



Kulturpflanze des Jahres 2022: Die Erbse (*Pisum sativum* L.)

Ralf Uptmoor, Philipp Götze, Moritz Reckling, Hermann Laber



Gesellschaft für
Pflanzenbauwissenschaften e.V.

Kulturpflanze des Jahres 2022: Die Erbse (*Pisum sativum* L.)

Ralf Uptmoor¹, Philipp Götze², Moritz Reckling³, Hermann Laber⁴

¹Universität Rostock, Justus-von-Liebig-Weg 6, 18055 Rostock (ralf.uptmoor@uni-rostock.de), ²Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Julius-Kühn-Straße 24, 06112 Halle, ³Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V. (ZALF), Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg, ⁴Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), August-Böckstiegel-Straße 1, 01311 Dresden Pillnitz

Die Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. und die Autoren bedanken sich bei Andrea Laß (Uni Kiel), Uta Deiß, Mareike Kavka, Julian Kirchgesser (Uni Rostock) und Maria Bötzl (LfULG) fürs Webdesign und Korrekturlesen.

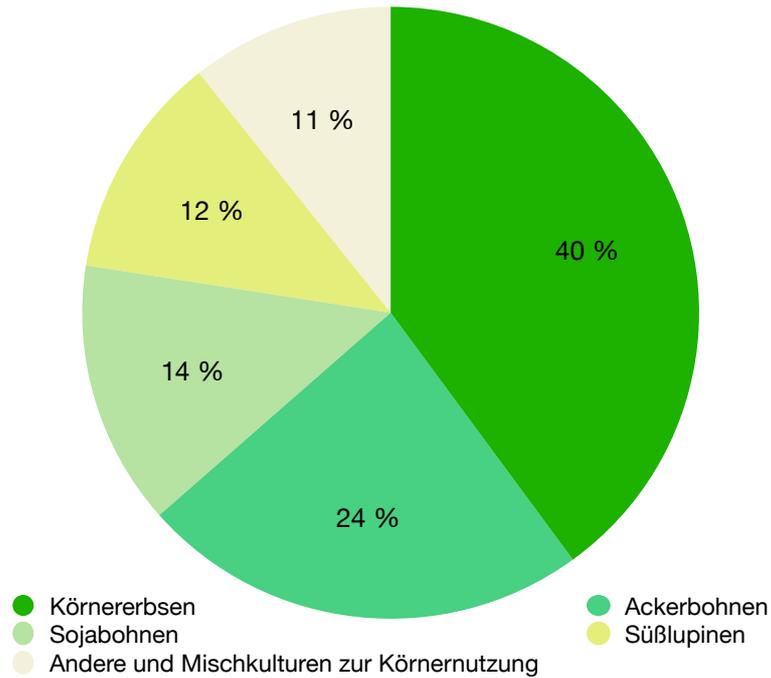
Kulturpflanze des Jahres 2022: Die Erbse (*Pisum sativum* L.)

Pease (...) the sweetest and most pleasant of all pulses.
(John Woolridge 1677)



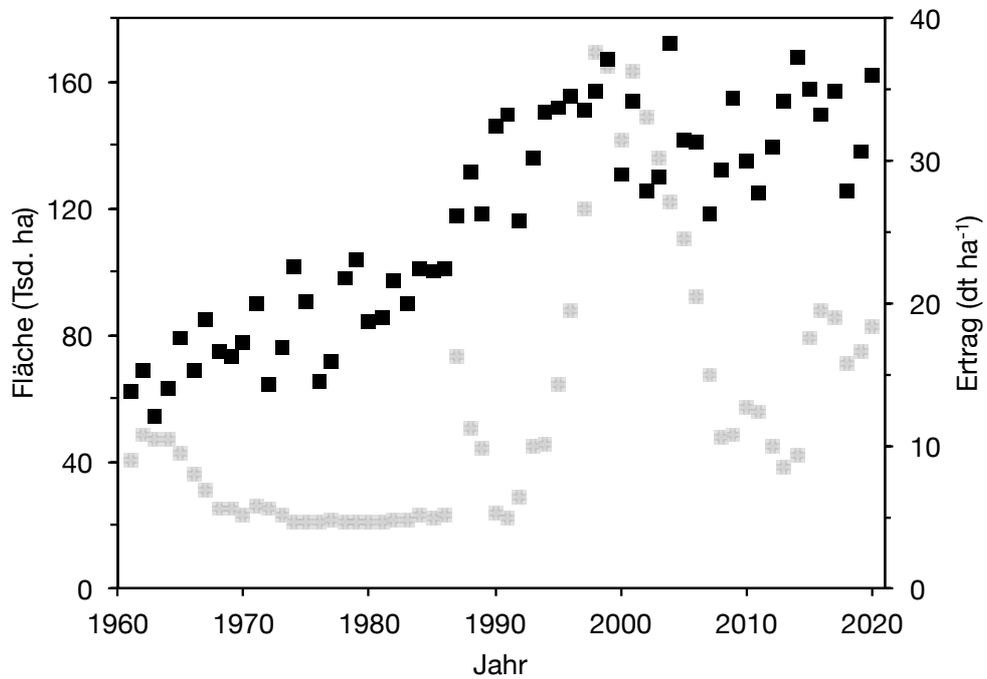
Ob als Futtermittel, proteinreiches Grundnahrungsmittel oder einfach nur schmackhaftes Gemüse, die Verwendungsmöglichkeiten der vor Jahrtausenden domestizierten Kulturpflanze sind vielfältig. Die hohen Gehalte an wertvollen Proteinen und Stärke machen sie — bezogen auf Fläche und Ertrag — zu einer der weltweit wichtigsten Hülsenfrüchte nach der Sojabohne. Insgesamt wurden 2020 14,6 Mio t Körnererbsen auf 7,2 Mio ha produziert (FAOSTAT 2022). Die größten Produzenten sind Kanada, Russland und China.

In Deutschland wurden 2021 auf ca. 97.700 ha Körnererbsen und 2020 auf 4.550 ha Gemüseerbsen angebaut (FAOSTAT 2022, DeStatis 2021). Ein Plus von 18 % bei der Körnererbse im Vergleich zum Vorjahr. Damit ist die Erbse zwar hierzulande vor der Ackerbohne die wichtigste Körnerleguminose, aber insgesamt werden diese nur auf gut 2 % der Ackerfläche kultiviert. Ein Grund dafür sind relativ stark schwankende und oft niedrige Erträge sowohl der Körnerfuttererbse als auch anderer Körnerleguminosen im Vergleich z. B. zu Wintergetreide (Reckling et al. 2018). In 2020 lagen die Durchschnittserträge für Futtererbsen bei 36 dt pro ha, der Schnitt der Erträge von 2014 bis 2019 lag bei nur 33 dt je ha (DeStatis 2021).



Anteil der 98 Tsd. ha Körnererbsen an der in 2021 in Deutschland mit Körnerleguminosen bestellten Fläche

Quelle: DeStatis



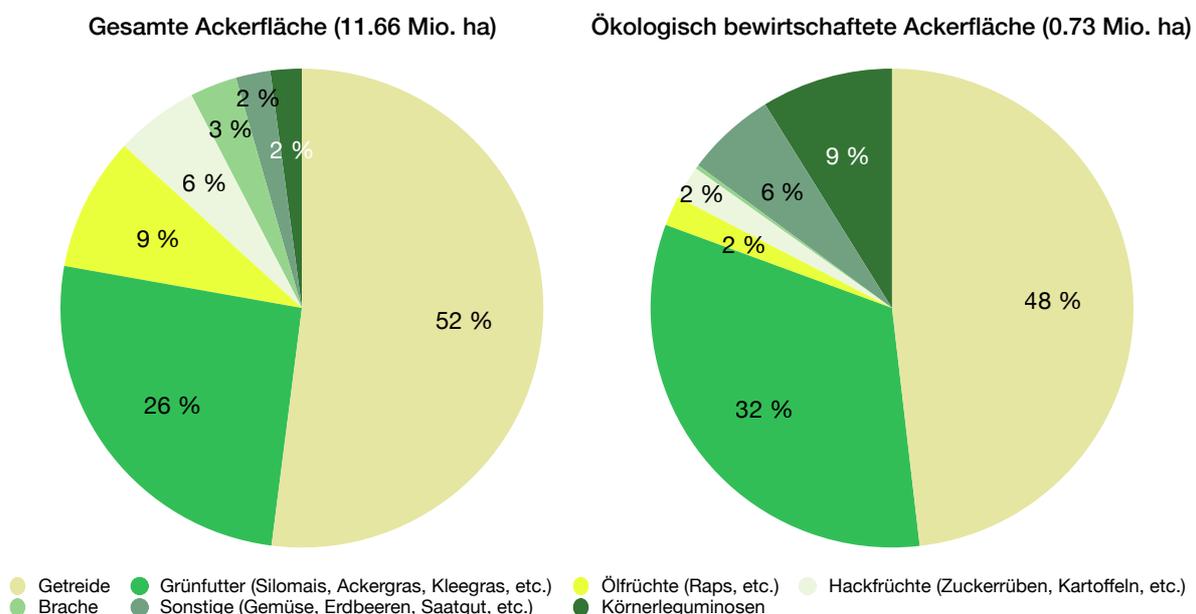
Entwicklung der Anbauflächen (grau) und Durchschnittserträge (schwarz) von Körnererbsen zwischen 1961 und 2020

Quelle: FAOSTAT

Aber nicht nur der Ertrag ist von Bedeutung: Überwiegend als Sommerkultur angebaut, kann die Erbse in getreide- bzw. winterkulturlastigen Fruchtfolgen Infektionsketten durchbrechen und einer einseitigen Verunkrautung entgegenwirken. Als Humusmehrer sorgt sie dafür, dass der Boden mit organischer Substanz angereicht wird, die wiederum die Infiltrationsrate und Fruchtbarkeit des Bodens verbessern kann. Eigenschaften, die vor dem Hintergrund des Klimawandels immer mehr an Bedeutung gewinnen. Der Produzent muss bei der Wahl der Kulturarten die gute Vorfruchtwirkung der Erbse also immer mitdenken. Auch als Winterkultur wird die Erbse aufgrund von Fortschritten in der Züchtung zunehmend interessant. Das höhere Ertragspotential und die bessere Ausnutzung der Winterfeuchte gehen jedoch meist mit einem höheren Krankheitsdruck einher.

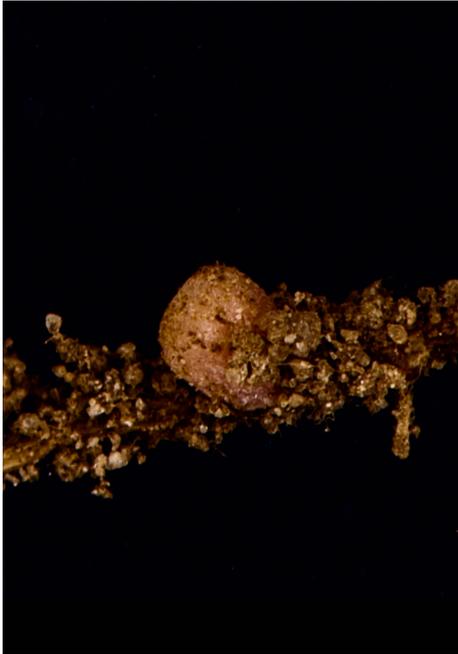
Bedeutung im Ökolandbau

Auch wenn der Anteil an der konventionell bewirtschafteten Ackerfläche gering ist, im Ökolandbau haben Leguminosen eine herausragende Stellung und sind aus keiner Fruchtfolge wegzudenken. Die aktuellen Ertragsleistungen bei Weizen, Gerste und Raps in der konventionellen Landwirtschaft wären ohne die energieaufwändige Synthese von Ammoniak aus atmosphärischem Stickstoff undenkbar. Der ökologische Landbau muss darauf verzichten und setzt auf die natürliche Fixierung von Luftstickstoff durch Bakterien, die in Wurzelknöllchen mit den Pflanzenarten der Familie der Hülsenfrüchtler (*Fabaceae*) in Symbiose leben. Bei der Erbse sind das Bakterien der Gattung *Rhizobium*. Die Knöllchen entstehen, nachdem die Bakterien in die Wurzeln der Pflanzen eingedrungen sind.



Aufteilung der Ackerfläche in Deutschland und Anteil der 245 Tsd. ha Körnerleguminosen an der gesamten Ackerfläche sowie der 65 Tsd. ha an der ökologisch bewirtschafteten Fläche in 2021

Quelle: DeStatis



Wurzel mit Rhizobien



Knöllchen aufgeschnitten

Die Bakterien produzieren jetzt Nitrogenase, das Enzym, mithilfe dessen aus einem Molekül Luftstickstoff (N_2) sowie jeweils acht Wasserstoff-Ionen und freien Elektronen zwei Moleküle Ammoniak (NH_3) und H_2 werden. Dabei wird Energie in Form von ATP benötigt. Ammoniak wird schnell zu Ammonium (NH_4) umgebaut, welches der Ernährung der Pflanze dient. Der so aufgenommene Stickstoff kann jetzt in Aminosäuren — die Bausteine der Proteine — eingebaut werden. Im Ausgleich werden die Bakterien von der Pflanze mit Zucker versorgt. Nitrogenase reagiert empfindlich auf Sauerstoff. Um eine niedrige Sauerstoffkonzentration in den Knöllchen zu gewährleisten, produzieren die Leguminosen gemeinsam mit den Knöllchenbakterien Leghämoglobin, welches Sauerstoff deutlich effizienter bindet als zum Beispiel das Hämoglobin unseres Blutes.

Die Stickstofffixierungsleistung der Erbse

Aufgrund der symbiontischen Fixierung können bis zu 80 % des im Kornertrag von Erbsen enthaltenen Stickstoffs atmosphärischen Ursprungs sein (Matus et al. 1997). Bei einem Ertrag von 30 dt je ha und einem Proteingehalt von 25 % sind das ca. 95 kg je ha. Die restlichen 25 kg sind Stickstoff, der von den Pflanzen aus dem Boden aufgenommen wurde. Die Erntereste enthalten natürlich auch Stickstoff. Diese verbleiben in der Regel auf dem Feld und dienen der Stickstoffernährung der Folgekultur.

Der Literatur zufolge kann die jährliche Stickstofffixierungsleistung von Erbsen bis zu 300 kg pro ha betragen. Dies ist allerdings nur unter optimalen Bedingungen der Fall, Durchschnittswerte liegen meist bei nur 100 kg und auch der Anteil des atmosphärischen Stickstoffs am Gesamtstickstoff im Ertragsorgan liegt im Schnitt eher bei 65 %, so dass in den meisten Fällen von einer mehr oder minder ausgeglichenen

Stickstoffbilanz ausgegangen werden kann (Gollner et al. 2019). Das heißt, die Knöllchenbakterien fixieren etwa so viel Stickstoff, wie mit dem Ertrag vom Feld abgefahren wird. In der konventionellen Landwirtschaft folgt daraus, dass die Erbse keine Stickstoffdüngung benötigt. Diese würde sich sogar kontraproduktiv auf die Rhizobiumsymbiose auswirken.

Im ökologischen Anbau kann die Körnererbse zwar nicht zur maßgeblichen Anreicherung des Bodens mit Stickstoff führen, das müssen kleinkörnige Leguminosen wie Klee oder Luzerne übernehmen. Allerdings sind Erbsen oder andere Körnerleguminosen wie Ackerbohne, Soja und Lupine unentbehrlich in der Fruchtfolgegestaltung. Da alle Leguminosen lange Anbaupausen benötigen und die Stickstoffverfügbarkeit ein limitierender Faktor im ökologischen Landbau ist, werden meistens sowohl kleinkörnige als auch Körnerleguminosen wie die Erbse in die Fruchtfolgen integriert.

Körnererbsen im Mischkulturanbau

In der konventionellen Landwirtschaft erfolgt der Erbsenanbau fast ausschließlich in Reinkultur. Daran wird sich vermutlich nicht so schnell etwas ändern, da Herbizidmaßnahmen in Mischkulturen, die Leguminosen enthalten, besonders schwierig sind.

Anders ist das im ökologischen Landbau, denn hier wird die Erbse zunehmend in Mischkultur angebaut. Als Partner kommen dabei je nach Reifezeitpunkt der verwendeten Erbsensorte Hafer oder Sommergerste infrage, auch Mischkulturen mit Roggen oder Triticale sind möglich. Bei diesen Mischkulturen dient das Getreide als Stützfrucht für die Erbse, während diese für die Fixierung von Luftstickstoff sorgt. In Kombination ergibt sich eine gute Unkrautunterdrückung und die Produktivität des Systems kann deutlich erhöht sein (Chapagain und Riseman 2014).

Geerntet werden können die reifen Körner beider Partner gleichzeitig, um dann über eine Siebreinigung wieder voneinander getrennt zu werden. Mit Hafer und Gerste werden meist halbblattlose Sorten kombiniert, mit Roggen und Triticale normalblättrige, die dann als Ganzpflanzen geerntet und siliert werden. Halbblattlose Sorten sind solche, bei denen die Fiederblätter zu Ranken umgeformt sind, um die Standfestigkeit zu erhöhen.

Weiter mit:

- Vom Tigris nach Versailles: Die Erbse ist eine Kulturpflanze mit Tradition.....6
- Die Nutzung war, ist und bleibt vielfältig.....10
- Mendel und der Beginn der modernen Genetik: Die Erbse als Modellpflanze.....14
- Normalblättrige, halbblattlose und blattlose Erbsen.....18
- Aktuelle Ziele in der Züchtung.....21
- Anbau der Körnererbse.....23
- Besonderheiten im Anbau von Gemüseerbsen.....30
- Literatur.....37

Vom Tigris nach Versailles: Die Erbse ist eine Kulturpflanze mit Tradition

„... die Ungeduld, sie zu essen,
das Vergnügen, sie gegessen zu haben,
und die Freude, sie wieder zu essen ...“

(Madame de Maitenon 1696)



Während man früher davon ausging, dass die Erbse (*Pisum sativum* L.) in Äthiopien domestiziert wurde, gilt heute als gesichert, dass die bei uns angebauten Erbsen ursprünglich wie die Getreidearten Weizen und Gerste oder die Hülsenfrüchte Linsen und Kichererbsen aus dem Gebiet des fruchtbaren Halbmonds stammen (Wade 1937, Smýkal et al. 2018). Der fruchtbare Halbmond bezeichnet das typisch mediterrane Winterregengebiet nördlich der arabischen Halbinsel und der syrischen Wüste mit den Flüssen Euphrat und Tigris. Heute werden innerhalb der Gattung *Pisum* zumeist drei Arten unterschieden: *P. sativum*, *P. fulvum* und *P. abyssinicum*, wobei die beiden letztgenannten nur schwer mit *P. sativum* kreuzbar sind. Die wilden Verwandten unserer Kulturform werden unter der Subspecies *P. sativum elatius* zusammengefasst (Smýkal et al. 2011) oder als Art *P. elatius* geführt. Gelegentlich werden die Wildformen in die Unterarten *P. s. elatius* und *P. s. humile* unterteilt (Kreplak et al. 2019). Die nächsten wild wachsenden Verwandten unserer Kulturform wurden in Georgien, Armenien und im Südosten der Türkei gefunden. Hierbei könnte es sich allerdings um frühzeitig verwilderte Formen einer bereits domestizierten Variante handeln (Trněný et al. 2018).

Die Kulturform Äthiopiens und des Jemens, *P. abyssinicum*, wurde unabhängig davon domestiziert (Vershinin et al. 2003). Molekulare Analysen ließen zunächst vermuten, dass sie aus einer Kreuzung der beiden anderen Arten entstanden ist. Da *P. elatius* und *P.*

fulvum gemeinsam im westlichen Teil des fruchtbaren Halbmondes vorkommen, galt als wahrscheinlich, dass dort eine Hybridisierung stattgefunden hat und diese nach Afrika gelangt ist, um sich dort zur heutigen Kulturform *P. abyssinicum* zu entwickeln (Jing et al. 2010). Die geringe genetische Diversität innerhalb *P. abyssinicum* unterstreicht diese Hypothese (Vershinin et al. 2003, Jing et al. 2010). Neuere Untersuchungen gehen zwar immer noch davon aus, dass *P. abyssinicum* nicht aus dem Bereich des heutigen Anbau-gebiets stammt, deuten allerdings darauf hin, dass – wie bei unserer Kulturform *P. sativum* – *P. elatius* alleiniger Vorfahr ist (Kreplak et al. 2019).

Die Domestikation der Erbse fand wahrscheinlich parallel zu oder etwas nach der Domestikation der Vorläufer unseres heutigen Weich- und Hartweizens sowie der Gerste statt. Bei archäologischen Funden von Erbsensamen kann jedoch weniger eindeutig zwischen gesammelten Wildformen und bereits domestizierten Kulturformen unterschieden werden, als es bei den Getreiden der Fall ist. Das Fehlen der Spindelbrüchigkeit gilt hier als eindeutiges Merkmal der Domestikation: Bei Wildformen der Getreidearten fallen die reifen Samen auf den Boden, bei Kulturformen bleiben diese zunächst stabil in der Ähre haften, was die Ernte vereinfacht bzw. das mühselige Aufsammeln reifer Samen vom Boden vermeiden hilft. Fehlende Dormanz und eine glatte Oberfläche der Samenschale gelten als Schlüsselmerkmale der Domestikation der Erbse (Smýkal et al. 2018, Zohary und Hopf 1973). Dormanz verhindert, dass Samen selbst unter günstigen Bedingungen keimen. In Winterregengebieten wie dem Mittelmeerraum sorgt Dormanz dafür, dass Pflanzen z. B. nicht nach einzelnen Niederschlagsereignissen im sonst trockenen Sommer auflaufen. Was in der Natur Sinn macht, ist für Ackerbauern ein eher hinderlicher Mechanismus: Da Saatgut in der Regel bis zur Aussaat trocken gelagert wird, kann es ohnehin nicht keimen, während es zu dem vom Bauern bestimmten Aussaatzeitpunkt keimen soll, ohne dass die vorhandene Dormanz zunächst gebrochen werden muss. Bei Hülsenfrüchten gelten darüber hinaus geschlossene, reife Hülsen, die analog zur Spindelfestigkeit beim Getreide das Ausfallen der reifen Körner verhindern, als eindeutiges Merkmal domestizierter Formen. Von diesen drei Eigenschaften, kann nur die glatte Samenschale und das auch nur bei sehr gut erhaltenen archäologischen Funden nachgewiesen werden (Caracuta et al. 2017, Zohary und Hopf 1973).

Dem Übersichtsartikel von Zohary und Hopf (1973) zufolge, sind die ältesten Funde von Erbsen mit glatter Samenschale 9.000 Jahre alt und stammen aus Anatolien, ca. 40 km nordwestlich von Diyarbakir. Die Funde wurden am Ufer eines Nebenflusses des Tigris gemacht. Ähnlich alte Funde aus Jericho sind dem prä-keramischen Neolithikum zuzuordnen, also der Zeit, in der die Menschen dort bereits sesshaft waren und Ackerbau betrieben, aber noch keine keramischen Gefäße herstellten. Noch ältere Funde wurden in Israel gemacht: Mittels Radiokarbondatierung konnte ein Alter von 10.240 bis 10.200 Jahren bestimmt werden (Caracuta et al. 2017). Während es für Fababohnen derselben Fundstelle eindeutige Hinweise auf eine bereits domestizierte Form gibt, fehlen diese für die Erbse. Eine Fundstelle im Norden Syriens hat bis zu 12.000 Jahre alte Reste sowohl von den Getreidearten Einkorn und Roggen als auch der Hülsenfrüchte Erbse und Linse hervorgebracht. Da es sich bei den Getreiden eindeutig um Wildformen

handelt, wird dieses auch für die Hülsenfrüchte angenommen (Wilcox et al. 2008). Weil die Fundstellen außerhalb des natürlichen Verbreitungsgebiets des wilden Roggens liegen, wird davon ausgegangen, dass eine erste Kultivierung der Arten bereits vor der Domestizierung, bzw. vor der Selektion auf die genannten Domestikationsmerkmale erfolgte. Wo genau die Domestikation stattfand und ob eine Variante der Wilderbse, die in der offenen Steppe im Nordosten Israels, in Syrien und der südlichen Türkei heimisch ist und der Kulturform in ihrem Habitus ähnelt, auch ihr Vorfahr ist, konnten bislang weder archäologische Funde noch molekulargenetische Untersuchungen eindeutig nachweisen (Smýkal et al. 2011, Zohary und Hopf 1973).

Vom Nahen Osten ausgehend fand die weitere Verbreitung nach Europa über Griechenland statt, die ältesten Funde von dort sind ca. 7.500 Jahre alt. Im heutigen Bulgarien datieren älteste Funde auf 6.350 Jahre vor unserer Zeit. Ähnlich alte Funde wurden im Rheingraben gemacht und stammen aus der Bandkeramikzeit im frühen Neolithikum Mitteleuropas bzw. der mitteleuropäischen Jungsteinzeit. Entlang der Donau und in den Alpen fehlen Funde aus der Zeit, so dass der Anbau der Erbse hier evtl. erst im späten Neolithikum oder in der frühen Bronzezeit begonnen hat. Insgesamt gibt es in Europa weniger Funde aus der Bronzezeit, sie nehmen erst mit Beginn der Eisenzeit wieder zu (Zohary und Hopf 1973).

In jedem Fall wurden die Funde der Erbse und anderer Hülsenfrüchte parallel zu Getreidefunden gemacht. Hülsenfrüchte haben nicht nur einen deutlich höheren Proteingehalt als Weizen oder Gerste, sie sind bei fleischarmer Ernährung eine hervorragende Ergänzung zum Getreide, da insbesondere die essentielle Aminosäure Lysin in allen Getreidearten nur in relativ geringen Mengen vorkommt, während Hülsenfrüchte besonders viel davon enthalten. Der Bedarf an Lysin ist bei Kindern besonders hoch und wird zu einem großen Teil über die Aufnahme tierischer Produkte wie Milch, Eier, Fleisch oder Fisch abgedeckt. Bei einer veganen oder an tierischen Produkten armen Ernährung reichen die in den meisten Getreiden, Gemüsen und Nüssen vorkommenden Mengen nicht aus. Die Kombination dieser Produkte mit Hülsenfrüchten wie der Erbse führt aber wieder zu einer hochwertigen Aminosäurezusammensetzung (Berrazaga et al. 2020). Das mal häufigere und dann wieder abnehmende Auftreten von Erbsen und anderen Hülsenfrüchten in archäologischen Fundstätten könnte somit ein Hinweis auf die Verfügbarkeit tierischer Produkte sein.

Die Rolle der Erbse im alten Ägypten und Rom gilt als wenig gesichert, da Begrifflichkeiten historischer Schriften nicht immer eindeutig einzelnen Hülsenfrüchten zuzuordnen sind. Es kann angenommen werden, dass allein aufgrund der klimatischen Verhältnisse anderen Hülsenfrüchten wie der Kichererbse eine größere Bedeutung zukam (Hedrick et al. 1928), denn die Erbse gedeiht am besten im kühl gemäßigten Klima. Die Ausbreitung nach Osten, insbesondere China fand vermutlich erst relativ spät statt. Die Sojabohne wurde vor 9.000 Jahren im nördlichen Zentralchina domestiziert und war deshalb schon sehr früh die dort verbreitetste Hülsenfrucht.

Von Großbritannien bis nach Osteuropa war die Erbse über das gesamte Mittelalter und darüber hinaus ein bedeutendes Grundnahrungsmittel. Neben ihrer ernährungsphysiologischen Bedeutung ist die Erbse wie andere Leguminosen und Getreide lange haltbar und kann über weite Strecken transportiert werden. Die Möglichkeit der Stickstoffbindung über die Rhizobien-Symbiose macht Hülsenfrüchte prädestiniert zur Kultivierung marginaler Böden, die nur geringe Mengen an verfügbarem Stickstoff aufweisen und somit auch nur zu minimalen Getreideerträgen führen können. Die Erbse wird in allen wichtigen botanischen und gärtnerischen Büchern des Mittelalters und der frühen Neuzeit beschrieben und ist wohl auch Lieferant für Kohlenhydrate und Proteine bei den Armeen und Seefahrern gewesen (Hedrick et al. 1928).

Bis in die frühe Neuzeit wurden Erbsen wahrscheinlich überwiegend im reifen Zustand konsumiert. In England und Schottland hat neben dem klassischen Porridge aus Hafermehl das *pease porridge* eine lange Tradition. Sicher ist, dass mit dem ausgehenden Mittelalter und der beginnenden Neuzeit auch die Zubereitung unreifer Samen und Hülsen weitere Verbreitung findet. John Woolridge beschreibt einige Erbsensorten in seinem 1677 erstmals erschienenen Werk *Systema horticultrae, or the Art of Gardening* als die süßesten und wohltuendsten aller Hülsenfrüchte. Weiter schreibt er, die Erbse werde schon lange in England angebaut, die süßen und delikatsten Sorten seien aber erst spät eingeführt worden und die Zuckererbse, die süßeste von allen, werde mitsamt Hülse und den unreifen Samen darin gekocht.

Auch im Küchengarten von Versailles am Hof Louis XIV. wurden grüne Erbsen, die aus Italien oder Holland eingeführt worden waren, kultiviert und konsumiert. „Das Erbsenkapitel dauert an: die Ungeduld, sie zu essen, das Vergnügen, sie gegessen zu haben, und die Freude, sie wieder zu essen – das sind die drei Themen, über die unsere Prinzen seit vier Tagen reden,“ schrieb Madame de Maitenon, die letzte Mätresse von Louis XIV., 1696 aus Versailles. Angebaut werden Erbsen noch heute in den dortigen Gärten (Wolfparisblog 2016).

Zuckererbse, Erbsensuppe, Futtermittel und veganer Burger: Die Nutzung war, ist und bleibt vielfältig

The sugar pease (...), the sweetest of all.
(John Woolridge 1677)



In der älteren englischsprachigen Literatur wird vor allem zwischen Garten- und Felderbse unterschieden, die teilweise auch in die zwei Unterarten *P. s. hortense* und *P. s. arvense* eingeteilt werden (Wade et al. 1937, Hedrick et al. 1928), wengleich die Variation innerhalb der Gartenerbse damals schon deutlich breiter gewesen sein dürfte. Woolridge (1677) zählt *Rouncivals* mit unterschiedlicher Samenfarbe, mehrere Sorten der Zuckererbse und *Hotspurs* auf. *Hotspurs* sind besonders schnellwüchsige Sorten, die, so der Autor, gesät im Mai, nach nur sechs Wochen geerntet werden können. Thomas Jefferson, einer der Verfasser der US-amerikanischen Unabhängigkeitserklärung und späterer Präsident der Vereinigten Staaten, baute *Hotspurs* in seinem Garten in Virginia an. Am 26. Februar 1778 schreibt er in sein Gartenbuch „sowed a patch of *Hotspur peas*“, am 14. März, „sowed *Charlton and Early pearl peas ... peas of Feb. 26 just appearing*“. Auch während seiner Zeit als Botschafter in Paris soll er laut Jeff Ishee, Gartenkolumnist des *The News Leader* aus Staunton, Virginia, ‘*Charlton Hotspurs*’ im Garten seiner Villa an der Champs-Élysées angebaut haben. Sicher ist, dass er zurück in den Vereinigten Staaten und nachdem er 1793 als amerikanischer Außenminister abgetreten war, an seinem Wohnsitz in Virginia 1794 unter „*Objects for the garden this year*“ zuallererst „*Peas. Charlton, Marrow-fats, green for soup*“ einträgt.

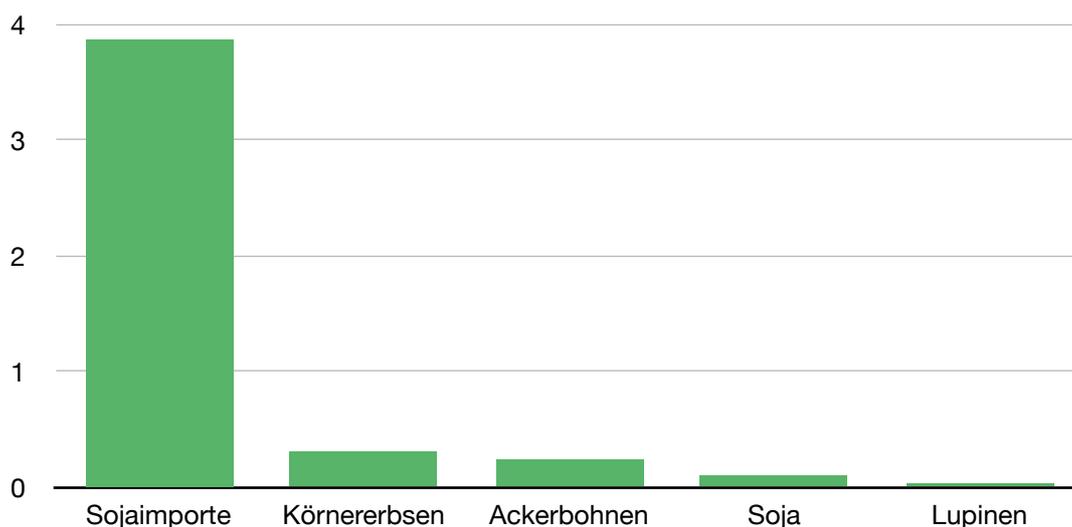
Benjamin Townsend, ein ehemaliger Gärtner des Lord Middleton beschreibt in seinem 1725 erstmals erschienenen Buch *The Complete Seedsman* geflügelte Erbsen mit scharlachroten Blüten, die er aber aufgrund ihres schlechten Geschmacks eher zu den Blumen pflanzen würde, spanische *Morettos* und weiße *Rouncivals*, die aufgrund ihres starken Wachses auf jeden Fall gestängelt werden müssen, dann aber über Monate hinweg beerntet werden können, Kronenerbsen, die ihre Hülsen in Büscheln und nur am oberen Ende der Pflanze angeordnet haben und *Hotspurs*, die in einer deutschsprachigen Übersetzung als „kurze hitzige oder verliebte Erbsen“ beschrieben werden. Townsend gibt Empfehlungen für Herbst- oder Frühljahrsausaaten und zu Ernte und Verwendung: reif für den Winter, grün für den Sommer oder auch Sorten, die wie Bohnen mitsamt der Hülse verzehrt werden können. Auch die schwarzäugige Form, die *black eyed Marrowfats*, beschreibt er erstmals (Townsend 1725).

Die ersten gezielten Züchtungen wurden in England im frühen 19. Jahrhundert von dem bereits oben erwähnten Thomas Andrew Knight erstellt. Aus den Sorten 'Knight's Tall Green Marrow' und 'Knight's Dwarf Green Marrow' sind im Laufe des 19. Jahrhunderts viele weitere Sorten entstanden. Ziel der Züchter war es, die Erträge zu steigern, aber auch hochwachsende Sorten, die Rankhilfen benötigen und kleine, runde Samen hatten, durch solche mit niedrigem Wuchs und großen runzligen Samen zu ersetzen (Hedrick et al. 1928). Obwohl es bereits vorher Landsorten mit niedrigem Wuchs und *Marrowfats* mit großen, runzligen Samen gab, waren die meisten Sorten wohl hochwachsend mit runden Samen. Tracy (1903) listet für das U.S. Department of Agriculture ca. 500 Sorten, darunter normalwüchsige, Halbzwerge und Zwerge mit sehr niedrigem Wuchs, *Marrowfats* mit runzligen Samen, Sorten für die Konservenindustrie mit runden Samen und Zuckererbsen. Mit Beginn des 20. Jahrhunderts gewann die Resistenzzüchtung, insbesondere die Züchtung von Sorten mit einer Resistenz gegen die Fusarienwelke an Bedeutung. Gleichzeitig spielte eine gleichmäßige Abreife der Hülsen eine zunehmende Rolle: zunächst vor allem für die Produktion von Dosenerbsen, später auch für Tiefkühlprodukte (Wade 1937), obwohl es noch eine Weile dauern sollte, bis Gefriertruhen auch in Privathaushalten Verbreitung fanden.

Bei der Garten- oder Gemüseerbse werden aktuell die drei Varianten Palerbsen, Markerbsen und Zuckererbsen unterschieden. Palerbsen haben im reifen Zustand mehr oder minder runde Samen. Sie eignen sich sowohl für den Verzehr im unreifen als auch im reifen Zustand. Letztere werden Trockenspeiseerbsen genannt und haben im Anbau in Deutschland und Europa kaum Bedeutung. Genutzt werden können sie für Eintöpfe und als Erbsenpüree. Trockenspeiseerbsen haben in der Regel ein hohes Tausendkorngewicht und es kommen sowohl gelbe als auch grüne Samen vor. Sehr kleinkörnige Sorten mit grünen Samen werden unreif geerntet und als Dosenerbsen vermarktet. Markerbsen sind in Deutschland der Standard für die Gemüseerbseproduktion und dürften neben Zuckererbsen auch in Hausgärten den Großteil aller Sorten ausmachen, obwohl zugleich Saatgut von Palerbsen angeboten wird. Markerbsen entsprechen den *Marrowfats* und auch bei den *Rouncivals* handelt es sich wahrscheinlich ebenfalls um großkörnige Markerbsen. Der Zuckergehalt von Markerbsen ist mit maximal 7 bis 9 %

höher als der von Palerbsen (4 bis 5 %), woraus der deutlich süßere Geschmack resultiert. Der höhere Zuckergehalt der Markerbse geht zunächst mit einem höheren Wassergehalt einher. Das führt nach dem Wasserentzug zum typisch runzligen Erscheinungsbild reifer Samen (*wrinkled seeded peas*). Daneben ist die Stärkezusammensetzung anders: Markerbsen enthalten 65 bis 90 % Amylose, Palerbsen nur ca. 36 %, der Rest ist Amylopektin.

Die Bezeichnung Felderbse beschreibt traditionell Nutzungen, die heute unter dem Begriff Körnerfüttererbse oder einfach Körnererbse zusammengefasst werden. Ihre Hülsen galten als ungenießbar, die Samen als für die menschliche Ernährung geeignet, wurden aber in der Regel als Viehfutter genutzt (Hedrick et al. 1928). Während die sehr alten Landsorten kleinwüchsiger als die Gartenerbse waren, überwiegend violette oder rosa Blüten und eine breite Palette an unterschiedlichen Samenfarben hatten (Hale 1761), sind die in Deutschland angebauten Sorten heute alle weißblühend und haben meist gelbe Samen. Futtererbsen eignen sich nicht nur für die Ernte der proteinreichen reifen Samen, sie können im unreifen Zustand als Ganzpflanze zur Fütterung geerntet oder als stickstoffbindende Gründüngungspflanze angebaut werden, wobei die Nutzung des reifen Kornes mit einem Eiweißanteil von 20 bis 25 %, einem Rohfettgehalt von 13 % und einem Stärkegehalt von 40 bis 50 % deutlich überwiegt. Der hohe Stärkegehalt ist eine Besonderheit der Erbse innerhalb der Hülsenfrüchte. Im Vergleich dazu enthält die Sojabohne bis zu 40 % Rohprotein, bis zu 20 % Rohfett und nur ca. 12 % Kohlenhydrate. Körnererbsen sind zwar in Deutschland die wichtigste zur Proteinergänzung für Futterzwecke angebaute Körnerleguminose, aber im Vergleich zum Import von Soja bzw. Sojaextraktionsschrot, dem Nebenprodukt aus der Gewinnung von Sojaöl, ist die Produktionsmenge eher gering.



Nettoimport von Soja für Futterzwecke (2018/19, Sojabohnenäquivalente) und Produktionsmengen von Körnerleguminosen in Deutschland (2020) in Mio. t

Quellen: Deutscher Bundestag, FAOSTAT



Obwohl sie prinzipiell für die Humanernährung geeignet ist, wird die Körnererbse in Deutschland zumeist in der Tierfütterung verwendet, da Gerichte, die mit reifen Erbsensamen zubereitet werden, bei uns keine größere Bedeutung haben. Der Trend zu vegetarischer und veganer Ernährung könnte das ändern. Bisher waren vor allem Soja- und Weizenproteine in Form von Tofu oder Seitan als Fleischersatz auf dem Markt, zunehmend wird Erbsenprotein eingesetzt. Die Burger-Patties von Beyond Meat sind das vermutlich bekannteste Beispiel, aber auch andere Hersteller ziehen nach: So enthält der *fish-free tuna* von Good Catch eine Mischung aus sechs pflanzlichen Proteinquellen, von denen die Erbse den Hauptanteil ausmacht. Iglo vermarktet unter der Produktlinie Green Cuisine vegane *pulled „pork“ strips*, Hackbällchen, Burger und veganes Hackfleisch mit einem Anteil an Erbsenprotein, der bei allen Produkten mindestens 60 % beträgt. Laut Bloomberg schätzt Henk Hoogenkamp, Proteintechnologieexperte und Beirat mehrerer Lebensmittelunternehmen, dass sich der Bedarf an Erbsenprotein bis 2025 vervierfachen wird. Die Körnerfuttererbse wird zur Proteinerbse für die Lebensmittelindustrie. Da gleichzeitig immer mehr Hersteller tierischer Nahrungsmittel dem Trend folgen, ihre Produkte als „gentechnikfrei“ zu kennzeichnen und dadurch von aus Übersee importiertem Soja auf Leguminosen und Rapsextraktionsschrot europäischer Produktion umgeschwenkt werden muss, ist zu erwarten, dass sich die Körnererbsenanbaufläche zukünftig auch unabhängig von Greening-Maßnahmen und anderen politischen Vorgaben erhöhen wird.

Mendel und der Beginn der modernen Genetik: Die Erbse als Modellpflanze

*Versuche (...) führten zu dem Resultate,
dass das Genus Pisum
den gestellten Anforderungen hinreichend
entspreche.*
(Gregor Mendel 1865)

*(...) some writers have been led to overlook
the wonderfully consistent way
in which Mendel's results agree with his
theory (...)*
(Raphael Weldon 1902)



Die Erbse ist ein Selbstbefruchter mit $2n=14$ Chromosomen. Obwohl bei den Wildformen und bei der Kulturerbse Bestäubung über Insekten möglich ist, herrscht bei den im Anbau befindlichen Sorten Kleistogamie vor. Das heißt, die Selbstbestäubung findet in der geschlossenen Blüte statt. Mendel entschied sich aufgrund der Kleistogamie für die Erbse als Modellpflanze, da Selbstungen, also Inzucht durch Selbstbestäubungen, leicht und sicher vonstatten gehen. Die künstliche Befruchtung, bei der er die Knospe zum Entfernen der noch unreifen Staubfäden mit der Pinzette öffnete, um die Narbe später mit fremdem Pollen zu bestäuben, beschreibt er zwar als umständlich aber zumeist gelingend (Mendel 1866). Wenngleich die Erbse seit mehr als 150 Jahren eine Modellpflanze für Genetiker ist, an der Mendel die nach ihm benannten Vererbungsregeln entdeckt und untersucht hat, wurden in den vergangenen Jahren bevorzugt andere Leguminosen untersucht. Ein Grund hierfür ist das mit ca. 4,45 Gb ausgesprochen große Genom der Erbse (Kreplak et al. 2019).

Mendel untersuchte eine Reihe von Merkmalen, von denen Form und Farbe der Samen die wohl bekanntesten sind (Mendel 1866, Miko 2008). Zunächst arbeitete er mit reinerbigen Pflanzen, die er über mehrere Generationen geselbstet hatte. Danach kreuzte er Elternlinien mit verschiedenen Eigenschaften untereinander. Obwohl bereits vorher gegenteiliges beobachtet wurde (Gärtner 1849), ging man weitestgehend davon aus, dass Nachkommen immer einer Mischung aus ihren Eltern entsprechen, was einem intermediären Erbgang gleichkommt. Die Nachkommen von Elternlinien mit runden und eckigen Samen konnten diese Annahmen aber nicht stützen, denn alle waren rund. Der dominante Erbgang war entdeckt. Da alle Nachkommen in der ersten Filialgeneration (F1) gleich aussahen, formulierte Mendel daraus die Uniformitätsregel, das 1. Mendelsche Gesetz.

Als Mendel in einem weiteren Schritt die F1-Pflanzen, die genetisch alle identisch waren, mit sich selbst kreuzte, traten sowohl runde als auch eckige Samen im Verhältnis 3:1 auf. Mendel stellte fest, dass Eigenschaften, die in der F1 nicht mehr auftauchten, weiterhin rezessiv vorhanden waren und an spätere Generationen vererbt werden konnten. Er nutzte dabei die Denomination AA für den Elter mit runden Samen und aa für den Elter mit eckigen Samen. In der F1 kamen nur Aa Genotypen mit runden Samen vor, da „rund“ die hier dominante Eigenschaft ist. In der F2 glich ein Viertel der Genotypen wieder dem dominanten Elter AA , ein weiteres Viertel dem rezessiven Elter aa , die Hälfte blieb genotypisch identisch mit der F1-Generation (Aa). Da letztere phänotypisch nicht vom reinerbigen Genotyp AA unterschieden werden konnten, kam das Spaltungsverhältnis 3:1 zustande. Heute wissen wir, dass A und a den zwei Allelen eines Gens entspricht. Mendel formulierte aus seinen Ergebnissen die Aufspaltungsregel, die wir als 2. Mendelsches Gesetz kennen.

Was aber passiert, wenn man Eltern miteinander kreuzt, die sich in zwei Eigenschaften voneinander unterscheiden? Um das herauszufinden kreuzte Mendel Pflanzen mit eckig-gelben Samen ($aaBB$) mit solchen mit rund-grünen Samen ($AAbb$). In der F1-Generation waren alle Nachkommen rund und gelb ($AaBb$), da das die dominanten Eigenschaften waren. Im nächsten Schritt kreuzte er die F1 untereinander. In der F2-Generation traten jetzt alle möglichen Kombinationen der Merkmale auf: rund-gelbe ($AABB$, $AABb$, $AaBB$, $AaBb$), eckig-gelbe ($aaBB$, $aaBb$), rund-grüne ($AAbb$, $Aabb$) und eckig-grüne ($aabb$) Erbsen. Für sich genommen traten die Eigenschaften wieder im Verhältnis 3:1 auf, in oben genannter Kombination im Verhältnis 9:3:3:1. Da in der Elterngeneration weder eckig-grüne noch rund-gelbe Samen vorkamen, wusste Mendel, dass die Eigenschaften unabhängig voneinander vererbt werden. Die Unabhängigkeitsregel oder das 3. Mendelsche Gesetz war geboren.

Mendel hat bei seinen Arbeiten nicht nur die richtigen Eigenschaften gewählt, nämlich solche, die über einzelne Gene vererbt werden, er hatte auch etwas Glück, denn die beiden oben genannten Eigenschaften vererbten sich wirklich komplett unabhängig voneinander. Würden die Gene für Form und Farbe sehr nahe beieinander auf demselben Chromosom liegen, wäre das nicht der Fall gewesen. Rekombinationsereignisse, also hier die Entstehung neuer Kombinationen von Form und Farbe wären nur gelegentlich zustande gekommen. Hätte Mendel sich auf Eigenschaften wie die Samengröße konzentriert, welche von vielen Genen beeinflusst werden, würden sich daraus keine eindeutigen Spaltungsregeln ableiten lassen, da in der F2 eine große Variation verschiedenster Samengrößen aufgetreten wäre.

Mendel war allerdings nicht der erste, der mit Erbsen experimentierte und Kreuzungen durchführte: Thomas Andrew Knight befruchtete 1799 weiße Erbsen mit dem Pollen von solchen mit grauen Samen und fand, dass alle Nachkommen graue Samen hatten. Er machte sogar Rückkreuzungen, bei denen er feststellte, dass wieder weißsamige Erbsen auftraten. Alexander Seton kreuzte grüne mit weißen Erbsen und stellte 1822 ebenfalls fest, dass alle Nachkommen eine identische Samenfarbe hatten (grün). Nachdem er die

grünen Samen wieder ausgesät hatte, konnte er Erbsen beider Farben ernten und stellte fest, dass keiner der Samen farblich intermediär war. Ebenfalls 1822 fand John Goss, dass in einer Kreuzung blauer und weißer Erbsen in der ersten Generation nur weiße Samen auftraten, in der zweiten Generation fand er Nachkommen die nur weiße, nur blaue oder sowohl weiße als auch blaue Samen in denselben Hülsen hatten. In der dritten Generation produzierten die blausamigen Erbsen nur blausamige Nachkommen, während die weißsamigen Pflanzen entweder nur weiße, nur blaue oder wieder beide Samenfarben in ihren Hülsen trugen. Knight kommentierte die Arbeiten 1822 und machte die richtigen Aussagen über Dominanz und Rezessivität, aber er zählte die jeweiligen Anteile nicht und konnte deshalb keine eindeutigen Regeln ableiten (Zirkle et al. 1951).

Ob Mendel diese Arbeiten kannte, ist ungewiss, aber schon in seinen einleitenden Bemerkungen erwähnt er die Regelmäßigkeit, die bei Hybriden zu beobachten ist, wenn Zierpflanzen künstlich befruchtet werden, um neue Farbvarianten zu erzeugen. Auch zitiert er die Arbeiten von Gärtner (1849) über die Erzeugung von Hybriden bei Pflanzen. Es ist also sicher, dass er nicht völlig unvoreingenommen seine Experimente begann. Sein größter Verdienst war es – im Gegensatz zu seinen Vorgängern – exakt zu zählen und mit großen Zahlen zu arbeiten, klare Hypothesen zu formulieren und diese anhand statistischer Erwartungen zu überprüfen. So untersuchte er in seinem Experiment zur Ableitung des 1. Mendelschen Gesetzes mehr als 8.023 Samen von 258 Pflanzen, davon waren 6022 gelb und 2001 grün, gelb trat also zu grün im Verhältnis 3,01:1 auf, was dem theoretischen Spaltungsverhältnis von 3:1 schon sehr nahe kam. Mit einer auf nur wenigen Nachkommen basierenden Untersuchung wäre die Abweichung wahrscheinlich zu groß gewesen, um daraus klare Schlüsse zu ziehen.

Einigen Statistikern kamen die von Mendel erhobenen Spaltungsverhältnisse allerdings zu gut vor, um wahr zu sein. Bis zur „Wiederentdeckung“ der Vererbungsregeln durch Carl Correns und Hugo de Vries im Jahr 1900, wurde die 1866 veröffentlichte Arbeit von Gregor Mendel kaum beachtet (Fairbanks und Abbott 2016). Während de Vries seine Gesetze zur Vererbung von Merkmalen zuerst publizierte, zitierte Correns, der zu ähnlichen Ergebnissen gekommen war, Mendel, nachdem er einen Sonderdruck von de Vries Forschungsarbeiten erhalten hatte (Wolpert 2004). Erst dadurch wurde die Erstentdeckung der Mendelschen Regeln tatsächlich Mendel zugeschrieben und der Biologe William Bateson organisierte die Übersetzung des Artikels von Mendel für die *Royal Horticultural Society of London* (Fairbanks and Abbott 2016). Ein Jahr nach der englischsprachigen Veröffentlichung 1901 schrieb der Biometriker Raphael Weldon dem Mathematiker Karl Pearson, bezugnehmend darauf, dass die Beobachtungen des Augustinerabtes Gregor Mendel seinen postulierten theoretischen Spaltungsverhältnissen fast durchweg sehr nahekamen: *„Remembering his shaven crown I cannot help wondering if they were not too good.“* Obwohl er etwas später schrieb, Mendel *„cooked his figures, but (...) was substantially right“*, hatte er weiterhin Bedenken gegenüber der Allgemeingültigkeit von Mendels Aussagen (Franklin 2008), wobei er unter anderem Erich Tschermak-Seysenegg zitierte, der ebenfalls an Erbsen forschte,

aber zumindest bei einigen der von Mendel untersuchten Merkmale weniger eindeutige Ergebnisse erzielte (Weldon 1902).

Der später sehr bekannt gewordene Statistiker Ronald A. Fisher berechnete 1911, im Alter von 21 Jahren, dass die Chancen bei einer Wiederholung der Experimente 16:1 gegen Mendel stünden, nochmals so gute Ergebnisse zu erzielen. Er schrieb: „*It may just have been luck; or it may be that the worthy German abbot, in his ignorance of probable error, unconsciously placed doubtful plants on the side which favoured his hypothesis*“ (Franklin 2008). In einem 1936 publizierten Artikel kam Fisher zu dem Schluss, dass die meisten Daten Mendels verfälscht sein müssten, weil sie der Theorie zu gut entsprechen und größere Abweichungen zu erwarten wären. Damit war die Mendel-Fisher-Kontroverse geboren, die nach 1966, dem 100. Jahrestag der Veröffentlichung der Grundlagen zur Vererbungslehre von Gregor Mendel an Fahrt aufnahm (Franklin 2008, Pires und Branco 2010, Fairbanks und Abbott 2016).

Ob Mendel einfach Glück hatte, ob er wissentlich Pflanzen aussortierte, die nicht seinen Erwartungen entsprachen oder ob er einen Assistenten hatte, der zu gut wusste, was Mendel erwartete – wie Fisher später vermutete – werden wir nicht mit letzter Sicherheit herausfinden können. Gesichert ist, dass die Mendelschen Vererbungsregeln bis heute ihre Gültigkeit haben und in Zukunft behalten werden. Mendel war der erste, der die Gesetzmäßigkeiten der Vererbung eindeutig beschreiben konnte und er hat damit die Grundlagen sowohl für die Genetik als Wissenschaft als auch für die moderne Pflanzenzüchtung gelegt.

Wenn die Hülsen am Boden liegen, ist die Ernte schwierig: Normalblättrige, halbblattlose und blattlose Erbsen

The improvements in standing ability (...) appear to be without question.
(B. Snoad 1974)



Im konventionellen Anbau werden fast ausschließlich halbblattlose Sorten als Körnerfuttererbsen angebaut. Normalblättrige Erbsen haben Nebenblätter an den Stängeln und bestielte, zusammengesetzte Fiederblätter, bei denen von der Blattachse zunächst paarweise Blättchen und dann paarweise Ranken ausgehen. Die Blattachse endet in einer terminalen Ranke. Beim halbblattlosen Typ sind die Nebenblätter normal ausgebildet, die Fiederblätter jedoch komplett zu Ranken umgeformt, was dazu führt, dass die Pflanzen sich stärker ineinander verhaken, wodurch sie wiederum standfester werden. Der normalblättrige Typ, der nur am Ende der Blattspindel Ranken ausbildet, findet fast ausschließlich im ökologischen Anbau Verwendung.

Zunächst wurde die halbblattlose Form als spontane Mutation in Argentinien entdeckt. In den 1970er Jahren begannen darauf aufbauend in Großbritannien Züchtungsarbeiten, die primär das Ziel einer besseren Standfestigkeit verfolgten (Jaranowski und Micke 1985). Die normalblättrigen Sorten lagen weit vor der Ernte meist mehr oder minder flach auf dem Boden, was zu hohen Mähdruschverlusten, einem starken Befall mit Pathogenen und zu Verschmutzungen führte. Daneben wurde erwartet, dass das tiefere Eindringen von Licht in den Bestand der Halbblattlosen eine verzögerte Seneszenz und somit verlängerte Photosynthese sowie die geringere Beschattung der unteren Hülsen

eine gleichmäßigere Abreife zur Folge haben könnte. Ein verändertes Mikroklima im Bestand sollte gleichzeitig die Ausbreitung pilzlicher Krankheitserreger eindämmen (Snoad 1974). Eigenschaften, die auch bei Gemüseerbsen von Vorteil sein können. Parallel zu den Arbeiten in England begann in Polen die züchterische Arbeit an Halbblattlosen basierend auf einer mittels Gammastrahlen induzierten Mutation. Die erste Sorte wurde dort 1979 zugelassen (Jaranowski und Micke 1985).



Halbblattlose Erbse



Normalblättrige Erbse

Neben dem halbblattlosen Typ gibt es auch einen, bei dem die Nebenblätter sehr stark verkleinert sind. Dieser wurde erstmals von Pellow und Sverdrup (1923) beschrieben. Es handelt sich um eine spontane Mutation, die 1915 bei einer Pflanze der Sorte 'Duke of Albany', einer sehr hochwachsenden Markerbsensorte aus dem 19. Jahrhundert, beobachtet wurde. Die Kombination aus Halbblattlosigkeit und sehr stark verkleinerten Nebenblättern erwies sich zwar als der Typ mit der besten Standfestigkeit, allerdings führte das auch zu einer reduzierten Produktivität, was bei dem einfach halbblattlosen Typ nicht beobachtet wurde (Hedley und Ambrose 1981, Snoad et al. 1985).



Feld mit halbblattloser Erbse



Feld mit normalblättriger Erbse

Krankheiten setzen der Erbse zu: Aktuelle Ziele in der Züchtung

Während lange Zeit die Verbesserung der Standfestigkeit der Körnererbse ein zentrales Anliegen der Züchtung war, bleibt heute u. a. die weitere Verbesserung des Ertrags und der Ertragsstabilität von großer Wichtigkeit. Um eine hohe Ertragsstabilität zu gewährleisten, sind neben Trockentoleranz vor allem Resistenzen gegen biotische Schaderreger von Bedeutung. Als Resistenzquellen kommen nicht nur Gene aus der Kulturform *P. sativum* infrage: Zunehmend werden Wildformen und verwandte Arten untersucht, wobei die züchterische Umsetzung dadurch natürlich deutlich erschwert ist, weil gleichzeitig auf die wichtigen agronomischen Eigenschaften Samenfarbe, Samengröße, Hülsenansatz, Länge und Form der Hülsen sowie auf Wuchshöhe und Standfestigkeit selektiert werden muss (Jha et al 2021, Sampaio et al. 2021, McGee et al. 2012).

Unter den pilzlichen Krankheitserregern spielt *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* weltweit eine bedeutende Rolle. Es gibt monogene Resistenzen gegen einzelne Stämme, aber auch eine quantitative Resistenz, die auf ein Zusammenspiel mehrerer Gene beruht, die in vielen modernen Sorten eingekreuzt wurden (Sampaio et al. 2021). Aus einem französisch-amerikanischen Kooperationsprojekt stammende Erbsenlinien werden derzeit in der Züchtung eingesetzt, um Sorten mit verbesserter Resistenz gegen die *Aphanomyces*-Wurzelfäule (*Aphanomyces euteiches*) zu entwickeln (McGee et al. 2012). Bei dem Erreger handelt es sich um einen bodenbürtigen Einzeller (*Oomycet*), welcher die Wurzel befällt. Während der Erreger in Deutschland noch keine größere Rolle spielt, hat er in Frankreich zu einem Rückgang der Erbsenanbaufläche geführt (Männel et al. 2020).

Gegen den Echten Mehltau gibt es mehrere bekannte Resistenzgene, eines davon verhindert das Eindringen des Erregers in die Epidermis. Dieses Gen wird in der Züchtung seit längerem eingesetzt und ist ebenfalls Bestandteil vieler Sorten. Einem weiteren Resistenzgen aus der Wildform *P. fulvum* wird ein großes Potential beigemessen (Jha et al. 2021). Beim Falschen Mehltau (*Peronospora viciae* f. sp. *pisi*) wird davon ausgegangen, dass monogene Resistenzen aufgrund der Variabilität des Erregers schon nach kurzer Zeit durchbrochen werden können, so dass der quantitativen Resistenz bei züchterischen Arbeiten mehr Potential beigemessen wird (Davidson et al. 2011). Der Erbsenrost wird von zwei Erregern, *Uromyces pisi* und *U. viciae-fabae*, hervorgerufen. Es gibt nur partielle Resistenzen, die züchterisch genutzt werden und entsprechend große Unterschiede in der Anfälligkeit aktueller Sorten (Barilli et al. 2009).

Das Auftreten von Viruserkrankungen wird in den letzten Jahrzehnten zunehmend beobachtet, wenngleich sich die Auswirkungen in den meisten Jahren in Grenzen halten (Männel et al. 2020, Almasi et al. 2020). Eine bekannte Resistenz ist zum Beispiel das *stm1*-Gen, welches sowohl gegen das *Pea seed-borne mosaic virus* (PSbMV) als auch gegen das *Bean yellow mosaic virus* (BYMV) wirkt, allerdings sind derzeit weltweit nur wenige resistente Sorten verfügbar (Almasi et al. 2020, Ashby et al. 2011, Congdon et al.

2016). Da die für die Körnererbse relevanten Viren von Blattläusen übertragen werden, ist die überwiegende Bekämpfungsmöglichkeit zur Zeit weiterhin in der Kontrolle der Blattlauspopulation mithilfe des Einsatzes von Insektiziden. Umso wichtiger ist die Entwicklung weiterer resistenter Sorten.

Anbau der Körnererbse

Standort

Die Erbse weist von den in Deutschland anbauwürdigen Körnerleguminosen die breiteste Standorteignung auf. Limitierend für einen erfolgreichen Erbsenanbau ist eine ausreichende Wasserversorgung zur Keimung und zur Blüte. Der pH-Wert des Bodens sollte neutral bis schwach sauer sein. Für eine erfolgreiche Symbiose mit den Knöllchenbakterien bzw. zur Knöllchenbildung und N-Fixierung ist die Bodenstruktur entscheidend, es sollte eine ausreichende Durchlüftung zum Gasaustausch ermöglicht werden. Steinfreie, ebene Flächen erleichtern die Ernte und tragen zur Reduzierung von Ernteverlusten bei. Als Kulturpflanze des gemäßigten Klimas werden höchste Erträge im maritimen Klima mit warmem Frühjahr und kühlem Sommer auf tiefgründigen, humosen Lössböden erreicht.

Fruchtfolge

Die Erbse reagiert auf hohe Anbaukonzentrationen mit einem erhöhten Ertragsverlust, womit Anbaupausen von mindestens fünf Jahren eingehalten werden sollten. Dies ist auf die Anfälligkeit gegenüber Fruchtfolgepathogenen wie Nematoden und bodenbürtigen Pilzen zurückzuführen. Innerhalb einer Fruchtfolge sollten ebenso längere Anbaupausen zu Roggen und Hafer (Nematoden), Lein (*Fusariosen*) sowie Rotklee, Bohnen und Lupinen eingehalten werden, da diese ähnliche Wirtspflanzenspektren aufweisen. Als Vorfrüchte eignen sich bei Anbau von Erbsen als Sommerform neben Getreidearten auch späträumende Kulturen wie Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln. Letztere sind zudem aufgrund der geringen Spätverunkrautung positiv als Vorfrucht zu bewerten, da Erbsen wenig konkurrenzstark sind. Wird die Erbse nach einer frühräumenden Kultur angebaut, ist Phacelia als Zwischenfrucht geeignet. Auf keinen Fall dürfen Mischungen, die Leguminosen enthalten als Zwischenfrüchte eingesetzt werden.

Die Erbse selbst ist durch eine sehr gute Vorfruchtwirkung charakterisiert: Nach der Ernte werden der Folgekultur eine gute Bodenstruktur und größere Mengen an relativ leicht mineralisierbarem Stickstoff aus den Ernterückständen hinterlassen. Nachfolgend sollten vorzugsweise Kulturpflanzen wie Winterraps und Wintergerste angebaut werden, welche die Stickstoffmengen verwerten und in einen höheren Ertrag umsetzen können. Auch der Winterweizen profitiert von der Erbse als Vorfrucht, er nimmt aber im Herbst nur geringe Mengen an Stickstoff auf. Da ein Teil der Ernte- und Wurzelrückstände erst im folgenden Frühjahr mineralisiert wird, sind Abschlüge bei der Stickstoffdüngung im Frühjahr sinnvoll und im Rahmen der Düngeverordnung in Höhe von 10 kg je Hektar vorgeschrieben. Nach Erbsen können somit bei reduzierter mineralischer N-Düngung hohe Erträge und gute Qualitätseigenschaften (z. B. Rohproteingehalte) erzielt werden. Sofern nach Erbsen eine Sommerung kultiviert wird, sollte eine Zwischenfrucht zur Vermeidung von Stickstoffverlusten angebaut werden.

Da im ökologischen Anbau der Einsatz synthetischer Stickstoffdünger untersagt ist, kommt dem Anbau von Leguminosen wie der Erbse in der Fruchtfolge eine große

Bedeutung zu. Leguminosen sind neben der Zufuhr organischer Düngemittel die einzige Möglichkeit zur Anreicherung von Stickstoff im Boden. Bei Körnererbsen können je nach Umweltbedingungen zwischen 20 und 200 kg N je ha und Jahr aus der Luft fixiert werden. Zirka zwei Drittel werden über das Erntegut wieder abgefahren. Der Rest verbleibt in Form von leicht mineralisierbaren Ernte- und Wurzelrückständen für die Nachfrucht verfügbar.

Bodenbearbeitung und Aussaat

Die Ziele der Bodenbearbeitung ergeben sich aus den Anforderungen an den Keimwasserbedarf, den Luftausstausch und die Saattiefe. So sind Verdichtungshorizonte aufzubrechen und das Saatbett ist so herzurichten, dass eine Ablage auf die gewünschte Saattiefe möglich ist. Der Regelfall ist die Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug oder Mulchsaat, aber auch Direktsaat und Strip-till sind möglich. Auch wenn die Erbse einen hohen Keimwasserbedarf hat, so ist bei der Wahl des Aussaatzeitpunktes auf die Befahrbarkeit des Bodens zu achten, um Schadverdichtungen zu vermeiden. Ein damit einhergehendes reduziertes Porenvolumen führt zu Staunässe und vermindertem Austausch der Bodenluft mit der Atmosphäre. Dies hemmt die N-Fixierung der Knöllchenbakterien und schränkt das Wurzelwachstum der Erbse ein.

Die Aussaat erfolgt auf eine Saattiefe von ca. 4-6 cm, auf leichteren und trockeneren Standorten sollte eine Ablagetiefe von 6-8 cm gewählt werden. Die Saatstärke beträgt 80-100 Körner pro m². Die Reihenabstände können flexibel gewählt werden. Drillsaat mit Getreidetechnik und einem Reihenabstand von 12 cm ist möglich, bei mechanischer Unkrautbekämpfung wird der Reihenabstand entsprechend der Maschinenausstattung erweitert und kann z. B. bei Strip-till 30 cm betragen. Bei größeren Reihenweiten und Einzelkornsaat kann die Saatstärke auf 60 keimfähige Körner je m² reduziert werden. Bezüglich der Bodentemperatur ist die Erbse anspruchslos, sie keimt bereits ab 2-3 °C. Die optimale Bodentemperatur zur Keimung liegt bei ca. 12 °C. Die Aussaat erfolgt je nach Region und Höhenlage von Anfang März bis Ende April. Die Erbse verträgt Fröste bis ca. -5 °C.

Nährstoffbedarf und Düngung

Für eine erfolgreiche Knöllchenbildung und N-Fixierung ist ein pH-Wert im neutralen bis schwach sauren Bereich Voraussetzung. Bei pH-Werten unter 6 sollte entsprechend gekalkt werden. Durch die Symbiose mit N-bindenden Bakterien ist eine Stickstoffdüngung nicht notwendig. Sie kann durch eine gehemmte Knöllchenbildung sogar kontraproduktiv sein.

Aufgrund der vergleichsweise schwach ausgeprägten Pfahlwurzel und der eher geringen Durchwurzelung des Oberbodens durch das ebenfalls schwache Feinwurzelsystem sollte auf eine gute Phosphorversorgung geachtet werden. Ein Großteil des aufgenommenen Phosphors wird über das Korn abgefahren und muss dem Boden dementsprechend über phosphorhaltige Düngemittel wieder zugeführt werden. Der Kali-Bedarf ist hoch, allerdings wird nur ca. 30 % des aufgenommenen Kalis über das Korn abgefahren, der

Rest verbleibt mit dem Stroh auf dem Feld und die Nährstoffe stehen nach der Mineralisation den Folgefrüchten zur Verfügung. Der Bedarf an Mikronährstoffen Mangan, Molybdän und Zink ist auf den meisten Böden in ausreichender Menge vorhanden.

Unkrautregulierung

Bei zeitiger Aussaat im Frühjahr laufen Erbsen aufgrund der geringen Temperaturen oftmals zögerlich auf und sind im Jugendstadium konkurrenzschwach. Eine spätere Aussaat kann auf Flächen mit bekannt hohem Unkrautdruck die Jugendentwicklung beschleunigen und damit die Konkurrenzfähigkeit erhöhen. Zudem besteht die Möglichkeit der mechanischen Unkrautbekämpfung durch die Bereitung eines falschen Saatbetts. Beim falschen Saatbett erfolgt die Saatbettbereitung wenige Wochen vor der Aussaat, um optimale Auflaufbedingungen für Unkräuter und Ungräser herzustellen. Circa zehn Tage nach Aussaat sollten die gekeimten Samen der Begleitflora das Zwei- bis Vierblattstadium erreicht haben und können jetzt bei trockenem Wetter mit der Saategge oder dem Striegel bekämpft werden.

Nach der Aussaat ist das Blindstriegeln als mechanische Unkrautregulierungsmaßnahme bis kurz vor dem Auflaufen möglich. Kurz nach dem Auflaufen kann bis zum Reihenschluss bzw. bis zum Verranken der Pflanzen ebenfalls mit dem Striegel gearbeitet werden. Das Hacken der Bestände ist nur angebracht, wenn größere Reihenabstände gewählt wurden. In dem Fall ist auch das Anhäufeln möglich.

Im Erbsenanbau sind selektive Herbizide gegen dikotyle Unkräuter zugelassen. Der Einsatz erfolgt vorrangig im Voraufbau, wobei anschließend eine ausreichende Bodenfeuchte für eine gute Wirksamkeit notwendig ist. Ungräser können wirkungsvoll im Nachaufbau mit Herbiziden behandelt werden. Spät auflaufende, wärmeliebende und ausdauernde Unkräuter können als Spätverunkrautung den Mähdrusch erschweren. Aktuell wird die Erbse – wie andere Leguminosen – im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik mit dem Faktor 1 als ökologische Vorrangfläche anerkannt. Auf ökologischen Vorrangflächen ist der Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel untersagt.

Krankheiten und Schädlinge

Wichtige Schädlinge im Erbsenanbau sind der Linierte Blattrandkäfer (*Sitona lineatus*), die Erbsenblattlaus (*Acyrtosiphon pisum*) und der Erbsenwickler (*Cydria nigricana*). Adulte Blattrandkäfer verursachen typische Fraßschäden an den Blatträndern, während die Larven die Wurzelknöllchen befallen und darüber den Befall mit pilzlichen Krankheitserregern begünstigen. Die Erbsenblattlaus verursacht zwar Saugschäden, bedeutender ist sie aber als Überträgerin von Viren. Die Larven des Erbsenwicklers dringen in die Hülsen ein und fressen dort reife Samen. Darüber hinaus treten der Gemeine Erbsenkäfer (*Bruchus pisorum*) und die Erbsengallmücke (*Contarinia pisi*) als Schädlinge auf. Der Erbsenkäfer legt seine Eier auf jungen Hülsen ab, die Larven durchbohren diese und fressen die Samen im unreifen Zustand. Die Larven der Erbsengallmücke verursachen Saugschäden. Sie ist aber nur in einigen Regionen

Deutschlands ein Schädling von Bedeutung. Das Stängel- oder Stockälchen (*Dytileus dipsaci*) hat ein sehr breites Wirtspflanzenspektrum und kann auch die Erbse befallen. Die Verbreitung erfolgt auch über das Saatgut.

Die Fuß- und Brennfleckenkrankheit der Erbse wird von den Schaderregern *Ascochyta pisi*, *Phoma pinodella* und *Mycosphaerella pinodes* verursacht. Die Erreger können allein oder in Kombination auftreten. Während *Phoma pinodella* insbesondere Schäden an der Wurzel und Stängelbasis verursacht, befallen die beiden anderen Erreger sowohl Stängel als auch Blätter und Hülsen. Der Erbsenrost (*Uromyces pisi* und *U. viciae-fabae*) tritt besonders in wärmeren Lagen und bei später Aussaat auf. Als Pathogen mit sehr breitem Wirtsspektrum kann *Sclerotinia sclerotiorum* die Erbse befallen. Der bodenbürtige Erreger kann besonders in Fruchtfolgen zum Problem werden, die auch Raps beinhalten. *Thielaviopsis brassicola*, *Fusarium solani* und *Aphanomyces euteiches* verursachen Wurzelfäulen im Erbsenanbau. Darüber hinaus sind der Falsche und der Echte Mehltau (*Peronospora pisi* und *Erysiphe pisi*) bedeutende Krankheiten, die sowohl Blätter als auch Hülsen befallen können. Sowohl gegen den Falschen als auch gegen den Echten Mehltau gibt es resistente Sorten. Beim Falschen Mehltau vermindert die hohe Variabilität des Erregers und die Vielfalt der Rassen allerdings den Erfolg des Anbaus resistenter Sorten.

Die Leguminosenmüdigkeit tritt als Komplex u. a. pilzsicher Krankheitserreger, tierischer Schädlinge und einer einseitigen Nährstoffausnutzung auf. Zur Vorbeugung sollte bei der Erbse eine mindestens sechsjährige Anbaupause zu sich selbst sowie ein ausreichender Abstand zu kleinkörnigen Leguminosen wie Rot- oder Weißklee eingehalten werden.

Die häufigste Viruserkrankung im Erbsenanbau ist bei uns das Scharfe Adernmosaikvirus (PEMV). Seit einigen Jahren werden Nanoviren (PNYDV) zunehmend beobachtet. Da eine direkte Bekämpfung nicht möglich ist, muss auf den Befall mit Blattläusen als Überträger geachtet werden. Neben der Bekämpfung durch Insektizide kann die Förderung von Nützlingen hilfreich sein, um die Gefahr des Auftretens von Virose zu mindern.

Detaillierte Informationen zu Krankheiten und Schädlingen im Erbsenanbau liefern die Internetseiten demoneterbo.agrarpraxisforschung.de, pflanzenkrankheiten.ch, Pflanzen-doktor des Portals oekolanbau.de und Männel et al. (2020).

Gemengeanbau und Mischkultur

Der Anbau von Erbsen als Gemenge oder Mischkultur mit anderen Arten bietet sich vor allem in Kombination mit Getreide an. Hierbei wird die Nährstoffausnutzung erhöht und für die rankenden Erbsen dient das Getreide als Stützfrucht. Neben der Standsicherheit wird auch die Unkrautkonkurrenz erhöht. Das Gemenge wird oftmals als Futter im Haupt- oder Zwischenfruchtanbau genutzt. Werden normalblättrige Wintererbsen zur Silierung der Gesamtpflanzensilage angebaut, eignen sich als Mischungspartner Roggen und Triticale. Die geringere Wuchshöhe von Triticale kann für die Entwicklung der Erbse

im Gemenge von Vorteil sein. Nach der Ernte des Gemenges als Grünschnitt kann Mais angebaut werden.

Neben dem Gemengeanbau ist auch eine Körnernutzung möglich, da die Mischkulturpartner aufgrund unterschiedlicher Korngrößen nach dem Drusch durch eine Siebreinigung leicht voneinander separiert werden können. Hierbei wird oft mit halbblatlosen Sommererbsen gearbeitet, für die sich als Mischungspartner Sommergerstensorten und frühreife Hafersorten eignen. Wichtig ist die harmonische Abreife der Mischungspartner. Bei einer Erbse-Gerste-Mischkultur hat es sich bewährt, für die Erbse eine Aussaatstärke zu wählen, die zwischen 60 und 80 % der Reinkultur liegt, während die Saatstärke der Gerste auf 20 bis 40 % reduziert wird. Neben Mischkulturen mit Getreidearten kann auch Leindotter als Partner für die Erbse infrage kommen.



Mischkultur mit Hafer



Wintererbse und Triticale

Der Mischkulturanbau ist hauptsächlich im ökologischen Landbau verbreitet, da die Vorteile dieser Anbauform hier besonders zum Tragen kommen: Durch die Kombination von zwei Kulturarten auf einer Fläche wird die Unkrautunterdrückung verbessert, durch die bessere Ausnutzung der begrenzten Ressourcen kann der Ertrag bezogen auf die relative Fläche, die von den Mischungspartnern eingenommen werden, 5 bis 15 % über dem Ertrag von Reinkulturen liegen. Weitere Vorteile liegen in der Minimierung des Anbaurisikos und im potentiell geringeren Schaderregerbefall. Demgegenüber steht der technisch höhere Aufwand bei der Aussaat (Sätechnik/Saattiefe) und Ernte (Mähdreschereinstellung). Ein weiterer Nachteil kann eine geringere Qualität des Getreides in Bezug auf den Rohproteingehalt und das Hektolitergewicht sein. Im

konventionellen Anbau ist der deutlich erschwerte Herbizideinsatz in Mischkulturen ein wesentlicher, die ökonomisch sinnvolle Umsetzbarkeit begrenzender Faktor.

Wintererbsen

Neben dem klassischen Anbau von Erbsen als Sommerform, werden zunehmend auch Erbsen als Winterform angebaut. Diese vertragen Fröste bis ca. -15 °C, wobei Kahlfröste zu erheblichen Auswinterungsschäden führen können. Wintererbsen werden von Mitte bis Ende Oktober gesät. Auf eine frühere Saat sollte verzichtet werden, um die Frosthärte durch eine zu üppige Vorwinterentwicklung nicht zu gefährden. Zur verbesserten Winterhärte wird eine tiefe Ablage des Saatguts empfohlen. Auf sehr tonigen oder feuchten Standorten ermöglicht die Aussaat im Herbst oftmals erst einen erfolgreichen Erbsenanbau, da die Flächen aufgrund höherer Bodenwassergehalte im Frühjahr nicht rechtzeitig befahrbar sind.

Die Standortanforderungen sind ähnlich zum Anbau der Sommerform. Wintererbsen haben im Frühjahr einen Entwicklungsvorsprung und sind somit auch konkurrenzfähiger gegenüber Unkräutern und Schädlingen. Die chemische Unkrautbekämpfung erfolgt als Vorauflaufbehandlung im Herbst. Gestriegelt werden kann sowohl im Vorauflauf als auch im Nachauflauf im Herbst bzw. Frühjahr, sofern die Pflanzen sich noch nicht verrankt haben und keine Nachtfröste mehr auftreten. Wintererbsen haben gegenüber Sommererbsen keine spezifisch anderen Anforderungen an die Nährstoffversorgung, bei einer höheren Ertragserwartung ist der Nährstoffbedarf allerdings entsprechend höher.

Bezüglich der Integration in die Fruchtfolge sind Vorfrüchte geeignet, die eine Aussaat bei guten Bodenbedingungen zulassen. Späträumende Zuckerrüben oder Körnermais sind daher weniger geeignet als Getreide und Silomais. Als Nachfrüchte bieten sich aufgrund der hohen Stickstoffnachlieferung Wintergetreide und Winterraps an. Wintererbsen sind in der Regel zwei bis drei Wochen eher druschreif als Sommererbsen. Der Anbau von Stoppelzwischenfrüchten verlängert die Bodendeckung. Wie oben erwähnt, können ebenso Wintererbsen mit Winterroggen oder Wintertriticale in Mischkultur angebaut werden. Die Nutzung erfolgt als Futter bzw. nach Separation als Marktware. Der Anbauumfang ist derzeit noch gering.

Ernte und Ertrag

Die Ernte von Körnererbsen erfolgt bei einer Kornfeuchte zwischen 15 und 20 %. Höhere Kornfeuchten verursachen erhöhte Trocknungskosten und können zu Quetschkorn führen. Bei Kornfeuchten unter 15 % kann es zu Haarrissen kommen und der Anteil an Bruchkorn ist erhöht. Da reife Erbsenhülsen schnell aufplatzen, kann eine verzögerte Ernte z. B. durch ungünstige Witterungsbedingungen zu Ertragsverlusten führen. Die Trocknung zum Kornfeuchtegehalt von 14 % sollte bei moderaten Temperaturen von maximal 36 °C erfolgen. Während der Trocknung und im Lager können Temperaturen von mehr als 40 °C zum Aufplatzen der Körner führen und die Eiweißqualität beeinträchtigen. Da hierdurch die Keimfähigkeit reduziert wird, ist das

insbesondere bei der Saatgutproduktion von Bedeutung. Erträge von 70 dt ha⁻¹ sind möglich, die durchschnittlichen Erträge liegen allerdings nur bei 35 dt ha⁻¹. Als grober Anhaltspunkt kann im ökologischen Anbau nochmal mit einem um 10 dt ha⁻¹ niedrigerem Durchschnittsertrag gerechnet werden. In Kalkulationen zur Wirtschaftlichkeit der Erbse sollten immer der gute Vorfruchtwert und die Einsparungen bei stickstoffhaltigen Düngemitteln berücksichtigt werden.

Besonderheiten im Anbau von Gemüseerbsen

Gastbeitrag von Hermann Laber

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Bedeutung

Gemüseerbsen wurden 2020 in der EU (27) auf einer Fläche von rund 150.000 ha abgebaut. Frankreich dominiert mit ca. 43.000 ha Anbaufläche, aber auch Ungarn (20.000 ha), Spanien und Italien (jeweils ca. 16.000 ha) sind bedeutende Anbauländer. In Belgien werden auf ca. 12.000 ha Gemüseerbsen angebaut. Belgien hat im Tiefkühlbereich sehr große Verarbeitungskapazitäten und kauft Rohware u.a. aus Frankreich zu. Auch Großbritannien ist mit ca. 35.000 ha eine bedeutende Anbauregion für Gemüseerbsen.

In Deutschland werden, ausschließlich im Vertragsanbau, ca. 4.500 ha Gemüseerbsen für die Verarbeitung angebaut. Hinzu kommen rund 450 ha Frischmarkterbsen, bei denen die Hülsen handgepflückt werden. Der Anbauschwerpunkt liegt in Rheinland-Pfalz. Der Anbau für die Verarbeitungsindustrie konzentriert sich mit 2.300 ha auf Sachsen und knapp 1.400 ha in Nordrhein-Westfalen. Die Verarbeitung der Produktion aus Nordrhein-Westfalen erfolgt v. a. in den Niederlanden. In Schleswig-Holstein wird die Gemüseerbse auf ca. 300 ha kultiviert. Deutschlandweit werden etwa 38 % der Verarbeitungsware unter ökologischen Anbaubedingungen produziert. Zur Vermeidung der zeitlichen Koinzidenz mit Schaderregern wie der Erbsenblattlaus und insbesondere des Erbsenwicklers werden im ökologischen Anbau bei zeitiger Aussaat überwiegend frühe Sorten genutzt. Im konventionellen Anbau dauert die Erbsenkampagne, also die Ernteperiode mit anschließender Verarbeitung zu Tiefkühlprodukten, ca. sieben Wochen. Aufgrund des Schaderregerbefalls kann im ökologischen Anbau nur im klimatisch günstigen, küstennahen Anbau Schleswig-Holsteins die gesamte Kampagnedauer genutzt werden.

Sortenwahl

Für den Verarbeitungssektor werden fast nur noch Markerbsen (*wrinkled peas*) angebaut. Auch im Bereich Nasskonserven, wo helle, kleinkörnige Palerbsen (*smooth peas*) insbesondere in Frankreich eine gewisse Bedeutung hatten, sind diese mittlerweile nahezu verdrängt worden. Wesentliche Kriterien der Sortenwahl bei Verarbeitungsware sind Korngröße mit Größenklassen von kleiner als 7,5 bis größer als 10,2 mm und Kornfarbe. Fein sortierende (< 8,2 mm), hellgrüne Erbsen haben in Frankreich noch einen Anteil von rund 25 % und werden, relativ reif geerntet, zu Nasskonserven verarbeitet. Im Tiefkühlsegment haben nur dunkelgrüne Markerbsen Marktbedeutung. Da der Verbraucher fälschlicherweise oft Kleinkörnigkeit mit früher Ernte gleichsetzt („zarte, feine Erbsen“) werden insbesondere in Frankreich große Mengen (40 %) an kleinkörnigen, dunkelgrünen Sorten (*Petit Pois*) verarbeitet. In Deutschland sind dagegen *garden peas* mit Korngrößen über 8,75 mm Standard, aber

auch in Frankreich sind mittlerweile 35 % der verarbeiteten Ware dieser Kategorie zuzuordnen.

Für die Verlängerung der Erbsenkampagne und die gleichmäßige Auslastung der Ernte- und Verarbeitungskapazitäten ist die Entwicklungszeit der verschiedenen Sorten von großer Bedeutung. Frühe Sorten bilden bereits am achten Knoten erste Blüten und Hülsen aus, sehr späte Sorten dagegen erst am 16. oder noch später. Da unter ‚normalen‘ Temperaturbedingungen etwa alle 2 Tage ein neues Nodium ausgebildet wird, ist eine späte Sorte rund 16 Tage später erntereif als eine frühe Standardsorte. Der Anbau der tendenziell ertragsschwächeren Frühsorten ist für einen frühen Start der Kampagne wesentlich, für spätere Ernten wird zunächst auf mittelfrühe, dann spätere Sorten zurückgegriffen. Diese zeigen geringere Ertragsabfälle bei späteren Aussatterminen und den damit zwangsweise verbundenen höheren Temperaturen.

Während es im frühen Segment bisher nur eine geringe Zahl an fiederblattlosen Sorten gibt, haben *afila*-Typen im späteren Reifebereich stark an Bedeutung gewonnen. Vorteile dieser besser durchlichteten Bestände sind insbesondere unter wüchsigen, maritimen Klimabedingungen ein geringeres Auftreten von chlorophyllarmen, blassen Körnern, den sogenannten *blonds*. Nachteilig ist, je nachdem wie stark die Pflanzen ineinander verhakt sind, eine höhere Verstopfungsgefahr der Pflück- und Druschorgane der Erntemaschinen. Mehrere Züchter bieten mittlerweile auch *double wrinkled* Typen an, die einen verzögerten Zuckerumbau zeigen. Ob dies auch geschmackliche Vorteile bringt, ist noch offen.

Während eine hohe Resistenz gegen Pathotyp 1 der *Fusarium*-Welke praktisch Standard ist, sollten neue Sorten auch über eine hohe Resistenz gegen den Echten Mehltau verfügen, die insbesondere bei spätem Anbau sehr vorteilhaft ist. Daneben ist eine intermediäre Resistenz gegen Falschen Mehltau wichtig. Ferner sind Sorten mit Resistenzen gegenüber die Virose PEMV und auch BYMV und gegen *Ascochyta*-Brennflecken verfügbar.

Auch im Frischmarktbereich hat die weniger süß schmeckende Palerbse keine Bedeutung mehr. Hier werden im Markerbsenbereich großhülsige, großkörnige Sorten bevorzugt. In welchem Umfang die auch in Kleingärten gerne angebauten Zuckererbsen professionell angebaut werden, ist nicht erfasst. Bei diesen ist das Endokarp (innere Fruchtwandhaut) nicht als zähe Pergamenthaut ausgebildet, sodass sie als ganze Hülse verzehrt werden. Zu unterscheiden sind hier Knackerbsen (*sugar snap*) mit dickwandiger, knackiger Fruchtwand und die dünnwandigen, flachhülsigen Kaiserschoten (*snow pea*) die bei noch sehr klein entwickelten Samen geerntet werden. Kaiserschoten werden vielfach auch als *Mangetout* (frz. „*mange tout*“, für „iss alles“) bezeichnet, wobei der Begriff auch für Zuckererbsen allgemein genutzt wird.

Anbau

Der feldmäßige Anbau von Markerbsen für die Verarbeitungsindustrie unterscheidet sich nicht wesentlich von dem der Körnererbsen. Aufgrund der höheren Empfindlichkeit des Saatgutes wird allerdings max. 4 bis 5 cm tief, also flacher gesät. Ähnlich wie bei Körnererbsen sind aufgrund der Saatgutkosten Bestandesdichten über ca. 100 Pflanzen pro m² wegen des nur noch geringen Ertragszuwachses unwirtschaftlich, sodass in der Praxis bei frühen Sorten (-1 bis +4) eine Aussaatstärke von 110 Körnern pro m² üblich ist. Unter ökologischen Anbaubedingungen ist wegen der fehlenden Saatgutbeizung und der mechanischen Unkrautbekämpfung mit höheren Pflanzenausfällen zu rechnen. Die Saatstärke erhöht sich deshalb auf 130 bis 140 Körner je m². Mittelfrühe Sorten (+4 bis +8) werden mit rund 100, alle späteren Sorten mit ca. 90 Körnern pro m² gedrillt. Neben der Drillsaat ist die Einzelkornablage üblich.

Aussaatplanung

Eine Besonderheit des Gemüseerbsenanbaus besteht in der detaillierten Aussaat- bzw. Anbauplanung. Da Gemüseerbsen ein schmales Erntefenster von wenigen Tagen haben und das Erntegut vor der Verarbeitung nicht zwischengelagert werden kann, müssen in der Erbsenkampagne täglich erntereife Bestände in Höhe der Ernte- und Verarbeitungskapazitäten vorzufinden sein. Weil die Entwicklung von Pflanzen eng mit der Temperatur korreliert, bedient man sich seit den 1920er Jahren des Temperatursummenkonzepts. Man schätzt dabei auf Basis der zu erwartenden Durchschnittstemperatur den voraussichtlichen täglichen Entwicklungsfortschritt ab und plant die Aussaatstaffelung anhand real gemessener Temperaturen. Zur Ermittlung der effektiven Temperatur für die Entwicklung muss die Basistemperatur von den Durchschnittswerten abgezogen wird. Die Basistemperatur ist die empirisch ermittelte Temperatur, unterhalb der theoretisch keine Entwicklung erfolgt. US-amerikanische Verarbeitungsbetriebe rechneten ursprünglich mit einer Basistemperatur von 10 °F, was 4,44 °C entspricht. Auch in Europa wird seitdem allgemein mit 4,4, 4,5 oder 5 °C gearbeitet. Ein Tag mit einer Durchschnittstemperatur von 20 °C hat demnach eine effektive Temperatur von 15,6, 15,5 oder 15 °Cd. Der Gradtag (°Cd) ist die übliche Einheit in Temperatursummenmodellen.

Am besten lässt sich dieses an einem Beispiel erläutern: Bei geeigneten Boden- und Witterungsbedingungen kann z. B. am 20. März zum ersten Mal ausgesät werden. Entsprechend der späteren Ernte- und Verarbeitungskapazität eines Tages entscheidet man sich z. B. für eine Fläche von 50 ha. Wann dieser Satz erntereif ist, lässt sich - wie das Wetter selbst - nicht vorhersagen. In diesem Beispiel gehen wir vom 15. Juni aus. Ziel ist es jetzt, den zweiten Aussaattermin so zu wählen, dass auch am 16. Juni 50 ha erntereif sein werden. Liegen die langjährigen Durchschnittstemperaturen Mitte Juni bei 17,4 °C, so ist mit einem täglichen Entwicklungsfortschritt von 13 °Cd [(17,4 °C - 4,4 °C) × d] zu rechnen. Zwischen der 1. und der 2. Aussaat muss die Temperatursumme also 13 °Cd betragen. Herrschen nach der ersten Aussaat z. B. (vereinfachend) kontinuierliche Tagesmitteltemperaturen von 5,7 °C, so muss der zweite Aussaattermin 10 Tage nach dem ersten erfolgen [13 °Cd / (5,7 °C - 4,4 °C) = 10 d].

Beim üblichen Anbau verschiedener Sorten muss allerdings auch die jeweilige Entwicklungszeit eingerechnet werden. Wenn z. B. die am 20. März gesäte Sorte 'Avola' aus der Reifegruppe ± 0 am 15. Juni erntereif ist, wäre eine am gleichen Tag gesäte Sorte der Reifegruppe +2 am 17. Juni erntefähig. In der Praxis erfolgen je nach Anbauregion die letzten Aussaaten Mitte Mai bis Anfang Juni. Aufgrund der jetzt höheren Temperaturen geht die Entwicklung der Pflanzen gemäß der Temperatursummenregel deutlich schneller vonstatten, so dass die Erbsenkampagne je nach Region Ende Juli bis spätestens Mitte August endet.

Bereits vor fast 50 Jahren fand der schwedische Erbsenspezialist Ottosson (1975), dass mit zunehmend späterer Aussaat die benötigten Temperatursummen bis zur Ernte zunahm. Als Ursache vermutete er sehr hohe Temperaturen, die nicht mehr wirksam sind. Auch bei neueren Untersuchungen zeigte sich dieser Anstieg, der in Abb. 1 gestrichelt dargestellt ist. Laber (2009) kam nach umfangreichen Versuchen mit zehn Sorten zu dem Schluss, dass bei einer Verringerung der Basistemperatur auf $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ dieser systematische Anstieg ausbleibt und sich die Streuung vermindert (Abb. 2).

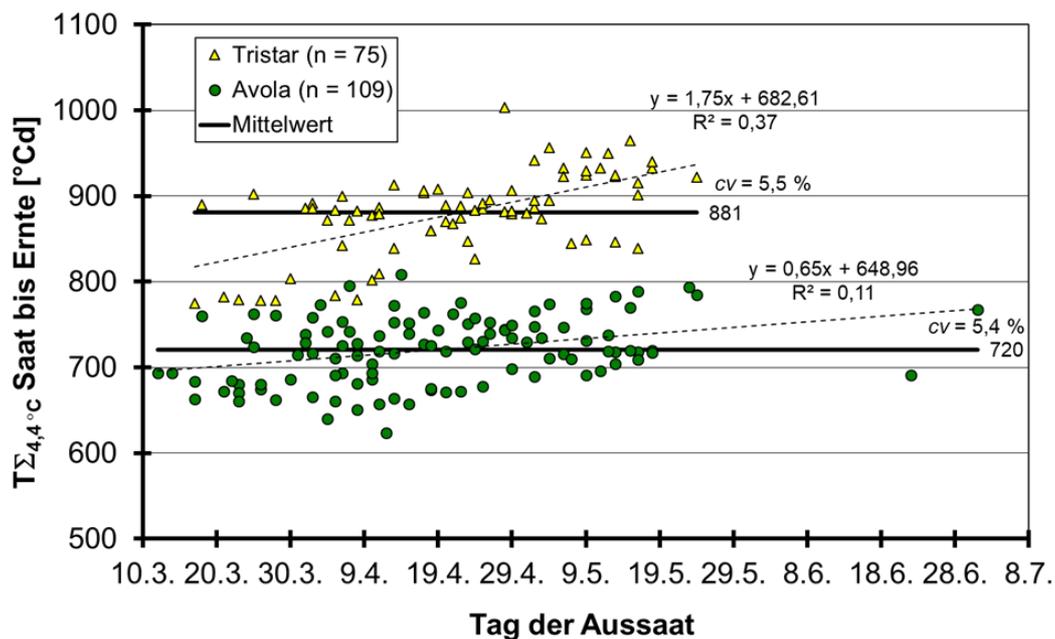


Abb. 1: Temperatursumme ($T_{\min} = 4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$) von der Aussaat bis zur Ernte für zwei Markersensorten in Abhängigkeit vom Aussaattermin (LABER 2009 [Versuche 1999-2009], erweitert um Versuchsergebnisse bis 2018).

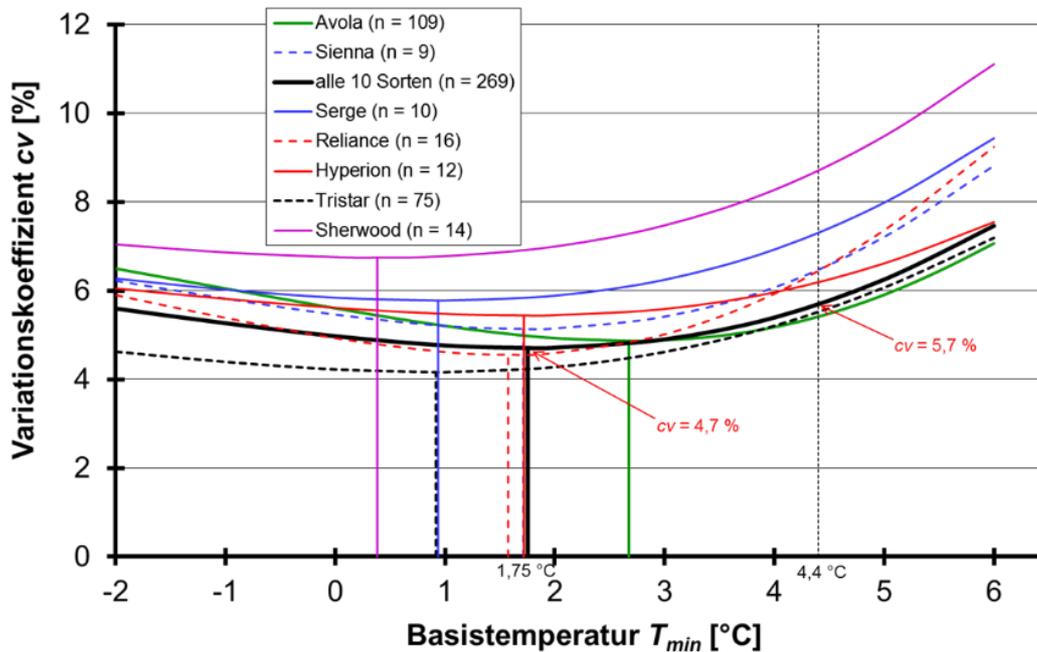


Abb. 2: Variationskoeffizient cv der Temperatursumme von der Aussaat bis zur Ernte in Abhängigkeit von der verwendeten Basistemperatur T_{min} (LABER 2009 [Versuche 1999-2009], erweitert um Versuchsergebnisse bis 2018).

Ernte

Circa 21 Tage nach der Blüte weisen die Samen einer Markerbsenhülse den höchsten Zuckergehalt, der v. a. auf Saccharose beruht, auf, danach erfolgt ein Umbau zu Stärke und anderen Kohlenhydraten. Die Erbsen werden härter. Da die Süße der Gemüseerbse eine positive, Stärke aber eine eher negative Geschmackskomponente darstellt, die zur Mehligkeit führt, gilt es in qualitativer Hinsicht bei der üblichen Einmalernte den optimalen Erntezeitpunkt der an den verschiedenen Nodien unterschiedlich weit entwickelten Hülsen zu finden. Der maximale Frischmasseertrag einer Hülse wird erst ca. 30 Tage nach der Blüte erreicht, sodass es einen klassischen Zielkonflikt zwischen Qualität und Erntemenge gibt, der nach einem objektiven Maßstab für die Qualität verlangt.

Eine Methode ist hier die Messung der Menge an alkoholunlöslichen Inhaltsstoffen (AIS-Wert), der vereinfachend als reziproker Wert zum Zuckergehalt beschrieben werden kann. Mit steigendem AIS-Wert nimmt die Qualität ab. Werte um 13 % stellen einen guten Kompromiss zwischen Qualität und Quantität dar. Die Bestimmung des AIS-Wertes ist allerdings aufwendig, obwohl heute eine indirekte Bestimmung mittels Nahinfrarot-spektroskopie (NIRS) möglich ist.

In den 1930er Jahren wurde eine Schnellmethode entwickelt, bei der die Kräfte gemessen werden, die zum Durchpressen einer definierten Erbsenprobe in einem Tenderometer mittels Lamellen benötigt wird. Die schnell messbaren Tenderometerwerte korrelieren ebenso gut mit dem sensorisch ermittelten Geschmack wie die AIS-Werte. Werte im Bereich von 105-120 psi sind als sehr gute bis gute Qualitäten

anzusprechen. Da der Tenderometerwert nicht an verarbeiteten Erbsen ermittelt werden kann, müssen Einkäufer aus dem Lebensmitteleinzelhandel auf die AIS-Analyse zur Qualitätsbeurteilung zurückgreifen. Hier tobt seit einiger Zeit ein Konflikt, weil einige neue Sorten (z. B. *double wrinkled*) bei gleicher Reife gemessen als Tenderometerwert geringere AIS-Werte zeigen.

Zur exakten Ernteterminbestimmung werden Feldproben auf kleinen, speziell für Gemüseerbsen entwickelten stationären Dreschmaschinen ausgedroschen und anschließend wird die Qualität bestimmt. Herrschen in einer Ernteperiode höhere Temperaturen als bei der Anbauplanung angenommen, dann reifen die Erbsen zu schnell ab. Werden dabei eingeplante Pufferkapazitäten im Bereich der Ernte und Verarbeitung überschritten, müssen Felder unbeerntet bleiben, bzw. können seitens der Anbauer nur noch als Körnerfuttererbse vermarktet werden.

Wie bereits angesprochen, gibt es bei Gemüseerbsen nur ein kleines Erntefenster, um Ware mit guter Qualität zu ernten (Abb. 3). Während für ein hochwertiges Monoprodukt, bei dem nur Erbsen in der Verkaufspackung enthalten sind, der Tenderometerwert der Rohware nicht wesentlich über 120 psi liegen sollte, kann Ware mit Werten zwischen 140 und 150 psi noch gut in Mischprodukten untergebracht werden, bei denen süße Erbsen als geschmacklich unharmonisch auffallen würden.

Der Zusammenhang zwischen Reife und Frischmasseertrag kann mit einer quadratischen Funktion beschrieben werden (Abb. 4). Bei einem Tenderometerwert von 164 psi, der kaum noch genießbaren Gemüseerbsen entspricht, ist der Ertrag um 16 % höherer als bei einem Ertrag von 120 psi (Laber 2016). Everaarts und Sukkel (2000) schlugen deshalb ein Preisstaffelungssystem vor, das den Anbauern im Tenderometer-Bereich zwischen 90 und 150 psi praktisch einheitliche monetäre Hektarleistungen garantiert hätte. Die tatsächliche Preisgestaltung ist aber allgemein so, dass eine zu frühe oder zu späte Ernte zu Lasten des Anbauers geht.

Die Ernte selbst wird mit speziellen Dreschern im Pflückdrusch durchgeführt. Das Pflückorgan ist eine mit Striegel-ähnlichen Zinken bestückte, waagrecht rotierende Welle, die den Großteil des Aufwuchses abschlägt, der danach in einer rund 5 m langen Dreschapparatur ausgedroschen wird. Das Dreschgut, welches auch angeschlagene Erbsen enthält und durch zuckerhaltige Pflanzensäfte benetzt ist, würde durch einsetzende Gärungsprozesse schnell verderben und muss deshalb möglichst umgehend der Verarbeitung zugeführt werden. Bei längeren Transportwegen erfolgt eine Kühlung mit Trockeneis schon während des Transports. Geerntet und verarbeitet wird in der Kampagne rund um die Uhr. Auf Basis der Daten des statistischen Bundesamtes (DeStatis 2021) errechnet sich für die Jahre 2012 bis 2020 im konventionellen Anbau ein mittleres Ertragsniveau von 61 dt ha⁻¹. Im ökologischen Anbau liegen die durchschnittlichen Erträge bei 37 dt ha⁻¹.

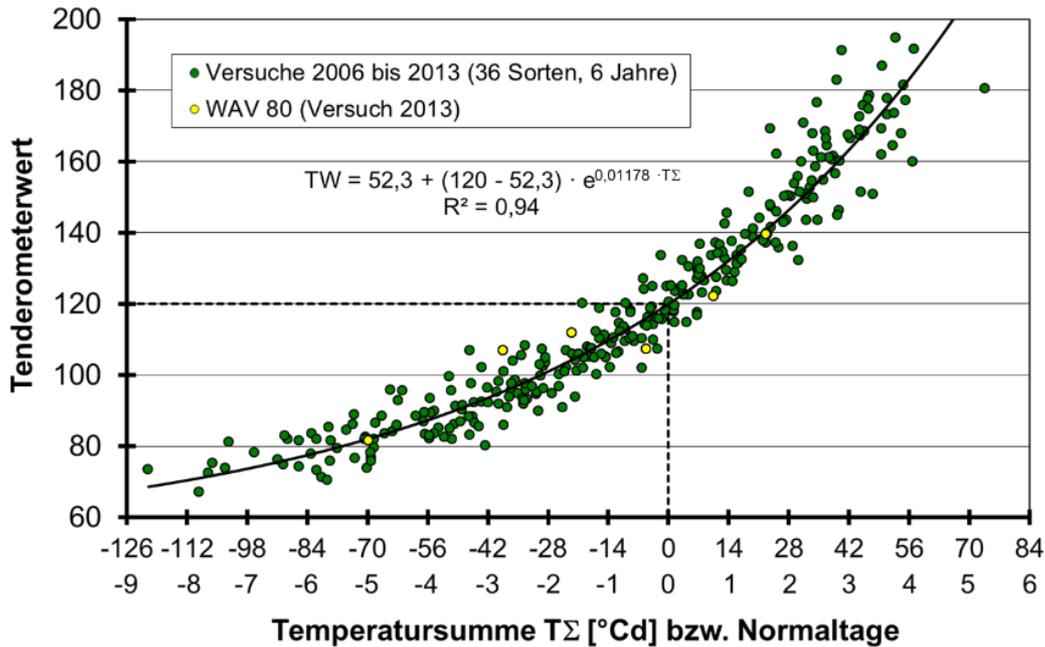


Abb. 3: Anstieg der Tenderometerwerte von Markerbsen mit der Temperatursumme (Basistemperatur 4,4 °C; Temperatursumme bei Tenderometerwert 120 = 0 °Cd) bzw. an einem Normaltag mit 18,4 °C Durchschnittstemperatur (LABER 2016; exemplarisch wurde der an einer Sorte gemessene, durchaus ‚unstete‘ Reifeverlauf dargestellt).

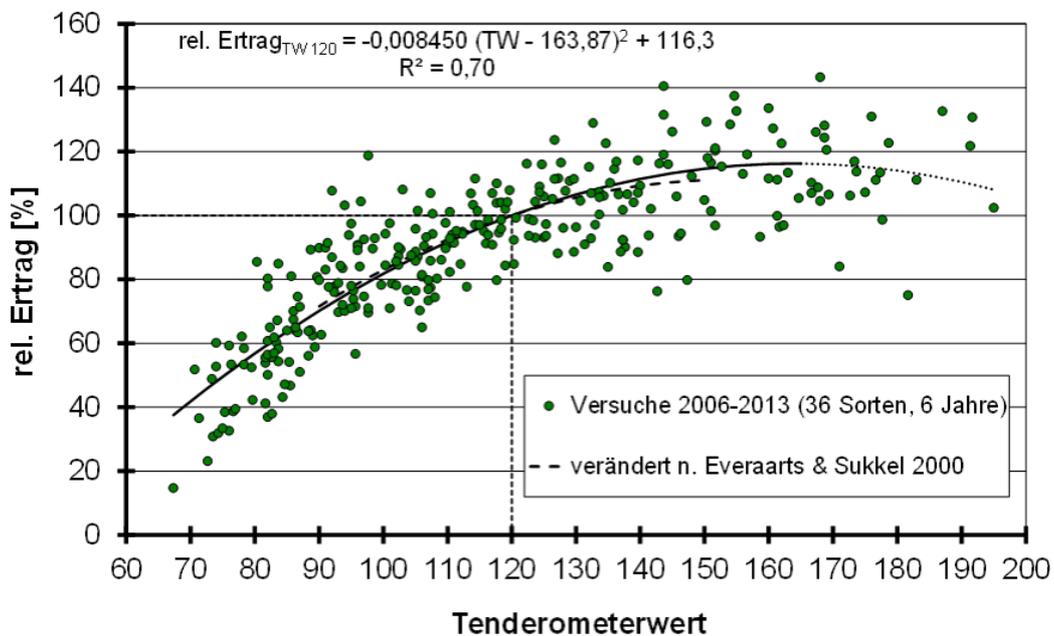


Abb. 4: Relativer Ertrag von Markerbsen (TW 120 = 100 %) in Abhängigkeit vom Tenderometerwert (LABER 2016; Anmerk.: Die dargestellte, nahezu deckungsgleiche Ertragsfunktion nach EVERAARTS & SUKSEL basiert auf niederländischen Versuchen mit einer deutlich geringeren Datenbasis).

Literatur

- Almasi, A., Boros, R., Salanki, K., Barna, B. (2020). First report on pea seed-borne mosaic virus in Hungary. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 55: 161-166.
- Ashby, J.-A., Stevenson, C.-E.-M., Jarvis, G.-E., Lawson, D.-M., Maule, A.-J. (2011). Structure-based mutational analysis of eIF4E in relation to sbm1 resistance to pea seed-borne mosaic virus in pea. *PLOS ONE* 6: e15873.
- Barillia, E., Sillerob, J.-C., Fernández-Aparicio, M., Rubiales, D. (2009). Identification of resistance to *Uromyces pisi* (Pers.) Wint. in *Pisum* spp. germplasm. *Field Crops Research* 114: 198-203.
- Berrazaga, I., Bourlieu-Lacanal, C., Laleg, C., Jardin, J., Briard-Bion, V., Dupont, D., Walrand, S., Micard, V. (2020). Effect of protein aggregation in wheat-legume mixed pasta diets on their in vitro digestion kinetics in comparison to “rapid” and “slow” animal proteins. *PLOS ONE* 15: e0232425.
- Caracuta, V., Vardi, J., Paz, Y., Boaretto, E. (2017). Farming legumes in the pre-pottery Neolithic: New discoveries from the site of Ahihud (Israel). *PLOS ONE* 12: e0177859.
- Chapagain und Risemann (2014). Barley-pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. *Field Crops Research* 166: 18-25.
- Congdon, B.-S., Coutts, B.-A., Renton, M., Banovic, M., Jones, R.-A.-C. (2016). Pea seed-borne mosaic virus in field pea: Widespread infection, genetic diversity, and resistance gene effectiveness. *Plant Disease* 100: 2475-2482.
- Davidson, J.-A., Krysinska-Kaczmarek, M., Leonforte, A.-L., McMurray, L.-S. (2011). Resistance to downy mildew (*Peronospora viciae*) in Australian field pea germplasm (*Pisum sativum*). *Australasian Plant Pathology* 40: 575.
- DeStatis (2021). Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Wachstum und Ernte – Feldfrüchte. Statistisches Bundesamt. Wiesbaden.
- Everaarts, A.-P., Sukkel, W. (2009). Yield and tenderometer reading relationships for smooth- and wrinkled-seeded processing pea cultivars. *Scientia horticultrae* 85: 175-182.
- Fairbanks, D.-J., Abbott, S. (2016). Darwin’s influence on Mendel: Evidence from a new translation of Mendel’s paper 204: 401-405. In: Fairbanks, D.-J., Hartl, D.-L., Seidenfeld, T. (eds). *Ending the Mendel-Fisher controversy*. University of Pittsburg Press.
- FAOSTAT (2022). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Fisher, R.-A. (1936). Has Mendel’s work been rediscovered? *Annual Science* 1: 115–137.
- Franklin, A. (2008). The Mendel-Fisher Controversy. In: Franklin, A., Edwards, A.-W.-F., Pires, A.-M., Branco, J.-A. (2010). A statistical model to explain the Mendel-Fisher controversy. *Statistical Science* 25: 545-565.
- Gärtner, C.-F. (1849). *Versuche und Beobachtungen über die Bastarderzeugung im Pflanzenreich*. KF Hering & Comp. Stuttgart.
- Gollner, G., Starz, W., Frieder, J.-K. (2019). Crop performance, biological N fixation and pre-crop effect of pea ideotypes in an organic farming system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* volume 115: 391-405.

- Hale, T. (1761). Allgemeine Haushaltungs- und Landwissenschaft. AH Holle Hamburg und Leipzig.
- Hedley, C.-L., Ambrose, M.-J. (1981). Designing "leafless" plants for improving yields of dried pea crops. *Advances in Agronomy* 34: 225-277.
- Hedrick- U.-P., Hall, F.-H., Hawthorn, L.-R., Berger, L. (1928). Peas of New York. Part 1 Vol. 1 of Vegetables of New York. Report of the New York State Agricultural Experiment Station. Albany JB Lion Company Printers.
- Ishee, J. (2015). Mr Jefferson and the Hotspur pea. <https://eu.newsleader.com/story/life/2015/02/21/mr-jefferson-hotspur-pea/23581615/>
- Jaranowski, J., Micke, A. (1985). Mutation Breeding No. 2: Mutation Breeding in Peas. Joint FAO/IAEA Division of Isotope and Radiation Applications.
- Jefferson, T. (1766-1824). Garden Book. Original manuscript from the Coolidge Collection of Thomas Jefferson Manuscripts, Massachusetts Historical Society.
- Jha, A.-B., Gali, K.-K., Alam, Z., Lachagari, V.-B.-R., Warkentin, W.-D. (2021). Potential Application of Genomic Technologies in Breeding for Fungal and Oomycete Disease Resistance in Pea. *Agronomy* 11: 1260.
- Jing, R., Vershinin, A., Grzebyta, J., Shaw, P., Smýkal, P., Marshall, D., Ambrose, M.-J., Ellis, T.-H.-N., Flavell, A.-J. (2010). The genetic diversity and evolution of field pea (*Pisum*) studied by high throughput retrotransposon based insertion polymorphism (RBIP) marker analysis. *BMC Evolutionary Biology* 10:44.
- Kreplak, J., Madoui, M.-A., Burstin, J. (2019). A reference genome for pea provides insight into legume genome evolution. *Nature Genetics* 51: 1411-1422.
- Laber, H. (2020). Schmetterlingsblütler. In: Laber, H. und G. Lattauschke (Hrsg.): Gemüsebau. 3. Aufl., Ulmer, Stuttgart.
- Laber, H. (2016). Abreife- und Ertragsverlauf von Markerbsen: Resümee aus 6 Versuchsjahren. Versuche im Deutschen Gartenbau, Gemüsebau, www.hortigate.de
- Laber, H. (2009). Optimierung des Temperatursummen-Modells zur Anbauplanung bei Gemüseerbsen durch Verminderung der Basistemperatur auf 1,8 °C. Versuche im Deutschen Gartenbau, Gemüsebau, www.hortigate.de
- Männel, M., Schäfer, B.-C., Haberlah-Korr, V. (2020). Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes im Anbau von Ackerbohne, Körnererbse und Süßlupinen. www.ufop.de
- Matus, D., Derksen, D.-A., Walley, F.-L., Loeppky, H.-A., van Kessel, C. (1997). The influence of tillage and crop rotation on nitrogen fixation in lentil and pea. *Canadian Journal of Crop Science* 77: 197-200.
- McGee, R.-J., Coyne, J.-J., Pilet-Nayel, M.-L., Moussart, A., Tivoli, B., Baranger, A., Hamon, C., Vandemark, G., McPhee, K. (2012). Registration of Pea Germplasm Lines Partially Resistant to *Aphanomyces* Root Rot for Breeding Fresh or Freezer Pea and Dry Pea Types. *Journal of Plant Registration* 6: 203-207.
- Mendel, G. (1866). Versuche über Pflanzenhybriden. Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn, Bd. IV für das Jahr 1865, Abhandlungen, 3-47.

- Miko, I. (2008). Gregor Mendel and the principles of inheritance. *Nature Education* 1: 134.
- Ottosson, L. (1975). Wie das Klima Drescherbsen beeinflusst. *Industrielle Obst- und Gemüseverwertung* 60: 106-109.
- Pellow, C., Sverdrup, A. (1923). New observations on the genetics of peas (*Pisum sativum*). *Journal of Genetics* 13: 125-132.
- Reckling, M., Döring, T.-F., Bergkvist, G., Stoddard, F.-L., Watson, C.-A., Seddig, S., Chmielewski, F.-M., Bachinger, J. (2018). Grain legume yields are as stable as other spring crops in long-term experiments across northern Europe. *Agronomy for Sustainable Development* 38: 63
- Sampaio, A.-M., Vitale, S., Turrà, D., Di Pietro, A., Rubiales, D., van Eeuwijk, F., Vaz Patto, M.-C. (2021). A diversity of resistance sources to *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* found within grass pea germplasm. *Plant and Soil* 463: 19-38.
- Smýkal, P., Kenicer, G., Flavell, A.-J., Corander, J., Kosterin, O., Redden, R.-J., Ford, R., Coyne, C.-J., Maxted, N., Ambrose, M.-J., Ellis, N.-T.-H. (2011). Phylogeny, phylogeography and genetic diversity of the *Pisum* genus. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization* 9: 4-18.
- Smýkal, P., Trněný, O., Brus, J., Hanáček, P., Rathore, A., Roma, R.-D., Pechanec, V., Duchoslav, M., Bhattacharyya, D., Bariotakis, M., Pirintsos, S., Berger, J., Toker, C. (2018). Genetic structure of wild pea (*Pisum sativum* subsp. *elatius*) populations in the northern part of the Fertile Crescent reflects moderate cross-pollination and strong effect of geographic but not environmental distance. *PLOS ONE* 13: e0194056.
- Snoad, B. (1974). A preliminary assessment of 'leafless peas'. *Euphytica* 23: 257-265.
- Snoad, B., Frusciante, L., Monti, L.-B. (1985). The effects of three genes which modify leaves and stipules in the pea plant. *Theoretical and Applied Genetics* 70: 322-329.
- Townsend, B. (1725). *The complete seedsman: Shewing the best and easiest method for raising and cultivating every sort of seed.* London.
- Townsend, B. (1726). *Der komplette Samenhändler oder die beste und leichteste Methode jede Art Samen, so zu einem Küchen- und Blumengarten gehöret, aufzuziehen und zu verpflegen.* Verlag JC Martini. Leipzig.
- Tracy, W.-W. (1903). *American varieties of vegetables for the years 1901 and 1902.* U.S. Department of Agriculture. Government Printing Office. New York.
- Trněný, O., Brus, J., Hradilová, I., Rathore, A., Roma, R.-D., Kopecký, P., Coyne, C.-J., Reeves, P., Richards, C., Smýkal, P. (2018). Molecular Evidence for Two Domestication Events in the Pea Crop. *Genes* 9: 535.
- Vershinin, A.-V., Allnutt, T.-R., Knox, M.-R., Ambrose, M.-J., Ellis, T.-H.-N. (2003). Transposable elements reveal the impact of introgression, rather than transposition, in *Pisum* diversity, evolution, and domestication. *Molecular Biology and Evolution* 20: 2067-2075.
- Wade, B.-L. (1937). Breeding and improvement of peas and beans. *USDA Yearbook* 1937: 251-281.

- Weldon, W.-F.-R. (1902). Mendel's laws of alternative inheritance in peas. *Biometrika* 1: 228-254.
- Wilcox, G., Fornite, S., Herveux, L. (2008). Early Holocene cultivation before domestication in northern Syria. *Vegetation History and Archaeobotany* 17: 313-325.
- Wolfparisblog (2016). Le potager du roi in Versailles, der Obst- und Gemüsegarten Ludwigs XIV. <https://paris-blog.org/tag/erbsen-am-hof-ludwigs-xiv/>
- Wolpert, L. (2004). *Unglaubliche Wissenschaft*. Eichborn Verlag, Frankfurt am Main.
- Woolridge, J. (1677). *Systema horticultrae* or the Art of Gardening. W. Freeman. London
- Zirkle, C. (1951). Gregor Mendel and his precursors. *Isis: A Journal of the History of Science Society* 42: 97-104.
- Zohary, D., Hopf, M. (1973).: Domestication of Pulses in the Old World: Legumes were companions of wheat and barley when agriculture began in the Near East. *Science* 182: 887-894.