

Mendel mich!

Mendelsche Regeln zum selber pflanzen



Ein Projekt der Vielfaltsgärten Sinzing

unter der Leitung von
Dr. Fabian Kellermeier



@PLANTASTICFARM

gefördert durch

Bayerischer Klimaschutzpreis 2023



Landesagentur für
Energie und Klimaschutz



Vielfaltsmeisterschaft 2022





Die Vielfaltsgärten Sinzing

Der Vielfaltsgarten im oberpfälzischen Sinzing wird von engagierten Gärtner:innen als sozial-ökologisches Gemeinschaftsprojekt unter dem Schirm des örtlichen Obst- und Gartenbauvereins betrieben. Eines der Hauptziele ist die Erhaltung der genetischen Vielfalt unserer Nutzpflanzen. Dazu werden gezielt nicht im normalen Handel erhältliche Sorten mit Gleichgesinnten getauscht oder aus Genbanken (siehe Herkunft) bezogen und das Saatgut vermehrt, wodurch deren Eigenschaften (und Genetik) auch für zukünftige Züchtungs- und Selektionsvorhaben verfügbar gemacht wird.

Zur Schaffung neuer Vielfalt werden außerdem gezielte Kreuzungs- und Selektionsexperimente durchgeführt. Einen Teil des dabei entstandenen Materials bekommen Sie hier im Rahmen des Projekts „Vielfalt in Garten und Schule“, welches im Jahr 2022 durch den Landesverband für Gartenbau mit dem 1. Platz der Vielfaltsmeisterschaft ausgezeichnet wurde. Die Vielfaltsgärten sind Teil des Verbunds *Tu was! Sinzing*, Preisträger des Bayerischen Klimaschutzpreises 2023.

Infos: <https://www.vielfaltsmacher.de/experten/ein-gemeinschaftsgarten-fuer-die-genetische-vielfalt/>
Aktuelles bei Instagram: [@plantasticfarm](https://www.instagram.com/plantasticfarm).

Herkunft des Saatgutes

Der Großteil der im Sortiment verwendeten Genotypen stammen aus der öffentlichen Genbank des Leibniz-Instituts für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) in Gatersleben. Hier werden zentral, für ganz Deutschland, genetische Ressourcen in Form von Samen oder vegetativem Vermehrungsmaterial (z. B. Knollen, Zwiebeln) bei tiefen Temperaturen eingelagert und regelmäßig vermehrt. Wissenschaftler und Pflanzenzüchter können die Datenbank durchsuchen, geeignetes Material für ihre Vorhaben auswählen und auch bestellen.

Link zur Datenbank: <https://gbis.ipk-gatersleben.de/>

Sortenbeschreibungen / Phänotypen

a) Mais

Tab. 1: Bestellbare Mais-Genotypen

Name	IPK Nr.	Zuckermais	sh2	Kornfarbe	Kornform
Alamo Navajo Blue	ZEA 3546	nein		blau-violett	Flint
Bijeli Kukuruz	ZEA 3566	nein		weiß	„Vampirzähne“
Express	ZEA 156	ja		gelb	Sweet
Mezdi		ja	+	gelb	Sweet
Red King	ZEA 128	nein		rot	Flint

Ein Teil der verwendeten Mais-Genotypen kann als **Zuckermais** verwendet werden. Dabei verhindern rezessiv vererbte Mutationen, dass während des Körnerwachstums Zuckern effizient in Stärke umgewandelt werden. Die frischen Zuckermaiskolben werden im Milchreife-Stadium geerntet, die Stärke-Synthese findet verzögert statt, so dass die reifen, trockenen Körner geschrumpft aussehen (Abb. 1).



Abb. 1: Roter F2-Kolben mit vollen und geschrumpften Körnern

Eine moderne Variante sind Zuckermais-Genotypen mit der „Supersweet“-Mutation am Locus **sh2**. Homozygote *sh2*-Individuen schmecken frisch noch süßer und sind im Reifezustand an besonders stark geschrumpften Körnern zu erkennen.

Die **Kornfarben** entstehen durch Farbstoffe aus der Gruppe der Carotinoide (gelb) und Anthocyane (blau-violett, rot), die in der Regel in die Aleuron-Schicht des Korns eingelagert werden (Ford, 2000). Es handelt sich um dominante Allele, rezessiv vererbte Mutationen blockieren die Biosynthese und führen zu einem Farbverlust (=> weißer Phänotyp). Überlagerungen verschiedener Farbstoffe können als ko-dominante Ausprägung sichtbar werden (z. B. blau + gelb => grün).

Bei den Kornformen unterscheidet man v. a. die Typen Pop, Flint, Dent und Sweet (Abb 2). Als Besonderheit ist im Set die Sorte *Bijeli Kukuruz* zu nennen, deren Körner sehr spitz zulaufen und fast an Vampirzähne erinnern.

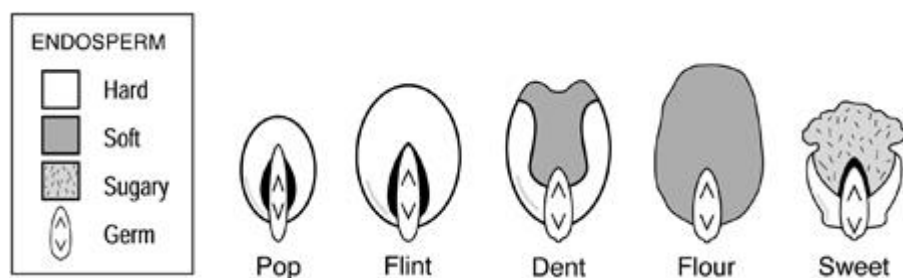


Abb. 2: Verschiedene Formen von Maiskörnern (nach Dickerson, 2003).

Abgesehen von den Maiskörnern gibt es weitere agronomische Merkmale, die beobachtet und gemessen werden können:

- Pflanzhöhe (Heterosis-Effekt der F1-Hybriden meist gut zu beobachten)
- Blütezeitpunkte (♂ und ♀ in der Regel zeitlich versetzt)
- Körnerreihen pro Kolben

b) Zuckererbsen

Alle verwendeten Erbsensorten entsprechen dem Zuckererbsen-Typ, d. h. sie können im frischen Zustand roh gegessen werden und haben dabei einen leicht süßen Geschmack. Aufgrund ihrer schnellen Entwicklung von der Aussaat im April bis zur Ernte im Juni-Juli sind sie für Schüler:innen-Versuche sehr gut geeignet.

Im hier zur Verfügung gestellten Set an Zuckererbsen-Sorten (Tab. 2) gibt es phänotypische Variation für folgende Merkmale (Abb. 3):

- Pflanzhöhe
- Blütenfarbe
- Blütenstellung
- Schotenform
- Samenform und -oberfläche
- Samenfarbe (siehe Abb. 4)

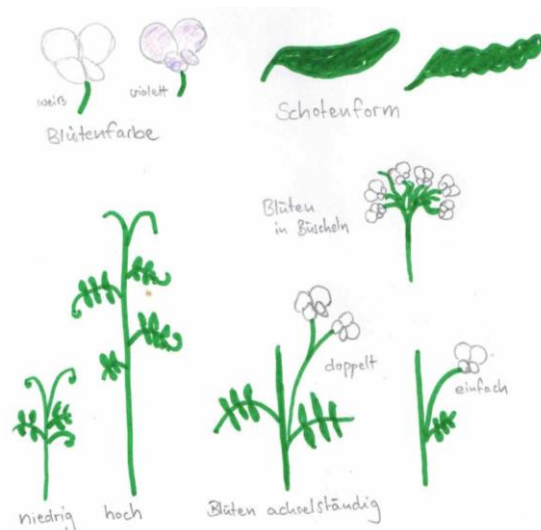


Abb. 3: Phänotypisch interessante Merkmale der wachsenden Erbsenpflanzen.

Tab. 2: Verfügbare Genotypen von Zuckererbsen inkl. ausgewählter Phänotypen (der P-Generation)

Sorte	IPK Nr.	Wuchshöhe	Korn Farbe	Korn Form	Korn Oberfläche	Blüte Farbe	Blüte Stellung
Anna	PIS 2277	niedrig	grün	kantig	runzelig	weiß	achsel
Cercvi	PIS 2346	hoch	grün-braun violette Punkte	eingedrückt	glatt	violett	achsel
Da-Bai-Wan-Doa	PIS 862	niedrig	gelb	rund	glatt	weiß	achsel
Gorokh Genri	PIS 5240	hoch	gelb	rund	glatt	weiß	achsel
Guisantes	PIS 2095	hoch	grün-braun violette Punkte	eingedrückt	glatt	violett	achsel
IPK.PIS 1513	PIS 1513	hoch	dunkelbraun	eingedrückt	glatt	violett	achsel
IPK.PIS 2699	PIS 2699	mittel-hoch	gelb	rund	glatt	weiß	achsel
Kesselheimer	PIS 5821	mittel	hellbraun	eingedrückt	glatt	violett	achsel
Kungs	PIS 1196	hoch	gelb	rund	glatt	weiß	achsel
Mammoth Podded Extra Early	PIS 134	hoch	grün-braun violette Punkte	eingedrückt	glatt	violett	achsel
Mangetout Rouge	PIS 6682	mittel	grün-braun violette Punkte	eingedrückt	glatt	violett	achsel
Moersheims Reuzen	PIS 5017	hoch	gelb	eingedrückt	glatt	weiß	achsel
Monster	PIS 5191	mittel-hoch	grün-braun violette Punkte	eingedrückt	glatt	violett	achsel
Ohlsen Enkes Reform	PIS 373	niedrig	gelb	eingedrückt	runzelig	weiß	achsel
Riesensäbel	PIS 5785	hoch	gelb	rund	glatt	weiß	achsel
Schweizer Riesen	PIS 180	hoch	braun	eingedrückt	glatt	violett	achsel
Stambovyj Zacharnyj	PIS 924	mittel	gelb	rund	glatt	weiß	endständig
Unzen Oosaya	PIS 2799	mittel	grün-braun violette Punkte	eingedrückt	glatt	violett	achsel
Vierzigtägige	PIS 205	hoch	gelb	rund	glatt	weiß	achsel
Zuckerperle	PIS 1189	klein	gelb	rund	glatt	weiß	achsel

Bei der Erstellung von Unterrichtsmaterial ist didaktische Reduktion ein wichtiges Prinzip. Insbesondere im biologischen Kontext führt sie jedoch leider oft zu stark verzerrten – und teilweise falschen – Darstellungen der Wirklichkeit. Phänotypische Merkmale werden durch eine Vielzahl an genetischen und umweltbedingten Faktoren beeinflusst. Sie folgen daher oft nicht dem gewünschten „Schwarz-Weiß-Bild“, das eindeutig zur Theorie passt.

Wir bitten Sie daher, bei der Analyse der Phänotypen die vielfältigen „Grau-Schattierungen“ als Chance für Interpretation und Diskussion anzunehmen. Die folgenden Hinweise könnten dabei hilfreich sein.

Die **Form und Oberfläche der Samenkörner** – klassischerweise als „rund“ oder „runzlig“ angegeben – ist ein anschauliches Beispiel für Gregor Mendels Forschungen und in vielen Schul- und Lehrbüchern zu finden. Die Entstehung des Phänotyps ist ähnlich wie bei Zuckermais. Da Zucker ein höheres osmotisches Potential als Stärke besitzen, schrumpfen zuckerhaltige Erbsenkörner beim Trocknen stärker als solche, die nur Stärke enthalten. Mutationen in Genen, die im Zucker-Stärke-Stoffwechsel während der Fruchtbildung eine Rolle spielen, beeinflussen daher den Phänotyp „Samenform“.

Die weitläufige Darstellung des Vererbungsmusters ist insoweit problematisch, dass nicht nur ein sondern mindestens zwei genetische Loci am Phänotyp beteiligt sind (Rayner et al., 2017), nämlich

1. der Locus R/r , der für ein Stärke-Verzweigungs-Enzym und
2. der Locus Rb/rb , der für die ADP-Glucose-Pyrophosphorylase codiert.

Es wird vermutet, dass in Mendels ursprünglichem Set nur Genotypen mit Variabilität am Locus R (also RR bzw rr) vorhanden waren.

Die hier zur Verfügung stehenden Sorten wurden nicht genotypisiert, weshalb keine Aussage über die genetische Basis der Phänotypen getroffen werden kann. Insgesamt ist der Phänotyp aber nicht eindeutig auf zwei Stufen festgelegt, wie auch bei Santos et al. (2019; Abb. 4) dargestellt. Stattdessen sollte klarer zwischen der **Form** (rund, kantig, eingedrückt) und der **Oberfläche** (glatt, runzlig) **unterschieden** werden. In unseren Vorversuchen war dies z. B. bei kleinen, runden Samenkörnern (z. B. Sorte *Da-bai-wan-doa*) und großen, eingedrückten (z. B. Sorte *Monster*) recht eindeutig möglich.

Hinweis: Abgesehen von der genetisch-bedingten Samenform spielen auch Umwelteinflüsse eine bedeutende Rolle. Insbesondere kann eine frühzeitige Ernte unreifer Samen zu einer übermäßigen Schrumpfung beim Trocknen führen, wodurch der Phänotyp möglicherweise falsch beschrieben wird.



Abb 4: Klassifikation der phänotypischen Merkmale von Erbsensamen nach Santos et al. (2019). Wichtig ist die Unterscheidung zwischen Körner-Oberfläche (surface) und der Form (shape).

Die **Farbe der Körner** wird durch Farbstoffe bestimmt, die in die Samenhülle eingelagert sind. Wie bei allen Angiospermen findet auch in Erbsen eine doppelte Befruchtung statt und der entstandene Embryo wird in eine Hülle aus vollständig mütterlichem Gewebe eingehüllt (Radchuk & Borisjuk, 2014).

Achtung: Die phänotypische Aufspaltung von Samenfarbe-Merkmalen ist daher frühestens in den Samen der F₂-Pflanzen (welche bereits die F₃-Embryos enthalten) zu beobachten; nicht am Ende der F₁-Generation! Dies wird in Literaturquellen leider oft falsch dargestellt.

Wie auch bei der Samenform gibt es umwelt- und erntebedingte Einflüsse auf die Samenfarbe – und damit Variation in genetisch einheitlichem Material (z. B. verschieden starke grün-orange-braun Töne).

Je nach ausgewählten Sorten können mono- und dihybride Erbgänge sowie polygene Phänomene untersucht werden. Eine grafische Übersicht über mögliche Kopplungen wurde anlässlich des 150. Erscheinungsjahres von Mendels Forschungsarbeiten zusammengestellt (Ellis et al., 2011; Abb. 5).

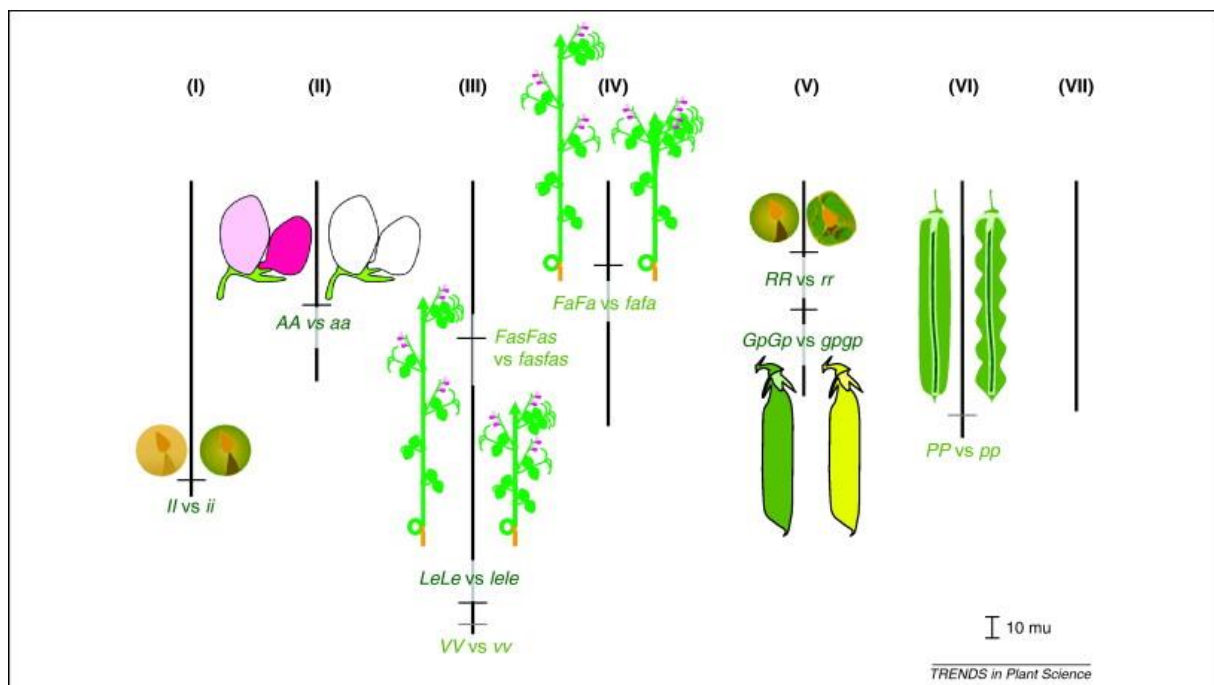


Abb. 5: Kopplungskarte ausgewählter phänotypischer Merkmale in Erbsen mit entsprechenden Allelen auf den Chromosomen I – VII (nach Ellis et al., 2011).

Anbau und Selbstbestäubung

Mais und Erbsen sind wärmeliebende Pflanzen und können im Freiland daher erst im Frühling gesät werden (Erbsen ab April, Mais ab Mitte Mai). In ausreichend großen Pflanzkübeln ist zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt auch ein geschützter Anbau im (Gewächs-) Haus möglich.

Halten Sie sich an generelle Anbauempfehlungen, wie sie überall in Gartenratgebern oder im Internet finden.

Um die Mendelschen Vererbungsregeln studieren zu können, muss darauf geachtet werden, dass sich die Pflanzen **selbst bestäuben**.

Bei **Zuckererbsen** ist die Gewinnung von Samen für das Auszählen von Phänotypen kein Problem, sie sind von Natur aus Selbstbestäuber, d. h. die Pollenkörner werden meist schon vor dem Öffnen der Blüten von den Staubblättern auf die Narbe übertragen. Beim Anbau müssen also keine gesonderten Maßnahmen ergriffen werden.

Das Herbeiführen gezielter Kreuzungen ist dafür umso schwieriger und erfordert einiges an Übung. Die Kelch- und Kronblätter ausgewählter Akzeptor-Blüten müssen in einem frühen, unreifen Stadium händisch mit einer Pinzette entfernt werden. Dann kann der Pollen einer anderen Donor-Pflanze auf die freistehende Narbe vorsichtig aufgetupft werden (Abb. 6). Auch wenn man dies sehr vorsichtig macht, ist die Erfolgsquote nie bei 100 %. Glücklicherweise sind handgekreuzte F1-Samen bei uns erhältlich.



Abb. 6: Handbestäubte Erbsenpflanze

Mais ist windbestäubt und daher eine auskreuzende Spezies. Selbstbestäubung erfolgt hier per Hand, indem zunächst die weiblichen Blüten durch einen Papierbeutel (Brotzeitbeutel) abgedeckt werden (Abb. 7). Dies sollte so früh wie möglich geschehen, sobald die Kolbenansätze sichtbar sind. Nun muss regelmäßig kontrolliert werden. Wenn die Kolbenhaare aus der Kolbenspitze herausragen wird Pollen von den männlichen Blüten an der Pflanzenspitze z. B. in einem zweiten Papierbeutel eingesammelt und auf die Kolbenhaare gestreut. Die Kolben werden sofort wieder eingetütet um eine weitere Bestäubung mit fremdem Pollen zu verhindern.

Im Internet finden sich zahlreiche Video-Anleitungen zur Handbestäubung (Suchbegriffe z. B. „corn hand pollination“). In den kommenden Jahren möchten wir selbst Video-Anleitungen veröffentlichen. Stay tuned!



Abb. 7: Die weiblichen Blütenteile der Maispflanzen werden durch Papiertüten vor Fremdbestäubung geschützt (A). Sobald die männlichen Blüten (B) Pollen abgeben, kann dieser gesammelt und auf die weiblichen Blüten derselben Pflanze übertragen werden.

Das von uns abgegebene Saatgut wurde ökologisch erzeugt, weshalb wir Schädlingsbefall nicht ausschließen können. Wir empfehlen, auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu verzichten. Wenn die Standorte bzw. die Erde jährlich gewechselt werden (=> Stichwort: Fruchtfolge), halten sich die Schäden in Grenzen.

Die häufigsten von uns beobachteten Schädlinge:

- Maiszünsler: Frisst sich durch den heranwachsenden Maiskolben. Es sind deutliche Fraßgänge sichtbar.
- Erbsenkäfer: Legt Eier in die heranwachsenden Samen. Die Larven fressen sich am nährstoffreichen Endosperm satt und verlassen die Körner durch kreisrunde Löcher, die deutlich von außen sichtbar sind. Wenn der Embryo nicht geschädigt wurde, keimen die Samen trotzdem.

Handel mit und Verbreitung von Saatgut

Der Handel mit Saatgut ist in Deutschland durch das Saatgutverkehrsgesetz (SaatG) und Saatgutverordnung (SaatV) geregelt. Ziele des Gesetzes sind die Erhaltung und Verbesserung der Saatgutqualität sowie eine adäquate Entlohnung von Pflanzenzüchtern über Lizenzgebühren.

Das Gesetz ist grundsätzlich streng ausgelegt und schränkt den kommerziellen Austausch von Saatgut – das sogenannte „Inverkehrbringen von Saatgut“ (§ 3 SaatG) - auch zwischen Privatpersonen und Institutionen stark ein.

Die im Handel verbreiteten Sorten sämtlicher Nutzpflanzen werden beim Bundessortenamt und den Saatgutankennungsstellen der Bundesländer registriert. Züchtungsunternehmen erhalten auf Antrag und Prüfung den Sortenschutz, der es Ihnen erlaubt, für den Anbau der von Ihnen entwickelten Sorten Lizenzgebühren zu erheben (vergleichbar einer Urheberlizenz).

Mehr Hintergrundinformationen dazu finden sich auf den Seiten des Bundessortenamts: <https://www.bundessortenamt.de/bsa/das-bsa/aufgaben>

Auch wenn bei den meisten hier angebotenen Sorten der Sortenschutz bereits ausgelaufen ist, fällt die Abgabe dennoch unter das SaatG und die SaatV.

Auf Antrag wurde uns von der Amtlichen Saatenanerkennung Bayern (LfL, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising) mit Schreiben vom 06.08.2021 die **Genehmigung** erteilt, „Saatgut für Bildungszwecke in Schulen“ kostenfrei zur Verfügung stellen zu dürfen. Das Saatgut dient in diesem Falle dazu, „das Züchtungsgeschehen bei Zuckrerbsen und Zuckermais in Schulen zu veranschaulichen. Aus diesem Grund ist nicht von einem kommerziellen Inverkehrbringen im Sinn der Saatgutverordnung auszugehen.“ Nichtsdestotrotz sind wir zum folgenden Hinweis verpflichtet:

Wir weisen die Empfänger des Saatgutes daraufhin, dass eine Weitervermehrung des Materials sautgutrechtlich nicht gestattet ist.

Sollten Sie für Ihre Experimente Nachschub benötigen, können Sie sich gerne bei uns melden. Für Rückfragen stehen wir jederzeit gerne zur Verfügung!

Kontakt:

Vielfaltsgärten Sinzing

Dr. Fabian Kellermeier
Rosenweg 5
93161 Sinzing

Email: f.kellermeier.1@gmail.com



Partner im Netzwerk Vielfaltsmacher

Literaturverzeichnis

Dickerson, George W. "Specialty corns." *Guide H (USA)* (1992).

Ellis, TH Noel, et al. "Mendel, 150 years on." *Trends in plant science* 16.11 (2011): 590-596.

Ford, Rosemary H. "Inheritance of kernel color in corn: explanations & investigations." *The American Biology Teacher* (2000): 181-188.

Radchuk, Volodymyr, and Ljudmilla Borisjuk. "Physical, metabolic and developmental functions of the seed coat." *Frontiers in plant science* 5 (2014): 510.

Rayner, Tracey, et al. "Genetic variation controlling wrinkled seed phenotypes in *Pisum*: how lucky was Mendel?." *International journal of molecular sciences* 18.6 (2017): 1205.

Santos, Carla S., et al. "Variation in pea (*Pisum sativum* L.) seed quality traits defined by physicochemical functional properties." *Foods* 8.11 (2019): 570.