen Regionen sowie die Sojanutzung, d. h. der Markt mit den Wünschen der Landwirte, der Industrie und letztlich der Verbraucher beeinflussen die Züchtungsausrichtung. Das Hauptzuchtziel ist zurzeit der (Protein-)Ertrag.

Um für den heimischen Sojaanbau qualitativ hochwertiges Saatgut bereitstellen zu können, ist auch die **Vermehrung** in Deutschland gefragt (Kapitel 3.3). Bei der Vermehrung, bei der Ernte und der anschließenden Aufbereitung kommt es besonders auf einen schonenden Umgang mit dem Saatgut an, da die großen Samen leicht mechanische Schäden erleiden und Keimfähigkeit einbüßen können. Die Saatgutverfügbarkeit ist ein wichtiger Aspekt für den Aufbau der Wertschöpfungskette.

Neben dem qualitativ hochwertigen Saatgut ist die Verfügbarkeit von effektiven und einfach anzuwendenden **Impfmitteln** entscheidend für einen möglichst hohen Ertrag und Eiweißgehalt. Dies ist eine Besonderheit der Sojakultur – und wird darum, im Gegensatz zu üblichen ertragssteigernden Betriebsmitteln wie z. B. Düngemitteln, als eigene Stufe in der Wertschöpfungskette betrachtet (Kapitel 3.4).

Der **Anbau** (Kapitel 3.5) hat zum Ziel, einen möglichst hohen Rohproteinertrag von hoher biologischer Wertigkeit zu erzielen. Voraussetzung ist die Auswahl eines geeigneten Standortes und der dazu passenden Sorte, sowie eine effektive Impfung und Unkrautregulierung. Sorten und Impfmittel werden vom LTZ und den Versuchseinrichtungen anderer Bundesländer in mehrjährigen Prüfungen auf ihre Leistungen bzw. relative Vorzüglichkeit getestet. Diese Ergebnisse helfen den Landwirten, hier die richtige Wahl zu treffen.

Wertschöpfung durch heimische Sojabohnen

Um die Sojabohnen gut verkaufen zu können, wird empfohlen, sich schon frühzeitig um die Verwertung zu kümmern und ggf. einen Vorvertrag zu machen und die **Erfassung** zu regeln (Kapitel 3.6). Nur eine sorgfältige Erfassung, Aufbereitung und Lagerung gewährleistet eine für die Futterweiterverarbeitung erforderliche Bohnenqualität sowie die Rückverfolgbarkeit der Ware.

Für die Verwendung von Soja als Futter für Hühner und Schweine ist eine thermische **Aufbereitung** der Bohnen notwendig (Kapitel 3.7). Die Aufbereitung kann entweder in stationären oder in mobilen Toastanlagen erfolgen. Letztere sind vor allem geeignet, wenn die Bohnen als Futter auf dem Hof bleiben. Eine angemessene Qualitätskontrolle gewährleistet gleichmäßige Qualitäten im Hinblick auf die Verdaulichkeit und den Gehalt an Trypsininhibitoren.

Die **Veredelung** (Kapitel 3.8) des gentechnikfreien Sojafutters aus heimischer Produktion erfolgt in erster Linie über die regionale Fütterung von Geflügel und

Schweinen. Für den Landwirt gibt es die Möglichkeit über Direktvermarktung, den Einzelhandel oder über Metzgervermarktungen einen angemessenen Preis fürs Produkt zu erhalten.

Die letzte Stufe ist das **Endprodukt** für den Konsumenten. Damit sich der Verbraucher bewusst für ein tierisches Produkt ohne Gentechnik entscheiden kann, müssen alle Teile der Wertschöpfungskette transparent sein. Im Bereich Milch und bei Eiern hat sich z. B. das Label „ohne Gentechnik“ durchgesetzt, beim Fleisch ist die Auslobung mit Bezug auf die Fütterung die Ausnahme.

Nachfolgend werden in den Kapiteln 3.2–3.8 die ersten sechs Stufen der Wertschöpfungskette „Gentechnikfreie Futtersojabohnen aus konventionellem Anbau“ beginnend mit einem Überblick hinsichtlich ihrer spezifischen Herausforderungen, Ziele und wichtigen Akteure, beschrieben. Im Folgenden werden dann die wesentlichen Aspekte der einzelnen Stufen erläutert.

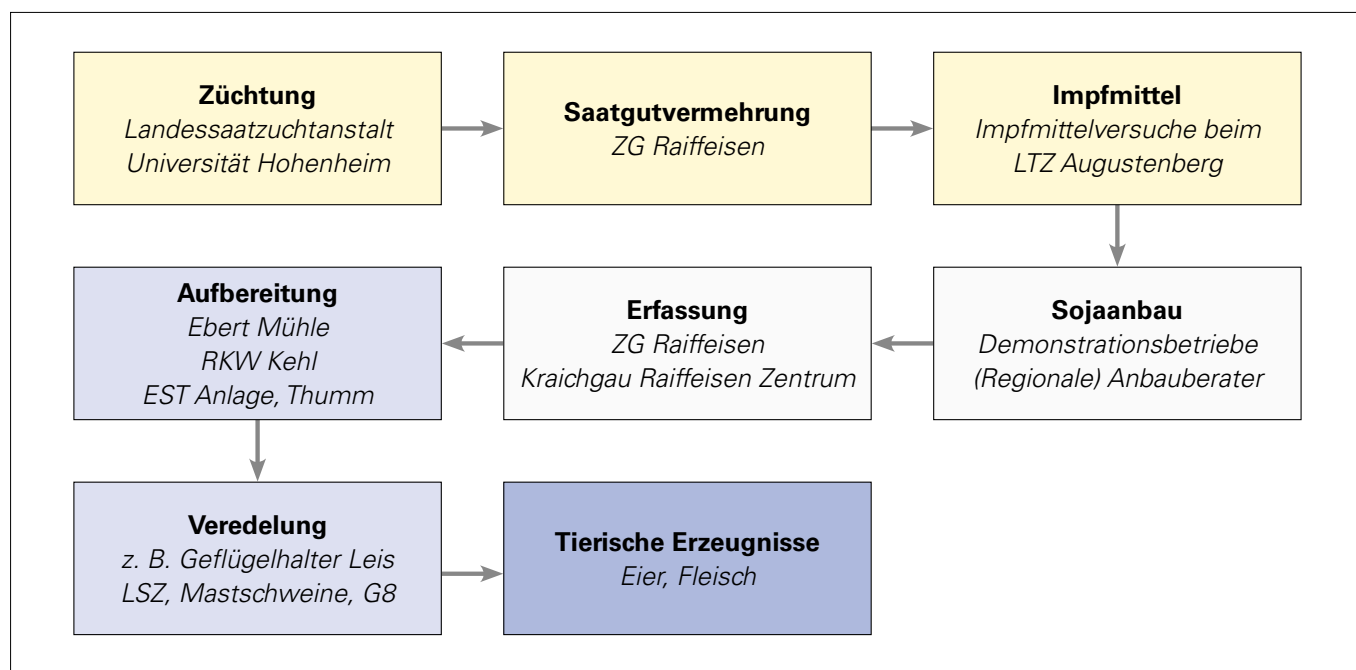


Abbildung 4: Die Stufen und Akteure der modellhaften Wertschöpfungskette „Gentechnikfreie Futtersojabohnen aus konventionellem Anbau“ in Baden-Württemberg.



Züchter beim Kreuzen von Sojalinien

Foto: Volker Hahn/Landessaatzuchtanstalt

3.2 Züchtung

*Volker Hahn (Landessaatzuchtanstalt,
Universität Hohenheim),
Jürgen Recknagel (LTZ)*

3.2.1 Überblick

Die Sojabohne (*Glycine max*) ist ursprünglich eine Pflanze aus Ostasien mit einem natürlichen Verbreitungsgebiet der Wildformen von der Mandschurei bis in subtropische Gefilde. Ihr Anbau hat seinen Schwerpunkt in feuchtwarmen Regionen mit eher kurzer Tageslänge, weshalb sie gemeinhin als wärmeliebende Kurztagspflanze gilt, die zur Blüten- und Kornbildung eine längere Dunkelperiode (Nacht) benötigt, als sie in Mitteleuropa im Sommer gegeben ist.

Dank der Arbeit von schwedischen und kanadischen Züchtern konnten seit der Mitte des 20. Jahrhunderts aber Sorten gezüchtet werden, die immer besser an Tageslängen und Klimabedingungen angepasst sind, wie sie in Mittel- und Nordeuropa gegeben sind. Auf dieser Grundlage gelang es seit dem Ende des 20. Jahrhunderts, französischen, schweizerischen, österreichischen und zuletzt deutschen Züchtern, immer mehr Sorten auf den Markt zu bringen, die ihre Bewährungsprobe in der Praxis bestanden und zu einem beachtlichen Aufschwung des Sojaanbaus sowohl

in Mitteleuropa als auch in Deutschland geführt haben. Doch das Streben nach mehr Ertrag, höherer Qualität und Anbausicherheit durch Züchtung geht weiter und führt jedes Jahr zu zahlreichen neu zugelassenen Sojasorten für den Anbau in Mitteleuropa.

Akteure der Wertschöpfungskette

In Baden-Württemberg forscht die Universität Hohenheim schon seit etwa 40 Jahren auf dem Gebiet des Anbaus von Sojabohnen; nach 2010 begann die Landessaatzuchtanstalt mit der Züchtung von Sojabohnen. In über 30 Landessortenversuchen von 10 deutschen Bundesländern werden alljährlich mehr als 20 Sojasorten auf ihre Anbaueignung an unterschiedlichen Standorten geprüft.

Zuchtziele Futtersojabohne

- Kornertag
- Frühreife
- Standfestigkeit
- Jugendentwicklung
- Kältetoleranz
- Trockenheitstoleranz
- Krankheitsresistenzen
- Proteinertrag
- Aminosäurezusammensetzung
- Zuckergehalt
- Zuckerzusammensetzung

3.2.2 Einleitung

Die Anzahl an Firmen und Instituten, die sich mit der Sojazüchtung beschäftigen, hat in den letzten Jahren in Deutschland und Europa zugenommen. Dies trägt dazu bei, dass neue Sorten entwickelt werden, die besser an unsere klimatischen Bedingungen angepasst sind und die auch den Bedürfnissen der Produzenten und Verbraucher nach Regionalität Rechnung tragen.

Um Unterschiede für die Merkmale der Zuchtziele zu erhalten, werden in der klassischen Züchtung Kreuzungen zwischen Sorten oder Herkünften durchgeführt, die sich voneinander unterscheiden. Die sich aufspaltenden Nachkommenschaften werden anschließend in den Umwelten selektiert, in denen sie später angebaut werden sollen. Seit einiger Zeit werden in der Züchtung auch genetische (DNS-)Marker zur Charakterisierung von Sojamaterial und zur Auslese erwünschter Eigenschaften eingesetzt. Weltweit werden in der Züchtung der Sojabohne verstärkt gentechnische Verfahren eingesetzt.

Die Sojazüchtung ermöglichte die weltweite Ausdehnung des Sojaanbaus in nördlichere und kühlere Klimaregionen; in Deutschland z. B. bis nach Niedersachsen und Nordostdeutschland (Anbaukarte JKI: http://geoportal.julius-kuehn.de/map?app=soja_neu). Durch die Entwicklung von kühetoleranten Sorten, die auch im Langtag zur Blüte kommen, konnte die Entwicklungszeit von der Saat bis zur Reife verkürzt werden. Unter diesen Bedingungen kann jedoch der Ertrag, der von Sorten mit langer Entwicklungszeit und bei hohen Temperatursprüchen erzielt wird, nicht erreicht werden. Grundsätzlich gilt, dass je länger die verfügbare Vegetationsperiode, desto höher das Ertragspotenzial.

3.2.3 Zuchtziele

Wie bei allen Kulturarten sind bei der Sojabohne zahlreiche Zuchtziele gleichzeitig zu bearbeiten. Von besonderer Bedeutung für den Anbauer sind der Kornertrag, die **Frühreife** und die **Standfestigkeit**. Um wettbewerbsfähig gegenüber anderen Kulturarten zu sein, muss sich der **Kornertrag** stetig weiterentwickeln und zwar

auch in den klimatisch bislang nicht so günstigen Gebieten. Allerdings ist eine frühere Reifezeit meist mit einem geringeren Ertrag verbunden. Wichtig ist es daher, dass verschiedene Sorten für die unterschiedlichen Klimabedingungen Deutschlands zur Verfügung stehen (<https://www.sojafoerderring.de/anbauratgeber/sortenratgeber/deutschland/>).

Da die Sojabohne hauptsächlich zur Fütterung eingesetzt wird, ist ein hoher **Proteinерtrag** gewünscht. Ein zu hoher Proteingehalt in den Samen (mehr als 45 %) führt jedoch bislang meist zu Ertragseinbußen. Das derzeitige Ziel ist es daher, Sorten zu züchten, die bei Proteingehalten um 43–45 % einen hohen Kornertrag und damit einen möglichst hohen Proteinерtrag pro Hektar erzielen. Die Steigerung des Ölgehalts der Sojabohne ist weltweit ein großes Zuchtziel, allerdings weniger in Europa, da hier der Bedarf an Speiseöl von Raps und Sonnenblumen bedient wird. Um den negativen Auswirkungen eines hohen Fettanteils bei der Fütterung von Sojavollbohnen entgegenzuwirken, ist eher eine Absenkung des Fettgehalts erwünscht.

Ein weiteres Zuchtziel ist eine zügige **Jugendentwicklung**, denn sie ermöglicht einen zügigen Bestandeschluss und damit eine höhere Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern.

Kältetoleranz von Sojabohnen ist erforderlich, falls Spätfröste nach Auflaufen der Sojabohnen auftreten. Bei Nachttemperaturen unter 10 °C zur Blüte (Juni/Juli) kann es vorkommen, dass Sojabohnen ihre Blüten abwerfen. Dies sollten kältetolerante Sorten verhindern oder durch eine neue Blütenentwicklung den drohenden Ertragsverlust kompensieren.

Für einen hohen Ertrag benötigen Sojabohnen genügend Wasser. Neben dem Wasserbedarf für die Pflanzenentwicklung spielt dabei eine Rolle, dass die Knöllchenbakterien der Sojabohne bei zunehmender **Trockenheit** relativ rasch inaktiv werden und daher den Sojabohnen nicht ausreichend Stickstoff zur Verfügung stellen. In den letzten Jahren wurden Sojabohnen in Genbanken gefunden, die es den Knöllchenbakterien ermöglichen, auch unter

trockenen Bedingungen länger Stickstoff zu bilden. Derzeit wird versucht, diese meist spätreifen Sojaherkünfte in neues Zuchtmaterial einzukreuzen, um auf diesem Weg trockenresistentere Sojasorten züchten zu können.

Bislang spielen beim Sojaanbau in Deutschland **Krankheiten** nur eine geringe Rolle. Es ist jedoch zu erwarten, dass bei zunehmendem Anbau der Krankheitsdruck wächst. Die derzeit bedeutendste Krankheit in Deutschland/Europa ist die Weißstängeligkeit, verursacht durch den Pilz *Sclerotinia sclerotiorum*. Weltweit das größte Problem des Sojaanbaus ist der Befall durch Sojazystennematoden (*Heterodera glycines*). Die jährlichen Ertragsausfälle durch diesen Fadenwurm betragen allein in den USA mehr als 1 Milliarde US-Dollar. Die in den USA entdeckten Resistenzgene sollten baldmöglichst in europäisches Material eingekreuzt werden, um so eine Etablierung dieses Schädlings frühzeitig zu verhindern.

3.2.4 Zuchtmethodik

Die Sojabohne ist ein Selbstbefruchter, d. h. die Narbe wird in nahezu allen Fällen von den eigenen Pollenkörnern bestäubt. Für die Züchtung wird meistens die Methode der Stammbaumzüchtung oder aber die schnellere Methode des Ein-Korn-Ramschs (engl. *single seed descent*) verwendet.

Die Stammbaumzüchtung beginnt mit der Kreuzung (F1-Generation) von erfolgversprechenden, vorgeprüften Eltern, die aus Europa, Kanada, den USA oder aus Genbanken stammen. Die erstellte F1-Generation wird geselbstet (Inzucht) und die nachfolgenden F2-Einzelpflanzen auf leicht festzustellende Merkmale, wie beispielsweise den Blühzeitpunkt, die Verzweigung oder die Tausendkornmasse selektiert. Jede selektierte Pflanze wird in der nächsten Generation (F3) als eine Reihe angebaut. Zunächst werden zwischen den F3-Reihen die erfolgversprechendsten Reihen selektiert. Innerhalb der selektierten Reihen werden wiederum nur die besten Einzelpflanzen weitergeführt. In der nächsten Generation wird diese Selektion erneut wiederholt. Nach einer Anzahl von Generationen (meist ab der F5-Generation) werden keine Einzelpflanzen mehr selektiert, die Nachkommenschaften werden jetzt gemeinsam weitergeführt, da sie bereits eine hohe Reinerbigkeit

erreicht haben. In dieser Generation finden die ersten Leistungsprüfungen statt. Dazu werden die aussichtsreichen Stämme auf Kleinparzellen (8–10 m²) an drei bis fünf Orten angebaut. Die Auslese der besten Linien wird in einer weiteren Prüfung in der nächsten Generation auf weiteren Standorten erreicht. Die Sortenkandidaten werden schließlich vom Bundessortenamt in einer weiteren zweijährigen Prüfung auf geeigneten Standorten in ganz Deutschland getestet. Anhand dieser Ergebnisse wird die Entscheidung über die Zulassung der neuen Sorte getroffen. Darüber hinaus können in Deutschland auch ohne weitere Prüfungen so genannte EU-Sorten angebaut werden, das sind Sorten, die in einem anderen Mitgliedsland der EU bereits zugelassen sind.

Die Alternative, ist das Verfahren des Ein-Korn-Ramschs. Hierbei wird von jeder F2-Pflanze nur ein Same weitergeführt, dieser wird angebaut und die Pflanze damit geselbstet. Aus der entstehenden Pflanze wird wieder nur ein Same geerntet und weitergeführt. Nach mehreren Generationen entstehen dadurch weitgehend reinerbige (homozygote) Pflanzen. Bei diesem Verfahren sind die Umweltbedingungen ohne Bedeutung, daher wird zur Beschleunigung des Zuchtvorgangs ein Gewächshaus oder der Anbau in völlig unterschiedlichen Klimazonen, wie beispielsweise in Costa Rica, genutzt. Erst in der Zielumwelt werden die Pflanzen, entweder als Reihe oder als Einzelpflanzen, angebaut und selektiert. Durch diese Nutzung von Zuchtgärten im tropischen Raum ist es möglich, im Jahr bis zu vier Generationen anzubauen und daher den Zuchtgang deutlich zu beschleunigen.

Wertschöpfung durch heimische Sojabohnen

Tabelle 1: Beispiel-Sorten für Gunstlagen im 0/00-Bereich mit späterer Abreife.

Mittelwerte aus fünf Standorten 2015–2017 ^{1,2}.

Sorte	Standorte	Ertrag dt ha ⁻¹ bei 86 % TM	Roh- protein % i.d. TM	Roh- protein % i.d. TM
Silvia	Müllheim BW	45,3	39,9	15,7
	Orschweiler BW	47,7	38,3	15,9
	Köferin BY	53,3	39,5	24,5
	Gützingen BY	41,4	38,3	17,9
	Herxheim RP	-	-	-
	Mittel	46,9	39,0	18,5
ES Mentor	Müllheim BW	38,4	43,6	14,5
	Orschweiler BW	46,6	42,6	17,1
	Köferin BY	44,2	40,7	18,4
	Gützingen BY	39,3	39,9	14,6
	Herxheim RP	34,8	44,0	16,4
	Mittel	40,6	42,2	16,2
SY Eliot	Müllheim BW	40,7	42,4	14,9
	Orschweiler BW	41,0	40,2	14,2
	Köferin BY	46,3	40,4	18,1
	Gützingen BY	41,5	42,4	15,1
	Herxheim RP	35,8	43,3	16,4
	Mittel	41,1	41,7	15,7
Lenka	Müllheim BW	40,1	44,8	15,5
	Orschweiler BW	48,0	45,0	18,5
	Köferin BY	45,5	44,6	23,6
	Gützingen BY	-	-	-
	Herxheim RP	43,7	49,3	21,5
	Mittel	44,3	45,9	19,8

Standorte	Niederschlag (mm)	Höhe über NN (m)	mittlere Tages- temperatur (°C)
Müllheim BW	650	232	9,5
Orschweiler BW	827	166	9,5
Köferin BY	646	375	8,1
Gützingen BY	680	349	7,9
Herxheim RP	535	125	10,2

¹ es wurden je Sorte und Jahr Daten von mindestens drei Standorten in die Berechnung einbezogen (ausgenommen Sorte Lenka im Jahr 2015, hier liegt nur ein Ergebnis vor)

² Quellen:

Landessortenversuche Sojabohnen Baden-Württemberg (konv.) 2015–2017, LTZ Augustenberg

Landessortenversuche Sojabohnen Bayern (konv.) 2015–2017, LfL Bayern, Abt. Pflanzenbau

Versuchsberichte Sojabohnen Rheinland-Pfalz (konv.) 2015–2016, DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück

Tabelle 2: Beispiel-Sorten für mittlere Lagen und Grenzlagen im 0/00-Bereich mit früher Abreife.

Mittelwerte aus vier Standorten 2015–2017 ^{1,2}.

Sorte	Standorte	Ertrag dt ha ⁻¹ bei 86 % TM	Roh- protein % i.d. TM	Roh- protein % i.d. TM
Merlin	Tailfingen BW	39,5	40,3	13,7
	Eiselau BW	31,8	41,0	11,2
	Großaitingen BY	37,2	39,7	12,7
	Oberhummel BY	47,3	40,3	16,4
	Mittel	38,9	40,3	13,5
Obelix	Tailfingen BW	44,6	40,1	15,4
	Eiselau BW	24,5	43,0	9,1
	Großaitingen BY	38,1	40,1	13,1
	Oberhummel BY	45,6	41,0	16,1
	Mittel	38,2	41,0	13,4
Sultana	Tailfingen BW	41,5	42,4	15,1
	Eiselau BW	33,7	43,5	12,6
	Großaitingen BY	33,9	42,9	12,5
	Oberhummel BY	43,4	42,8	16,0
	Mittel	38,1	42,9	14,1
Shouna	Tailfingen BW	43,3	41,7	15,6
	Eiselau BW	31,0	43,0	11,5
	Großaitingen BY	38,5	42,7	14,1
	Oberhummel BY	47,6	42,7	17,5
	Mittel	40,1	42,5	14,7

Standorte	Niederschlag (mm)	Höhe über NN (m)	mittlere Tages- temperatur (°C)
Tailfingen BW	770	450	7,8
Eiselau BW	790	609	7,2
Großaitingen BY	820	542	7,9
Oberhummel BY	814	460	7,8

¹ es wurden je Sorte und Jahr Daten von mindestens drei Standorten in die Berechnung einbezogen (ausgenommen Sorte Lenka im Jahr 2015, hier liegt nur ein Ergebnis vor)

² Quellen:

Landessortenversuche Sojabohnen Baden-Württemberg (konv.) 2015–2017, LTZ Augustenberg

Landessortenversuche Sojabohnen Bayern (konv.) 2015–2017, LfL Bayern, Abt. Pflanzenbau

Versuchsberichte Sojabohnen Rheinland-Pfalz (konv.) 2015–2016, DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück

Reifegruppen und Futtersorten für Anbauregionen in Deutschland

Reifegruppe 0 = späte Sorten, reifen selbst in wärmsten Gunstlagen (Oberrheingraben, sowie im Rottal oder Landkreis Würzburg) nur unter optimalen Bedingungen ab. Die Reifegruppe 0 empfiehlt sich nur für die wärmsten Gunstlagen, in denen eine frühe Aussaat möglich ist, und die Wetterprognose ein zügiges Auflaufen erwarten lässt. Beispiel Futtersorten: Silvia PZO.

Reifegruppe 00 = frühreife Sorten, vergleichbar mit Körnermais FAO-Zahl 270–300 K. Diese Sorten reifen in vielen Regionen Deutschlands zu spät oder gar nicht ab. Die Reifegruppe 00 empfiehlt sich nur für die Gunstlagen mit Weinbauklima, z. B. Regionen im Rheingraben (Baden-Württemberg), sowie im Rottal oder Landkreis Würzburg in Bayern. Beispiele Futtersorten: Lenka, ES Mentor, Soprana, RGT Stumpa, Bettina, Flavia, Naya, Suedina.

Reifegruppe 000/00 = Übergangssorten, vergleichbar mit Körnermais der FAO-Zahl 260 K. Beispiele Futtersorten: SY Eliot, SY Livius, Pollux, Solena, RGT Shouna, Tourmaline.

Reifegruppe 000 = sehr frühreife Sorten, vergleichbar mit Körnermais der FAO-Zahl 230–250 K. notwendige Temperatursumme auf Basis von 6 °C: 1.450 °C. Die fortschreitende Entwicklung ertragsstarker 000-Sorten dürfte die räumliche Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland maßgeblich vorantreiben. Beispiele Futtersorten: Merlin, ES Comandor, Sirelia, Abelina, Alexa, Amarok, Obelix, GL Melanie. Etwas später: Amadea, Amandine, Coraline, Gallec, Galice, Regina, Sultana, Viola.

Reifegruppe 0000 = extrem frühreife Sorten, vergleichbar mit Körnermais der FAO-Zahl 220 bis 230 K. Diese Reifegruppe ist als Hauptfrucht (noch) ungeeignet, da die extreme Frühreife mit großen Ertragseinbußen einhergeht. Beispiele Futtersorten: Annushka, Bohemians, Tigran, Tundra.

3.2.5 Sorten für den Anbau von Sojafutter in Deutschland

International werden Sojabohnen aufgrund ihres Wärmesummenbedarfs von der Aussaat bis zur Ernte in 13 Reifegruppen von 000 über 0 und I bis X eingeteilt. Das Ertragspotenzial sehr früher Sorten (000) liegt im Bereich 35 bis 40 dt ha⁻¹ (Tabelle 1), und das frühreifer Sorten (00) bei 40 bis 45 dt ha⁻¹ (Tabelle 2). Neuerdings werden extrem früh abreifende Sorten als 0000 bezeichnet. Für Deutschland kommen in erster Linie 000-Sorten (sehr früh) in Betracht, im Weinbaugebiet auch 00-Sorten (früh). In Extremfällen kommen vereinzelt auch spätere Sorten der Reifegruppe 0 in den wärmsten Gunstlagen, und extrem frühe Sorten der Reifegruppe 0000 in den Grenzlagen zum Anbau. Da das Ertragspotenzial der 0000-Sorten deutlich geringer ist als das der frühesten 000-Sorten, steht deren Wirtschaftlichkeit meist in Frage, sofern sie nicht als Zweitfrucht nach früh räumendem Wintergetreide zum Einsatz kommen, was nur in den seltensten Fällen gelingt.

Neben dem Wärmebedarf bis zur Reife und dem Kornertrag sind weitere Auswahlkriterien der Rohproteingehalt (letztendlich der Rohproteintrag) und die Standfestigkeit, die insbesondere unter feuchten Anbaubedingungen mit stärkerer vegetativer Entwicklung gefordert wird. Hinzu kommen Toleranz gegen Krankheiten und Trockenheit, Kälteunempfindlichkeit in der Blüte sowie eine rasche Jugendentwicklung. Nachrangige Kriterien sind meist Tausendkornmasse, Nabelfarbe, Pflanzenlänge und Ölgehalt.

Gentechnisch veränderte Sorten sind in Europa lediglich für den Import, nicht aber für den Anbau zugelassen. Basierend auf den Ergebnissen der bundesweiten Landessortenversuche (LSV) erteilen verschiedene Landesanstalten sowie der Sojafördering Sortenempfehlungen (Kapitel 3.2.2).

3.2.6 Einfluss der Sortenwahl auf die Qualität

Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal von Sojabohnensorten sind die Eiweißgehalte. Zurzeit werden Sorten mit hohem Rohproteingehalt von der Futterindustrie bevorzugt und sind ein wichtiges Ziel in der Züchtung, obwohl Sojabohnen mit höheren Rohproteingehalten eine geringere biologische Eiweißwertigkeit aufweisen. Entsprechend sinken die Anteile der limitierenden Aminosäuren (Schweinehaltung: Lysin, Threonin und Tryptophan; Geflügel: Methionin, Lysin, Zystein und Threonin) am Gesamteiweiß (Thakur und Hurburgh, 2007), Sorten mit niedrigeren Rohproteingehalten enthalten die eigentlich erwünschten, hochwertigen Aminosäuren in höherer Konzentration (Medic et al., 2014) (Kapitel 3.8.3).

Sojasorten können sich des Weiteren sehr stark in ihren Ölgehalten unterscheiden. So weisen z. B. die Herkünfte in der Sojasammlung des USDA Gehalte zwischen 8,1 und 24,0 % Öl in der TM auf (Hill et al., 2005, 2001; Peregrine et al., 2008). Öle bestehen aus Triglyzerol und Fettsäuren. Die wichtigsten Fettsäuren in Sojabohnen sind Linolsäure (C18:2), Ölsäure (C18:1), Palmitinsäure (C16:0), Linolensäure (C18:3), und Stearinsäure (C18:0) (Medic et al. 2014). Aufgrund des hohen Gehaltes an ungesättigten, essentiellen Fettsäuren (z. B. Ölsäure, Linolsäure und Linolensäure) ist Sojabohnenöl aus ernährungsphysiologischer Sicht einerseits sehr hochwertig. Andererseits sind insbesondere Fettsäuren mit ungesättigten Doppelbindungen sehr instabil und unterliegen der raschen Zersetzung, sodass deren übermäßige Verwendung in der Fütterung (Kapitel 3.7) v.a. in der Schweinefütterung zu Qualitätsproblemen führen kann (Medic et al., 2014).

Sowohl der Ölgehalt als auch das Verhältnis der verschiedenen Fettsäuren zueinander können über die Züchtung und damit über die Sortenwahl beeinflusst werden. So wurden in den USA z. B. Sorten mit geringeren Gehalten an Linolensäure (2 bis 6 %) gezüchtet (Gerde et al., 2007). Ferner wurden Sorten mit hohen, einfach ungesättigten Ölsäuregehalten (bis zu 70 % am Gesamtölgehalt) gezüchtet, um einerseits den Erfordernissen einer hohen Stabilität des Sojaöls und andererseits der Nachfrage von Sorten mit hohen Gehalten an ungesättigten Fettsäuren gerecht zu

werden (Alt et al., 2005; Burton et al., 2006; Hill et al., 2005, 2001; Peregrine et al., 2008; Rahman et al., 2001; Takagi und Rahman, 1996). Durch Züchtung können Sorten mit hohen Gehalten an gesättigten Fettsäuren (v.a. Linolensäure) entwickelt werden (Fehr, 2007; Cahoon, 2003).

Kohlenhydrate sind mit Gehalten in der Größenordnung von 35 % in der TM die dritte wichtige Komponente von Sojabohnen (Medic et al., 2014). Sehr hohe Gehalte werden in den Schalen von Sojabohnen gemessen (86 %), aber hohe Gehalte sind ebenfalls im Embryo enthalten (Medic et al., 2014). Etwa die Hälfte der Kohlenhydrate bestehen aus Strukturkohlenhydraten bzw. Rohfaser (Zellulose, Hemizellulose und Pektine), die andere Hälfte besteht aus Mono-, Di- und Oligosacchariden (Medic et al., 2014). Die Zusammensetzung und Verteilung der verschiedenen Kohlenhydrate ist sortenabhängig. So kann die Verdaulichkeit bzw. der Energiegehalt von Sojabohnen um 7 bis 9 % durch eine erhebliche Reduzierung der Gehalte an gering verdaulichen Oligosacchariden erhöht werden (Hitz et al., 2002; Parsons et al., 2000). Diese Veränderung geht sogar mit einer Erhöhung der Gehalte an essentiellen Aminosäuren einher (Baker et al., 2011).

Für den **Futtersojaanbau** können eigentlich alle Sorten verwendet werden. Eine gute Futtersorte kennzeichnet sich aus durch:

1. hohen oder mittelhohen Proteingehalt
2. eher niedrigen Fettgehalt, aber hohen Zucker-
gehalt
3. geringe Trypsininhibitoraktivität
4. hohe Verdaulichkeit

Relevante Faktoren für die Vermarktung:

5. frei von Gentechnik (bei Importsaatgut von
außerhalb EU ggf. durch Laboruntersuchung
überprüfen lassen!)
6. Regionalität



Sojabohnenbestand kurz vor der Abreife

Foto: Janina Schmid/LTZ

3.3 Vermehrung

Götz Lechler (ZG Raiffeisen eG)

Janina Schmid, Anne Reutlinger (LTZ)

3.3.1 Überblick

Mit der Ausweitung der Sojaanbaufläche in Deutschland wächst der Bedarf an GVO-freiem und qualitativ hochwertigem Saatgut mit Anbaueignung für Mitteleuropa. Weil die Zunahme der Sojaanbaufläche eine relativ neue Entwicklung ist, steckt der Aufbau von Saatgutvermehrungen in Deutschland noch in den Anfängen. Geeignetes Saatgut kann in der Regel auch aus Frankreich, Österreich und anderen EU-Ländern bezogen werden. Aufgrund von Unterschieden bei den gesetzlichen Bestimmungen, Unsicherheiten bei Liefermengen und Lieferterminen birgt der Import von Sojasaatgut Risiken. Die Verfügbarkeit von im Inland produziertem Saatgut ist deshalb ein wichtiger Aspekt der heimischen Wertschöpfungskette. Eine der größten Herausforderungen bei der Erzeugung von Soja-saatgut ist die Gewährleistung einer guten Keimfähigkeit.

Hinzu kommt, dass im Hinblick auf Erhaltung der Keimfähigkeit Sojabohnen als schlecht lagerfähig gelten. Die Samenschale der Sojabohnen ist sehr empfindlich gegenüber mechanischen Belastungen (insbesondere bei geringer Kornfeuchte < 11 %), sodass leicht Schäden an den

Sojakörnern entstehen, die von unsichtbaren Verletzungen der Samenschale (Mikrorisse) über sichtbare Risse, Abplatzen der Samenschale bis zum Bruch der Sojabohne reichen (Shelar, 2008; Tedia, 1982). Dabei sind Sortenunterschiede zu beachten: Großkörnige Sorten mit hoher TKM (z. B. die Tofusorte „Primus“) sind empfindlicher als kleinkörnige Sorten (z. B. „Merlin“). Durch Eindringen von Luft ins Sameninnere als Folge der Verletzungen zerfallen die Fettsäuren und es kommt zum Verlust der Keimfähigkeit (Shelar, 2008). Samenbruch und Schalenverletzungen können beim Mähdrusch, in Förderorganen, beim Abkippen und bei der Trocknung entstehen (Shelar, 2008; Tedia, 1982). Daher stellt die Produktion von qualitativ hochwertigem Sojasaatgut hohe Ansprüche an Anbau und Aufbereitung der Saatgutpartien. Die allgemeine Empfehlung lautet, den Drusch nicht bei Kornfeuchten unter 13 bis 14 % durchzuführen, die Dreschtrommel möglichst schonend einzustellen (und ggf. wegen der Taubildung an die Tageszeit anzupassen) (Tedia, 1982). Ferner sollte im gesamten weiteren Verlauf auf eine möglichst schonende Behandlung des Saatgutes (z. B. durch Begrenzung der Fallhöhen) hingewirkt werden.

Akteure der Wertschöpfungskette

Die ZG Raiffeisen eG (Karlsruhe) hat in Baden-Württemberg als Vermehrungsorganisationsfirma (VO-Firma) eine Soja-Saatgutvermehrung aufgebaut. Sogenannte VO-

Firmen steuern die Vermehrung des Basissaatgutes und die Aufbereitung sowie den Vertrieb des Z-Saatgutes. In diesem Rahmen arbeitet die ZG Raiffeisen eG eng mit Vertragslandwirten zusammen. Zur Erzeugung von Z-Saatgut mit möglichst hoher Qualität hat die ZG Raiffeisen in den letzten Jahren nicht nur die Soja vermehrenden Landwirte intensiv betreut, sondern auch diverse Optimierungsmöglichkeiten bei der Aufbereitung des Saatgutes identifiziert und gemeinsam mit den Landwirten umgesetzt (Kapitel 3.3.3).

Ziele der Saatgutvermehrung

Hohe Keimfähigkeit und Triebkraft, durch:

- Vermeidung von mechanischen Beschädigungen der Sojabohnen
- schonende Trocknung zur Vermeidung von Überhitzung
- Reinheit: frei von Fremdsamen, Steinen, GVO-Stäuben, Diaporthe-Sporen

Anforderungen

- ausreichende Vermehrungsflächen bzw. Saatgutverfügbarkeit
- Saatgutaufbereitungsanlagen mit möglichst geringer mechanischer Belastung des Saatguts
- verlässliche und qualifizierte Partner (Vermehrungslandwirte)
- kurze Transportwege und frühzeitige Verfügbarkeit der Ware

An die Vermehrung von Sojasaatgut werden hohe Anforderungen bezüglich Qualität und Reinheit gestellt. Die angestrebten Zielgrößen sind eine möglichst hohe Keimfähigkeit (mindestens 80 %) und eine möglichst hohe Triebkraft sowie Abwesenheit von Verunreinigungen mit Fremdsamen und samenbürtigen Krankheiten. Die GVO-Freiheit des Saatgutes ist unabdingbar, dazu gehört die Freiheit von GVO-haltigen Stäuben, da diese bei entsprechenden Untersuchungen zu Positivbefunden führen können. Um diese Qualitätsanforderungen zu erreichen, sind neben den Landwirten auch das Vermehrungsunternehmen (Trocknung, Lagerung) und die Saatgut-Prüfinstitutionen (amtliche Prüfungen, private Labore) in der Verantwortung.

Die Verfügbarkeit von ausreichend Saatgut ist ein Faktor, der die Anbauflächenentwicklung von Soja beeinflusst. In Baden-Württemberg stiegen die Vermehrungsflächen in den vergangenen Jahren kontinuierlich an, zugleich wird eine größere Vielfalt an Sorten vermehrt (Tabelle 3). Im Jahr 2016 wurden auf einer Fläche von 213 ha Sojabohnen vermehrt. Bei einem angenommenen Ertrag von 25–30 dt ha⁻¹ reicht das erzeugte Saatgut für einen Anbau von 4.500–5.000 ha. Im Jahr 2017 war die angebaute Sojafläche in Baden-Württemberg jedoch bereits auf 6.900 ha gestiegen davon 1.150 ha im ökologischen Anbau (MLR, 2017). Dies bedeutet, dass Saatgut derzeit aus EU-Nachbarländern importiert wird. Dieser zusätzliche Importbedarf stellt alle Beteiligten vor größere Herausforderungen. Oftmals handelt es sich bei den verfügbaren Sorten nicht um die in Deutschland bevorzugten Sorten.

3.3.2 Einleitung

In der Regel erfolgt die Saatgutvermehrung in Kooperation einer Saatgutfirma (Vermehrungsorganisation) mit Vertragslandwirten. Das Vermehrungsunternehmen stellt das Basissaatgut zur Verfügung und nimmt nach erfolgreichem (feldanerkanntem) Anbau das Erntegut (Z-Saatgut) zurück, das die Landwirte auf Ihren Betrieben vermehrt haben. Züchter sind teilweise ebenfalls in den Prozess der Saatgutvermehrung eingebunden, z. B. durch Bereitstellung von Vorstufensaatgut zur Erzeugung von Basissaatgut.

Unterschiedliche gesetzliche Mindestanforderungen der Exportländer an das Saatgut (z. B. GVO-Grenzwerte) und die zu Deutschland teilweise deutlich unterschiedlichen weiteren Behandlungen des Saatgutes (fungizide Beizung, Impfung) sind dafür verantwortlich, dass die importierte Ware sich in der Qualität teilweise nennenswert von dem in Deutschland erzeugten Saatgut unterscheiden kann. Hinzu kommt, dass die Nachbarländer nur dann Saatgut exportieren, wenn der Bedarf im eigenen Land bereits gedeckt ist. Daher erfolgen Mengenzusagen oftmals spät und erschweren hierdurch die Anbauplanung.

Tabelle 3: Soja-Vermehrung in Baden-Württemberg (ha) von 2013–2017 (Müller-Belami und Würfel, 2017).

Sojasorten	2013	2014	2015	2016	2017
Amarok			8	5	10
Coraline					55
Lenka					12
Primus	20	21	24	19	
Sirelia			14	15	16
Solena			62	85	61
Soprana				7	9
Sultana	49	83	49	46	31
Viola				28	
Sonstige	7		2	9	5
Gesamte Vermehrungsfläche	76	104	159	214	199

3.3.3 Optimierungsmöglichkeiten bei der Saatgutgewinnung

Die ZG Raiffeisen eG hat an ihrem Saatgutaufbereitungsstandort für Feinsämereien in Hüfingen (Schwarzwald-Baar-Kreis) im Jahr 2013 eine Soja-Saatgutvermehrung gestartet und seitdem kontinuierlich ausgebaut. Eine weitere VO-Firma in Baden-Württemberg ist z. B. Beiseilen GmbH. Die Saatgutproduktion bei der ZG Raiffeisen erfolgt in Kooperation mit 25 Vermehrungslandwirten aus Baden und dem angrenzenden Bayern auf einer Fläche von circa 150 ha (im Jahr 2017). Durch die Verteilung der Vermehrungsbestände auf ein recht großes Gebiet, können Risiken der Saatgutverfügbarkeit durch Witterungseinflüsse deutlich reduziert werden. Seit Jahren arbeitet die ZG daran, die Prozesse vom Feld bis hin zum abgepackten, verkaufsfertigen Z-Saatgut zu optimieren. Im Fokus steht die Keimfähigkeit, denn diese kann sich durch mechanische Belastungen während der Ernte und Aufbereitung wesentlich verringern. Bei zu starker Beschädigung und Reduzierung der Keimfähigkeit ist das Saatgut nicht mehr anerkennungsfähig.

Durch eine Reihe technischer Optimierungsmaßnahmen in Verbindung mit der Gewinnung zusätzlicher, fachlich versierter Vermehrer konnten sowohl die Saatgutverfügbarkeit als auch die Saatgutqualität von 2014 bis 2017 deutlich gesteigert werden. Die starke Zunahme der Keimfähigkeit und damit einhergehend stark reduzierte Aberkennungsquote von Saatgutpartien trug zur höheren Saatgutverfügbarkeit bei (Abbildung 5). Im Erntejahr 2016

konnten Keimfähigkeitswerte von durchschnittlich 93 % erreicht werden, dies sind für Sojasaatgut hervorragende Werte.

Diese Ergebnisse sind nicht zuletzt auf die gute Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Akteuren zurückzuführen: eine Auswahl qualifizierter Vermehrungsbetriebe und deren intensive Betreuung auf der einen Seite (ZG), und eine generelle Offenheit der Landwirte für Veränderungen zwecks Optimierung der Arbeitsabläufe auf der anderen Seite. Der entscheidende Bereich bei der Betreuung der Landwirte war die Ernte, sowohl die Vorbereitung als auch die Durchführung:

- Der optimale Erntetermin ist vom Feuchtigkeitsgehalt des Erntegutes abhängig. Ziel ist es, keine Trocknung mehr durchführen zu müssen. Damit entfällt eine zusätzliche mechanische und ggf. auch thermische Belastung.
- Der Ernteprozess selbst ist entscheidend für die Keimfähigkeit. Unnötiges Umladen und große Fallhöhen sollten unbedingt vermieden werden, um eine Beeinträchtigung der Keimfähigkeit zu vermeiden.

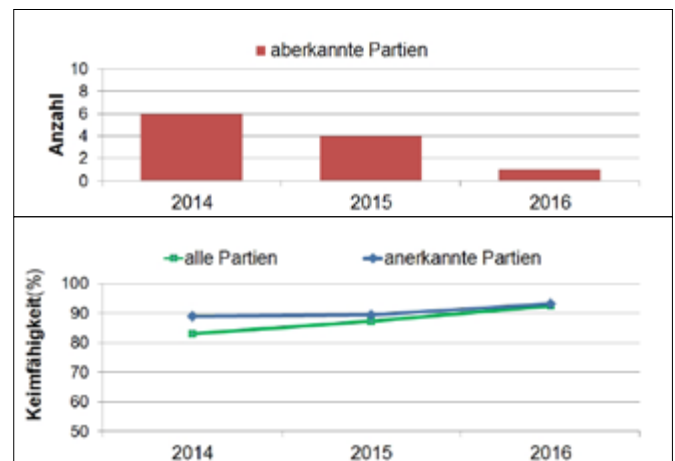


Abbildung 5: Keimfähigkeit von aufbereiteten Sojasaatgutpartien in den Jahren 2014–2016 (ZG in Hüfingen).

1. Ernte: Mähdrusch und Überladevorgang

Beim Mähdrusch der Vermehrungsbestände wurden an verschiedenen Punkten im Ernteprozess Proben gezogen und auf Keimfähigkeit untersucht. Die höchste Keimfähigkeit wurde erwartungsgemäß bei den Proben im stehenden Bestand gefunden (Abbildung 6), da hier keine mechanischen Einflüsse einwirken. Mit fortschreitendem Verlauf im Ernte- und Aufbereitungsprozess nahm die Keimfähigkeit ab. Die Sorten Sultana, Solena und Silvia PZO unterschieden sich in dieser Hinsicht nicht. Es wurden ebenso wenig Unterschiede zwischen Mähdreschertypen (Schüttler- bzw. Axialdrescher) gefunden.

Große Fallhöhen, wie beim Drusch in den leeren Korn-tank oder beim Überladevorgang in den leeren Hänger, reduzierten aufgrund mechanischer Schäden die Keimfähigkeit (Abbildung 6). Je größer die Fallhöhe desto stärker ist der Effekt. Der Rückgang der Keimfähigkeit beim Drusch in den vollen Korntank war mit 2,8 % noch gering, während der Überladevorgang in einen leeren Hänger die Keimfähigkeit um 9 % reduzierte.

Es zeigte sich, dass eine schonende Ernte von Soja mit der vorhandenen Mähdruschtechnik und bei entsprechender Einstellung (Kapitel 3.5.12, Ernte) der Erntemaschinen generell möglich ist. Während des Druschvorgangs kann die Fallhöhe mit einem Fallsegel herabgesetzt werden. Beim Überladevorgang sollte man möglichst auf vorhandene Ladungskegel abtanken. Die optimale Erntefeuchte liegt

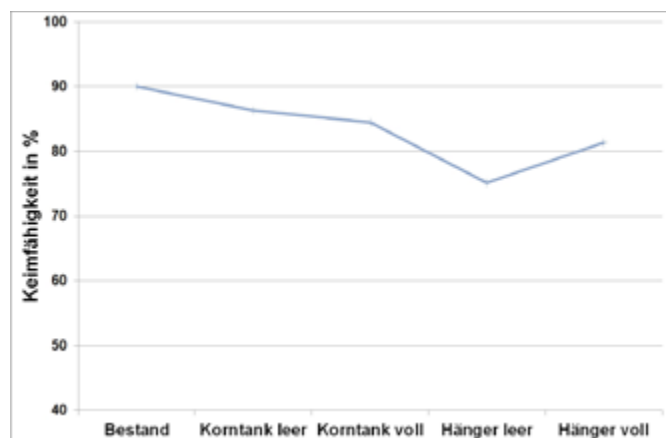


Abbildung 6: Abnahme der Keimfähigkeit im Verlauf des Ernteprozesses von Sojabohnen (Mittelwerte aus 6 Partien).

bei 15–16 %, da im Laufe der Bearbeitung noch Feuchtigkeit verloren geht und bei einem Wassergehalt unter 15 % die Anfälligkeit der Bohnen für mechanische Schäden zunimmt.

2. Aufbereitung: Entleerung und Reinigung

Nach der Ernte erfolgt die Aufbereitung der Rohware: die Entleerung, Trocknung und die Reinigung. In der Saatgutreinigungsanlage in Hüfingen wurden, analog zur Vorgehensweise bei der Ernte, an verschiedenen Stellen der Aufbereitung Proben gezogen und deren Keimfähigkeit bestimmt. Der Einfluss der Trocknung wurde nicht untersucht.

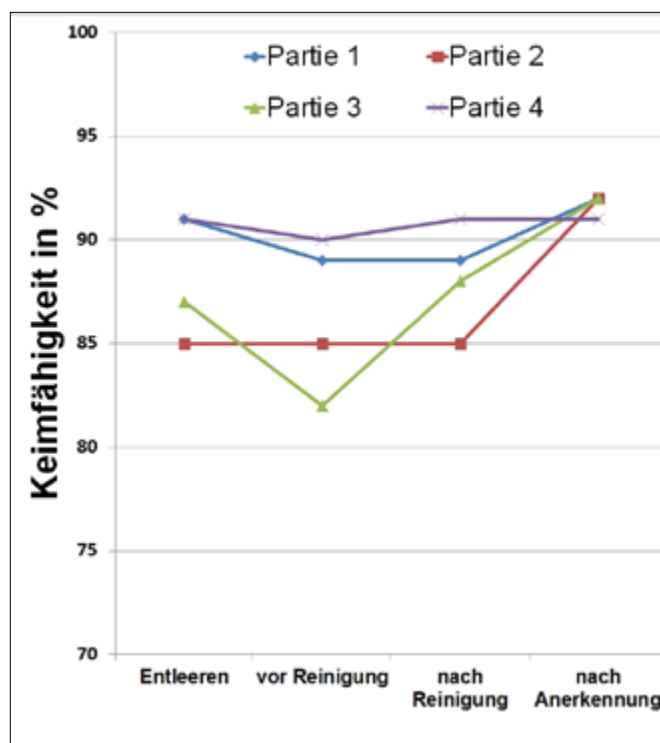


Abbildung 7: Veränderung der Keimfähigkeit durch die Aufbereitung von Sojasaatgut mit einer Saatgutreinigungsanlage Typ „Delta Pre Cleaner 138.2“ am Standort Hüfingen.

Generell sinkt die Keimfähigkeit der Bohnen während der Aufbereitung (Abbildung 7). Letztlich nimmt die Keimfähigkeit der gereinigten Partie allerdings mehr oder weniger zu, weil durch die Reinigung der Rohware bis zu 20 % als Ausputz abgetrennt werden. Die durchgeführte Aufbereitung ist schonend und es zeigten sich keine wesentlichen Schwachstellen im Reinigungsprozess. Aufbauend auf mehrjähriger Erfahrung wurden die Prozesse bereits in den letzten Jahren ausreichend optimiert. Zu

den Maßnahmen zur Optimierung der Aufbereitung bzw. zum Erhalt der Keimfähigkeit gehören:

- Das Ausleeren der Lagerkisten muss rechtzeitig erfolgen, so dass sich im Bunker immer noch etwas Saatgut aus der vorherigen Kiste befindet. Damit wird die Fallhöhe reduziert und der Aufprall der Ware erfolgt auf Sojasaatgut und nicht auf Metall.
- Die Elevatordrehzahl ist, in Abhängigkeit der nötigen Förderleistung, auf einen möglichst niedrigen Wert einzustellen. Auf diese Weise reduzieren sich die Aufprallgeschwindigkeit der „Förderschaukeln“ auf das Sojasaatgut sowie der Aufprall am Elevatorkopf beim Auswurf des Fördergutes.
- Zusätzlich ist darauf zu achten, dass viel Ware gleichzeitig durch die Förderorgane und die Reinigung läuft, damit möglichst wenige Sojabohnen auf harte Gegenstände (Metall) treffen. Allerdings ist diese Vorgehensweise negativ mit der Reinigungsleistung (vor allem bei den Sieben) korreliert. Hier muss daher in Abhängigkeit der einzelnen Partien ein Mittelweg gefunden werden.

3. Abpackung

Die aufbereitete und anerkannte Ware wird für den Vertrieb in Papiersäcke abgepackt. Bei diesem Arbeitsgang wird das Sojasaatgut in technischen Anlagen bewegt und es besteht somit die Möglichkeit der mechanischen Beschädigung und damit einhergehend ein potentieller Rückgang der Keimfähigkeit. Im Testversuch wurde allerdings nur eine sehr geringe Abnahme der Keimfähigkeit durch den Absackvorgang festgestellt.



Reinigungsanlage der ZG Raiffeisen eG in Hüfingen; links die Trieure und rechts die Sieb- und Aspirationsanlage
Foto: Götz Lechler/ZG

Bei der Planung der Arbeitsabläufe in einem Sojasaatgut aufbereitenden Betrieb ist neben einer optimalen Einstellung der Anlagen vor allem die umgehende Reinigung der angelieferten Rohware zu beachten. Dies hat mehrere Vorteile:

- Bei einem schonenden Drusch ist erfahrungsgemäß der Anteil an Schwarzbesatz (Unkrautsamen, verdorbene Körner, Verunreinigungen) deutlich höher als in der normalen Mähdruschware. Dieser Schwarzbesatz ist meist feuchter als das Erntegut und Herd mikrobiologischer Vorgänge, die die Keimfähigkeit des Saatgutes negativ beeinflussen können.
- Im September ist die Temperatur des Erntegutes und der Umgebung höher als bei einer späteren Aufbereitung. Bei niedrigen Temperaturen ist die mechanische Belastung der Sojabohnen aufgrund der geringeren Elastizität höher.

Saatgutreinigungsanlage – Beispiel „Delta Pre Cleaner 138.2“

Die ZG Raiffeisen eG in Hüfingen besitzt eine spezielle Saatgutreinigungsanlage vom Typ „Delta Pre Cleaner 138.2“ (A/S Cimbria, Dänemark). Die Reinigungsanlage ist mit verschiedenen Zusatzausrüstungen wie Entgranner, Kleereibe und Trieur ausgestattet, die für die Reinigung von Sojasaatgut unerheblich sind bzw. zur Schonung der Ware nicht benutzt werden sollten. Die Anlage, d. h. die Siebe und die Absaugvorrichtung (Aspiration), wird individuell auf jede Partie eingestellt, und zwar in Abhängigkeit von der Tausendkornmasse der Partie und vom Fremdbesatz. Folgende Einstellungen haben sich für Soja bewährt:

- Obersieb: Rundlochsieb (9–12 mm)
- Untersieb: Langlochsieb (3,5–4 mm)
- Sandsieb: Rundlochsieb (5 mm)

Das gewünschte Saatgut bleibt bei dieser Einstellung zwischen dem Obersieb und dem Untersieb.

Wie vermeidet man mechanische Schäden und erhält eine hohe Keimfähigkeit?

Schonender Drusch und Überladevorgang durch

- adäquate Einstellung der Erntemaschinen (Kapitel 3.5.12)
- Vermeidung von großen Fallhöhen durch Auffangen des Saatguts
 - mittels einem Fallsegels oder BigBag
 - Bohnen auf bereits im Transporter befindliche Ware abtanken

Wenn die Saatgutreinigung, Trocknung und Absackung schonend vorgenommen werden, ist bei diesen Prozessen nur eine geringe Reduzierung der Keimfähigkeit des Saatguts zu erwarten.



Gedroschene Sojabohnen, ungereinigt

Foto: Janina Schmid/LTZ



Wurzeln mit Knöllchen

Foto: Janina Schmid/LTZ

3.4 Impfmittel

Andreas Butz (LTZ)

3.4.1 Überblick

Die Sojapflanze als Leguminose kann in Deutschland ihr Ertragspotenzial durch die Symbiose mit sogenannten Knöllchenbakterien ohne Stickstoffdüngung erreichen. Die sojaspezifischen Knöllchenbakterien *Bradyrhizobium japonicum* kommen in europäischen Böden nicht natürlich vor, müssen daher über eine Impfung ins Sojafeld eingebracht werden.

Die Knöllchenbakterien infizieren über Wurzelhaare die Pflanzenwurzel, an der sich dann knötchenartige Wurzelverdickungen – die Knöllchen – bilden. In der Symbiose liefert Soja als Wirtspflanze Assimilate für das Bakterienwachstum und erhält im Gegenzug den von den Bakterien gebundenen Stickstoff als Amino-N (R-NH₂). Da der Sojaertrag stark von der Aktivität der N-fixierenden Knöllchenbakterien abhängig ist, gilt die Verfügbarkeit von effektiven Impfpräparaten von *Bradyrhizobium japonicum* neben exzellentem Saatgut und geeigneten Sojasorten als unabdingbare Voraussetzung für das Gelingen einer Soja-Wertschöpfungskette.

Akteure der Wertschöpfungskette

International gibt es mehrere Unternehmen, die Impfpräparate herstellen bzw. anbieten. Diese sind über den Saatguthandel und Landhandel zu beziehen. Es mangelt also nicht an Impfmitteln, allerdings ist die Qualität nicht bei allen auf dem Markt verfügbaren Mitteln zufriedenstellend. Aus diesem Grund wurden unter anderem am LTZ unterschiedliche Impfpräparate auf Ihre Eignung geprüft.

Impfziele

- Effektive Knöllchenbakterien
- Optimale Versorgung der Pflanzen mit Stickstoff
- Ertragsoptimierung: hoher Ertrag und Proteingehalt im Korn
- Anbau ohne N-Düngung

Anforderungen an Impfmittel

- Leichte Anwendbarkeit und „lange Haltbarkeit bzw. Vitalität der Präparate nach der Impfung“
- Geringe Umweltsensibilität
- Gleichbleibende sehr hohe Produktqualität



Impfmittelversuch: Parzellen mit dunkelgrünen Pflanzen haben eine höhere Stickstoffversorgung durch die erfolgreiche Impfung mit *Bradyrhizobium japonicum* Foto: Florian Jung/LTZ

3.4.2 Einleitung

Sojabohnen sind, wie alle Leguminosen, in der Lage in Symbiose mit Knöllchenbakterien atmosphärischen Stickstoff zu fixieren. Da die sojaspezifische Art *Bradyrhizobium japonicum* in europäischen Böden nicht natürlich vorkommt, findet in Deutschland üblicherweise vor der Aussaat eine Beimpfung mit *B. japonicum* statt. Es stehen zwei unterschiedliche Verfahren zur Auswahl, die Saatgut- bzw. Kontaktimpfung und die Bodenimpfung. Die Kontaktimpfung ist effektiver und ist in Deutschland und Europa die Standardmethode.

Das Impfmittel hat einen entscheidenden Einfluss darauf, ob eine Inokulation erfolgreich ist. Unter dem Sortiment an Impfpräparaten gab es immer wieder einzelne, die in der Praxis nicht zur gewünschten Knöllchenbildung führten und damit einhergehend durch die ausbleibende Stickstofffixierung zu Ertragsminderung und geringeren Proteingehalten führten.

Die Präparate unterscheiden sich in den Stämmen von *B. japonicum*, deren Anzahl, in der Formulierung (Torfbasis oder flüssig), in den verwendeten Zusatzstoffen wie z. B. Kleber als Haftstoff, und in weiteren Formulierungsbestandteilen, die z. B. das längere Überleben der Bakterien gewährleisten. Bei einigen Impfmitteln ermöglichen diese Zusätze, dass die Vitalität der Knöllchenbakterien für einen bestimmten Zeitraum anhält, sodass die Aussaat nicht direkt im Anschluss an die Impfung erfolgen muss. Zudem werden Impfmittel mit weiteren Mikroorganismen

wie *Trichoderma*-Arten angeboten. Neben dem Impfmittel haben die Bodenbedingungen (Feuchtigkeit, pH, Stickstoff) und die Sorgfalt der Impfung einen Einfluss auf den Erfolg der Impfung und die spätere Symbioseleistung.

Bis vor wenigen Jahren ging man davon aus, dass Sojabohnen nur mit *Bradyrhizobium japonicum* Knöllchen bilden können (Rodríguez-Navarro et al., 2011). In den vergangenen Jahren konnte in mehreren Untersuchungen belegt werden, dass Sojabohnen mit zahlreichen Arten der Gattung *Bradyrhizobium*, sowie durch die Gattungen *Rhizobium*, *Mesorhizobium* und *Sinorhizobium fredii* eine Symbiose eingehen kann (Thilakarathna und Raizada, 2017). Die verschiedenen Arten und Stämme unterscheiden sich in ihrer Wirkung auf den Knöllchenbesatz, Ertrag und Rohproteintrag (Thilakarathna und Raizada, 2017). Dazu gehören neben den eher langsam wachsenden Knöllchenbakterien *Bradyrhizobium spp.* auch schnell wachsende Arten aus der Gattung *Rhizobium*, wie z. B. *R. tropici*, *R. oryzae* und *M. tianshanense* (Biate et al., 2014; Hungria et al., 2001; Neves und Rumjanek, 1997; Thilakarathna und Raizada, 2017).

3.4.3 Effektivität verschiedener Knöllchenpräparate

In mehrjährigen Feldversuchen wurden 13 kommerzielle Impfpräparate an drei Standorten in Baden-Württemberg auf ihre Eignung geprüft (Butz und Jung, 2017).

Die Ergebnisse der Jahre 2015–2017 machen deutlich, dass eine effektive Impfung im Vergleich zur ungeimpften Kontrolle sowohl den Ertrag (um bis zu 25 dt ha⁻¹) als auch den Proteingehalt (um bis zu 9,2 %) wesentlich steigern kann. Außerdem wurden zwischen den Impfmitteln teils signifikante Unterschiede von bis zu 10 dt ha⁻¹ Ertrag und im Proteingehalt von bis zu 4,3 % (absolut) gemessen. Diese Versuchsergebnisse bestätigen die Erfahrungen aus der Praxis, aus Gefäßversuchen (Wächter et al., 2013) und Feldversuchen in Norddeutschland (Zimmer et al., 2016), dass zum Teil erhebliche Unterschiede zwischen den Impfmitteln bestehen. Daher ist es sinnvoll, langjährig bewährte oder in Versuchen geprüfte Knöllchenpräparate einzusetzen.

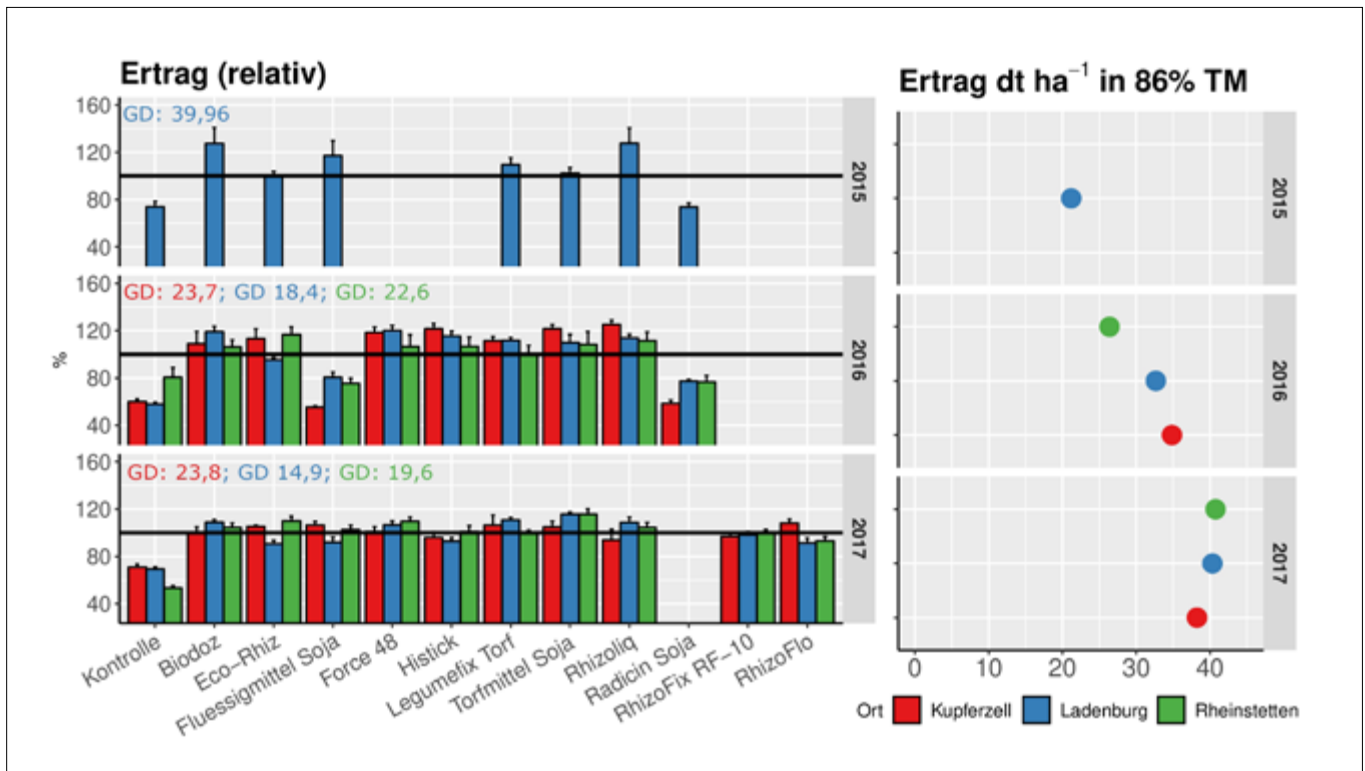


Abbildung 8: Einfluss der Impfung und der verwendeten Impfmittel auf den Ertrag von Sojabohnen (GD: Grenzdifferenz, Tukey-Test $p < 0,05$).

Geeignete Kontaktimpfmittel (Recknagel, 2017a)

Zurzeit sind folgende empfehlenswerte Kontaktmittel auf dem Markt:

Kurzfristig anzuwenden (unmittelbar vor Aussaat):

- Biondoz Soja: Torfbasis, ohne Haft- und Schutzfilm
- HiStick Soy: Torfbasis, ohne Haft- und Schutzfilm

„Haltbar“ (max. 2–14 Tage vor Aussaat):

- Force48: Torfbasis, mit Kleber und Schutz bis zu 48 Stunden
- Rhizoliq Top S.: Flüssig, mit Schutz bis zu 2 Wochen



Junge Sojapflanzen



Erntereife Sojahülsen

Fotos: Janina Schmid/LTZ

3.5 Anbau

Janina Schmid, Jürgen Recknagel, Kurt Möller (LTZ)

3.5.1 Überblick

Im Fokus der Wertschöpfungskette für konventionelles Sojafutter steht der Anbau, der mit der Verfügbarkeit angepasster Sorten an deutsche Standorte erfolgreich beginnen konnte. Während der Anbau in Deutschland bis 2009 mit weniger als 1.000 ha noch verhalten war, erhöhte sich die Anbaufläche seitdem stetig. Ein besonders deutlicher Flächenzuwachs zeichnete sich im Jahr 2015 ab, als Sojabohnen für den Anbau auf ökologischen Vorrangflächen als förderfähige Kulturen anerkannt wurden. Im Jahr 2017 wurden auf einer Fläche von ca. 19.000 ha etwa 61.000 Tonnen Sojabohnen produziert (Statistisches Bundesamt 2018). Diese wurden in erster Linie zu Proteinfuttermitteln verarbeitet. Im Vergleich zum jährlichen Bedarf in Deutschland ist dies zwar eine kleine Menge (1,2 % Selbstversorgung) (Wolf und Schätzl, 2017), dennoch ist der Sojaanbau allein schon aus pflanzenbaulicher Sicht interessant. Soja ist eine robuste, einfach anzubauende Kultur, die die Bodenstruktur verbessert und zu einer Auflockerung der Fruchtfolgen in den Betrieben führt. Als Leguminose benötigt sie keine Stickstoffdüngung und ist hierzulande wenig anfällig gegenüber Krankheiten, so dass sich der Pflanzenschutzmitteleinsatz in den meisten

Fällen auf die Ausbringung von Herbiziden beschränkt. Soja erweitert die Diversität an blühenden Kulturen zu einem Zeitpunkt zu dem die üblichen Kulturen verblüht sind und hat somit für Bienen und andere Insekten Bedeutung (Everwand, 2017).

Akteure der Wertschöpfungskette

Das Soja-Netzwerk steht aktuell (2014–2018) Neueinsteigern zum Sojaanbau in elf Bundesländern beratend zur Seite. Im Rahmen des Netzwerks betreut das LTZ in Zusammenarbeit mit dem Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück 32 Betriebe in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz. Das LTZ unterstützt die Beratung und begleitet den Anbau mit praxisrelevanten Versuchen zur Sortenwahl (LSV), Impfung, Düngung und Bewässerung.

Ziele des Anbaus

- Hoher Ertrag an Rohprotein
- Erweiterung der Fruchtfolge
- Lösung von phytosanitären Problemen
- Ökologische Vorteile: biologische N₂-Fixierung, geringer PSM-Einsatz, Diversifizierung der Fruchtfolgen, lange Blühphase in Zeitraum mit wenigen alternativen Trachten (Bienen)
- Eigenverfütterung (eingeschränkt durch Verdauungshemmstoffe)
- Hoher Auszahlungspreis durch spezielle Vermarktung und Vertragsanbau
- Versorgung der Viehbetriebe mit gentechnikfreiem Eiweißfutter

Anforderungen

- Ausreichend warmer Standort: Weinbau- oder Körnermaislagen
- Standort und Produktionsziel entsprechende Sorte der Reifegruppe 000, 00, 0
- Boden: leicht erwärmbar, gute Wasserführung, unkrautarm, steinfrei
- Saatgut: geimpft mit spezifischen Knöllchenbakterien
- ausreichende Unkrautkontrolle
- Ernte mit bodennah geführtem Mähbalken, Flexschneidwerk ist optimal

3.5.2 Einleitung

Seit 2014 integrieren immer mehr Landwirte die Sojabohne in ihre Fruchtfolge. Dies war und ist bedingt durch akzeptable Erzeugerpreise für Sojabohnen und zunehmende Probleme beim Anbau anderer Kulturen wie zum Beispiel Raps oder Mais. Zusätzliche Impulse brachten die Akzeptanz als Feldfrucht auf Ökologischen Vorrangflächen im Zuge des Greenings (ab 2015; jedoch ab 2018 nur noch bei Verzicht auf die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln) sowie einige Fördermaßnahmen der zweiten Säule auf Länderebene für vielfältige Fruchtfolgen mit einem Mindestanteil an Leguminosen. Ein entscheidender Faktor, der die Anbauausweitung ermöglicht hat, ist die zunehmende Verfügbarkeit geeigneter Sorten (Kapitel 3.1). Neben wirtschaftlichen Gesichtspunkten spielen anbautechnische Vorteile der Soja eine Rolle. Als Leguminose ist sie in der Lage Stickstoff (N) zu fixieren, was zur Folge hat, dass der Landwirt auf eine N-Düngung verzichten kann. Zudem verfügt der Boden nach dem Abräumen der Soja über eine gute Bodengare. Soja lockert die Fruchtfolge auf (Reduzierung des Getreideanteils, ggf. weniger Winterungen) und zeichnet sich hierzulande durch die meist noch geringen Probleme mit Krankheiten und Schädlingen aus.

Die grundlegenden Aspekte, die beim Anbau von Sojabohnen beachtet werden müssen, werden hier im Überblick dargestellt. Zu allen Anbauaspekten finden Sie zusätzliche Informationen und Praxistipps auf der Homepage des Sojaförderrings: www.sojafoerderring.de/anbauratgeber/. Die technische Durchführung der Aussaat, Impfung, mechanische Unkrautbekämpfung und Ernte werden auf dieser Homepage in online gestellten Videobeiträgen erklärt.

3.5.2 Standortansprüche

Die Sojabohne ist eine robuste Kultur, jedoch muss ihr relativ hoher Wärmebedarf für eine zufriedenstellende Entwicklung beachtet werden. Die Wärmesumme eines Standortes bestimmt die Anbauwürdigkeit und die Auswahl einer Sorte und damit das Ertragspotenzial (Kapitel 3.5.5). Unter mitteleuropäischen Bedingungen haben Sojabohnen ihr größtes Potenzial bei passender Sortenwahl in Weinbauregionen, aber ein erfolgreicher Anbau ist auch in den anderen Körnermaislagen möglich. Für den Anbau hierzulande sind Sojabohnensorten verfügbar, die in süddeutschen Höhenlagen bis ca. 500 m über NN oder im norddeutschen Tiefland gedeihen. Eine Anbaueignungskarte für Soja, die sowohl Wärmesummen,

Globalstrahlung, Bodenwertzahl als auch Niederschlagssummen berücksichtigt, wurde vom Julius Kühn-Institut in Zusammenarbeit mit dem Sojaförderring erstellt und ist online verfügbar (http://geoportal.julius-kuehn.de/map?app=soja_neu).

Sojabohnen wachsen auf unterschiedlichen Böden. Ideal sind leicht erwärmbare Standorte mit guter Wasserversorgung während der gesamten Vegetationsperiode. Es besteht ein gewisser Spagat zwischen leichteren, gut erwärmbaren Böden auf der einen Seite und eher schwereren Standorten mit guter Wasserführung und hoher nutzbarer Feldkapazität auf der anderen Seite. Leichtere Standorte mit Bewässerungsmöglichkeit dürften also besonders geeignet für den Anbau von Sojabohnen sein. In sehr trockenen Lagen und besonders bei sandigen Böden sollte eine Bewässerung möglich sein. Standorte, die zu Staunässe neigen, sind für den Sojaanbau allerdings absolut ungeeignet. Böden mit hoher Stickstoffnachlieferung können zu Reifeverzögerungen, uneinheitlicher Abreife und Lager führen. Im Hinblick auf die Aktivität der Knöllchenbakterien sind Böden mit niedriger Stickstoffnachlieferung und einem pH-Wert zwischen 6,0 und 7,0 optimal.

Die Sojabohne reagiert mit deutlichen Ertragseinbußen auf hohen Unkrautdruck. Aus diesem Grunde sollten Schläge gemieden werden, die zu Verunkrautung mit Disteln, Nachtschatten oder Winden neigen, da diese weder chemisch noch mechanisch gut zu regulieren sind. Ebenso sind extrem steinige Böden ungeeignet, weil diese beim Drusch mit dem bodennah geführtem Schneidwerk erschwerend zu Verunreinigungen und technischen Problemen führen können.

3.5.4 Fruchtfolge

Soja kann zur Erweiterung der Fruchtfolge beitragen. Im Vergleich mit anderen Körnerleguminosen hinterlässt sie weniger Stickstoff für die Nachfrucht, dafür aber eine sehr gute Bodengare. Um Soja optimal in der Fruchtfolge zu positionieren, müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Ein geringer Vorrat an verfügbarem mineralisiertem Stickstoff im Boden ($N_{\min}$ -Gehalt) ist anzustreben, um

die Entwicklung der Knöllchenbakterien nicht zu stören (Kapitel 3.5.7). Ein $N_{\min}$ Gehalt von 20–30 kg ha⁻¹ zur Sojasaat genügt den Pflanzen im Jugendstadium bis die Knöllchenbakterien aktiv werden. Folglich sollte Soja nach abtragenden Kulturen, die einen geringen N-Gehalt im Boden hinterlassen, stehen.

- Die Vorfrucht sollte wärmeliebende und spätkeimende Unkräuter möglichst unterdrücken. Wintergetreide ist dazu besonders geeignet (Gerhards, 2017).
- Zur Vorbeugung von Fruchtfolgekrankheiten sollte generell ein Anbauabstand von mindestens zwei bis vier Jahren eingehalten werden, je nach weiteren Kulturen und lokalen klimatischen Bedingungen. Die Pilzkrankheiten *Sclerotinia sclerotiorum* und *Rhizoctonia solani* treten in Deutschland in zahlreichen Kulturen auf, so auch in Soja:
 - Bei Befall mit *Sclerotinia sclerotiorum* sollte ein mindestens 4-jähriger Anbauabstand zur Soja selbst und zu anderen Wirtspflanzen wie Sonnenblumen, Tabak und Raps eingehalten werden (Kapitel 3.5.10).
 - Der Pilz *Rhizoctonia solani* hat neben Soja ein breites Wirtsspektrum, das unter anderem Kartoffeln, Mais und Zuckerrüben umfasst. Vorbeugend und nach einem bereits aufgetretenen Befall muss mindestens ein 1-jähriger Anbauabstand zu o.g. Kulturen eingehalten werden, um die Vermehrung des Erregers im Boden zu unterbrechen.

3.5.5 Sortenwahl

Entscheidend für den Anbauerfolg ist die Sortenwahl. Hierzulande können in der Regel Sorten der Reifegruppen 00 (früh abreifend – geeignet für Weinbaulagen) bis 000 (sehr früh abreifend – geeignet für etwas weniger warme Klimate) angebaut werden. Meist erzielen die spätreiferen Sorten (00) an geeigneten Standorten etwas höhere Erträge als die 000-Sorten (je nach Verlauf der Jahreswitterung zwischen -2 und +5 dt ha⁻¹) (Kapitel 3.1). Der Anbau von spätreifen Sorten in kühleren Lagen ist allerdings mit Ernterisiken verbunden. Es muss mit Ertragsverlust und Nachtrocknungskosten gerechnet werden; ggf. kommen die Sorten nicht zur Abreife. Der Anbau von Sorten der Reifegruppe 0 ist in Deutschland (noch) nicht üblich, da diese Sorten sehr spät und nur unter geeigneten Bedin-



Sortenunterschiede im Abreifeverhalten

Foto: Rudi Nesch

gungen abreifen. Die Sortenwahl bedarf einer Abwägung zwischen hohem Ertrag, Rohproteingehalt und Ertragsicherheit. Aber auch Eigenschaften wie Standfestigkeit oder die zügige Jugendentwicklung spielen eine Rolle bei der Sortenwahl (Kapitel 3.2.5). Generell kann man das Lagerrisiko verringern indem man wüchsige Sorten in Regionen mit hohem regelmäßigem Niederschlag meidet (Recknagel, 2017); auf trockenen Standorten können schnellwüchsige Sorten einen Vorteil haben.

Zunehmend spielt der Proteingehalt auch für Futtersoja eine wichtige Rolle. Dieser ist in erster Linie durch die Sortenwahl bedingt und wird unterstützt durch eine erfolgreiche Impfung. Letztlich muss der Landwirt eine Sorte wählen, die zu seinem Standort, Ertragsziel, Verwendungszweck und zu seiner Anbaumethode am besten passt. Empfehlungen gibt es hierzu seitens der Landesanstalten, Landwirtschaftskammern und des Sojaförderrings, basierend auf den bundesweiten Landessortenversuchen (LSV) (www.sojafoerderring.de/anbauratgeber/sorten/).

3.5.6 Aussaat

Die Auswahl des geeigneten Saattermins erfordert jedes Jahr viele Abwägungen: eine frühe Aussaat mit anschließender Nässe- und Kälteperiode birgt das Risiko von Spätfrost- und Auflaufschäden. Eine späte Aussaat kann zu einer verzögerten Abreife führen. Die Aussaat in warmen Boden (mindestens 10 °C) bei ansteigenden Umgebungs- und Bodentemperaturen ist ein wichtiger

Faktor, um einen guten Feldaufgang und eine zügige Jugendentwicklung zu gewährleisten. Besonders ungünstig sind kühl-feuchte Bedingungen nach der Aussaat der Sojabohnen. Die Aussaat sollte je nach Region, Reifegruppe und Wetter in der Regel zwischen Mitte April und Anfang Mai (+/- 2 Wochen) stattfinden. Aussaattermine zwischen Mitte April und Anfang Mai führen zu nahezu vergleichbaren Ertragsergebnissen (Asam et al., 2013). Spätere Aussaaten können ein erhöhtes Ernterisiko und Ertragsminderungen (Asam et al., 2013; Bastidas et al., 2008) durch Verkürzung der Vegetationsperiode und zunehmend negativen Einfluss der Langtagsbedingungen (kürzere und damit schwächere Jugendentwicklung vor der Blütenbildung) (Hu und Wiatrak, 2012) mit sich bringen. Eine frühe Aussaat kann bei günstigen Auflaufbedingungen zu einer Ernteverfrühung führen, zugleich können die TM-Gehalte deutlich geringer (Trocknungskosten) sein als bei Spätsaaten. Eine frühe Aussaat kann am ehesten bei stabiler Hochdruckwetterlage (günstige Wetterprognose für die nächsten acht auf die Aussaat folgenden Tage) und eher trockenen Standorten riskiert werden. Hier wird ggf. auch eine bessere Ausnutzung der Winterfeuchtigkeit erreicht. Auf eher zu hoher Feuchtigkeit neigenden Standorten sollte eine zu frühe Aussaat vermieden werden. Der optimale Aussaattermin ist außerdem von der Unkrautbekämpfungsmethode abhängig. Bei Durchführung eines so genannten „falschen Saatbettes“ sind Termine früh im April nicht umsetzbar, da diese Zeit noch für den Eggenstrich genutzt werden muss.

Exkurs: Aussaattermin, Wachstum und Qualität

Der Aussaattermin wirkt sich auf vielfältige Weise auf das Wachstum von Sojabohnen aus. Eine frühe Aussaat erhöht theoretisch die Anzahl an Internodien und damit die Verzweigung der Bestände (Wilcox und Frankenberger, 1987) und hierdurch die Anzahl der Hülsen und angelegten Körner (Pedersen und Lauer, 2004). Spätsaaten verkürzen die Jugendentwicklung (geringere Blattmasse vor Eintreten der generativen Phase, und damit geringere biologische N₂-Fixierung) und erhöhen das Risiko von Blüten- und Hülsenfall (Heitholt et al., 1986), wenn ihre generative Entwicklung durch Wassermangel in der Blüte beeinträchtigt wird; allerdings werden Körner mit höherer TKM zur teilweisen Kompensation der geringeren Anzahl an Körnern gebildet (Spaeth und Sinclair, 1985).

Der Aussaattermin hat Einfluss auf die Qualität der Ernteware: bei früher Aussaat werden höhere Ölgehalte als bei später Aussaat erzielt, zugleich kommt es zu einer Veränderung im Verhältnis der verschiedenen Fettsäuren (Öl- und Linolsäure) zueinander (Bellaloui et al., 2011, 2015). Bei Spätsaaten werden in der Regel höhere Eiweißgehalte erzielt (Bellaloui et al., 2011, 2015). Die Wirkung auf die Rohproteingehalte ist stark abhängig vom Witterungsverlauf und in dem Zusammenhang auch von der Bewässerung. Eine gute Wasserversorgung bis zum Ende der Kornfüllung führt in der Regel zu höheren Eiweißträgen.

Eine rasche und starke Jugendentwicklung von Sojabohnen führt nicht nur zu einer stärkeren Unkrautunterdrückung, sondern zugleich zu einer stärkeren N-Assimilation. In der Praxis haben Bestände mit starker vegetativer Entwicklung vor der Blüte aber häufig enttäuschende Kornerträge. Bedingt ist dies möglicherweise durch den erhöhten Wasserverbrauch während der Jugendentwicklung und einen Wassermangel während der Kornfüllungsphase.

Die Aussaat der Sojabohne kann sowohl mit herkömmlicher Drilltechnik als auch mittels Einzelkornsätechnik erfolgen. Im Allgemeinen ist der Reihenabstand bei Drilltechnik eher klein (12,5 cm) und bei Einzelkorntechnik meist weiter, d. h. zwischen 37,5 bis 50 cm (zum Einsatz der Maschinenhacke). In Versuchen am LTZ wurden bei konventioneller Bekämpfung der Unkräuter mit Herbiziden keine Ertragsunterschiede zwischen Mulchsaat mit Drilltechnik und Stripp-Till mit Einzelkornsätechnik festgestellt (Paeßens und Butz, 2017). Dahingegen spielen folgende technische Faktoren eine Rolle für das Etablieren eines gleichmäßigen Bestandes: stabile Andruckrollen sowie Säscharen, die nicht hüpfen, um eine möglichst gleichmäßige Ablagetiefe und eine gleichmäßige Verteilung des Saatguts in der Reihe zu erzielen. Um Fehlstellen zu vermeiden, sollte bei der Saat langsam gefahren werden (max. 6 km h⁻¹). Liegen Steine auf dem Boden, erleichtert Anwalzen nach der Saat später die Ernte.



Aussaat Sojabohnen

Foto: Rudi Nesch

Bei schweren oder kalten Böden beträgt die optimale Saattiefe 2 bis 3 cm, während bei leichten Böden und beim Einsatz von Bodenherbiziden die Ablage in 5 cm Tiefe erfolgen sollte. Wichtig ist es, dass die Sojabohne gleichmäßig auf dem feuchten Bodenhorizont abgelegt wird, um den Keimwasseranschluss herzustellen. Bei langanhaltender Trockenheit sollte das Saatgut ebenfalls tiefer abgelegt werden, da die Wasserversorgung für Keimung und zügige Jugendentwicklung unbedingt notwendig ist. Eine tiefere Aussaat kann auch bei Problemen mit Vogelfraß von Vorteil sein.

Spätreife Sorten (00) verzweigen stärker als früher abreifende Sorten (000). Empfohlen werden 55–60 keimfähige Körner/m² bei 00-Sorten und 65–70 Körner/m² bei 000-Sorten (Tabelle 4). Die Saatstärke für eine gewünschte Pflanzenanzahl (keimfähige Körner) pro m² berechnet sich wie folgt:

$$\text{Saatstärke} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = \frac{\text{Pflanzenzahl}}{\text{m}^2} \times \frac{\text{TKG(g)}}{\text{Keimfähigkeit (\%)}}$$

Beispiele:

- ca. 100 kg ha⁻¹ bei 60 Körner/m² mit TKM 150 g bei einer Keimfähigkeit von 90 %
- ca. 200 kg ha⁻¹ bei 70 Körner/m² mit TKM 243 g bei einer Keimfähigkeit von 85 %

Tabelle 4: Einfluss der Saatstärke (keimfähige Körner/m²) auf die Sojabohnenerträge (dt ha⁻¹ bei 86% TM) in den Jahren 2014–2016 (Raupp und Butz, 2017)¹.

Jahr	Saatstärke	Müllheim	Odenheim	Tailfingen
2014	70	44,0	31,3a	29,6a
	55	42,0	30,2a	28,3a
	40	41,0	28,2b	23,2b
2015	70	24,0	23,4ab	45,2
	55	23,3	25,6a	44,9
	40	23,0	21,1b	42,9
2016	70	32,7a	33,7a	36,8
	55	32,3a	31,2ab	41,0
	40	31,1b	30,0b	41,3

¹ Signifikanzkennzeichnung gilt jeweils innerhalb eines Standortes und Jahres

Bei einer intensiven mechanischen Unkrautbekämpfung oder Risikofaktoren berechnet man einen Zuschlag von 10–20 %. Sojasaatgut wird in Einheiten von 100–150.000 Körnern verkauft. In der Regel werden 4 bis 5 Einheiten pro ha ausgesät.

3.5.7 Saatgutimpfung

Das Ertragspotenzial von Soja kann nur mit spezifischen Knöllchenbakterien, die in Europäischen Böden nicht natürlich vorkommen, erreicht werden (Kapitel 3.4.3). Folglich ist eine Saatgutimpfung mit einem geeigneten Knöllchenpräparat notwendig. Die Kosten einer Impfung sind bedeutend geringer, als der finanzielle Verlust aufgrund fehlender Knöllchenbakterien. Deren Aktivität liegt darin, die Wirtspflanze bedarfsgerecht mit Stickstoff zu versorgen. Die Preise von Impfmitteln liegen in Deutschland bei ca. 25 bis 30 € pro 100 kg Saatgut.

Insbesondere beim Erstanbau sollten ausreichende Mengen an Impfmitteln angewendet werden: in diesem Fall wird die doppelte Aufwandmenge der Packungsangabe empfohlen. Eine Bodenimpfung zusätzlich zur Saatgutimpfung erhöht die Garantie, dass ausreichend Rhizobien zur Versorgung der Wirtspflanze vorhanden sind. Einige Sojasorten können als vorgeimpftes Saatgut („FixFertig“) bezogen werden. Es empfiehlt sich jedoch die Ergänzung mit einer frischen Impfung des Saatguts oder des Bodens, da je nach Lagerung und Transport die Vorimpfung schon gelitten haben kann. Selbst wenn Soja bereits einmal auf einem Schlag erfolgreich angebaut wurde, d. h. mit gutem Knöllchenbesatz und Ertrag, kann auf eine Impfung mit normaler Aufwandmenge beim nächsten Anbau nicht verzichtet werden, will man nicht erhebliche Ertrags- und Qualitätsverluste riskieren. Die Impfung ist bei Sojabohnen integraler Bestandteil eines wirtschaftlich erfolgreichen Anbaus.

Eine erfolgreiche Saatgutimpfung zeichnet sich durch eine homogene Verteilung des Impfmittels auf dem Saatgut bei Erhalt der Lebensaktivität der zugesetzten Bakterien

Wie vermeidet man GVO-Verunreinigungen im Erntegut?

- Z-Saatgut aus Deutschland verwenden
- Eintrag von Futtermittelstäuben (können bei der PCR zu falsch positiven Befunden führen) vermeiden, darum Transportanhänger mit Saatgut
 - nicht unterstellen in Hallen, in denen Futtermittel gelagert werden, eine Mahl- und Mischanlage betrieben wird und auch nicht in der Nähe von Abluftöffnungen von Ställen
 - mit Plane abdecken, falls nicht unmittelbar nach dem Drusch angeliefert werden kann



Wurzel mit Knöllchenbakterien

Foto: Anne Reutlinger/LTZ

Verfügung (Kapitel 3.4). Die meisten Präparate sollten in einem Zeitraum von 6 Stunden nach Beimpfung des Saatgutes in den Boden gelangen. Ausnahmen bilden die Mittel Force 48 und Rhizoliq, deren Hersteller die Wirkung bei einer Vorimpfung von 48 Stunden bzw. von 21 Tagen vor Aussaattermin garantieren.

Unabhängig von der Art der Impfung sollte im Juni der Knöllchenansatz kontrolliert werden. Im Innern rotgefärbte Knöllchen weisen auf aktive Knöllchenbakterien hin. Untersuchungen zeigen, dass die Überlebensdauer von Knöllchenbakterien im Boden von zahlreichen Umweltfaktoren wie Bodenfeuchtigkeit, pH-Wert der Bodenlösung und Nährstoffgehalte beeinflusst wird (Keyser und Munns, 1979). Insbesondere Trockenphasen können das Überdauern der Bakterien im Boden stark beeinträchtigen (Pena-Cabriales und Alexander, 1979).

und der Keimfähigkeit des Saatgutes aus. Dazu muss die Impfung sorgfältig und schonend durchgeführt werden. Als Impfmittel stehen Torf- sowie Flüssigpräparate zur

Wichtig für die Saatgutimpfung

Allgemein

- Trockenes Torfpräparat: intensives Mischen von Impfmittel und Saatgut direkt im Säkasten oder in einem anderen Behälter (Wanne oder Frontladerschaufel) bis möglichst alles Saatgut beimpft ist.
- Torfpräparat mit Zugabe von Flüssigkeit oder Kleber: Das Saatgut muss ausreichend abtrocknen können, um vor der Aussaat nicht zu verklumpen. Hierzu eignet sich der Säkasten nicht.

Zum Erhalt der Sojabohnenkeimfähigkeit

- Ein Impfen im Betonmischer ist schnell und effektiv und wird sowohl für trockenes als flüssiges Impfmittel häufig angewendet. Die Maschine darf jedoch immer nur kurz und langsam laufen, ansonsten könnte die empfindliche Saatgutschale beschädigt werden.

Besonders schonende Verfahren sind:

- Sprühverfahren: dabei lässt man das Saatgut aus einem aufgehängten BigBag in einen zweiten BigBag rieseln und besprüht es mit Hilfe der Kompressorflasche mit Flüssigimpfmittel (Impfmittel in die Sprühflasche füllen).
- Impftrichter mit integrierter Schnecke für große Mengen an Saatgut – Antrieb durch Zapfwelle.

Zum Schutz der Knöllchenbakterien

- Impfmittel sowie geimpftes Saatgut kühl, lichtgeschützt und nicht bei Temperaturen über 25 °C lagern.
- Bei Wasserzugabe kein gechlortes Leitungswasser verwenden. Die Bakterienpräparate sind chlor-, trockenheits-, wärme- und lichtempfindlich (UV-Strahlung), d. h. sie könnten absterben.
- Aufbringung der Impfmittel auf das Saatgut im kühlen Schatten. Anschließend innerhalb der „Haltbarkeitsperiode“ des Mittels (6 oder 48 Stunden, 21 Tage) aussäen.
- Vorsicht, wenn die Sämaschine in der Sonne steht und sich stark erwärmt.
- Die Sämaschine vor der Saat sorgfältig reinigen. Beizmittelreste können die am Korn anhaftenden Knöllchenbakterien schädigen!

3.5.8 Düngung

Bei den Nährstoffen Phosphor, Kalium und Magnesium genügt in der Regel eine Grunddüngung nach Nährstoffentzug durch Abfuhr (bei 30 dt ha⁻¹ Ertrag pro ha: 20 kg P, 40 kg K, 9 kg Mg) und ein Zu- oder Abschlag entsprechend der Nährstoffgehaltsklasse des Bodens. Diese Grunddüngung muss nicht zur Sojabohne, sondern kann bei einer Düngung im Rahmen einer Fruchtfolge zu Kulturen mit stärkerer Wirkung auf Wachstum und Ertrag erfolgen (z. B. zu Mais, Kartoffeln). Eine ausreichende Versorgung mit den Nährstoffen P, K und S ist eine wichtige Voraussetzung für eine hohe N₂-Fixierungsleistung und für hohe Erträge. Soja hat normalerweise keinen Bedarf an einer zusätzlichen Stickstoffdüngung, da 50 bis 60 %

des N-Bedarfs von Sojabohnen durch die biologische N₂-Fixierung gedeckt werden (Santachiara et al., 2017); der restliche Bedarf kommt aus der N-Nachlieferung des Bodens. Zu hohe N-Gehalte im Boden oder gar eine N-Startdüngung verhindern bzw. verzögern oder verringern eine ausreichende Knöllchenbildung und können im Extremfall sogar zu einer Verringerung der Gesamt-N-Aufnahme durch die Bestände führen (Santachiara et al., 2017). Wassermangel wirkt sich ebenfalls negativ auf die N₂-Fixierungsleistung aus (Paeßens et al., 2017).

Da die exakte Ermittlung des Knöllchenbesatzes schwierig ist (hohe Verluste beim Ausgraben) stellt sich die Frage einer N-Düngung nur bei frühzeitiger Vergilbung (in der Blüte). Aber auch eine N-Gabe kann fehlende

Exkurs: Grunddüngung

Eine gute Versorgung mit den Grundnährstoffen (P, K, S) führt zu höheren Eiweißgehalten im Erntegut zu Lasten der Ölgehalte (insbesondere der Linolensäuregehalte), und wirkt sich daher positiv auf die Qualität des Erntegutes aus (Bellaloui et al., 2009). Ungleichgewichte in der Nährstoffversorgung sind dagegen ungünstig: Eine zu hohe P-Versorgung führt zu höheren Eiweiß- und Ölgehalten (Gaydou und Arrivets, 1983), es sinkt insbesondere der Gehalt an essentieller Linol- bzw. Leinölsäure und damit der Nährwert für Mensch und Tier (Krueger et al., 2013). Dagegen senkt eine hohe K-Versorgung die Proteingehalte, erhöht aber die Ölgehalte (Gaydou und Arrivets, 1983). Eine zu hohe P- und K-Versorgung hat des Weiteren negative Einflüsse auf die Keimfähigkeit und die Triebkraft und damit auf die Saatgutqualität von Sojabohnen (Krueger et al., 2013).

Eine besondere Bedeutung hat beim Sojaanbau die S-Versorgung, da essentielle Aminosäuren wie z. B. Methionin und Cystein S-haltig sind. Diese Aminosäuren spielen eine große Rolle beim Futterwert der Sojabohnen für Monogastrier (Clarke und Wiseman, 2000; Hitsuda et al., 2008; Sexton et al., 2002). Während moderater S-Mangel nur einen geringen Einfluss auf die Jugendentwicklung und das Wachstum des Blattapparates von Sojabohnen hat, wirkt er stark auf den Hülsenansatz und der Anzahl angelegter Körner, und damit auf den Ertrag aus (Boem et al., 2007). Die S-Versorgung wirkt sich zudem stark auf die Eiweißgehalte und der biologischen Eiweißwertigkeit der Sojabohnen aus. Einen Hinweis auf S-Mangel können die Gehalte in den Körnern geben (Hitsuda et al., 2008):

mangelhaft:	$S < 1,5 \text{ g kg}^{-1}$
sehr niedrig:	$1,5 \text{ g kg}^{-1} \leq S < 2,0 \text{ g kg}^{-1}$
niedrig:	$2,0 \text{ g kg}^{-1} \leq S < 2,3 \text{ g kg}^{-1}$
normal:	$2,3 \text{ g kg}^{-1} \leq S$

Werden in den Körnern Gehalte unter 2,3 g je kg (oder < 0,23 %) festgestellt, ist in nachfolgenden Jahren ggf. eine S-Düngung vorzusehen. Untersuchungen der Firma Taifun Tofuprodukte GmbH und der Universität Gießen ergaben, dass im mitteleuropäischen Anbau kein S-Mangel vorliegt. Während der Vegetationszeit von Sojabohnen wird unter mitteleuropäischen Bedingungen ausreichend Schwefel im Boden mineralisiert (<https://www.sojafoerderring.de/anbauratgeber/duengung/schwefelduengung/>).

Knöllchen nie komplett ersetzen. Sie sollte erst ab der Vollblüte erfolgen und 80 kg N ha^{-1} nicht überschreiten. Besonders wichtig sind eine gute Bodenstruktur und Wasserversorgung, die nicht nur die symbiontische N_2 -Fixierung, sondern auch die Mineralisierung des Bodens unterstützt.

Da bei Sojabohnen wie bei anderen Körnerleguminosen nach dem Hülsenansatz die biologische N_2 -Fixierungsleistung sehr stark abnimmt (die Assimilate werden ab diesem Zeitpunkt bevorzugt in die Körner geleitet) (Kumudini et al., 2002; Shiraiwa und Hashikawa, 1994), wird in der Praxis die Möglichkeit einer N-Spätdüngung zur Erhöhung der Erträge und Rohproteingehalte diskutiert. Versuche haben allerdings gezeigt, dass die Sojabohne bis zu einem Ertrag von etwa $40\text{--}50 \text{ dt ha}^{-1}$ ihren N-Bedarf über die Knöllchenbakterien ausreichend decken kann, und mittels einer Spätdüngung unterhalb dieses Schwellenwertes kaum Wirkungen auf Ertrag und Qualität zu erzielen sind (Cafaro La Menza et al., 2017; Salvagiotti et al., 2008). Hinzu kommt, dass der Sojabohne, je nach Standort, über die fixierten N-Mengen hinaus zusätzlicher Stickstoff aus der Bodennachlieferung für die Ertragsbildung zur Verfügung steht.

3.5.9 Unkrautregulierung

Eine erfolgreiche Unkrautkontrolle ist entscheidend für den Anbauerfolg, da Soja wegen der zögerlichen Jugendentwicklung und dem späten Bestandesschluss zur Verunkrautung neigt. Winterungen als Vorfrüchte, Zwischenfruchtanbau und Bodenbearbeitungsmaßnahmen vor der Saat (Abschleppen) reduzieren den Unkrautdruck der Sojapflanze.

Im Falle einer rein mechanischen Unkrautkontrolle können Sojakulturen als ÖVF-Flächen eingebracht werden, da die Anwendung von Fungiziden zurzeit (noch) keine Rolle spielt. Felduntersuchungen und Praxiserfahrungen aus dem ökologischen Anbau zeigen, dass mechanische Verfahren wie striegeln und hacken in Kombination mit vorbeugenden Maßnahmen effektiven Schutz bieten können (Butz, 2017; Gerhards, 2017). Hackstriegel wirken im Voraufbau (Blindstriegeln) und frühen Nachaufbau der



Unkrautregulierung mit der Fingerhacke Foto: Janina Schmid/LTZ

Soja gut, d. h. wenn mittels Maschineneinstellung und Fahrgeschwindigkeit die Entwurzelung und Verschüttung der Unkräuter erreicht wird.

Die Hacke sollte so früh wie möglich eingesetzt werden. Günstig ist ein erster Hackdurchgang schon während des Auflaufens der Soja, dabei zugedückte Bohnen wachsen wieder durch. Aufgehäufelte Dämme werden ab voller Entfaltung des ersten Laubblattpaares wieder „abgestriegelt“. In der Regel müssen mindestens zwei Hack-Durchgänge innerhalb der ersten vier bis sechs Wochen nach der Saat durchgeführt werden.

Eine chemische Behandlung mit Herbiziden ist im Voraufbau am effizientesten. Voraussetzung ist eine ausreichende Bodenfeuchte und feinkrümlige Bodenbedeckung. Die Herbizidanwendung ist jedoch je nach Unkrautart, Zeitpunkt des Auflaufens der Unkräuter und Witterung unterschiedlich wirksam (Gerhards, 2017). Auch Schäden an Soja bei hohen Niederschlagsmengen sind möglich. Einige Sorten (z. B. ES Mentor) reagieren empfindlich auf den Wirkstoff Metribuzin, besonders wenn durch Starkniederschläge Erde auf die Laubblätter gelangt. Nach einer chemischen Behandlung sollte der Spritzfilm möglichst unversehrt bleiben. Eine Liste der zugelassenen Herbizide ist auf der Homepage des Sojaförderings online gestellt.



Soja mit *Sclerotinia*-Befall

Foto: Anne Reutlinger/LTZ

3.5.10 Krankheiten und Schädlinge

Anders als in den Regionen mit großflächigem Sojaanbau, wie in Nord- und Südamerika, ist hierzulande der Krankheitsbefall der Sojabohne gering. Mit zunehmender Anbaufläche kann sich die Situation ändern. Einige Krankheiten treten bereits in Deutschland auf. Die bedeutendsten sind die Pilzkrankheiten Weißstängeligkeit (*Sclerotinia sclerotiorum*) und Wurzelfäule (*Rhizoctonia solani*). Zur Vermeidung dieser Krankheiten sind Anbaupausen effektiv (Kapitel 3.5.4). *Sclerotinia* wird durch feuchtwarme Bedingungen begünstigt. Sie kann hierzulande mit einem biologischen Fungizid (dem Pilz *Paraphaeosphaeria minitans*) bekämpft werden (Hahn und Miedaner, 2013). *Paraphaeosphaeria minitans* reduziert sehr effektiv (Reduktion um > 90 %) die Sklerotien (Überdauerungsorgane des Erregers) im Boden und dadurch die Befallsstärke des Pilzes (Zeng et al., 2012). Darüber hinaus gibt es tolerante Sorten.

Sojapflanzen werden gern von Tauben, Krähen, Hasen (keimende Körner) und Rehen (Spross) gefressen. Dies verursacht zum Teil erhebliche Schäden im Bestand. In Ausnahmejahren treten die Raupen der Distelfalter als Schädlinge auf. Es gibt sowohl biologische als auch chemische Bekämpfungsmittel gegen den Distelfalter. Aktuelle Informationen zum Pflanzenschutz finden Sie unter www.sojafoerderring.de und auf der Homepage des Landwirtschaftlichen Technologiezentrums Augustenberg (LTZ).

3.5.11 Bewässerung

Während der Jugendentwicklung benötigt Soja relativ wenig Wasser. Allerdings reagiert die biologische N₂-Fixierung besonders empfindlich auf Wassermangel, sodass Wassermangel in diesem Stadium die N-Assimilation stärker beeinträchtigt als andere Wachstumsprozesse (Sall und Sinclair, 1991; Serraj und Sinclair, 1997) (Kapitel 3.2.3). Besonders trockenheitssensible Stadien sind der Beginn der Blüte, die Hülsenbildung und das Dickenwachstum der Hülsen, mit größtem Wasserbedarf ab der Hülsenbildung (Torrión et al., 2014). Eine unzureichende Wasserversorgung zur Zeit der Blütenentwicklung (Juni/Juli) und zur Kornfüllung (August) führt zu Einbußen im Korn- und Eiweißertrag unter anderem aufgrund verminderter Knöllchenaktivität (Paeßens et al., 2017).

Eine Beregnung ist in sehr trockenen Lagen und bei sandigen Böden notwendig. In Versuchen auf einem sandigen Trockenstandort konnte der Kornertrag durch die Beregnung um 25,8 dt ha⁻¹ auf 38,5 dt ha⁻¹ gesteigert und die Ertragsschwankungen deutlich reduziert werden (Butz und Mastel, 2017). Die Beregnungskosten konnten im Versuch ab einem Mehrertrag von 12 dt ha⁻¹ (variable Kosten) bzw. 20 dt ha⁻¹ (variable und fixe Kosten) gedeckt werden.

3.5.12 Ernte

Das Ziel einer möglichst verlustfreien Ernte ist eine der Herausforderungen im Sojaanbau, da der Hülsenansatz tief ist. Die Vorbereitung beginnt schon beim Saatbett (eben, steinfrei) und bei der Sortenwahl (Hülsenplatzfestigkeit), aber wesentliche Faktoren sind der Erntetermin sowie die Druschtechnik und Maschineneinstellung.

In Deutschland liegt die Sojaernte zwischen Anfang September und Mitte Oktober, je nach Sorte, Witterungsverlauf und Saattermin. In Ausnahmefällen wird sogar noch im November geerntet; allerdings ist die Gefahr von feuchtem Erntegut, Ernteverlusten und Qualitätseinbußen bereits ab Mitte Oktober sehr groß (Recknagel, 2017a). Sojapflanzen sind nach fünf Monaten (000) bzw. sechs Monaten (00) entereif, erkennbar an den gelben, überwiegend



Mähdrusch von Soja

Foto: Armin Meitzler



Reife Sojabohnen

Foto: Armin Meitzler

abgefallenen Blättern und den beim Schütteln rasselnden Körnern in den meist braunen Hülsen. Die Bohnen reifen von unten nach oben und zuerst am Haupttrieb ab. Die Kornfeuchte beträgt in diesem Stadium im Durchschnitt 14–20 %, wobei 13–15 % optimal zum Drusch sind. Bei geringerer Feuchte besteht die Gefahr des Kornbruchs und bei höherer Feuchte das Risiko von Kornquetschungen und hohen Trocknungskosten.

Die Druschtechnik hat Einfluss auf die Erntemenge und Qualität. Da die Hülsen der Soja sehr bodennah ansetzen (oftmals weniger als 10 cm), muss das Schneidwerk so tief wie möglich geführt werden. Bei geeigneter Mähdreschereinstellung kann Soja verlustarm mit einem Standardmähdrescher für Getreide und Mais geerntet

werden. Es empfiehlt sich bei Lohndrusch den Mähdrescher rechtzeitig zu bestellen, bevor alle Maschinen auf Körnermais umgestellt sind. In den letzten Jahren werden Drescher mit flexiblen Schneidwerken (ideal für tiefen Schnitt, da das Schneidwerk direkt über dem Boden läuft) oder mit Rotordruschsystemen (um Bruchkorn zu reduzieren) eingesetzt. Hinsichtlich der Erntequalität sollte der Anteil von Bruchkörnern und Hülsen so gering wie möglich gehalten werden. Der Besatz mit Mais oder Erbsen lässt sich kaum herausreinigen und gefährdet die Vermarktung, insbesondere im Lebensmittelsegment.

Empfehlungen für die Einstellungen des Mähdreschers

Für eine verlustfreie Ernte mit hoher Qualität muss die Maschine entsprechend dem Mähdreschertyp und den Erntebedingungen eingestellt werden.

- Fahrgeschwindigkeit: 4–5 km h⁻¹ sauberer Schnitt, verringert Ausfall und Kornbeschädigung
- Haspel: tief und etwas vor dem Schneidwerk laufen lassen. Geringfügig schneller als Fahrgeschwindigkeit einstellen. Ährenheber abbauen ⇒ weniger Schmutz- und Steineintrag
- Trommeldrehzahl: möglichst niedrig 400–500 U min⁻¹ schont die Körner
- Dreschkorböffnung: 20 bis 25 mm vorne, 15 bis 18 mm hinten. ⇒ bestimmt Ausdrusch, richtige Einstellung vermeidet Bruchkorn (Dreschkorb nicht zu weit stellen, da sonst viele Hülsen in die Überkehr gelangen, dies erhöht den Bruchkornanteil)
- Wind: nach vorne ausrichten, 3/4 bis voll ⇒ reguliert Reinigung
- Sauberer Drescher und saubere Transporteinrichtungen
⇒ vermeidet Besatz ⇒ Reinheit Erntegut ⇒ bessere Vermarktung

3.5.13 Lagerung

Eine Lagerung ist ab 13 % Feuchte möglich. Bei mittlerer Lagerdauer sollte der Wassergehalt unter 12 %, bei Langzeitlagerung sollten Sojabohnen TM-Gehalte von mindestens 91 % aufweisen.

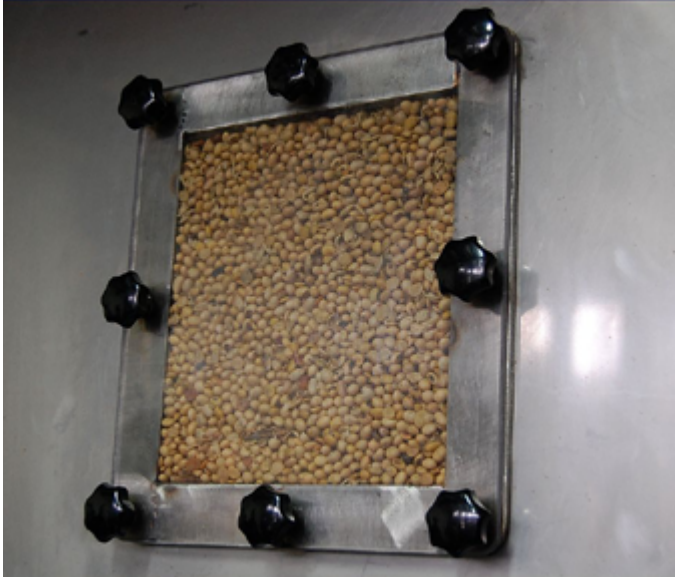
3.5.14 Sojabohnen-Ganzpflanzensilage

In Mitteleuropa beschränkt sich die Produktion von Sojabohnen auf die Kornnutzung. In Übersee wurden neuartige Sorten mit sehr hohen Erträgen (8,5 bis 10,8 Tonnen TM) und hohen Rohproteingehalten (14,5 bis 16,5 % RP in der Ganzpflanze) zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) gezüchtet (Devine et al. 1998a,b). In Deutschland könnte die Silierung von Soja eine Möglichkeit sein, nicht reifwerdende Bestände zu verwerten. Allerdings ist die Silierung von Sojabohnen bislang noch in der Optimierungsphase und lässt sich noch nicht wirtschaftlich darstellen.

Soja-GPS könnte zum einen als eiweißreiches Grundfutter den Bedarf an eiweißreichen Kraftfuttermitteln senken und zum anderen eine direkte Verwertung des Sojaaufwuchses ermöglichen, ohne zusätzliche aufwändige Aufbereitung. Die Möglichkeit der Nutzung als GPS könnte in einem schlechten Sojajahr (starke Verunkrautung, große Trockenheit, Probleme bei der Abreife) das Ertragsausfallrisiko reduzieren. Gerade spätreife Sorten der Reifegruppen 0 und 00 sind häufig sehr starke Biomassebildner mit erhöhtem Abreiferisiko. Der optimale Erntezeitpunkt mit den höchsten TM-Erträgen ist zwischen der Kornfüllungsphase und dem Beginn der Abreife (eine abgereifte Hülse und 50 % vergilbte Blätter) (Hintz et al., 1992). Die Zusammensetzung der Ganzpflanze von Sorten zur Kornnutzung weist höhere Rohproteingehalte (190–240 vs. 125–165 g kg⁻¹) und geringere Rohfasergehalte (350–440 vs. 392–516 g kg⁻¹) auf als Sorten zur Ganzpflanzennutzung (Altemose, 2002; Sheaffer et al., 2001b).

Die alternative Nutzung von Soja als GPS wurde in Bayern (Spiekers, 2014) untersucht. Eine besondere Herausforderung stellt jedoch, aufgrund der hohen Wasser-, Eiweiß- und Fettgehalte, die Silierbarkeit des Aufwuchses

dar (Wheeler, 2000). Fette hemmen die Entwicklung von Bakterien und verlangsamen damit die Silierung, zugleich erhöhen sie den pH-Wert der Silage und damit die Gefahr von Fehlgärungen und Schimmelbildung (McCartney und Fraser, 2010; Wheeler, 2000). Der Zusatz von Siliermitteln verbessert die Silierbarkeit, dennoch kann die Silierung misslingen (Spiekers, 2014; David, 2013). Darüber hinaus sollten wegen Beeinträchtigungen der Schmackhaftigkeit nicht zu hohe Anteile an Sojabohnensilage in die Futterration eingemischt werden (Johnston und Bowman, 2000).



Sojabohnen im Silo, Sojakuchen auf dem Betrieb Thumm



Fotos: Anne Reutlinger/LTZ, Christian Rupschus/LTZ

3.6 Erfassung und Vermarktung

Uwe Fülle (ZG Raiffeisen eG)

Christian Rupschus (LTZ)

3.6.1 Überblick

Vor der Entscheidung für einen Sojaanbau sollten Landwirte die Verwendungsmöglichkeiten und Wertschöpfungspotenziale ausloten. Die Erfassung und Vermarktung kann ebenfalls schon vor dem Anbau entsprechend geregelt werden. Erfasser und Verarbeiter sind wichtige Partner für den Sojaanbauer. Eine vollständige Wertschöpfungskette vom Anbau über den Futtertrog bis hin zum Endprodukt kann einen Mehrwert sowohl für den Landwirt als auch für weitere beteiligte Akteure generieren (Quendt et al., 2017).

Insbesondere die Merkmale Regionalität und Gentechnikfreiheit spielen eine große Rolle bei der Vermarktung und beim Preis (DLG, 2011). Dies gilt nicht nur für das Endprodukt, sondern genauso für das Primärprodukt Sojabohne und die Zwischenprodukte. Hofeigene Fütterung erzielt einen weiteren Mehrwert bei den Endprodukten Fleisch und Eier. Aufgrund der steigenden Nachfrage nach gentechnikfreien Sojabohnen bundesweit sollten sich die Erzeugerpreise positiv für den Landwirt entwickeln, so dass der konventionelle Anbau sich entsprechend wirtschaftlich attraktiv gestalten lässt (Recknagel, 2017b).

Anforderungen

- Kurze Wege und Auslastung der Transporte
- Ausreichende Lagerkapazität oder Zwischenlagerungsmöglichkeiten
- Qualitätssicherung bei: Ernte, Transport, Reinigung, Trocknung und Lagerung
- Schonende Behandlung der Bohnen bei allen Prozessschritten
- Homogenisierung der Ware $\Rightarrow$ gleichmäßige Verarbeitungsqualität
- Regelmäßige Qualitätskontrolle

Ziele der Vermarktung

- Lukrative Preise für Landwirte und nachgelagerte Akteure
- Imagegewinn für Landwirte und Handel
- Merkmale Regionalität und Gentechnikfreiheit nutzen
- Hofeigene Fütterung mit Mehrwert vermarkten

Akteure der Wertschöpfungskette

Die Erfassung in Baden-Württemberg erfolgt maßgeblich durch die Genossenschaften ZG Raiffeisen eG (ZG) und Kraichgau Raiffeisen Zentrum eG (KRZ). Diese kooperieren mit dem Raiffeisen-Kraftfutterwerk Kehl (RKW) bzw. der Mühle Ebert Dielheim. Bei der Vermarktung werden häufig Einzelhändler und/oder Großhändler eingebunden.

3.6.2 Einleitung

Die Vermarktung von Sojabohnen erfolgt meist mittels Vorverträgen zwischen Landwirten und Erfassern. Von den Erfassern werden hierzu unterschiedliche Vermarktungsmodelle als Vorverträge angeboten, die in ihrer Ausgestaltung sich an den üblichen Getreide- und Maisverträgen orientieren. Das Vermarktungsmodell Fixpreiskontrakte wird am häufigsten in Anspruch genommen. In der Oberrheinebene von Baden-Württemberg lagen die Erzeugerpreise für konventionelle Sojabohnen in den letzten fünf Jahren durchschnittlich bei 40 € dt⁻¹.

Die Sojabohne zählt im konventionellen Anbau zu den eher extensiven und kostengünstigen Kulturen (Tabelle 5), die nur gesät, einmal mit Herbizid behandelt und dann wieder geerntet werden. Eine N-Düngung direkt zu Soja ist nicht erforderlich, dafür jedoch die Impfung des Saatguts (oder des Bodens). Da sie ohne Stickstoffdüngung und meist auch ohne Trocknung des Ernteguts auskommt, weist sie eine sehr günstige Energie- bzw. CO₂-Bilanz auf, welche bei regionaler Verwertung zudem nicht durch große Transportentfernungen belastet wird. Die variablen Kosten sind niedriger als für Winterweizen und Körnermais. In Kombination mit einem relativ hohen Sojapreis können gute Deckungsbeiträge erzielt werden (Tabelle 5).

Die mittleren Deckungsbeiträge aller konventioneller Betriebe aus dem Soja-Netzwerk lagen in den Jahren 2014 und 2016 (Jahre mit günstiger Witterung) bei 437 und 412 € ha⁻¹ und wurde ohne Berücksichtigung des Vorfruchtwertes ermittelt. Damit schneidet Soja im Vergleich zu anderen Körnerleguminosen meist besser ab und ist auch im Vergleich zu Winterweizen und Körnermais konkurrenzfähig (Wolf und Schätzl, 2017). Im Erntejahr 2016 erzielten die Betriebe im nördlichen Baden-Württemberg im Durchschnitt sogar Deckungsbeiträge von fast 570 € ha⁻¹ (Wolf und Schätzl, 2017). Hier sowie in der restlichen Oberrheinebene sind die Anbaubedingungen und somit Erträge in der Regel höher als in nördlicheren Regionen von Deutschland. Zur Abschätzung der Deckungsbeiträge unter Berücksichtigung des Standortes und der Vermarktungsstruktur werden online einfache Kalkulationsmodelle angeboten:

1. auf der Webseite der LfL: www.stmelf.bayern.de/idb/sojabohne.html
2. auf der Webseite der LfL: www.lfl-bw.de/pb/Len/Startseite/Unsere+Themen/Kalkulationsdaten+Marktfruechte

Für die Vermarktung der Sojabohnen müssen folgende Qualitätsanforderungen erfüllt werden (RKW, Stand Herbst 2017):

- Gentechnikfreiheit: kein Anbau von GVO-Pflanzen im Betrieb und Nachweis der Verwendung von GVO freiem Saatgut,
- Besatz (< 2 %),
- Feuchtigkeit: optimal sind 12 %, Abschlüsse ab 14,1 %,
- Rohproteingehalt: 37,5 % (bei 88 % TM) = 42,6 % i.d.TM.

Einige Erfasser, wie die ZG, begannen 2017 bereits mit der Qualitätsbezahlung nach Proteingehalt. Ausgehend von einem Basisproteingehalt von 37,5 % wird bei der ZG je Prozentpunkt niedrigerer RP-Gehalt ein Preisabzug von 3 € dt⁻¹ und bei höherem RP-Gehalt ein Preiszuschlag von 3 € dt⁻¹ gegeben. Andere, wie das KRZ, überlegen dies in der Zukunft ebenfalls zu tun. Die geforderte Qualität wird nur erreicht, wenn Sorten mit hohem Rohproteingehalt angebaut werden und diese korrekt geimpft werden. Die Lagerung von Soja findet meist außerhalb des Betriebs beim Erfasser statt. Bei eventueller Zwischenlagerung auf dem Erzeugerbetrieb muss das Lager sauber und frei von Fremdbesatz gehalten werden. Insbesondere ist eine Verunreinigung durch GVO-Sojafuttermittel (auch Stäube) auszuschließen. Deshalb ist es am besten, das Erntegut vom Feld direkt an den Erfasser zu liefern.

3.6.3 Preis- und Vermarktungsmodell am Beispiel ZG Raiffeisen eG

Neben dem Fixpreiskontrakt hat die Genossenschaft ZG Raiffeisen eG (ZG) ein zusätzliches Preismodell für heimische Sojabohnen entwickelt. Dieses Modell orientiert sich am Weltmarktpreis für GVO-Soja der Chicagoer Warenterminbörse CBoT mit einem in Abhängigkeit vom Weltmarkt variablen Aufschlag für die GVO-Freiheit. Die Genossenschaft bietet dieses spezielle Vermarktungsmodell, genannt „Treuhänderische Vermarktung Plus (TVP)“, ihren

Wertschöpfung durch heimische Sojabohnen

Tabelle 5: Vergleich der Deckungsbeiträge von Soja mit Winterweizen, Körnermais und Futtererbsen; konventionelle Betriebe im Oberrheingraben, 2013–2017 (Göttling, 2018, persönliche Mitteilung).

Kultur		Winterweizen	Körnermais	Futtererbsen	Sojabohnen
Ertrag Oberrheingraben Ø 2013– 2017	dt ha ⁻¹	76	104	36	28
Preis Ø 2013– 2017	€ dt ⁻¹	15	15	20	40
Markterlös	€ ha ⁻¹	1.110	1.554	720	1.109
Prämien	€ ha ⁻¹	270	270	270	270
Erlös inkl. Prämien	€ ha ⁻¹	1.380	1.824	990	1.379
Saat- und Pflanzgut	€ ha ⁻¹	103	143	140	240
Düngemittel zusammen	€ ha ⁻¹	238	275	36	60
Pflanzenschutzmittel zusammen	€ ha ⁻¹	189	78	68	95
Variable Maschinenkosten	€ ha ⁻¹	102	130	109	109
Lohnmaschinen	€ ha ⁻¹	138	157	160	160
Sonstige Kosten (ohne Zins)	€ ha ⁻¹	88	326	67	98
Zinsansatz	€ ha ⁻¹	8	7	4	5
Variable Kosten gesamt¹	€ ha ⁻¹	858	1.109	584	762
Deckungsbeitrag ohne Prämien²	€ ha ⁻¹	260	452	140	352
Deckungsbeitrag inkl. Prämien ²	€ ha ⁻¹	530	722	410	622

¹ Kosten nach Kalkulationsdaten Marktfrucht 2018 ohne MwSt. Stand 13.02.2018 bzw. Zeitreihen 2010–2016

² Deckungsbeiträge ohne Zinssatz

landwirtschaftlichen Sojaerzeugern (Mitglieder) an. Das Vermarktungsmodell ermöglicht dem Landwirt eine flexible Risikoabsicherung, denn er kann wählen zwischen einem Verkaufskontrakt, der die Abnahme einer vereinbarten Sojamenge garantiert (TVP) oder einem Fixpreiskontrakt, der die Chance bietet, von eventuellen Preisspitzen zu profitieren. Darüber hinaus kann der Landwirt bis zu einem bestimmten Termin vom TVP zum Fixpreismodell wech-

seln. Erzeuger, die sich frühzeitig einen TVP abschließen, erhalten einen Terminbonus.

Exkurs: Treuhänderisches Vermarktung Plus (TVP)

1. Der Landwirt schließt einen Verkaufskontrakt mit einer vereinbarten Menge aber ohne Preis ab. Der Abschluss des Verkaufskontraktes ist bis zur Sojabohnenernte möglich.

Bei frühzeitigem Abschluss erhält der Landwirt einen Terminbonus (Abb.9).

2. Bis zu einem vorgegebenen Fixtermin (18. August) hat der Landwirt die Chance vom TVP in einen Fixpreiskontrakt zu wechseln und damit von eventuellen Preis-spitzen zu profitieren. Bei Nutzung der Wechselchance verfällt der etwaige Terminbonus.
3. Die Abschlagzahlung in Höhe von 70 bis 80 % erfolgt nach Anlieferung (70 bis 80 % vom Erzeugerpreis = Basis).
4. Die Nachzahlung erfolgt nach Abschluss des Vermarktungsjahres bis zum 15. September des Folgejahres. Die Höhe der Nachzahlung ermittelt sich am durchschnittlichen Vermarktungsergebnis der ZG.

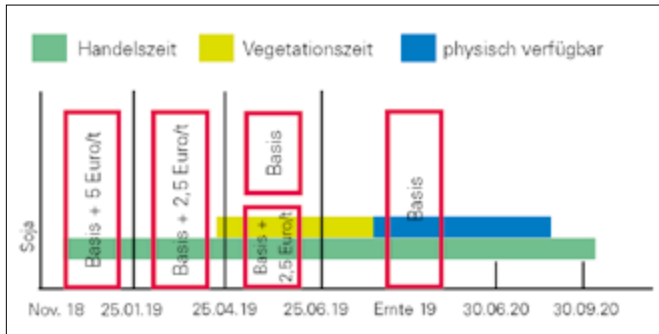


Abbildung 9: Zeitlicher Verlauf und Risiko-Chance Profil bei der Sojavermarktung mit Treuhänderische Vermarktung Plus (TVP). Basis ist etwa 80 % des Erzeugertagespreises.

3.6.4 Erfassung, Vermarktung und Vermarktungskriterien/Konzepte der WSK gentechnikfreie Futtersojabohnen

In Baden-Württemberg erfolgt die Erfassung von Sojabohnen überwiegend durch die Genossenschaften ZG Raiffeisen eG (ZG) und Kraichgau Raiffeisen Zentrum eG (KRZ). Die Genossenschaften übergeben die gereinigten Bohnen zur Aufbereitung und Futtermischung jeweils an ein Futterwerk, nämlich das Raiffeisen Kraftfutterwerk Kehl (RKW) bzw. die Ebert Mühle. Beide Futtermittelwerke verarbeiten nur gentechnikfreie Sojabohnen. Nach der Weiterverarbeitung der Sojabohnen zu Futter werden die daraus erzeugten Futtermittel über zwei regionale Wege vertrieben: Entweder verkauft der „Futtermittelhersteller“ an Landwirte in der Region, oder das Futter geht an den Sojabohnenanbauer zur Fütterung seiner eigenen Tiere zurück (Kapitel 3.8).

Das KRZ in Eppingen hat sich im Jahr 2013 dazu entschlossen, gentechnikfreie Sojabohnen aus regionalem Anbau anzunehmen und zu reinigen. Das Erfassungsgebiet

ist der Kraichgau. Seit 2013 ist das Produkt „Erbsofit®“, eine getoastete Mischung aus 60 % Erbsen und 40 % Sojabohnen, auf dem Markt. Aufbereitung und Futtermischung werden von der Ebert Mühle durchgeführt. Die Mühle Ebert Dielheim GmbH, verfügt seit 2013 über eine Toastanlage für Soja und Erbsen (Kapitel 3.7.1).

Die ZG erfasst und vermarktet gentechnikfreie Sojabohnen aus den Regionen Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Bayern. Ein Großteil der erfassten Ware wird im RKW Kehl getoastet und zu Futtermitteln weiterverarbeitet. Für einen Teil der erfassten Sojabohnen werden andere Absatzkanäle gesucht, da das Angebot an regionalen Sojabohnen derzeit noch größer ist als die Nachfrage nach Futtermitteln aus regional erzeugten Eiweißpflanzen.

Das RKW Kehl hat sich seit 1997 zur Gentechnikfreiheit verpflichtet. Daher besteht ein großes Interesse an Eiweißquellen, die vor gentechnischer Veränderung sicher sind. Hier bietet sich regional produziertes Soja an. Das Kraftfutterwerk hat eine eigene Toastanlage und kann somit die Bohnen selbst aufbereiten und in den Rationen verarbeiten. Durch eine enge Zusammenarbeit mit dem Verein Donausoja ist das RKW seit 2014 in der Lage, Hühnerfutter komplett aus europäischer Ware anzubieten. Dies hat vor allem bei der Sackware zu einer Umsatzsteigerung geführt, da es in Baden-Württemberg sehr viele Hühnerhalter für den Eigenbedarf gibt und diese Gruppe einen gesteigerten Wert auf Regionalität legt.

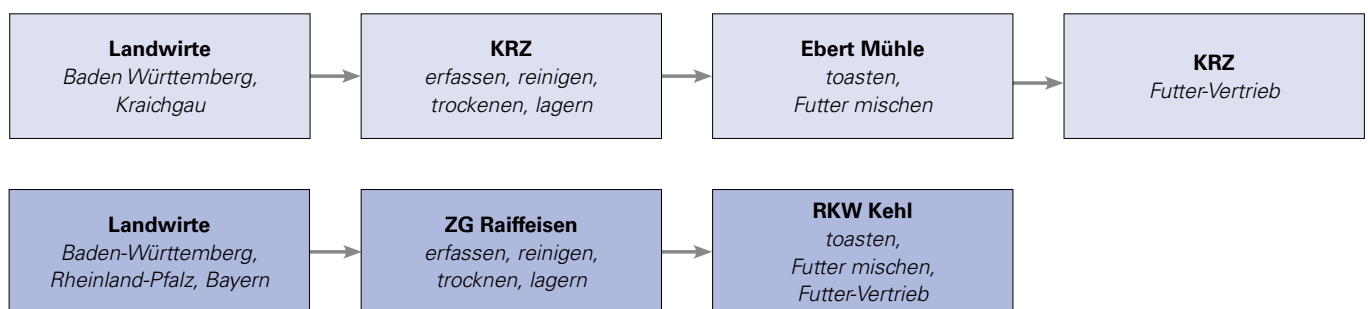


Abbildung 10: Wertschöpfungskette konventionelles Sojafutter: Stationen der Sojabohnen vom Landwirt bis zum Futter-Vertrieb.

3.6.5 Netzwerkbildung im Handel am Beispiel ZG Raiffeisen eG

Die Vermarktung in alternative Absatzkanäle wurde im Frühjahr 2015 von der der Genossenschaft ZG Raiffeisen eG (ZG) forciert, da aufgrund der Verdoppelung der Anbaufläche in Baden-Württemberg eine sehr viel größere Menge erwartet wurde als zur Ernte 2014. In 2015 wurde zum ersten Mal eine größere Menge an den niederländischen Verarbeiter FeedValid B.V. (www.feedvalid.eu) geliefert. Der Verarbeiter legt größten Wert auf gentechnikfreie Ware, die immer schwerer zu bekommen ist. Im Erntejahr 2016 hat die ZG ca. 5.000 Tonnen heimische Sojabohnen erfasst. Davon wurde eine Menge von 1.000 Tonnen an den niederländischen Verarbeiter FeedValid B.V. geliefert. Ein kleiner Teil von 250 Tonnen, die im Bodenseeraum erzeugt wurden, wurde an die Vorarlberger Mühle (Österreich) vermarktet.

In die Schweiz und ins Elsass (Frankreich) wird derzeit keine Ware geliefert, da dort bereits langfristige Lieferverträge mit anderen Verarbeitern bestehen. In Zukunft liegt das Augenmerk der ZG weiterhin darauf, die regionalen Märkte mit gentechnikfreien Sojabohnen zu versorgen. Außerdem ist die ZG weiterhin bemüht, die Märkte in den angrenzenden Ländern wie Österreich, Schweiz und Frankreich mit gentechnikfreien Sojabohnen zu versorgen. Mit dem niederländischen Verarbeiter wird die ZG weiterhin in Kontakt bleiben, um diese Vermarktungsmöglichkeit aufrecht zu erhalten.



Sojaernte

Foto: Anne Reutlinger/LTZ

3.7 Aufbereitung

*Siegmar Benz (KRZ),
Anne Reutlinger, Kurt Möller (LTZ)*

3.7.1 Überblick

Soja ist eines der wichtigsten Eiweißfuttermittel (Bellof, 2012), denn es ist energiereich, hat einen hohen Eiweißgehalt (ca. 40 %) mit wertvoller Aminosäurezusammensetzung und ist zudem relativ preiswert. Die rohe Sojabohne ist in der Fütterung heimischer Nutztiere nur sehr beschränkt einsetzbar. Lediglich Rinder ab einem Lebendgewicht von ca. 200 kg sind in der Lage, das Eiweiß der Sojabohne aufzuschließen. In der Schweinefütterung und Geflügelfütterung haben vor allem die Trypsininhibitoren in der rohen Bohne eine antinutritive Wirkung und senken die Verdaulichkeit des Proteins. Diese sogenannten antinutritiven Substanzen müssen vor der Verfütterung entfernt bzw. inaktiviert werden. Deshalb ist eine Aufbereitung vor der Fütterung unumgänglich, sollen die Bohnen bei Schweinen und Hühnern eingesetzt werden.

Darüber hinaus beträgt der Ölgehalt von Sojabohnen ca. 20 %. Hohe Ölgehalte hemmen die Aktivität der Pansenbakterien der Wiederkäuer, wodurch die Rohfaserverdaulichkeit herabgesetzt wird. Daher können bei Rindern nur geringe Sojamengen (max. 1–2 kg) eingesetzt werden.

Durch den hohen Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren werden unerwünschte Qualitäten speziell in der Schweinefleischproduktion hervorgerufen (Medic et al. 2014): die Haltbarkeit und Schnittfestigkeit von Dauerwaren aus Schweinefleisch sind vermindert. Durch Pressen kann der Ölgehalt der Sojabohnen verringert werden. Allerdings sind die dabei erzielten Restölgehalte immer noch zu hoch für die Fütterung von Wiederkäuern. Erst ein aufwändiges Extraktionsverfahren mit Hexan verringert den Ölgehalt auf Werte unter 3 % und erlaubt einen höheren Sojarationsanteil.

Ziel der Aufbereitung ist neben der Erhöhung der Verträglichkeit und Nährstoffverdaulichkeit auch ein besserer Geschmack durch den Abbau der Bitterstoffe. Die Inaktivierung der antinutritiven Substanzen erfolgt stets über eine Wärmebehandlung, das Toasten. Das Netz mittelgroßer, kleinerer und mobiler Anlagen zur Toastung mit und ohne Teilentölung von Sojabohnen ist in Süddeutschland, wo der Sojaanbau vorwiegend stattfindet, inzwischen recht engmaschig (Recknagel, 2018). Darüber hinaus sind aufgrund des Einstiegs der Archer Daniels Midland Company (ADM) keine Engpässe in der Verarbeitung zu erwarten (Wolf und Schätzl, 2017).



Abbildung 11: Sojaaufbereitungsanlagen in Deutschland – Stand 09/2018 (Recknagel, 2018).

Akteure der Wertschöpfungskette

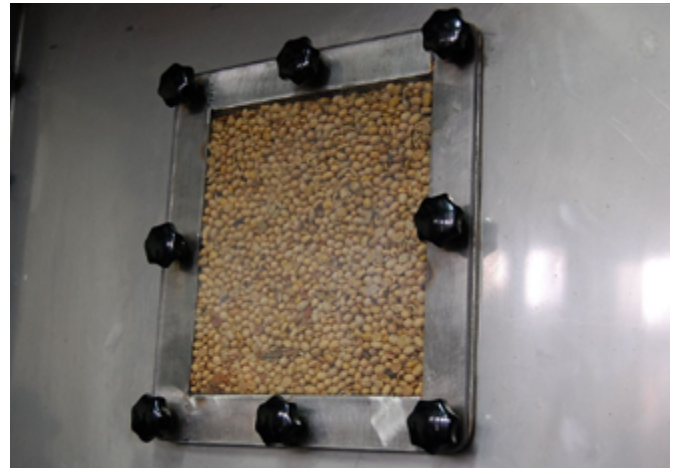
In Baden-Württemberg gibt es vier Aufbereitungsanlagen für Sojabohnen. Das Raiffeisen Kraftfutterwerk Kehl GmbH (RKW) erhält Sojabohnen zur Futtermittelverarbeitung von der ZG Raiffeisen eG (ZG). Die Mühle Ebert Diehlheim GmbH in Zeutern übernimmt die Toastung für das Kraichgau Raiffeisen Zentrum eG (KRZ). Darüber hinaus gibt es noch zwei „Lohntoaster“: eine mobile Toastanlage im Hohenlohekreis (Möhler Technik, Schöntal) und eine kleine kompakte Toastanlage in Affalterbach (Betrieb Thumm).

Anforderungen der Mühlen

- Verfügbarkeit der Sojabohne – Auslastung
- Auslastung
- Vertragsanbau
- Kurze Transportwege

Ziele der Verarbeitung

- Hohe Produktqualität unter Berücksichtigung der Qualitätsparameter
- Ausreichender Abbau/Inaktivierung unerwünschter Substanzen
- Erhalt der Eiweißverdaulichkeit (Vermeidung der Denaturierung)
- Wertsteigerung und bessere Vermarktung
- Lagerfähig



Sojabohnen im Silo vor der Aufbereitung

Foto: Anne Reutlinger/LTZ

3.7.2 Einleitung

Sojabohnen enthalten verschiedene Stoffe, die unabhängig vom Gehalt an verdaulichen Hauptnährstoffen, Vitaminen und Mineralstoffen negative Auswirkungen auf Tier und Menschen haben. Sie werden „antinutritive Faktoren“ genannt, und gehören zu den Stoffgruppen der Kohlenhydrate, Eiweiße, Phenole und Glykoside. Diese antinutritiven Faktoren stammen in der Regel aus dem sekundären Stoffwechsel der Pflanze und dienen der Regulation des Wachstums, der Abwehr von Schädlingen oder als Färb- und Duftstoffe.

Antinutritive Substanzen können v.a. bei Monogastriern wie Geflügel und Schweinen die Futteraufnahme und Leistung der Tiere vermindern, da die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe sinkt und Stoffwechselstörungen sowie toxische Reaktionen im Organismus auftreten können. Daher soll der Gehalt an antinutritiven Substanzen im Futter möglichst gering gehalten werden.

Die Inaktivierung der unerwünschten Stoffe, die zumeist hitzelabil sind, erreicht man durch eine Wärmebehandlung. Neben einer rein thermischen gibt es hydrothermische und druckthermische Verfahren, die zunehmend schonend hinsichtlich der gewünschten Inhaltsstoffe sind (Proteine und essentielle Aminosäuren). Das Aufbereitungsprodukt ist, je nach Verfahren, entweder eine getoastete, geflockte oder geschrotete Vollfettbohne und bei anschließender Entölung ein teilentölter Sojakuchen (Tabelle 6).

Tabelle 6: Verfahren der Sojaaufbereitung.

	Thermisch	Hydrothermisch	Druckthermisch
Verfahren	ganze Sojabohnen werden angefeuchtet und unter direkter Hitzeeinwirkung kurzzeitig auf 110 °C erhitzt	ganze Sojabohnen werden mit Wasserdampf (103 °C) vermischt und anschließend über einen Zeitraum von 40 Minuten in einem Reaktor erhitzt	geschrotete Sojabohnen werden für 10 Minuten mit Wasserdampf (102 °C) gedämpft. Im Anschluss werden sie mit einem Expander bei 1–5 Sek. Hitzeeinwirkung von 125 °C extrudiert
Produkt	getoastete ganze Vollfettsojabohne	getoastete ganze Vollfettsojabohne	getoastete geschrotete Vollfettsojabohne
Entölung	Entölung nach thermischer Aufbereitung über Schneckenpressen möglich	Entölung nach hydrothermischer Aufbereitung über Schneckenpressen möglich	Entölung vor oder nach druckthermischer Aufbereitung über Schneckenpressen möglich
Produkt	teilentölter Sojakuchen	teilentölter Sojakuchen	teilentölter Sojakuchen

Die Toastung erhöht die Gehalte an pansenbeständigem Rohprotein (UDP-Wert) eines Futtermittels, der insbesondere bei hochleistenden Wiederkäuern wichtig ist. Mit der Erhöhung des UDP-Wertes ist eine Leistungssteigerung bei Rindern (z. B. Milch) zu erwarten. Es sollte als Milchviehbetrieb geprüft werden, ob die Kosten der Toastung durch die Erhöhung des UDP-Wertes gerechtfertigt sind.

Die Aufbereitung, Entfernung der Schalen, Vermahlung und thermische Behandlung hat Einfluss auf die Zusammensetzung und Verdaulichkeit von Sojabohnen. Je stärker Sojabohnen verarbeitet werden, desto höher ist im Allgemeinen die Verdaulichkeit (Pahm und Stein, 2007a). Die Entfernung der Sojabohnenschalen erhöht die Verdaulichkeit der Aminosäuren (Dilger et al., 2004; Pahm und Stein, 2007a). Der Vermahlungsgrad von Sojabohnen wirkt sich ebenfalls positiv auf die Verdaulichkeit der Aminosäuren aus (Fastinger und Mahan, 2003).

3.7.3 Parameter der Futterqualität für Sojabohnen und Erbsen

In diesem Kapitel werden Sojabohnen und Erbsen thematisiert, weil sich Erbsen und Sojabohnen in der Fütterung aufgrund ihrer wertbestimmenden Inhaltsstoffe sehr gut ergänzen und oft im Futter gemischt werden. Zum einen gleichen die Erbsen den hohen Fettgehalt der Bohnen aus, zum anderen ergänzen die Erbsen die Mischung noch mit Stärke.

Damit Sojabohnen in der Fütterung optimal eingesetzt werden können, werden stabile Parameter benötigt, um eine gleichbleibende Versorgung der Nutztiere sicherzustellen. Qualitätsbestimmende Parameter wurden im Rahmen des

Soja-Netzwerks unter Mitwirkung des Landwirtschaftlichen Technologiezentrums Augustenberg (LTZ) und des Kraichgau Raiffeisen Zentrum eG (KRZ) zusammengestellt. Ziel dieses Kapitels ist es, die Notwendigkeit des Toastens an Hand dieser Qualitätsparameter, die alle zu den antinutritiven Faktoren zählen, zu erläutern. Die folgenden antinutritiven Faktoren sind für die Futterqualität von Sojabohnen und Erbsen von Bedeutung.

Trypsininhibitoren kommen bei allen Körnerleguminosenarten vor (Jezierny et al., 2010; Medic et al., 2014). Diese Eiweiße hemmen das Verdauungssystem, indem sie das körpereigene Enzym Trypsin daran hindern, die Aminosäuren aus den Proteinen abzuspalten (Lallès und Jansman, 1998). Dadurch können essentielle Aminosäuren wie Methionin und Cystein im Futter nicht aufgenommen werden und die Tiere würden damit unterversorgt. Entsprechend sind die Trypsininhibitoren der Hauptgrund

Exkurs: Wirkung der Trypsininhibitoren

Die Inhibitoren können bei einigen Tierarten die entsprechenden negativen Feedbackreaktionen der Bauchspeicheldrüse durch eine vermehrte Freisetzung des Hormons Cholecystokinin aus den Darmschleimhäuten unterdrücken (Lallès und Jansman, 1998; Liener, 1994). Die verstärkte Freisetzung von Trypsin aus der Bauchspeicheldrüse kann zu einem erhöhten Verlust an Methionin und Cystein führen, da Trypsin reich an diesen Aminosäuren ist (Gatel, 1994). Im Ergebnis verstärken diese Verluste den Mangel dieser beiden limitierenden Aminosäuren und können zu entsprechenden Leistungseinbußen bei Monogastriern führen (Belitz und Weder, 1990; Jezierny et al., 2010; Liener, 1994).

für die thermische Behandlung von Sojabohnen, da diese hitzelabil sind und bei der Behandlung denaturiert werden. Allerdings vermag eine thermische Behandlung die Aktivität der Inhibitoren nicht vollständig zu beenden, 10 bis 20 % der Aktivität verbleiben bei üblicher Behandlung (Friedman und Brandon, 2001).

Die Bitterstoffe (Glykoside, Saponine) dienen der Pflanze als Schutz vor Fressfeinden und beeinträchtigen den Geschmack für Nutztiere (Price und Butler, 1977). Da die Nutztiere jedoch eine hohe Futteraufnahme brauchen, um hohe Leistungen erbringen zu können, sollte das Futter besonders schmackhaft sein. Rohe Erbsen enthalten besonders viele Bitterstoffe, Sojabohnen etwas weniger.

Das Enzym Urease dient den Sojabohnen als Schutz vor Fraßfeinden. Die Aktivität dieses Enzyms, das Harnstoff in Ammoniak umwandelt, kann einfach bestimmt werden und dient zur indirekten Erfassung der Proteininhibitoren, da die unmittelbare Messung der Trypsininhibitoren sehr aufwändig ist. Dies ist möglich, da Urease ebenso wie Trypsininhibitoren durch Erhitzen inaktiviert wird.

Tannine sind wasserlösliche Phenole mit relativ hohem Molekulargewicht. Tannine sind Gerbstoffe, die sich v. a. in der Schale von Erbsen und Ackerbohnen befinden. Durch ihre Fähigkeit, sich mit den Proteinen im Speichel an die Schleimhäute zu binden, wirken sie adstringierend und können dadurch die Futteraufnahme beeinträchtigen (Jezierny et al., 2010; Mehansho et al., 1987). Tannine reduzieren die Proteinresorption im Darmtrakt und erhöhen die N-Gehalte im Kot (Gatel, 1994; Jezierny et al., 2010). Zudem wirken Tannine in der Verdauung blähend, behindern die Aufnahme von Arzneimitteln durch die Darmschleimhaut und hemmen die Aufnahme von Eisen und Calcium.

3.7.4 Parameter zur Analyse der Futterqualität und Bestimmung der Toastqualität

Im Allgemeinen wird eine Weender-Analyse durchgeführt um die Qualität bzw. die Eignung als Futtermittel zu ermitteln (Tabelle 7). Sie beinhaltet die Bestimmung der Parameter Wasser, Rohprotein, Rohfett, Rohfaser,

Exkurs: Verhalten von Tanninen im Darmtrakt

Im Darmtrakt können Tannine die Amino-Gruppe (R-NH₂) von Enzymen und anderen Eiweißen durch Wasserstoffbrückenbildung binden und dadurch wasserunlösliche, große Tannin-Eiweiß-Komplexe bilden, die nicht durch die Enzyme im Darmtrakt von Monogastriern verdaut werden können (Jezierny et al., 2010; Sosulski, 1979). Hierdurch wird die Proteinresorption im Darmtrakt geringer. Erbsen und Ackerbohnen haben einen hohen Gehalt an Tanninen (Jezierny et al., 2010). Der Gehalt ist sortenabhängig, und ist bei Erbsen und Ackerbohnen stark von der Blütenfarbe abhängig (Gatel, 1994; Jezierny et al., 2010). So beträgt die Eiweißverdaulichkeit von weißblütigen Erbsen 80 bis 91 %, bei buntblütigen Erbsen beträgt diese 71 bis 84 %, vermutlich wegen der höheren Tanningehalte in den entsprechenden Sorten (Griffiths, 1981; Hlodversson, 1987).

Rohasche und N-freie Extraktionsstoffe, wobei letztere errechnet werden. Um die verschiedenen Futtersojaprodukte (vollfette Sojabohne, roh oder getoastet, Sojakuchen) und sonstigen Eiweißfuttermittel wie z. B. Erbsen zu vergleichen, sind für eine erste Bewertung die Inhaltsstoffe aus der Weender-Analyse von Bedeutung.

In der erweiterten Weender Analyse werden ferner der Zucker- und Stärkegehalt ermittelt. Zur Berechnung der Energiegehalte für die einzelnen Tierarten werden diese Werte mit untersucht. Zusätzlich werden die Gehalte an NDF (Neutral Detergent Fibre = Rohfasergehalte) und ADF (Acid Detergent Fibre = Rohfasergehalte ohne Hemizellulosen) bestimmt. Aus diesen Werten können die Gehalte an umsetzbarer Energie (ME) für Schweine und Geflügel errechnet werden. Für die weitere Charakterisierung zur Verfütterung an Rinder werden noch pansenbeständiges Rohprotein (UDP), nutzbares Rohprotein (nXP) und die ruminale Stickstoffbilanz (RNB) berechnet. An Mineralstoffen werden Natrium, Kalium, Phosphor und Calcium untersucht.

Der Einsatz von Sojabohnen in der Fütterung erfolgt besonders wegen der optimalen Aminosäurezusammensetzung. Es ist sinnvoll die essenziellen Aminosäuren

Tabelle 7: Futterqualitätsparameter – Vergleich zwischen Erbsofit® (getoastet) und den Rohwaren von Soja und Erbse (Quelle: Mühle Dielheim, Labor LUFA Speyer). Die Parameter sind wertbestimmende Inhaltsstoffe für Schweine, Geflügel und Rinder.

	Einheit	Soja roh	Erbse roh	Erbsofit® ¹
Inhaltsstoffe:				
Wasser	% FM	12,1	13,5	9,9
Rohprotein	% FM	33,7	19,3	27,9
Rohfett	% FM	20,1	1,9	12,1
Rohfaser	% FM	5,4	4,5	6,2
Rohasche	% FM	4,9	2,6	4,0
Stärke	% FM	5,0	46,0	25,9
Mineralstoffe:				
Calcium	% FM	0,19	0,10	0,16
Phosphor	% FM	0,57	0,36	0,51
Kalium	% FM	1,78	0,98	1,55
Aminosäuren:				
Lysin	% FM	2,00	1,21	2,06
Cystein	% FM	0,54	0,35	0,46
Methionin	% FM	0,42	0,18	0,35
Threonin	% FM	1,30	0,71	1,11
Tryptophan	% FM	0,37	0,16	0,28
Futterwerte:				
Nutzbares Rohprotein (nXP)	g kg ⁻¹ FM	n.n.	158	198
Ruminale Stickstoffbilanz (RNB)	g kg ⁻¹ FM	+19	+6	+13
Umsetzbare Energie (ME) - Rind	MJ kg ⁻¹ FM	13,83	11,71	13,72
Netto-Energie-Laktation (NEL)	MJ kg ⁻¹ FM	8,56	7,17	8,65
Stärkeaufschlussgrad	% FM	n.n.	1,9	n.n.

¹ Erbsofit®, ein Eiweißergänzungsfuttermittel, ist eine getoastete Mischung aus 60 % Erbsen und 40 % vollfetten Sojabohnen.

Lysin, Methionin, Cystein, Threonin und Tryptophan zu untersuchen, da sie im Allgemeinen nicht in ausreichender Menge (weder in Soja noch in Erbsen) enthalten, d. h. für die Nutztiere limitierend sind (Kapitel 3.8). Die weiteren Aminosäuren sind in der Regel in ausreichendem Maß vorhanden und müssen deshalb nicht geprüft werden.

Die Toastqualität ist hoch, wenn allem voran die Trypsininhibitoren soweit wie möglich reduziert sind und gleichzeitig das Rohprotein möglichst erhalten, d. h. nicht durch Überhitzung denaturiert wurde. Dazu werden folgende Untersuchungen durchgeführt.

Ureaseaktivität

Die Bestimmung der Trypsininhibitorengehalte erfolgt meist indirekt über die Bestimmung der Ureaseaktivität. Dabei wird die Restaktivität des Enzyms Urease gemessen. Die Ureaseaktivität, d. h. die Stickstoffmenge, die

aus einer definierten Harnstofflösung je Minute in Form von Ammoniak bei 30 °C freigesetzt wird, sollte bei behandelten Sojabohnen und -produkten unter 0,4 mg g⁻¹ TM liegen. Um den Toastprozess beurteilen zu können wird immer eine Analyse des Ausgangsmaterials und der getoasteten Ware benötigt. Damit wird sichtbar, ob die essentiellen Aminosäuren das Toasten unbeschadet überstanden haben.

Eiweißlöslichkeit in Wasser (PDI)

Jede thermische Behandlung von Sojabohnen kann zu Proteinschädigungen führen. Einerseits müssen antinutritive Substanzen ausreichend vermindert werden, andererseits soll das Eiweiß dabei möglichst wenig geschädigt werden. Bei einer zu starken Erhitzung wird das Eiweiß denaturiert. Ein sicherer Abbau von Trypsininhibitoren wird bei Kerntemperaturen von ca. 80–100 °C erreicht. Ab Temperaturen von 120–140 °C beginnen sogenannte

Tabelle 8: Parameter für die Toastqualität – Vergleich zwischen Erbsofit® (getoastet) und den Rohwaren von Soja und Erbse (Quelle: Mühle Diehlheim, Labor LUFA Speyer).

	Einheit	Optimalbereich für Soja	Soja roh	Erbse roh	Erbsofit ¹
Indikatoren für den Toasterfolg:					
Eiweißlöslichkeit in Wasser (PDI)	%	10–35	87,5	85,9	41,7
Ureaseaktivität	mg N g ⁻¹	<0,4	6,50	0,02	0,23
Eiweißlöslichkeit in Kalilauge (KOH)	% FM	> 72	91,4	94,4	93,3

¹ 60 % Erbsen, 40 % Soja

Maillard-Reaktionen, die Eiweiße zunächst in schlechter verdauliche Formen überführen, und in weiterer Folge sogar zerstören können. Bei einer Maillard-Reaktion werden die im Futter vorhandenen Polysaccharide zu einfachem Zucker umgewandelt, welcher dann mit freien Aminosäuren unverdauliche Komplexe bildet, die durch Enzyme nicht mehr spaltbar sind. Dies lässt sich durch Bestimmung der Eiweißlöslichkeit in Wasser (Englisch: Protein Dipersibility Index, PDI) messen und gibt Auskunft darüber, ob die Sojabohnen überhitzt wurden (Batal et al., 2000; Naumann und Bassler, 1988). Das Optimum der PDI liegt zwischen 40 und 45 % (Batal et al., 2000). Beträgt die Eiweißlöslichkeit

unter 15 %, liegen vermutlich Proteinschädigungen vor. Allerdings gibt es bislang noch keine eindeutig definierte Grenze, die eine Überhitzung exakt definiert.

Eiweißlöslichkeit in Kalilauge

Die Eiweißlöslichkeit in 0,2 %-iger Kalilauge (KOH) gibt Auskunft über die Qualität des Toastprozesses in Hinblick auf eine Überhitzung (Araba und Dale, 1990; Parsons et al., 1991). Bei Werten > 70 % geht man von einer hohen Verdaulichkeit aus (Araba und Dale, 1990), wenn die Ureaseaktivität unter 0,4 mg N g⁻¹ min liegt.

Exkurs: Bestimmung der Toastqualität

Die Toastqualität kann durch folgende Analysen besonders exakt bestimmt werden:

Trypsininhibitoren

Die direkte Messung der Gehalte an Trypsininhibitoren ist sehr aufwändig. In der Praxis wird entweder der Gehalt (TIU) oder die Aktivität (TIA) an Trypsininhibitoren gemessen:

- Trypsininhibitoraktivität (TIA) in mg g⁻¹; die Rohbohne enthält ca. 25 mg g⁻¹, nach optimaler Behandlung betragen die Gehalte < 2 mg g⁻¹
- Trypsin-Inhibitor Units (TIU) in TIU mg⁻¹ TM; die Rohbohne enthält ca. 80 TIU mg⁻¹ TM, nach optimaler Behandlung betragen die Gehalte < 3 TIU mg⁻¹ TM.

Kresolrotadsorption

Schäden durch Überhitzung können mittels der Messung der Kresolrotabsorption abgeschätzt werden. Mit zunehmender Hitzeeinwirkung steigt die Fähigkeit des Sojaproteins nahezu linear an, Farbstoffe mit einer Phthaleingruppe zu binden. Nach VDLUFA gilt als Optimalbereich für Sojaprodukte 5 bis 6 mg Kresolrot g⁻¹.

Aminosäurenverfügbarkeit

Bei einer zu starken Erhitzung von Sojabohnen bzw. Sojafuttermitteln sinken vor allem die Gehalte an essenziellen Aminosäuren Lysin, Methionin, Cystein und Tryptophan. Die Gehalte dieser Aminosäuren können mit einer aufwändigen chemischen Analyse bestimmt werden. Alternativ wurde ein kostengünstiges Verfahren auf Basis von Nahinfrarotspektroskopie (NIRS)-Technik entwickelt. Vor allem reaktives Lysin nimmt linear durch eine zunehmende Hitzeeinwirkung ab und kann mittels NIRS-Technik gemessen werden

Die nachfolgend beschriebenen Analysen wurden im Rahmen der Wertschöpfungskette „Gentechnikfreie Futtersojabohnen aus konventionellem Anbau“ an den getoasteten Sojabohnen verschiedener Aufbereitungsanlagen in Baden-Württemberg durchgeführt. Als Beispiel sind in Tabelle 8 die Ergebnisse der Mühle Ebert Dielheim dargestellt.

3.7.5 Aufbereitungsanlagen

Es gibt stationäre und kleinere mobile Anlagen für die Aufbereitung von Sojabohnen, die meisten im Zusammenhang mit einem Futterwerk, sowie einzelne Unternehmen, die die Aufbereitung ohne angeschlossenes Mischfutterwerk vornehmen. Archer Daniels Midland Company (ADM) ist der größte Sojaaufbereitungs- und verarbeitungsbetrieb mit Ölmühlen (Extraktionsverfahren) in Straubing (unweit von Österreich und Tschechien) und Kleve (Spyck; unweit der niederländischen Grenze) mit einem derzeitigen Umsatz an 200.000 Tonnen Soja. In Deutschland befinden sich die meisten Aufbereitungsanlagen in Süddeutschland (Abbildung 11). In Baden-Württemberg gibt es zwei große stationäre Aufbereitungsanlagen für Sojabohnen: Das Raiffeisen Kraftfutterwerk Kehl GmbH bereitet jährlich mehr als 3.500 Tonnen von der ZG Raiffeisen eG thermisch auf. Die Mühle Ebert Dielheim GmbH in Zeutern übernimmt die Toastung, hydrothermisch, für das Kraichgau Raiffeisen Zentrum eG, jährlich etwa 4.000 Tonnen (Soja und Erbsen). Die kleine Toastanlage in Affalterbach (Betrieb Thumm) verwendet das rein thermische Verfahren mit nachgelagerter Entölung. Die mobile Toastanlage im Hohenlohekreis (Möhler Technik, Schöntal) kann kleine Chargen thermisch aufbereiten. Die zur Sojaaufbereitung benötigte Technik und Infrastruktur ist relativ kostenintensiv und benötigt eine gute Auslastung um wirtschaftlich zu sein.



Windsiebanlage

Foto: Andreas Dölz/MLR.

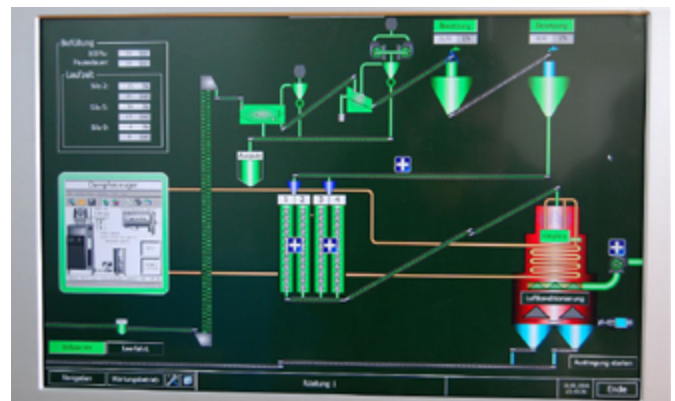


Abbildung 12: Schematischer Aufbau der Anlage der hydrothermischen Sojatoastanlage der Ebert-Mühle Dielheim GmbH. Foto: Andreas Dölz/MLR

Stationäre hydrothermische Sojatoastanlage – Beispiel Ebert-Mühle Dielheim GmbH

Die Anlage der Mühle Ebert Dielheim GmbH ist für die Toastung von sowohl Sojabohnen als auch Erbsen geeignet. Im Fall von „Erbsofit®“, einem Gemisch aus 60 % getoasteten Erbsen und 40 % getoasteten vollfetten Sojabohnen, werden die Erbsen und Sojabohnen zusammen behandelt. Die hydrothermische Dämpf- und Flockierungsanlage wird auch zur Herstellung von Getreideflocken für die Pferdefütterung genutzt. Die Anlage besteht aus Rohwarensilos sowie Anlagen zu Konditionierung, Röstung und Flockierung (Abbildung 12).

Die Prozesse vom Rohwarenlager bis zum Futter werden hier beispielhaft für „Erbsofit®“ beschrieben. Zunächst werden dem Rohwarenlager Sojabohnen und Erbsen entnommen, gemischt (60 % Erbsen und 40 % Sojabohnen) und durch eine Windsiebanlage und durch einen Steinausleser gereinigt. Anschließend wird das gereinigte Material in die Konditionierungszelle eingespeist.



Steinausleser Kasten mit Glasfenster

Foto: Andreas Dölz/MLR

1. Schritt: Einweichen

In der Konditionierungszelle werden Erbsen und Sojabohnen mindestens 24 Stunden eingeweicht. Hierzu wird eine Mischung aus Wasser mit 3–5 % Apfelessig zur leichten Ansäuerung verwendet. Das Wasser quillt die Bohnen und Erbsen auf und führt zu einem Ankeimen der Körner, was den Futterwert verbessert. Das Wasser dient obendrein als Wärmeleiter in den Körnern, sodass die Hitze optimal an die hitzelablen Trypsininhibitoren gelangt.

2. Schritt: Konditionierung

Nach dem Einweichen wird das Gemisch aus Körnern und Wasser der Konditionierungszelle kontinuierlich entnommen und im Durchlaufprinzip unter Zugabe von Wasserdampf den Entbitterungsschnecken zugeführt. Die Entbitterungsschnecken, eine Eigenentwicklung der Ebert Mühle, sind als eine Kaskade von 20 einzeln angetriebenen beheizbaren Schnecken angeordnet, denen Wasserdampf zugeführt wird.



Kaskade der Entbitterungsschnecken Foto: Anne Reutlinger/LTZ

Die optimale Verteilung der Bohnen wird durch Paddel in den Entbitterungsschnecken erreicht. Ein Überhitzen durch punktuelle Temperaturspitzen würde eine Denaturierung der Proteine und Maillard-Reaktionen zur Folge haben. Dies wird durch ständiges Umrühren mittels der Paddel verhindert. Bei einem Überdruck von 1–2 Bar (je nach Korngröße) und einer Temperatur von 105 °C wird das Gemisch 30 Minuten dem Dämpfungsprozess unterzogen (Abb. 13). Der Gehalt an wärmeinstabilen, antinutritiven Substanzen wird dadurch deutlich gesenkt.

Die Ureaseaktivität wurde als Parameter für hitzelabile Substanzen vor der Toastung mit 6,5 mg g⁻¹ bei den Sojabohnen und nach der Toastung mit 0,23 mg g⁻¹ im Gemisch gemessen (Analyseergebnis der LUFA Speyer). Die Analysewerte für die Ureaseaktivität sollten unter dem empfohlenen Richtwert von 0,4 mg g⁻¹ Trockenmasse Sojabohnen liegen.

Bei diesem ersten Durchlauf werden ca. 80 % der Körner optimal behandelt. Die relativ niedrigen Dampftemperaturen von 105 °C beugen der Oxidation der Fette vor und erhöhen die Eiweißlöslichkeit. Um eine Tonne luftgetrocknete Körner zu toasten, werden ca. 30 bis 35 kg Dampf benötigt. Die Dampferzeugung wird zu mehr als 90 % über die Abwärme des betriebseigenen Blockheizkraftwerks (500 kW Leistung) ermöglicht. Wird das Blockheizkraftwerk mit geringerer Leistung betrieben, kann aus einem wahlweise mit Gas oder Heizöl betriebenen Dampferzeuger zusätzlich Dampf zugeführt werden.

3. Schritt: Wirbelschichttrocknung

Nach dem Dämpfungsprozess wird das Erbsen-Sojagemisch kontinuierlich der Wirbelschichttrocknung zugeführt und zehn Minuten bei 125 bis 140 °C Lufttemperatur behandelt. Die Temperatur ist dabei abhängig von Wassergehalt und Oberflächenbeschaffenheit des Ausgangsmaterials. Die Anlage wird durch eine differenzierte Temperatureinstellung auf die schwankenden Bohnengrößen der einzelnen Chargen eingestellt. Die Temperatureinstellung erfolgt durch integrierte Sensoren vollautomatisch.

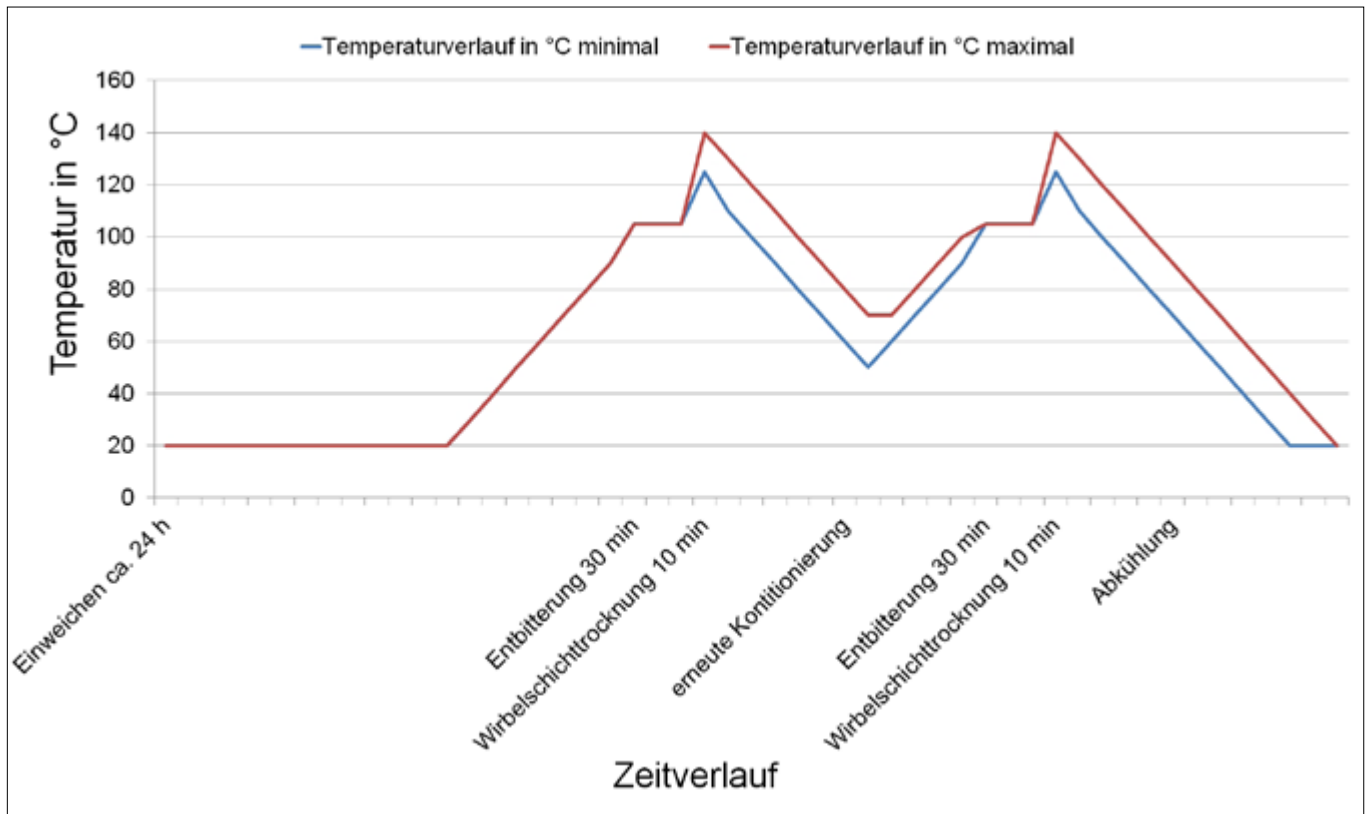


Abbildung 13: Temperaturverlauf während des Toastprozesses in der hydrothermischen Sojatoastanlage (Ebert Mühle Dielheim GmbH).

4. Schritt: Erneute Konditionierung

Nach der Wirbelschichttrocknung wird im zweiten Durchlauf wieder in der Konditionierungszelle Wasserdampf zugeführt und danach das Gemisch den Entbitterungsschnecken zugeführt. Der zweite Dämpfprozess wird bei 105 °C und einer Verweildauer von 20 Minuten durchgeführt (Abbildung 13). Durch den zweiten Durchlauf wird sichergestellt, dass 100 % der Erbsen und Sojabohnen des ersten Durchlaufs thermisch behandelt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit einer anschließenden Flockierung.

5. Schritt: erneute Wirbelschichttrocknung

Nach dem zweiten Durchlauf durch die Entbitterungsschnecken werden die Körner 10 Minuten bei 125–140 °C in der Wirbelschichttrocknung getrocknet. Nach einer Verweildauer von 90 Minuten und Abkühlung wird das Gemisch zur Abfüllung gefördert. Das Gemisch wird anschließend im Kraftfuttermischwerk in Eppingen zu verkaufsfertigem Futter weiterverarbeitet.

Kleine Hoftoastanlagen mit Teilentölung – Beispiel EST-Anlage

In den vergangenen Jahren gab es immer wieder ein großes Interesse von Landwirten, die eine Chance darin sehen, wenn sie ihr eigenes Futter produzieren und veredeln können, um so eine höhere Wertschöpfung zu generieren. Ein Problem einer kleinen Anlage ist die fehlende Kontinuität, da meist nur kleine Chargen getoastet werden. Je kontinuierlicher die Anlage läuft, desto konstanter das Ergebnis, da bei jedem neuen Hochfahren erst wieder die Einstellungen auf die zu toastende Ware justiert werden müssen und die Betriebstemperaturen erreicht werden müssen. Ein Hemmnis für die Investition in eine kleine Anlage mit Entölung ist die fehlende Förderung von Gemeinschaftsanlagen, da es insgesamt eine Überkapazität an Ölmühlen gibt und die Vermarktung des anfallenden Öls neu aufgezo-gen werden muss.

Funktion und Toastqualität

Im Rahmen des Soja-Netzwerks wurde stichprobenartig die Toastqualität einer Anlage vom Hersteller EST GmbH (Geretsberg, Österreich) untersucht. Bei der Anlage handelte es sich noch um einen Prototyp, mittlerweile ist eine Serienanfertigung auf dem Markt.

Mit etwa einem Kubikmeter Volumen ist der EST-Toaster mit ca. 100 kg h⁻¹ Durchsatzleistung ein kompaktes Gerät mit einfachem Aufbau. Die einzigen bewegten Teile im System sind die Dosierzellradschleuse und das Gebläse. Die Sojabohnen rieseln, gesteuert durch die Zellradschleuse, durch den Toaster. Durch die einströmende Luft mit ca. 150–200 °C werden die Sojabohnen auf die benötigten 90–110 °C gebracht, um die Trypsinhibitoren zu deaktivieren. Um den Energieverbrauch beim Eco-Toast weiter zu optimieren, wird die Restwärme der Luft zurückgewonnen. Pro Tonne getoasteter Sojabohnen kann ohne Vorwärmung und Bohnenwärmerückgewinnung ein Energiebedarf von ca. 80–100 kWh angenommen werden. Eine integrierte Wärmerückgewinnung ist möglich und kann den Energiebedarf reduzieren. Der Anlage kann eine Presse zur Teilentölung nachgeschaltet werden.

Die Qualitätsanalyse ergab, dass die EST-Anlage die Bohnen optimal toastet (Abbildung 14). Die Eiweißlöslichkeit (PDI) liegt immer im gewünschten Bereich zwischen 15 und 45 %. Die Ureaseaktivität als Indikatormessung für die Trypsinhibitoren liegt teilweise mit 0,9 mg g⁻¹ über dem angestrebten Wert von 0,4 mg g⁻¹. Allerdings hat eine deutliche Reduzierung gegenüber der Rohware stattgefunden.

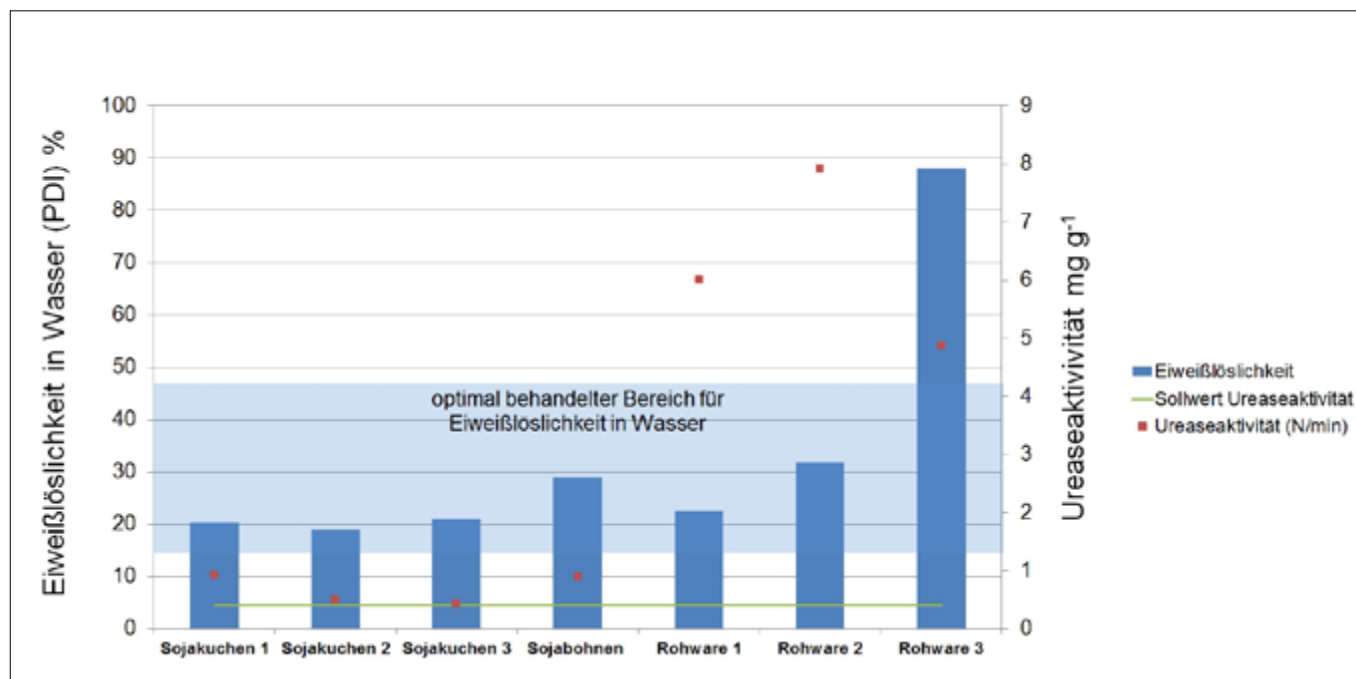


Abbildung 14: Ergebnis der Qualitätsanalysen: Eiweißlöslichkeit und Ureaseaktivität von Sojabohnen, die mit dem EST-Toaster aufbereitet wurden.

Vorteile einer großen stationären Anlage:

- Gleichmäßige Produktqualität
- Viele Stellschrauben, um in den automatisierten Prozess eingreifen zu können, z. B. Durchsatz, Verweildauer und Druck
- Lange Einweichzeit mit angesäuertem Wasser vergrößert die Oberflächenstruktur der Körner, indem das Wasser die Körner quellen lässt und als Wärmeleiter fungiert
- Niedrige Temperaturen des Toastverfahrens schonen die Eiweißqualität der Endprodukte
- Das zweimalige Dämpfen ergibt eine gleichmäßige Behandlung des Gemischs
- Geringe Betriebskosten durch Wärmerückführsysteme und Eigenstromproduktion
- Vollautomatische Produktion ermöglicht den Betrieb der Anlage rund um die Uhr
- Geringer mechanischer Verschleiß durch wenig anfällige, bewegliche Produktionsteile
- Signifikante Reduktion der hitzeempfindlichen antinutritiven Stoffe, so dass das fertige Gemisch unter dem Sollwert von $0,4 \text{ mg g}^{-1}$ Ureaseaktivität aufweist

Nachteile einer großen stationären Anlage:

- Hoher Anschaffungspreis der Gesamtanlage, dadurch ist eine hohe Auslastung der Anlage nötig
- Lange Einweichzeiten, somit muss das System weitgehend automatisch laufen, da das Gemisch aus Sojabohnen und Erbsen sehr lange in der Anlage verweilt



Leggehen auf dem Betrieb Leis, Ferkel auf dem Leuchtturmbetrieb Bunz



Fotos: Anne Reutlinger/LTZ

3.8 Veredelung

Bernhard Zacharias, Tanja Zacharias, Hansjörg Schrade (LSZ), Siegmars Benz, (Kraichgau Raiffeisen Zentrum), Marion Hennig (HL Hamburger Leistungsfutter GmbH), Christian Rupschus, Anne Reutlinger (LTZ)

3.8.1 Überblick

Die Veredelung, d. h. die Umwandlung von Sojafutter in höherwertige Tierprodukte, erfolgt vor allem über Geflügel und Mastschweine und weniger über Rinder. Für den Landwirt ermöglicht die Vermarktung direkt, über den Einzelhandel oder über Metzger, einen angemessenen Preis fürs Produkt zu erhalten. Im Bereich Milchvermarktung hat sich z. B. das Label „ohne Gentechnik“ durchgesetzt, bei der Fleischvermarktung wird eine entsprechende Auslobung mit Bezug auf die Fütterung noch sehr selten vorgenommen.

Akteure der Wertschöpfungskette

Die ZG Raiffeisen eG (ZG), das Raiffeisen Kraftfutterwerk Kehl GmbH (RKW) sowie das Kraichgau Raiffeisen Zentrum eG (KRZ) haben verschiedene Aktivitäten zur Bewerbung von Futtersoja unternommen. Auf lokaler Ebene gibt es das Modell der Direktvermarktung vor allem von Eiern aus Fütterung mit regionalen Sojabohnen im Mischfutter.

Ziele der Veredelung

- Hohe Produktqualität
- Wertsteigerung und bessere Vermarktung
- Steigerung der Nachfrage nach regionaler Futtersoja

3.8.2 Einleitung

Als Proteinfutter wird Sojaextraktionsschrot in großem Umfang in der europäischen Union eingesetzt. Der hohe Bedarf übersteigt die verfügbare Menge aus heimischer Produktion und wird vor allem mit Importware aus Amerika gedeckt. Zwar kann der Bedarf an Proteinfutter in Deutschland und der EU mit Importware gedeckt werden, jedoch wird dies zunehmend kritisch betrachtet: Vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Lebens- und Futtermittelproduktion sind der Import von Futter (globale Verschiebung essentieller Nährstoffe, regionaler Überschuss an Nährstoffen durch hohen Anfall von Wirtschaftsdüngern tierischen Ursprungs) und insbesondere die Bedenken der Verbraucher gegenüber gentechnisch veränderten Organismen in die Diskussion geraten. Somit ist das Potenzial für heimische Sojafuttermittel beträchtlich.

Im Rahmen des Soja-Netzwerks wird deshalb der Anbau von gentechnikfreien Sojabohnen gefördert. Gleichzeitig rücken weitere heimische Körnerleguminosen, die als Proteinträger in Frage kommen, wieder in den Mittelpunkt

des Interesses. In Baden-Württemberg werden in erster Linie Erbsen und Ackerbohnen angebaut. Sojabohnen werden wegen ihren hohen Proteingehalt (ca. 40 % in der TM) und günstigen Zusammensetzung an essentiellen Aminosäuren in der Nutztierfütterung vielfach eingesetzt. Wichtig ist zudem der relativ hohe Energiegehalt der Sojabohne, zurückzuführen auf einen Rohfettanteil von ca. 20 % in der TM.

Als unverarbeitete vollfette Rohbohne kann Soja in geringen Mengen an Milchkühe verfüttert werden. Für die Fütterung an Monogastrier wird Soja thermisch aufbereitet (Kapitel 3.8.4). Man unterscheidet je nach Aufbereitungsstufe zwischen getoasteten Sojavollbohnen, teilentölkten Sojakuchen und europäischem Sojaextraktionsschrot (Tabelle 9). Sojafutter wird vor allem für Mastschweine und Geflügel (Eier und Fleisch) verwendet. In geringem Umfang werden Sojabohnen in der Milchviehfütterung eingesetzt. Weitere Nutztiere die mit Soja gefüttert werden sind z. B. Ziegen, Schafe, Pferde und einige Fischarten. Der Bedarf von Hühnern, Schweinen und Rindern ist grundsätzlich anders und variiert je nach Endprodukt innerhalb einer Tierart. Entsprechend unterschiedlich sind die Verwendungsmöglichkeiten und Rationen von Soja im Tierfutter.

3.8.3 Heimisches Sojafutter und Eiweißergänzungsfutter am Beispiel „KraichgauSoja“

Heimische Sojabohnen werden überwiegend als vollfette Sojabohnen und Sojakuchen verwendet. Dazu wird es u.a. mit Getreide, Mais und Rapsschrot zu ausgewogenen Futtermischungen gemischt. Soja kann aufgrund hoher Trockenmasse und Fettgehalte gut zur Energieversorgung von Schweinen, Geflügel und Wiederkäuer beitragen. Bei der Zusammenstellung von ausgewogenen Futtermischungen sind je nach Tierart und Veredelungsprodukt verschiedene wertbestimmende Inhaltsstoffe zu beachten (Bellof, 2012).

Bei Mastrindern und Milchkühen kann Sojakuchen (sogar als alleinige) Proteinquelle eingesetzt werden. Der Futterwert des Proteins für Milchkühe wird bestimmt durch den Gehalt an nutzbarem Rohprotein (nXP), die ruminale Stickstoffbilanz (RNB) sowie die Anteile an unabbaubarem d. h. pansenbeständigen Rohprotein (UDP) (Bellof, 2012). Ein hoher Gehalt an UDP und nXP erhöht die Tierleistung.

In der Geflügel- und Schweinefütterung ist ein hoher Proteingehalt von hoher Qualität sehr wichtig. Die Pro-

Tabelle 9: Futterwerte bzw. Inhaltsstoffe von Sojabohnen, Sojakuchen und Sojaschrot von Bedeutung für Geflügel und Schweine (Bellof, 2012).

Inhaltsstoffe	Einheit	Sojabohnen getoastet	Sojakuchen teilentölt	Sojaschrot (43 % RP)
Trockenmasse (TM)	g	880	880	880
Rohprotein (RP)	%	342	395	429
unabbaubares RP (UDP)	g kg ⁻¹	40	40	30
nutzbares RP (nXP)	g kg ⁻¹	224	259	252
Ruminale N-Bilanz (RNB)	g kg ⁻¹ FM	19	22	28
Aminosäuren: Präcaecal¹ verdaulich				
Lysin	g	16,9	19,8	25,2
Methionin & Cystein	g	9,7	14,1	14,1
Threonin	g	10,0	12,1	15,9
Tryptophan	g	3,2	3,9	5,1
Energiegehalte				
ME² Schwein	MJ	15,88	13,31	12,79
ME² Geflügel	MJ	12,35	11,1	9,34
ME² Wiederkäuer	MJ	14,32	12,76	12,12

¹ präcaecale Verdaulichkeit: Verdaulichkeit bis zum Ende des Dünndarms;

² ME: verwertbare Energiemenge aus dem Futtermittel

teinqualität ist für beide Tierarten hoch, wenn der Gehalt an folgenden essentiellen Aminosäuren ausreichend vorhanden ist: Lysin, Methionin, Cystein, Threonin und Tryptophan. Besonders Methionin ist für beide Nutztierarten limitierend. Eine Kombination mit methioninreichen Eiweißfuttermitteln wie entschältem Sonnenblumenkuchen oder ein Zusatz an DL-Methionin ist eine Abhilfe. Werden die limitierenden Aminosäuren nicht ergänzt (z. B. durch Zusätze von synthetischen Aminosäuren), sinken die Tierleistungen. Zudem müssen die Tiere überschüssige, nicht limitierende Aminosäuren unter Energieverbrauch ausscheiden (Berry et al., 1962; Medic et al., 2014). Dies geht mit erhöhten N-Gehalten in den Wirtschaftsdüngern und damit mit einer deutlich höheren N-Verlustgefahr beim nachfolgenden Wirtschaftsdüngermanagement einher.

Für die Regionen Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz ist die Raiffeisen Kraftfutterwerk Kehl GmbH (RKW) ein bedeutender Lieferant von heimischem Sojafutter. Das Kraichgau Raiffeisen Zentrum eG (KRZ) in Eppingen ist ein weiteres Beispiel für einen Futtermittelbetrieb mit Soja aus der Region. Die Firma erfasst seit 2013 Sojabohnen und Erbsen in der Region Kraichgau und lässt sie vor der Verwendung in Mischfuttermitteln durch den sogenannten „Toastprozess“ zur Verbesserung von Futteraufnahme und Futtermittelqualität aufbereiten.

Das KRZ bietet heimisches Sojafutter als KraichgauSoja in unterschiedlichen Rezepturen für Rinder, Legehennen und Schweine an. Darüber hinaus wurde speziell für Mastschweine „Erbsofit®“, eine Mischung aus 60 % getoasteten Erbsen und 40 % getoasteten vollfetten Sojabohnen, als Eiweißergänzungsfuttermittel für Nutztiere entwickelt. Der Zusatz von vollfetten Sojabohnen führt zu einem Futtermittel mit relativ hohen Fettgehalten, aber dennoch dominieren die Rohproteingehalte (Tabelle 10). Die Toastung der Erbsen erhöht die Schmackhaftigkeit und damit die Futteraufnahme. Somit ist „Erbsofit®“ ideal im Sauenbereich, wenn die Sauen nach dem Abferkeln viel Futter aufnehmen sollen.

Der Einsatz von KraichgauSoja für Legehennen und Mastschweine wurde von der LSZ in Kooperation mit dem KRZ getestet. Im Folgenden werden Beispiele für

Tabelle 10: Inhaltstoffe des Eiweißergänzungsfuttermittels „Erbsofit®“.

Inhaltsstoffe	Einheit	Werte auf Basis von 88 % TM
Rohprotein	g kg ⁻¹	255
Rohfett	g kg ⁻¹	83
Rohfaser	g kg ⁻¹	58
Umsetzbare Energie	MJ kg ⁻¹	14,6
Essentielle Aminosäuren:		
Lysin	g kg ⁻¹	17,0
Methionin & Cystein	g kg ⁻¹	7,5
Threonin	g kg ⁻¹	11,5
Tryptophan	g kg ⁻¹	3,1

die Fütterung von Legehennen und Mastschweinen mit regionalen vollfetten Sojabohnen dargestellt.

3.8.4 Heimisches Soja in der Geflügelfütterung am Beispiel Legehennenhof Leis

In der Geflügelfütterung eignen sich vollfette Sojabohnen besonders, da bei den Rationen mit Sojaextraktionschrot meist noch Sojaöl zugesetzt wird. Dies entfällt zum Teil beim Einsatz heimischer, vollfetter Sojabohnen. Wie die Erfahrung aus dem Betrieb Leis zeigt, ist darüber hinaus die Regionalität in der Direktvermarktung von Vorteil.

Hofporträt von Heiko Leis und Zusammenarbeit mit der Genossenschaft KRZ

Der Betrieb von Heiko Leis umfasst Ackerbau (95 ha), Bullenmast (ca. 60 Tiere) und Legehennenhaltung (ca. 530 Tiere). Im Betrieb werden seit 2014 auch Sojabohnen angebaut, die zunächst an das Kraichgau Raiffeisen Zentrum eG vermarktet und als fertige Legehennenmischung für die hofeigene Fütterung wieder zurückgekauft werden. Mittlerweile hat der Betrieb Leis auf ökologischen Landbau umgestellt und bezieht aus diesem Grunde kein Soja mehr aus konventionellem Anbau.

Die fertige Mischung enthielt KraichgauSoja für Legehennen, bestehend aus hofeigenen Sojabohnen und regional erzeugten Erbsen, die zuvor in der Ebert Mühle getoastet wurden. Heiko Leis konnte durch die Verwen-



Heiko Leis vor seinem Mobilstall

Foto: Christian Rupschus/LTZ

derung der eigenen Sojabohnen für die Legehennen einen Produktionskreislauf (Abbildung 15) vorweisen, der nicht auf Sojaanbau in Übersee angewiesen war, sondern regional im Kraichgau stattfand.

Die Eier werden fast ausschließlich direkt ab Hof über Selbstbedienungsautomaten (Regiomaten®, Stüwer GmbH) vermarktet. Beim Futter geht es Heiko Leis vor allem darum, den Nährstoffbedarf der Tiere optimal zu decken. Außerdem sollen die Komponenten überwiegend aus der Region stammen. So ist Gentechnikfreiheit gewährleistet – für viele Kunden ein wichtiges Zusatzargument.

Fütterungsvergleich: Legehennenmischung mit Import- und mit KraichgauSoja

Vor diesem Hintergrund ist es für den Betrieb Leis interessant, Importsoja durch heimische Soja zu ersetzen. In einer Fütterungsdemonstration wurde die Standardlegehennenmischung „Profi“ (mit Importsoja, 18 % GVO-freies Sojaextraktionsschrot) mit einer neuen Legehennenmischung „Heimat“ (mit regionaler Soja) verglichen.

Im Juni 2014 stellte er zwei Tiergruppen (jeweils in einem separaten Stall) zusammen, die sechs Monate lang unterschiedlich gefüttert wurden. Eine Tiergruppe bekam nach wie vor das Futter mit Sojaextraktionsschrot („Profi“). Im Futter der Testgruppe „Heimat“ wurde der Anteil an

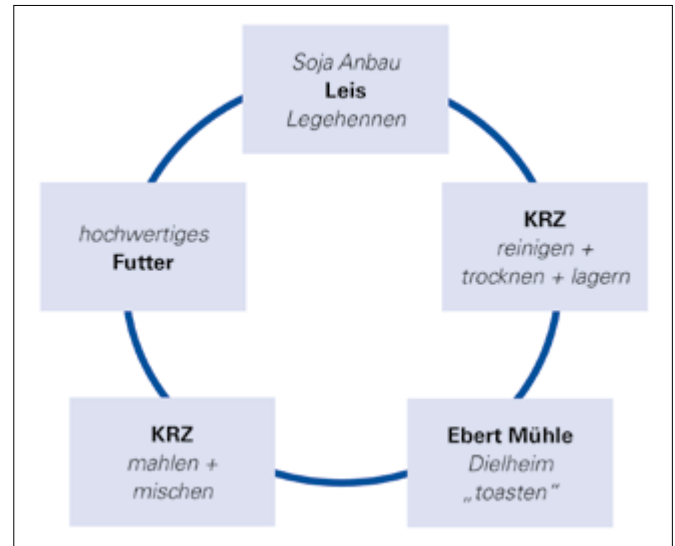


Abbildung 15: Produktionskreislauf vom Legehennenfutter vom Hof Leis – KraichgauSoja.

importierten Sojaschrot immer weiter zurückgefahren und der Anteil an heimischen Eiweißträgern (getoastete Sojabohnen, ergänzt mit Rapsschrot) entsprechend stetig erhöht. Die Leistung der beiden Tiergruppen „Heimat“ und „Profi“ war vergleichbar gut. Der Landwirt Leis war mit der Qualität von „Heimat“-Futter sehr zufrieden.

3.8.5 Einsatz von KraichgauSoja in der Schweinemast: Vergleich importiertes Sojaextraktionsschrot und „Erbsofit®“

An der Landesanstalt für Schweinezucht wurde geprüft, ob in den eingesetzten Standardrationen für weibliche Mastschweine importiertes HP-Sojaextraktionsschrot (GVO-frei, HP = High Protein, d. h. 48 % Rohprotein), durch heimische vollfette Sojabohnen, Erbsen und Rapsextraktionsschrot ersetzt werden kann. Hierzu wurde in Zusammenarbeit mit dem Kraichgau Raiffeisen Zentrum in Eppingen ein Ergänzungsfuttermittel konzipiert, das im Energiegehalt und dem Gehalt an essentiellen Aminosäuren der Zusammensetzung von HP-Sojaextraktionsschrot entspricht.

Im Ergänzungsfutter (Ergänzer) wurde neben Erbsofit® auch Rapsextraktionsschrot in zwei Varianten verwendet. Das Rapsschrot wurde einmal nach dem Wisan®-Verfahren behandelt und einmal als unbehandelte Ware eingesetzt. Anschließend wurde der Ergänzer sowohl in der Vor- als auch in der Endmast im Austausch gegen Sojaextrak-

Wertschöpfung durch heimische Sojabohnen

Tabelle 11: Futtermischungen für Mastschweine mit und ohne einheimischen Proteinträger.

Futtermittel	Einheit	Ration mit Sojaschrot ¹	Ration mit Ergänzer ²	Ration mit Sojaschrot ¹	Ration mit Ergänzer ²
		Vormast		Endmast	
Gerste	%	17,5	17,5	59,5	59,5
Weizen	%	59	59	22	22
Sojaextraktionsschrot (HP)	%	19	—	15	—
Ergänzungsfutter	%	—	19	—	15
Rapsöl	%	1,5	1,5	1,0	1,0
Mineralfutter	%	3	3	2,5	2,5
ME³	MJ kg ⁻¹	13,3	13,2	12,8	12,8
Rohprotein	g kg ⁻¹	166	146	152	136
Lysin	g kg ⁻¹	10,2	10,3	9,2	9,2

¹ GVO-frei,

² Ergänzer = Ergänzungsfutter

³ ME, Metabolische Energie: verwertbare Energiemenge aus dem Futtermittel

Tabelle 12: Mastleistungen von Mastschweinen bei Fütterung mit einheimischen Proteinträgern (Ergänzer) im Vergleich zur Fütterung mit Sojaextraktionsschrot.

	Einheit	Ration mit Sojaschrot ¹	Ration mit Erbsofit® und unbehandeltem Rapsschrot	Ration mit Erbsofit® und Wisan® ²	p-Wert
Zunahmen Gesamt	g Tag ⁻¹	880	884	876	0,933
Zunahmen Vormast	g Tag ⁻¹	925	940	950	0,746
Zunahmen Endmast	g Tag ⁻¹	834	815	799	0,177
Mastdauer	Tage	103	103	103	0,955
Futterverwertung Gesamt		1 : 2,82	1 : 2,86	1 : 2,83	0,181
Futterverwertung Vormast		1 : 2,39	1 : 2,48	1 : 2,37	0,147
Futterverwertung Endmast		1 : 3,39	1 : 3,35	1 : 3,47	0,343

¹ GVO-frei, importiertes Sojaschrot;

² WISAN Rapsschrot, ist ein Verfahren bei dem das Rapsextraktionsschrot physikalisch durch Druck und Temperatur Tierfutter aufbereitet und optimiert wird.

Tabelle 13: Schlachtleistungen und Fleischqualität von Mastschweinen bei Fütterung mit einheimischen Proteinträgern im Vergleich zur Fütterung mit Sojaextraktionsschrot.

	Einheit	Ration mit Sojaschrot ¹	Ration mit Erbsofit® und unbehandeltem Rapsschrot	Ration mit Erbsofit® und Wisan® ²	p-Wert
Schlachtgewicht	kg	96,3	96,7	96,5	0,306
Schlachalter,	Tage	178	178	178	0,968
Ausschlachtung	%	79,7	80,0	79,9	0,328
Muskelfleischanteil	%	59,8	58,9	59,0	0,370
Speckmaß	mm	14,1	14,9	14,8	0,447
Fleischmaß	mm	66,3	65,2	65,4	0,254
Tropfsaftverlust	%	1,55	1,79	1,84	0,443
IMF	%	1,52	1,70	1,61	0,387

¹ GVO-frei, importiertes Sojaschrot;

² WISAN Rapsschrot, ist ein Verfahren bei dem das Rapsextraktionsschrot physikalisch durch Druck und Temperatur Tierfutter aufbereitet und optimiert wird.

Exkurs: Fettsäuren und Fleischqualität

Die Fette im Sojabohnenöl sind aus ernährungsphysiologischer Sicht sehr hochwertig, mit hohen Anteilen an einfach und mehrfach ungesättigten, essentiellen Fettsäuren (Kapitel 3.2.6). Allerdings beeinflussen bei Monogastriern die Fettsäuren aus der Fütterung die Zusammensetzung der Fettsäuren im Fleisch. Bei einem hohen Anteil an gesättigten oder einfach ungesättigten Fettsäuren wird ein eher stabiles, „hartes“ Fett gebildet, bei hohen Anteilen an mehrfach ungesättigten Fettsäuren ist das Fett im Fleisch „weich“ und anfällig für Verderb – es kann rasch ranzig werden (Lu et al., 2008; Madsen et al., 1992; Realini et al., 2010; Woods und Fearon, 2005). Auch die Farbe ändert sich von weiß hin zu gelb. Daher sollte die Verwendung bestimmter Futtermittel mit hohen Anteilen an ungesättigten Fettsäuren (Hafer, Raps, Sonnenblumen und vollfette Sojabohnen) begrenzt werden (Lu et al., 2008; Madsen et al., 1992; Woods und Fearon, 2005), vor allem in der Endmast. Die Fütterung von vollfetten Sojabohnen bzw. Sojabohnenöl erhöht ganz erheblich die Anteile an Linolensäure (C18:3) und Linolsäure (C18:2) im Muskelfleisch von Schweinen und Geflügel (Lu et al., 2008), mit einer entsprechenden Erhöhung der sog. „Fettzahl“ oder „Iodzahl“ (IZ), eine Maßzahl abgeleitet aus der Anzahl von Doppelbindungen der äußeren Schichten des Rückenfettes (Hadorn et al., 2008). Die IZ ist die Menge in Gramm Iod, die an 100 g Fett addiert werden kann. Es gibt Ansätze, diesen Parameter mittels NIRS-Technik (near-infrared spectroscopy) zu bestimmen (Hadorn et al., 2008; Müller et al., 2008).

Bei Wiederkäuern dagegen werden die ungesättigten Fette im Pansen in gesättigte Fettsäuren (Stearinsäure - C18:0) überführt, so dass sie keinen Einfluss auf die Fleischqualität nehmen (Lu et al., 2008; Nieto und Ros, 2012).

tionsschrot in die Rationen eingemischt (Tabelle 11). Die Rationen mit Ergänzern weisen einen niedrigeren Proteingehalt als die Rationen mit Sojaextraktionsschrot auf, da der Proteingehalt in den eingesetzten einheimischen Proteinträgern gegenüber HP-Sojaextraktionsschrot geringer ist. Um eine Vergleichbarkeit der Rationen zu gewährleisten, wurde ein einheitliches Lysin/Energie-Verhältnis eingestellt und die Aminosäuren Lysin, Methionin und Cystein sowie Threonin und Tryptophan in der Ration mit Ergänzern entsprechend angeglichen.

Für den Fütterungsvergleich wurden 375 weibliche Masttiere in drei Gruppen mit jeweils 125 Tieren im Gewichtsabschnitt von 30 kg bis 120 kg eingesetzt. Von allen Tieren wurden Parameter der Mastleistung, Schlachtleistung und der Fleischqualität (Tabelle 12) erfasst.

Die Werte der Mast- und Schlachtleistung sowie der Fleischqualität lagen durchweg auf hohem Niveau (Tabelle 13). Rationsbedingte Unterschiede waren nicht festzustellen ($p > 0,05$; Linear gemischtes Modell: proc mixed, SPSS). Dies zeigt zunächst, dass importiertes GVO-freies Sojaextraktionsschrot ohne nachteilige Wirkungen auf die

Leistungen im Stall oder auf die Schlachtkörperqualität durch Proteinträger ersetzt werden kann, die aus heimischem Anbau kommen. Eine Supplementierung mit den synthetischen Aminosäuren Lysin, Methionin, Cystein, Threonin und Tryptophan ist erforderlich.

Ob neben den bereits ergänzten Aminosäuren noch weitere Aminosäuren zugesetzt werden müssen, sollte in nachfolgenden Versuchen nochmals geprüft werden, da beim Gehalt an Intramuskulärem Fett (IMF) und dem Speckmaß statistisch zwar nicht absicherbare, aber tendenziell höhere Werte auftraten, wenn heimische Proteinträger verfüttert wurden. Gleichzeitig war das Fleischmaß tendenziell geringer. Speckmaß und Fleischmaß werden wesentlich von einer bedarfsgerechten Aminosäurenversorgung bestimmt, die neben dem absoluten Aminosäuregehalt in der Ration von der Verfügbarkeit der Aminosäuren abhängt.

Für eine optimale Aminosäurenverfügbarkeit wird von der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie auf Basis der praecaecalen Verdaulichkeiten ein Verhältnis von Lysin : Methionin : Cystein/Threonin : Tryptophan von 1:0,53–0,56:0,63–0,66:0,18 angegeben (GfE, 2006). Aller-

Tabelle 14: Ökonomische Bewertung des Einsatzes von Mastrationen mit unterschiedlichen Proteinträgern bei einem Basispreis von 1,40 Euro je kg Schlachtgewicht.

	Einheit	Ration mit Sojaschrot ¹	Ration mit Erbsofit® und unbehandeltem Rapsschrot	Ration mit Erbsofit® und Wisan® ²	p-Wert
Auszahlungspreis Schlachtgewicht³	€ g ⁻¹	1,434	1,422	1,421	0,291
Futterkosten Schlachtgewicht³	€ kg ⁻¹	0,614	0,608	0,609	0,372

¹ GVO-frei;

² WISAN Rapsschrot, ist ein Verfahren bei dem das Rapsextraktionsschrot physikalisch durch Druck und Temperatur Tierfutter aufbereitet und optimiert wird.

³ Basispreis: 1,40 € je kg Schlachtgewicht (Maske Crailsheim), 2015

dings muss neben diesem Verhältnis der erstlimitierenden Aminosäure Lysin zu den genannten Aminosäuren ebenso das Verhältnis weiterer Aminosäuren zum Lysin beachtet werden.

Abschließend wurde eine ökonomische Bewertung der drei Rationen auf Basis der aktuellen Futterpreise und der Erlöse je kg Schlachtgewicht vorgenommen (Tabelle 14). Zwischen den Rationen gab es keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$). Somit kann aus ökonomischer Sicht bei den im Versuchszeitraum aktuellen Preisen, kein nachteiliger Effekt festgestellt werden, wenn importiertes Sojaschrot durch heimische Proteinträger ersetzt wird.



Eber Betrieb Bunz

Foto: Anne Reutlinger/LTZ

3.8.6 Heimisches Soja in der Rinderfütterung

Obwohl Sojabohnen ohne thermische Aufbereitung an Rinder verfüttert werden können, spielt Soja in der Rinderfütterung eine eher untergeordnete Rolle. Zum einen wirkt der Fettgehalt in den Bohnen einsatzbegrenzend (Bellof, 2012). Die tägliche Ration an vollfetten Sojabohnen liegt unbehandelt bei max. 2,0 kg/Milchkuh (laktierend) und teilentölt/thermisch aufbereitet (Sojakuchen) bei max. 4,0 kg/Milchkuh (laktierend). Zum anderen wird das preiswertere Rapsschrot als Proteinträger bevorzugt. Wenn hingegen die Bohnen aus eigenem Anbau stammen, kann die Fütterung mit nicht behandelten Sojabohnen wirtschaftlich interessant sein. Die Toastkosten von etwa 6 Euro dt⁻¹ rechnen sich momentan indes nicht bei Eigenanbau auch wenn von einer Erhöhung des UDP-Wertes ausgegangen werden kann (Bellof, 2012). In Baden-Württemberg gibt es zahlreiche Milchviehbetriebe mit Sojaanbau zur innerbetrieblichen Verfütterung. Alternativ kann die Verwendung von Soja-Ganzpflanzensilage erwogen werden (Kapitel 3.5).

4 Zusammenfassung und Ausblick

Andreas Butz, Jürgen Recknagel, Kurt Möller (LTZ)

Im Jahr 2018 betrug die Sojafläche in Deutschland fast 24.000 ha, davon lag mehr als die Hälfte im klimatisch günstigeren Süden. In Baden-Württemberg ist die Anbaufläche in den vergangenen fünf Jahren seit 2013 von 2.150 auf 7.300 ha gestiegen. Parallel dazu hat sich der Absatz von Futtersoja in der Region deutlich erhöht (Benz, 2016). Bayern verzeichnete vergleichbare Zuwachsraten auf einem deutlich höheren Niveau. Die auf diesen Anbau basierende Wertschöpfungskette „Gentechnikfreie Futtersojabohnen aus konventionellem Anbau“ ist in Baden-Württemberg inzwischen „etabliert“. Sie bildet eine gute Basis, um die derzeitige Anbaufläche zu halten und perspektivisch auch zu erweitern und kann als Beispiel für eine erfolgreiche Etablierung einer neuen Kulturart auch in anderen Regionen dienen. Sowohl in Baden-Württemberg als auch in anderen Bundesländern verfolgen Akteure der Wertschöpfungskette weiterhin aktiv dieses Ziel.

Für eine dauerhafte Etablierung des Sojaanbaus in Mitteleuropa stehen die Akteure der Wertschöpfungskette vor sehr verschiedenartigen Herausforderungen. In der Züchtung stehen die sichere Abreife der Sorten auch in Grenzlagen, gemeinsam mit dem Ertrag und dem Rohproteingehalt weiterhin im Fokus. Mit Blick auf die Futterqualität und letztlich der Veredelung ist die Qualität, d. h. die Zusammensetzung des Proteins, insbesondere der Anteil der limitierenden Aminosäuren, mindestens so wichtig wie der gesamte Proteingehalt. Hilfreich wäre auch die Züchtung von Sorten mit niedrigen Ölgehalten. Auch die Saatgutvermehrung stellt hohe Anforderungen an alle Beteiligten in diesem Bereich der Wertschöpfung, um durch entsprechende Maßnahmen eine mechanische Beschädigung des Saatgutes zu verhindern und auf die Weise die Keimfähigkeit des produzierten Saatgutes zu erhalten und zu sichern. Derzeit wird das notwendige Saatgut nur zum Teil in Deutschland vermehrt. Die regionale Vermehrungsfläche bzw. die Saatgutverfügbarkeit für Baden-Württemberg ist für den derzeitigen Anbauumfang ausreichend. Jedoch sollte die Verfügbarkeit insbesondere bundesweit noch erhöht werden, damit dadurch verstärkt

sichergestellt ist, dass nur Saatgutpartien mit einer sehr hohen Qualität gehandelt werden. Ähnliches gilt auch für Impfpräparate zur Sicherstellung der biologischen N₂-Fixierung durch diese Leguminose. Zwar sind Impfmittel generell in ausreichender Menge und Qualität zu erhalten. Allerdings unterscheiden sich die Anforderungen an die Aufbringung sowie die Wirksamkeit der angebotenen teilweise erheblich. Rhizobienpräparate unterliegen in Deutschland keinem Zulassungsverfahren mit Wirksamkeitsprüfung, daher ist eine Qualitätskontrolle insbesondere neuer Impfmittel wichtig, um hohe Symbioseleistungen durch die Impfung zu gewährleisten. Zurzeit wird nach weiteren effektiveren Rhizobienstämmen gesucht.

Aus pflanzenbaulicher Sicht spricht vieles für den Sojaanbau: Auflockerung von engen Fruchtfolgen (eine Sommerkultur in getreidereichen Fruchtfolgen!), Verbesserung der Bodenstruktur und -fruchtbarkeit, Einsparung von Stickstoffdüngemitteln, das Entzerren von Arbeitsspitzen und gerade bei einer Kombination mit Körnermais anbau auch eine Reduzierung der Nitratbelastung des Grundwassers. Vor allem aber: Das Ertragspotenzial der Sojakultur liegt gegenwärtig über dem wirtschaftlichen Mindestertrag. Bei einem angemessenen Erzeugerpreis ist die konventionell erzeugte Sojabohne gegenüber vielen Alternativkulturen konkurrenzfähig (Wolf und Schätzl, 2017). Das Interesse der Landwirte Soja anzubauen ist nicht zuletzt aus all diesen Gründen hoch. Einige Landwirte nehmen Soja im Anbauplan auf, um Problemen im Ackerbau (Maiswurzelbohrer) zu begegnen, oder weil die Sojabohnen als Futtergut in die Betriebs- und Vermarktungsstruktur des Hofes passt. Positiv ist auch der geringe Bedarf des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln beim Anbau von Sojabohnen.

Der Erfolg im Sojaanbau ist allerdings kein Selbstläufer. Veränderungen in den agrarpolitischen Rahmenbedingungen (z. B. das neu eingeführte Pflanzenschutzmittelverbot auf sog. „Greening-Flächen“, Absatzpreise, Erhöhung der Qualitätsanforderungen der abnehmenden Hand) stellen die Anbauer regelmäßig vor neue Herausforderungen.

Herbizide sind die Pflanzenschutzmittelkategorie mit den höchsten Einsatzmengen im Ackerbau im Allgemeinen und im Sojabohnenanbau im Speziellen. Etablierte Verfahren

der nicht-chemischen Unkrautregulierung (z. B. Striegel, Hacken, Fingerhacken) ermöglichen bereits heute einen herbizidfreien Sojabohnenanbau. Es ist zu erwarten, dass neue Verfahren der nicht-chemischen Unkrautregulierung (z. B. kameragesteuerte Hacken, Hackroboter) eine wesentliche Vereinfachung und Erleichterung des Hackens ermöglichen und insgesamt die Effizienz der Systeme erhöhen. Es bleibt zu hoffen, dass die Landwirte die Herausforderungen des Herbizidverbotes auf ökologischen Vorrangflächen (ÖVF als Herausforderung begreifen, und z. B. von ihren ökologisch wirtschaftenden Kollegen Methoden aufgreifen – ggf. auch in Kooperation – die eine herbizidfreie Bestandesführung ermöglichen. In letzter Konsequenz werden sie aber zugleich auch – zumindest in Einzeljahren – eine etwas höhere Verunkrautung ihrer Leguminosenbestände „ertragen“ müssen. Unabhängig hiervon ist zukünftig bzw. langfristig davon auszugehen, dass Fragen des Pflanzenschutzes, insbesondere mit zunehmendem Anbauumfang, auch an Bedeutung über die Unkrautbekämpfung hinaus gewinnen werden. Zusätzlich wird die Frage der ökologischen Leistung von Soja wichtiger werden.

Derzeit werden vom Handel nur sehr allgemeine Qualitätsanforderungen an die Sojabohnenqualität (z. B. Fremdbesatz, TM-Gehalt, keine Schimmelbildung) gestellt. Die abnehmende Hand signalisiert derzeit, dass in Zukunft auch die Rohproteingehalte eine preisbestimmende Rolle einnehmen werden. Ganz allgemein ist dies zu hinterfragen, höhere Rohproteingehalte im Futter machen nur dann Sinn, wenn auch entsprechend höhere Mengen an künstlichen limitierenden Aminosäuren in Futtermischungen zugesetzt werden, ansonsten führen höhere Proteingehalte aufgrund der abnehmenden biologischen Wertigkeit des Eiweißes v.a. zu einer überproportionalen Ausscheidung von Stickstoff über Kot und Harn (und damit zu erhöhten gasförmigen N-Verlusten in der gesamten nachfolgenden Wirtschaftsdünger-Kette). Daher sind Sorten mit hohen Rohproteingehalten z. B. für den Öko-Sektor durch das dort herrschende Verbot des Einsatzes künstlicher Aminosäuren eigentlich weniger gut geeignet. Unabhängig von diesen eher übergreifenden Erwägungen stellen höhere Anforderungen an die Rohproteingehalte die Anbauer und auch die Züchter vor neue Herausforderungen. Es ist allgemein bekannt, dass durch die Sortenwahl maßgeblich Einfluss

auf die Rohproteingehalte genommen werden kann. Allerdings finden sich Hinweise, dass die Rohproteingehalte auch durch andere Anbaumaßnahmen beeinflusst werden können. So scheinen mittlere Aussaattermine, eine gute Wasserversorgung während der Jugendentwicklung (hohe biologische N₂-Fixierung) sowie eine Trockenphase gegen Ende der Kornfüllungsphase (Auslassen der Beregnung) zu höheren Eiweißgehalten im Erntegut zu führen. Dagegen scheint sich eine mineralische N-Düngung nicht positiv auf die Rohproteingehalte auszuwirken.

Ein besonderes Problem, oder je nach Sichtweise auch eine Herausforderung, stellen die hohen Ölgehalte in Sojabohnen dar. Einerseits stehen Ölgehalte und Rohproteingehalte in negativer Beziehung zueinander. Andererseits zeichnet sich das Sojaöl durch seine sehr hohe Wertigkeit (hohe Anteile an mehrfach ungesättigten Fettsäuren) aus, die aber in der Tierfütterung eigentlich nicht in dem Maße erwünscht ist. Dagegen eignet sich das Sojaöl hervorragend für die menschliche Ernährung. Daher steht der Sektor eigentlich vor der Aufgabe, eine weitere/zusätzliche Wertschöpfungskette für das Sojabohnenöl zu entwickeln, um dadurch eine hochwertige Nutzung des Öles zu ermöglichen. Große Verarbeiter signalisieren mittlerweile Interesse am Aufbau einer Entölung in Baden-Württemberg. Dies würde der Nachfrage nach heimischen Sojabohnen einen enormen Schub verleihen. Die Zunahme an Verarbeitungskapazität, höhere Dichte an Erfassungsbetrieben sowie mobile Toastanlagen geben Anreize für die Ausdehnung der Sojafläche.

In der Veredelung bestehen langjährige Erfahrungen beim Einsatz von Sojaprodukten als Futtermittel. Allerdings steht die Vermarktung von regionalen, gentechnikfreien Veredelungsprodukten aus Sojafutter über den LEH noch am Anfang. Die gentechnikfreie Fütterung entwickelt sich zunehmend zum Standard. Folglich ist GVO kein ausreichendes Merkmal, um sich vom Gesamtmarkt abzusetzen bzw. einen finanziellen Mehrwert zu erzielen. Dagegen ist die Regionalität, z. B. regionale Fütterung, ein starkes Werbeargument gegenüber den Verbrauchern. Die wachsende Nachfrage nach regionalen Geflügel- und Fleischprodukten bei den LEH und Konsumenten weist auf ein großes Vermarktungspotenzial.

Der Anbau von Sojabohnen in Deutschland kann die Importe von Sojaextraktionsschrot nur teilweise ersetzen und bietet Platz für Premium-, Nischenprodukte und Direktvermarkter. Voraussetzung für eine weitere, (starke) Ausdehnung des Absatzes von heimischen Sojaprodukten ist eine umfassende Information der Verbraucher über den heimischen Sojaanbau im Vergleich zum Anbau in Amerika (Geltinger et al., 2017). Hier könnte eine öffentliche Unterstützung durch eine bundesweite Öffentlichkeitsarbeit einen wertvollen Beitrag leisten.

Eine weitere Unterstützung seitens der Politik durch geeignete Fördermaßnahmen ist für eine nachhaltige Etablierung der Eiweißstrategie notwendig. Neben agrarpolitischer Förderung ist ebenfalls eine Unterstützung der Beratung insbesondere von Neueinsteigern (aller Stufen der WSK) sinnvoll. Beim Ausbau der Wertschöpfungskette sind bürokratische Hindernisse zu identifizieren und soweit wie möglich abzubauen. So gibt es z. B. derzeit bürokratische Hindernisse bei der „betrieblichen“ Einführung von mobilen Toastanlagen. Um die im Zuge der weiteren Ausdehnung des Sojaanbaus in Deutschland auftretenden Probleme frühzeitig begegnen zu können, ist eine Untersuchung offener, im Rahmen des Projektes identifizierter Praxis- und Forschungsfragen wichtig.

5 Akteure der Wertschöpfungsketten konventionelles Futtersoja

In der modellhaften Wertschöpfungskette regionales, konventionelles Futtersoja sind für jede der sieben Wertschöpfungsstufen mehrere Akteure integriert worden (Abbildung 16). Die Kontaktdaten und das Tätigkeitsfeld der Akteure sind in Tabelle 15 aufgeführt.

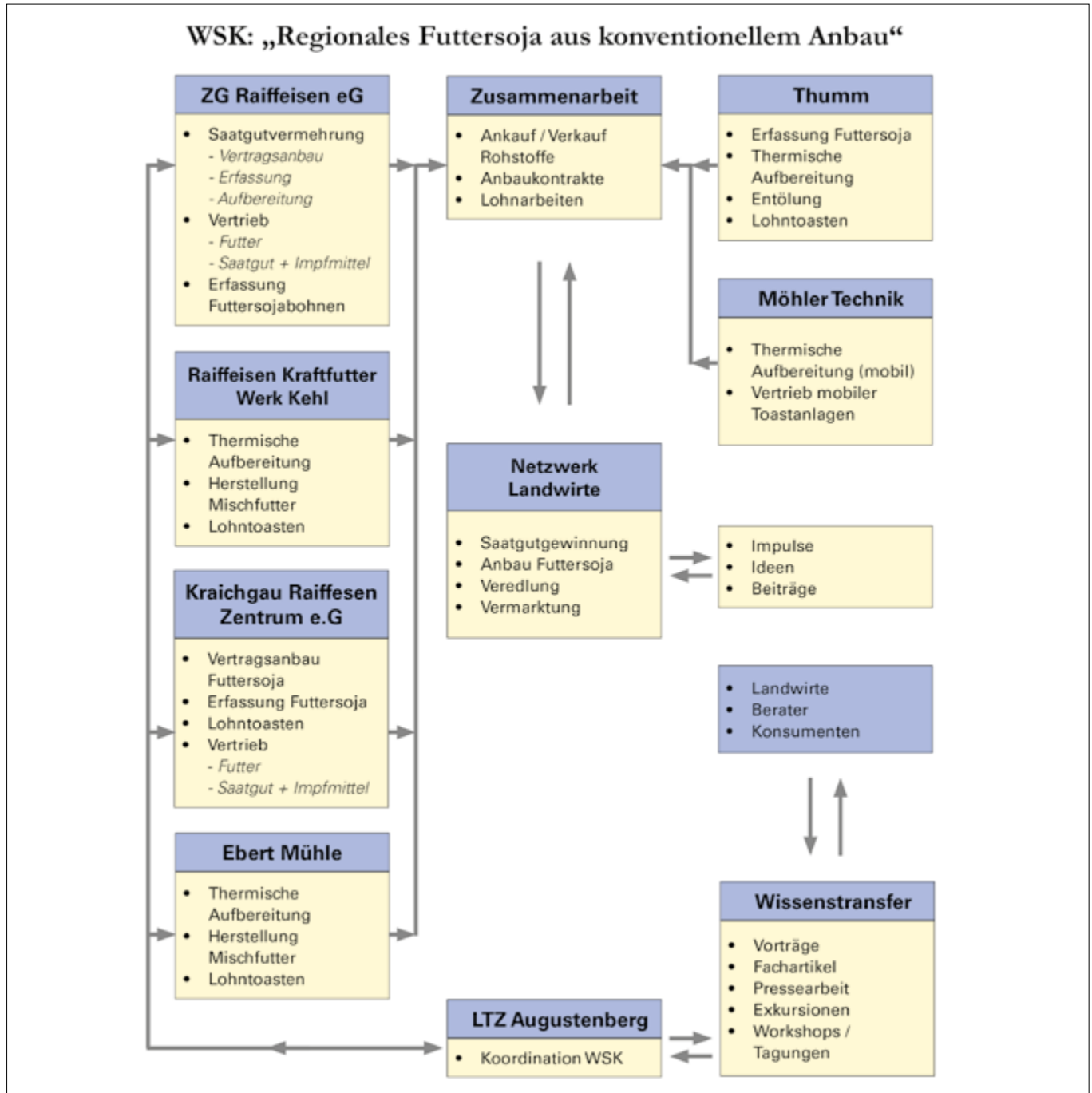


Abbildung 16: Stoffflüsse und Wissenstransfer innerhalb der Wertschöpfungskette „gentechnikfreie Futtersojabohnen aus konventionellem Anbau“ in Baden-Württemberg.

Tabelle 15: Akteure aus Baden-Württemberg und deren Tätigkeiten.

Akteure aus Baden-Württemberg	Tätigkeiten
Landessaatzuchtanstalt Universität Hohenheim <i>volker.hahn@uni-hohenheim.de</i>	⇒ Sojazüchtung
PZO Oberlimpurg <i>info@pzo-oberlimpurg.de</i>	⇒ Sojazüchtung
ZG Raiffeisen eG VO–Unternehmen <i>www.zg-raiffeisen.de</i>	⇒ Saatgutgewinnung: Vertragsanbau ⇒ Erfassung ⇒ Saatgutaufbereitung ⇒ Vertrieb Saatgut und Impfmittel ⇒ Vertrieb Futter ⇒ Erfassung von Futtersoja
Raiffeisen-Kraftfutterwerk Kehl (RKW Kehl) <i>www.rkw-kehl.de</i>	⇒ Thermische Aufbereitung ⇒ Mischfutter mit regionalen Sojabohnen ⇒ Lohntoastung* ⇒ Vertrieb Futter
Kraichgau Raiffeisen Zentrum eG (KRZ eG) <i>www.krz-eg.de</i>	⇒ Vertragsanbau Futtersoja ⇒ Erfassung von Futtersoja ⇒ Vertrieb Futter ⇒ Vertrieb Saatgut und Impfmittel
Ebert Mühle Dielheim GmbH <i>info@st-hippolyt.de</i>	⇒ Hydrothermische Aufbereitung ⇒ Mischfutter mit regionalen Sojabohnen ⇒ Lohntoastung*
Alexander Thumm Affalterbach <i>thummLandtechnik@gmail.com</i>	⇒ Erfassung von Futtersoja ⇒ Thermische Aufbereitung und Entölung ⇒ Lohntoastung
Möhler Technik – Mobiler Sojatoaster <i>www.mobilersojatoaster.de</i>	⇒ Thermische Aufbereitung: mobil, d. h. Lohntoastung auf Betrieben ⇒ Anlagenvertrieb
Landwirte im Soja-Netzwerk	⇒ Anbau: Saatgut, Futterbohlen ⇒ Verwertung in der Fütterung
Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ Augustenberg) <i>www.ltz-bw.de</i>	⇒ Koordination WSK Futtersoja ⇒ Beratung ⇒ Wissenstransfer ⇒ Versuche (Sorten und Anbaufragen)

* Service für Mitglieder der Genossenschaft RKW bzw. KRZ

Weitere Akteure finden Sie unter:

www.sojafoerderring.de/nach-der-ernte/ersterfasser-partner-fuer-landwirte

www.sojafoerderring.de/nach-der-ernte/verarbeitung-zu-futtermitteln/aufbereitungsanlagen-in-deutschland

Referenzen und weiterführende Literatur

- Alt, J.L., Fehr, W.R., Welke, G.A., Sandhu, D., 2005. Phenotypic and molecular analysis of oleate content in the mutant soybean line M23. *Crop Sci* 45, 1997–2000.
- Altomose, C.E., 2002. Production and feeding of soybeans as a forage crop on dairy farms in New England and New York Pennsylvania. Presented at the Lime, Fertilizer and Pesticide Conference, Agronomy Education Society, Penn State Cooperative Extension, Bellefonte, PA.
- Araba, M., Dale, N.M., 1990. Evaluation of KOH solubility as an indicator of overprocessing soybean meal. *Poult Sci* 69, 76–83.
- Asam, L., Wilbois, K.P., Spiegel, A.K., Balko, C., Becker, H., Berset, E., Butz, A.F., Haase, T., Habekuß, A., Hahn, V., 2013. Ausweitung des Sojaanbaus in Deutschland durch züchterische Anpassung sowie pflanzenbauliche und verarbeitungstechnische Optimierung. <http://orgprints.org/21638/1/21638-10OE054-uni-kassel-hamm-2012-marktanreize-heimischerFutterbau.pdf>.
- Baker, K., Utterback, P., Parsons, C., Stein, H., 2011. Nutritional value of soybean meal produced from conventional, high-protein, or low-oligosaccharide varieties of soy-beans and fed to broiler chicks. *Poult Sci* 90, 390–395.
- Bastidas, A.M., Setiyono, T.D., Dobermann, A., Cassman, K.G., Elmore, R.W., Graef, G.L., Specht, J.E., 2008. Soybean Sowing Date: The Vegetative, Reproductive, and Agronomic Impacts. *Crop Sci* 48, 727–740.
- Batal, A.B., Douglas, M.W., Engram, A.E., Parsons, C.M., 2000. Protein dispersibility index as an indicator of adequately processed soybean meal. *Poult Sci* 79, 1592–1596.
- Belitz, H.D., Weder, J.K.P., 1990. Protein inhibitors of hydrolases in plant foodstuffs. *Food Rev. Int.* 6, 151–211.
- Bellaloui, N., Bruns, H.A., Abbas, H.K., Mengistu, A., Fisher, D.K., Reddy, K.N., 2015. Agricultural practices altered soybean seed protein, oil, fatty acids, sugars, and minerals in the Midsouth USA. *Frontiers in Plant Science* 6.
- Bellaloui, N., Hanks, J.E., Fisher, D.K., Mengistu, A., 2009. Soybean seed composition is influenced by within-field variability in soil nutrients. *Crop management* 8, 1–12.
- Bellaloui, N., Reddy, K.N., Gillen, A.M., Fisher, D.K., Mengistu, A., 2011. Influence of Planting Date on Seed Protein, Oil, Sugars, Minerals, and Nitrogen Metabolism in Soybean under Irrigated and Non-Irrigated Environments. *American Journal of Plant Sciences* 02, 702–715.
- Bellof, G., 2012. Heimische Sojaprodukte in der Fütterung landwirtschaftlicher Nutztieren.
- Benz, S., 2016. Persönliche Mitteilung.
- Berry, T., Wilson, R.F., Rebetzke, G.J., 1962. The limiting amino acids in soybean protein. *Journal of Animal Science* 21, 558–561.
- Bevedan, R.E., Egli, D.B., 2003. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. *Crop Sci* 43, 2083–2088.
- Biate, D.L., Kumar, L.V., Ramadoss, D., Kumari, A., Naik, S., Reddy, K.K., Annapurna, K., Mahaeshwari, D.K., 2014. Bacterial Diversity in Sustainable Agriculture. In: *Bacterial Diversity in Sustainable Agriculture*. Springer International Publishing, Heidelberg, Seiten 131–145.
- Boem, F.H.G., Prystupa, P., Ferraris, G., 2007. Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. *J. Plant Nutr.* 30, 90–104.
- Burton, W., Rasmussen, O., Rebetzke, G.J., Pantalone, V.R., 2006. Registration of N98–4445A midoleic soybean germplasm line registration by CSSA. *Crop Sci* 46, 1010–1012.
- Butler, J.A., De Bruin, J.L., Pedersen, P., 2010. Plant Density Effect on Reduced Linolenic Acid Soybean Cultivars. *Agron. J.* 102, 348–354.
- Butz, A.F., 2017. Möglichkeiten des Greenings in Sojafruchtfolgen. In: *Tagungsband der Soja-Tagung*, Seiten 20–21.

- Butz, A.F., Jung, F., 2017. Ergebnisse aus drei Jahre Impfversuch. In: Tagungsband der Soja-Tagung, Seiten 22–23.
- Butz, A.F., Mastel, K., 2017. Einfluss von Bewässerung auf Ertrag und Ertragsstabilität bei neun Ackerbaukulturen. In: Anforderungen an den Pflanzenbau in einer sich urbanisierenden Welt. Liddy Halm, Witzenhausen, Seiten 70–71.
- Cafaro La Menza, N., Monzon, J.P., Specht, J.E., Grassini, P., 2017. Is soybean yield limited by nitrogen supply? *Field Crops Research* 213, 204–212.
- Clarke, E.J., Wiseman, J., 2000. Developments in plant breeding for improved nutritional quality of soya beans I. Protein and amino acid content. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 134, 111–124.
- Cahoon, E.B., 2003. Genetic enhancement of soybean oil for industrial uses: prospects and challenges. *AgBioForum* 6, 11–13.
- David, K., 2013. Soja Ganzpflanzensilage – Alternative Nutzungsverfahren für Soja in Mittelgebirgslagen (Versuchsbericht).
- DeSouza, P.I., Egli, D.B., Bruening, W.P., 1997. Water stress during seed filling and leaf senescence in soybean. *Agron. J.* 89, 807–812.
- Devine, T.E., Hatley, E.O., 1998a. Registration of Donegal forage soybean. *Crop Sci* 38, 1719–1720.
- Devine, T.E., Hatley, E.O., 1998b. Registration of Derry forage soybean. *Crop Sci* 38, 1719–1720.
- Dilger, R.N., Sands, J.S., Ragland, D., Adeola, O., 2004. Digestibility of nitrogen and AAs in soybean meal with added soyhulls. *J. Anim. Sci.* 82, 715–724.
- DLG, 2011. Presseinformationen für die Ernährungswirtschaft [WWW Document]. URL http://www.dlg.org/aktuelles_ernaehrung.html?&wb=%2FpublicArtikelDetail.do&artikelId=4479&kategorieId=4&spracheId=1&sub=2015dlg. Heruntergeladen am 3.16.16.
- Egli, D.B., Bruening, W.P., 2004. Water stress, photosynthesis, seed sucrose levels and seed growth in soybean. *Journal of Agricultural Science* 142, 1–8.
- Everwand, G., 2017. Biodiversität in Sojaanbausystemen. In: Tagungsband der Soja-Tagung in Rastatt am 6. und 7.12.2017, Seiten 9–10.
- Fastinger, N.D., Mahan, D.C., 2003. Effect of soybean meal particle size on AA and energy digestibility in grower-finisher swine. *J. Anim. Sci.* 81, 697–704.
- Fehr, W.R., 2007. Breeding for modified fatty acid composition in soybean. *Crop Sci* 47, 72–87.
- Friedman, M., Brandon, D.L., 2001. Nutritional and health benefits of soy proteins. *J Agric Food Chem* 49, 1069–1086.
- Gatel, F., 1994. Protein quality of legume seeds for non-ruminant animals: a literature review. *Anim. Feed Sci. Technol* 45, 317–348.
- Gaydou, E.M., Arrivets, J., 1983. Effects of phosphorus, potassium, dolomite, and nitrogen fertilization on the quality of soybean. Yields, proteins, and lipids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 31, 765–769.
- Geltinger, W., Asam, L., Lechler, G., Benz, S., 2017. Persönliche Mitteilung.
- Gerde, J., Hardy, C., Fehr, W., White, P.J., 2007. Frying performance of no-trans, low-linolenic acid soybean oils. *J Am Oil Chem Soc* 84, 557–563.
- Gerhards, R., 2017. Unkrautbekämpfung im Sojaanbau. In: Tagungsband der Soja-Tagung in Rastatt am 6. und 7.12.2017, Seiten 13–14.
- Griffiths, D.W., 1981. The polyphenolic content and enzyme inhibitory activity of testas from bean (*Vicia faba*) and peas (*Pisum ssp.*) varieties. *J. Sci Food agric* 32, 797–804.
- Hadorn, R., Eberhard, P., Guggisberg, D., Piccinali, P., Schlichtherle-Cerny, H., 2008. Effect of fat score on the quality of various meat products. *Meat Science* 80, 765–770.
- Hahn, V., Miedaner, T., 2013. Sojanbau in der EU. Lohnender Anbau ohne GVO. DLG-Verlag.

- Heitholt, J.J., Egli, D.B., Leggett, J.E., 1986. Characteristics of reproductive abortion in soybean. *Crop Sci* 26, 589–595.
- Hill, J.L., Peregrine, E.K., Sprau, G.L., Cremeens, C.R., Nelson, R.L., 2005. Evaluation of the USDA soybean germplasm collection: maturity groups 000–IV (PI507670-PI 574486). US Department of Agriculture Technical Bulletin.
- Hill, J.L., Peregrine, E.K., Sprau, G.L., Cremeens, C.R., Nelson, R.L., Orf, J.H., Thomas, D.A., 2001. Evaluation of the USDA soybean germplasm collection: maturity groups VI–VIII (FC 03.659–PI 567.235B). US Department of Agriculture Technical Bulletin.
- Hintz, R.W., Albrecht, K.A., Oplinger, E.S., 1992. Yield and quality of soybean forage as affected by cultivar and management practices. *Agron. J.* 84, 795–798.
- Hitsuda, K., Toriyama, K., Subbarao, G.V., Ito, O., 2008. Sulfur Management for Soybean Production. *Agronomy Monographs* 50, 117–142.
- Hitz, J.L., Carlson, T.J., Kerr, P.S., Sebastian, S.A., 2002. Biochemical and molecular characterization of a mutation that confers a decreased raffinose and phytic acid phenotype on soybean seeds. *Plant Physiol* 128, 650–660.
- Hlodversson, R., 1987. Comparison of the nutritional value of dark and white flowered cultivars of pea for growing-finishing pigs. *Swed. J. Agric. Res.* 17, 97–101.
- Hu, M., Wiatrak, P., 2012. Effect of Planting Date on Soybean Growth, Yield, and Grain Quality: Review. *Agron. J.* 104, 785–790.
- Hungria, M., Campo, R.J., Chueire, L.M.O., Grange, L., Megias, M., 2001. Symbiotic effectiveness of fast-growing rhizobial strains isolated from soybean nodules in Brazil. *Biology and Fertility of Soils* 33, 387–394.
- Jezierny, D., Mosenthin, R., Bauer, E., 2010. The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review. *Anim. Feed Sci. Technol* 157, 111–128.
- Johnston, J., Bowman, M., 2000. Comparison of soybean silage test results at New Liskeard in 1999 and 2000. *New Liskeard Agric. Res. Stn. Res. Summary Dec.*, 3.
- Keyser, H.H., Munns, D.N., 1979. Tolerance of rhizobia to acidity, aluminum, and phosphate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43, 519–523.
- Krueger, K., Goggi, A.S., Mallarino, A.P., Mullen, R.E., 2013. Phosphorus and Potassium Fertilization Effects on Soybean Seed Quality and Composition. *Crop Sci* 53, 602.
- Kumudini, S., Hume, D.J., Chu, G., 2002. Genetic Improvement in Short-Season Soybeans: II. Nitrogen Accumulation, Remobilization, and Partitioning. *Crop Sci* 42, 141–145.
- Lallès, J.P., Jansman, A.J.M., 1998. Recent progress in the understanding of the mode of action and effects of antinutritional factors from legume seeds in non-ruminant farm animals. In: *Recent Advances of Research in Antinutritional Factors in Legume Seeds and Rapeseed*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation (PUDOC), Wageningen, Seiten 219–232.
- Liener, I.E., 1994. Implications of antinutritional components in soybean foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 34, 31–67.
- Lu, P., Zhang, L.V., D Yin, J.D., Everts, A.K.R., Li, D.F., 2008. Effects of soybean oil and linseed oil on fatty acid compositions of muscle lipids and cooked pork flavour. *Meat Science* 80, 220–225.
- Madsen, A., Jakobsen, K., Mortensen, H.P., 1992. Influence of dietary fat on carcass fat quality in pigs. A review. *Acta Agriculturae Scandinavica A-Animal Sciences* 42, 220–225.
- McCartney, D., Fraser, J., 2010. The potential role of annual forage legumes in Canada: A review. *Canadian Journal of Plant Science* 90, 403–420.
- Meckel, L., Egli, D.B., Phillips, R.E., Radcliffe, D., Leggett, J.E., 1983. Effect of moisture stress on seed growth in soybeans. *Agron. J.* 76, 647–650.

- Medic, J., Atkinson, C., Hurburgh, C.R., 2014. Current Knowledge in Soybean Composition. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 91, 363–384.
- Mehansho, H., Butler, L.G., Carlson, D.M., 1987. Dietary tannin and salivary proline rich proteins: interactions, induction and defence mechanism. *Ann Rev Nutr* 7, 423–430.
- Müller, M., Wenk, C., Scheeder, M.R.L., 2008. Analyse von Schweinerückenspeck mittels Nahinfrarot-Spektroskopie. *Agrarforschung* 15, 297–299.
- Müller-Belami, M., Würfel, T., 2017. Versuchsberichte zur Pflanzenproduktion Landessortenversuche 2017, Sojabohnen (sehr früh (000) – früh (00) (Versuchsbericht). Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Karlsruhe.
- Naumann, C., Bassler, R., n.d. Ergänzungslieferung in VDLUFA-Methodenbuch, Vol. III. In: Die Chemische Untersuchung von Futtermitteln. 1988, Darmstadt.
- Neves, N.C.P., Rumjanek, N.G., 1997. Diversity and adaptability of soybean and cowpea rhizobia in tropical soils. *Soil Biology and Biochemistry* 29, 889–895.
- Nieto, G., Ros, G., 2012. Modification of fatty acid composition in meat through diet: effect on lipid peroxidation and relationship to nutritional quality—a review. In: Catala, A. (Ed.), *Lipid Peroxidation*. InTech, Rijeka.
- Paeßens, B., Butz, A., 2017. Auswirkungen von reduzierter Bodenbearbeitung und von unterschiedlichen Herbizidstrategien auf den Kornertrag und die Verunkrautung bei Sojabohnen. In: *Anforderungen an den Pflanzenbau in einer sich urbanisierenden Welt*. Liddy Halm, Witzenhausen.
- Paeßens, B., Butz, A.F., Salzeder, G., Urbatzka, P., 2017. N₂-Fixierleistung und Vorfruchtwert von Soja. In: *Tagungsband der Soja-Tagung in Rastatt am 6. und 7.12.2017*, Seiten 20–21.
- Pahm, S.C., Stein, H.H., 2007. AA digestibility of protein sources fed to weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 85, 105.
- Parsons, C.M., Hashimoto, K., Wedekind, K.J., Baker, D. h., 1991. Soybean KOH solubility in potassium hydroxide: An in vitro test of in vivo protein quality. *J. Anim. Sci.* 69, 2918–2924.
- Parsons, C.M., Zhang, Y., Araba, M., 2000. Nutritional evaluation of soybean meals varying in oligosaccharide content. *Poult Sci* 79, 1127–1131.
- Pedersen, P., Lauer, J.G., 2004. Soybean growth and development in various management systems and planting dates. *Crop Sci* 44, 508–515.
- Pena-Cabriaes, J.J., Alexander, M., 1979. Survival of Rhizobium in Soils Undergoing Drying 1. *Soil Science Society of America Journal* 43, 962–966.
- Peregrine, E.K., Sprau, G.L., Cremeens, C.R., Handly, P., Kilen, T.C., Smith, J.R., Thomas, D.A., Nelson, R.L., 2008. Evaluation of the USDA soybean germplasm collection: maturity group V (FC 30265-PI 612614) and maturity groups VI–VIII (PI 416758-PI606432B). In: *US Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1920*, Seiten 1–367.
- Price, M.L., Butler, L.G., 1977. Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of sorghum grain. *J Agric Food Chem* 25, 1268–1273.
- Quendt, U., Spory, K., Zerhusen-Blecher, P., 2017. Modellhaftes Demonstrationsnetzwerk zur Ausweitung und Verbesserung des Anbaus und der Verwertung von Erbsen und Bohnen in Deutschland. Synergien nutzen und ausbauen. In: *Tagungsband der Soja-Tagung in Rastatt am 6. und 7.12.2017*, Seiten 50–51.
- Rahman, S.M., Kinoshita, T., Anai, T., Takagi, Y., 2001. Combining ability in loci for high oleic and low linolenic acids in soybean. *Crop Sci* 41, 26–29.
- Realini, C.E., Duran-Montgé, O., Lizardo, R., Gispert, M., Oliver, M.A., Esteve-Garcia, E., 2010. Effect of source of dietary fat on pig performance, carcass characteristics and carcass fat content, distribution and fatty acid composition. *Meat Science* 85, 606–6012.
- Recknagel, J., 2017. Frühe Sorten für den Norden. *DLZ Agrarmagazin* 68–70.

- Recknagel, J., 2017. Sojaanbau in Deutschland – wo stehen wir heute? In: Tagungsband der Soja-Tagung in Rastatt am 6. und 7.12.2017, Seiten 5-6.
- Recknagel, J., 2018. Persönliche Mitteilung.
- Rodríguez-Navarro, D.N., Margaret Oliver, I., Albareda Contreras, M., Ruiz-Sainz, J.E., 2011. Soybean interactions with soil microbes, agronomical and molecular aspects. *Agronomy for Sustainable Development* 31, 173–190.
- Rotundo, J.L., Westgate, M.E., 2009. Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. *Field Crops Research* 110, 147–156.
- Sall, K., Sinclair, T.R., 1991. Soybean genotypic differences in sensitivity of symbiotic nitrogen fixation to soil dehydration. *Plant Soil* 133, 31–37.
- Salvagiotti, F., Cassman, K.G., Specht, J.E., Walters, D.T., Weiss, A., Dobermann, A., 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research* 108, 1–13.
- Santachiara, G., Borrás, L., Salvagiotti, F., Gerde, J.A., Rotundo, J.L., 2017. Relative importance of biological nitrogen fixation and mineral uptake in high yielding soybean cultivars. *Plant and Soil* 418, 191–203.
- Serraj, R., Sinclair, T.R., 1997. Variation among soybean cultivars in dinitrogen fixation response to drought. *Agron. J.* 89, 963–969.
- Sexton, P.J., Paek, N.C., Naeve, S.L., Shibles, R.M., 2002. Sulfur Metabolism and Protein Quality of Soybean. *Journal of Crop Production* 5, 285–308.
- Sheaffer, C.C., Orf, J.H., Devine, T.E., Grimsbo Jewett, J., 2001. Yield and quality of forage soybean. *Agron. J.* 93, 99–106.
- Shelar, V.R., 2008. Role of mechanical damage in deterioration of soybean seed quality during storage-a review. *Agric. Rev* 29, 177–184.
- Shiraiwa, T., Hashikawa, U., 1994. Accumulation and partitioning of nitrogen during seed filling in old and modern soybean cultivars in relation to seed production. *Jpn. J. Crop Sci.* 64, 754–759.
- Sosulski, F.W., 1979. Organoleptic and nutritional effects of phenolic compounds on oilseed protein products: a review. *J Am Oil Chem Soc* 56, 711–715.
- Spaeth, S.C., Sinclair, T.R., 1985. Linear Increase in Soybean Harvest Index during Seed-Filling 1. *Agron. J.* 77, 207–211.
- Spiekers, H., 2014. Silierung von Sojabohnen-Ganzpflanzensilage und die Notwendigkeit des Einsatzes von Siliermitteln (Versuchsbericht). Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Takagi, Y., Rahman, S., 1996. Inheritance of high oleic acid content in the seed oil of soybean mutant M23. *Theor Appl Genet* 92, 179–182.
- Tedia, M.D., 1982. Harvest procedure and damage: effect on seed quality. In: INTSOY Series. University of Illinois, College of Agriculture (USA).
- Thakur, M., Hurburgh, C.R., 2007. Quality of US soybean meal compared to the quality of soybean meal from other origins. *J Am Oil Chem Soc* 84, 835–843.
- Thilakarathna, M.S., Raizada, M.N., 2017. A meta-analysis of the effectiveness of diverse rhizobia inoculants on soybean traits under field conditions. *Soil Biology and Bio-chemistry* 105, 177–196.
- Torrion, J.A., Setiyono, T.D., Graef, G.L., Cassman, K.G., Irmak, S., Specht, J.E., 2014. Soybean Irrigation Management: Agronomic Impacts of Deferred, Deficit, and Full-Season Strategies. *Crop Sci* 54, 2782.
- Wächter, K., Gruber, S., Claupein, W., 2013. Unterscheidet sich das Inokulationsergebnis verschiedener Impfmittel bei Soja. *J für Kulturpfl* 65, 401–410.
- Westgate, M.E., Schussler, J.R., Reicosky, D.C., Brenner, M.L., 1989. Effect of water deficits on seed development in Soybean. II. Conservation of seed growth rate. *Plant Physiol* 91, 980–985.
- Wheeler, B., 2000. Soybeans for silage.

- Wilcox, J.R., Frankenberger, E.M., 1987. Indeterminate and determinate soybean responses to planting date. *Agron. J.* 79, 1074–1078.
- Wolf, L., Schätzl, R., 2017. Wettbewerbsfähigkeit der Sojabohne in der Praxis. In: Tagungsband der Soja-Tagung in Rastatt am 6. und 7.12.2017, Seiten 40-41.
- Woods, V.B., Fearon, A.M., 2005. Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their transfer into meat, milk and eggs: A review. *Livest. Sci.* 126, 1–20.
- Yamagata, M., Kouchi, H., Yoneyama, T., 1987. Partitioning and utilization of photosynthate produced at different growth-stages after anthesis in soybean (*Glycine max.* L Merr) – analysis by longterm C-13-labeling experiments. *Journal of Experimental Botany* 38, 1247–1259.
- Zeng, W., Kirk, W., Hao, J., 2012. Field management of *Sclerotinia* stem rot of soybean using biological control agents. *Biological Control* 60, 141–147.
- Zimmer, S., Messmer, M., Haase, T., Piepho, H.P., Mindermann, A., Schulz, H., Habekuß, A., Ordon, F., Wilbois, K.P., Heß, J., 2016. Effects of soybean variety and *Bradyrhizobium* strains on yield, protein content and biological nitrogen fixation under cool growing conditions in Germany. *European Journal of Agronomy* 72, 38–46.

