



Auf den Spuren Gregor Mendels

Vor 150 Jahren publizierte der Augustinermönch Gregor Johann Mendel seine Abhandlung „Versuche über Pflanzen-Hybriden“. Darin formuliert er Thesen zur Vererbung, die bis heute die Grundlage unseres Verständnisses von Genetik bilden. Die bahnbrechende Publikation steht am Ende jahrelanger akribischer Forschung, deren Basis unzählige Erbsenkreuzungen darstellten. Und in der Tat ist das Kreuzen von zwei verschiedenen Erbsensorten keine große Hexerei. Man muss weder Mönch noch ausgebildete Naturforscherin sein. Ein bisschen Experimentierfreude in Kombination mit einer Pinzette reicht bereits aus, um Mendels Experimente im eigenen Garten nachvollziehen zu können.

*Eine methodische Anleitung von Florian Luf und Philipp Lammer
März 2017*



Kapitel Eins – Die Kreuzung	Seite 1
Kapitel Zwei – Der Mendel	Seite 8
Kapitel Drei – Die Sorten	Seite 16

*Foto Titelseite: Doris Steinböck / Alle übrigen Fotos von Rupert Pessl – www.rupertpessl.com
Graphiken aus Wikimedia Commons – commons.wikimedia.org*

Kapitel Eins – Die Kreuzung

Blütenaufbau und Bestäubungsbiologie

Wie viele andere Kulturpflanzen bringt auch die Erbse (*Pisum sativum*) zwittrige Blüten hervor. Das bedeutet, dass sowohl männlich wie auch weibliche Geschlechtsorgane in ein und derselben Blüte anzutreffen sind.



Diese räumliche Nähe bringt den Vorteil mit sich, dass sich jede Blüte unkompliziert selbst befruchten kann und somit keine weitere Blüte oder andere Pflanze für die Bildung einer Hülse notwendig ist. In der Tat ist die Blüte der Erbse so aufgebaut, dass es fast immer zu einer Selbstbefruchtung kommt. Der Bestäubungsprozess findet nämlich bereits im Knospenstadium statt. Wenn sich später die attraktiven Kronblätter („Fahne“ und „Flügel“) öffnen, hat die Bestäubung längst stattgefunden. Zudem sind die Geschlechtsorgane eng vom sogenannten „Schiffchen“ umschlossen. Durch diesen kompakten Blütenaufbau und die frühzeitige Bestäubung weist die Erbse in den meisten Regionen mit gemäßigttem Klima einen ausgesprochen niedrigen Anteil an Fremdbefruchtung auf (abhängig vom Insektenvorkommen, aber in der Regel unter 1 %).

Dies stellte eine wichtige Grundvoraussetzung für Mendels Beobachtungen dar. Denn nur bei einer strengen Selbstbefruchterin wie der Erbse zeigen sich die von ihm beschriebenen Phänomene in dieser Deutlichkeit. Hätte er beispielsweise anstelle der Erbsen ausschließlich mit Grünkohl experimentell gearbeitet, hätte dessen Neigung zur Fremdbefruchtung keine klaren Rückschlüsse auf die Mechanismen der Vererbung zugelassen und kaum jemand würde den Namen Gregor Mendel heute kennen. Eine detaillierte Darstellung einiger seiner Experimente findet sich im zweiten Teil dieser Anleitung. Fürs Erste freuen wir uns einfach dass Gregor wohl überlegt aufs richtige Gemüse gesetzt hat und schauen ihm beim Durchführen einer Kreuzung ein wenig über die Schulter.

Durchführung einer Erbsenkreuzung

Wie Gregor Mendel bereits 1866 festhielt, benötigt eine Erbsenkreuzung zwar etwas Aufmerksamkeit, entlohnt die Mühen aber in aller Regel mit hohen Erfolgsquoten:

"Die künstliche Befruchtung ist allerdings etwas umständlich, gelingt jedoch fast immer. Zu diesem Zwecke wird die noch nicht vollkommen entwickelte Knospe geöffnet, das Schiffchen entfernt und jeder Staubfaden mittelst einer Pincette behutsam herausgenommen, worauf dann die Narbe sogleich mit den fremden Pollen belegt werden kann."

Eigentlich ist damit alles gesagt und der grundsätzliche Ablauf einer Kreuzung ausreichend beschrieben. Doch für alle, denen die Anleitung des Augustinermönchs zu puristisch daherkommt, haben wir auf den nächsten Seiten die einzelnen Schritte noch etwas detailreicher illustriert.

Zuerst ist es wichtig eine Blüte im richtigen Stadium auszuwählen. Wie bereits erwähnt findet die Bestäubung sehr früh, noch im Knospenstadium, statt. Wenn wir eine Kreuzung durchführen wollen, müssen wir als rechtzeitig verhindern, dass es zu einer Selbstbestäubung kommt. Nur dann können wir in einem zweiten Schritt eine gezielte Bestäubung mit dem Pollen einer anderen Pflanze durchführen. Um die Selbstbefruchtung zu verhindern, entfernen wir die männlichen Geschlechtsorgane bevor diese beginnen den Pollen auszuschütten, wir führen also eine Kastration durch.

Schritt 1: Kastration der Mutterpflanze



Auf dem obigen Bild sind sieben Erbsenblüten in verschiedenen Stadien zu erkennen, von der Knospe bis zur vollständig geöffneten Blüte. Für eine Kreuzung geeignet sind in diesem Fall die Blüten 3 und 4. Jedoch ist auch zu beachten, dass der Zeitpunkt der Pollenausschüttung von

verschiedenen Faktoren, wie der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit, abhängt und dementsprechend variieren kann. Bemerkt man während der Kastration, dass bereits oranger Pollen aus den Staubbeuteln austritt, ist die Blüte auf alle Fälle bereits zu weit fortgeschritten und kann nicht mehr für eine gezielte Kreuzung verwendet werden.

Hat man eine Blüte im optimalen Stadium gefunden, beginnt man damit die Kelchblätter zu entfernen.



Danach klappt man die äußeren Blütenblätter (Fahne und Flügel) vorsichtig zur Seite und fixiert zwischen Daumen und Zeigefinger das freigelegte Schiffchen.



Nun beginnt die eigentliche Kastration. Mit der Pinzette entfernen wir das Schiffchen und die orangen Antheren werden sichtbar. Zu diesem Zeitpunkt sollte noch kein oranger Pollen auf den feinen Härchen der weißlich grünen Narbe erkennbar sein. Ansonsten haben die Antheren bereits Pollen ausgeschüttet und eine Selbstbefruchtung kann nicht mehr ausgeschlossen werden.



Schritt für Schritt werden nun die zehn Staubgefäße entfernt. Dabei sollte man mit der Pinzette stets an den weißen Staubfäden ansetzen und nicht an den orangen Staubbeuteln. Dadurch wird verhindert, dass die Pollensäcke aufplatzen und versehentlich eine Selbstbestäubung stattfindet.

Schritt 2: Bestäubung der Mutterpflanze mit dem Pollen der Vaterpflanze

Nun kommen wir zum zweiten Teil der Kreuzung. Dafür holen wir uns eine gerade frisch geöffnete Blüte von der gewünschten Vaterpflanze. Dann werden die äußeren Blütenblätter entfernt und das Schiffchen nach hinten gezogen oder auch entfernt, sodass der Pollen frei zugänglich ist.



Nun können wir diese Vaterblüte wie einen Pinsel zur Bestäubung verwenden. Durch vorsichtiges Aneinanderreiben der beiden Narben übertragen wir den Pollen der Vaterpflanze auf die zuvor kastrierte Blüte.



Gut erkennbar, bleiben die orangenen Pollenkörner in den klebrigen Härchen der Narbe haften. Gegebenenfalls kann man auch mit der Pinzette Pollen von der Vaterblüte auf die Mutterpflanze übertragen.



Zum Abschluss der Bestäubung verschließt man die Blüte wieder, indem man die zur Seite geklappten Blütenblätter in die Ausgangsposition zurückbringt. Dadurch wird der aufgebrachte Pollen vor Austrocknung geschützt und der Befruchtungserfolg erhöht.



Nun sollte man nur nicht auf eine adäquate Beschriftung vergessen! Denn sonst findet man die bearbeitete Blüte womöglich nie mehr wieder. Wird nur eine Kreuzung durchgeführt reichen farbige Wollfäden vollkommen aus. Sollen weitere Informationen einer bestimmten Blüte zugeordnet werden können, empfehlen sich kleine Papieretiketten, wie sie beispielsweise von der Firma *Baumann Saatzuchtbedarf* angeboten werden.



Schritt 3: Geduldig warten!

War unsere Kreuzung erfolgreich entwickelt sich aus der bearbeiteten Blüte wie gewohnt eine Hülse. Diese Hülse sieht zwar gleich aus wie alle anderen Hülsen der Mutterpflanze, doch die darin heranwachsenden Samen unterscheiden sich entscheidend von ihren selbstbefruchteten Nachbarn. Während bei einer Selbstbestäubung nur Erbanlagen von der Mutterpflanze an den Samen weitergegeben werden, besitzen die Samen in unserem Fall jetzt jeweils eine Hälfte mütterliche und eine Hälfte väterliche Gene. Durch diese Rekombination schaffen wir neue Vielfalt. Vielfalt aus der wir in weiterer Folge mit ein wenig Ausdauer eine eigene neue Haussorte entwickeln können.



Doch zuerst müssen wir noch geduldig warten bis unsere gekreuzten Samen ausreifen. Auch Gregor übte sich in Geduld und Ausdauer. Acht Jahre lang hat der leidenschaftliche Forscher Erbsen gekreuzt, Samen geerntet und wieder ausgesät, die daraus wachsenden Pflanzen ganz genau beobachtet und mathematische Zusammenhänge beschrieben. Am Ende stand eine Theorie, die das menschliche Verständnis über die Grundlage des Lebens für immer veränderte. Auch wenn seit damals viele Erkenntnisse hinzugekommen sind, bilden die Mendelschen Regeln nach wie vor das Fundament der Genetik und finden sich daher in jedem Biologiebuch.

Grund genug im zweiten Teil dieser Kreuzungsanleitung eine kleine Zeitreise zu machen. Auf den nächsten Seiten möchten wir in Gregors Gedankenwelt des 19. Jahrhunderts eintauchen und alle dazu einladen mit der gerade erlernten Technik die eine oder andere Mendelsche Kreuzung auch im eigenen Garten auszuprobieren. Auf diese Weise lassen sich genetische Grundprinzipien mit einfachsten Mitteln an lebendigen Pflanzen beobachten und nachvollziehen. Ein bereicherndes Experiment, das sich selbst in einem kleinen Garten oder gar auf der Dachterrasse umsetzen lässt. Damit der praktischen Umsetzung tatsächlich nichts mehr im Wege steht, findet sich im dritten Kapitel eine kleine Auswahl geeigneter Erbsensorten samt möglicher Bezugsquellen.

Kapitel Zwei – Der Mendel

Die hier dargestellten Versuche sind ein kleiner Auszug aus dem 1866 von Gregor Mendel veröffentlichten Artikels „Versuche über Pflanzen-Hybriden“. Erschienen ist der Text im vierten Band der „Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn“ und kann im Original beispielsweise hier nachgelesen werden: <https://archive.org/details/versucheberpfla00mend>

Wenig überraschend begann Gregor Mendel seine Forschungen damit, sich Überblick über die vorhandene Erbsenvielfalt zu verschaffen. Nach zweijähriger Sichtung von 34 Sorten, wählte er sieben verschiedene Erbseneigenschaften aus, die er in den nachfolgenden Jahren in zahlreichen Versuchsreihen analysierte. Gezielt suchte der Forscher Merkmale aus, bei denen zwei Formen klar unterscheidbar waren. Wie Mendel bezeichnen auch wir hier im weiteren Verlauf des Textes diese Eigenschaften mit dem geläufigen Fachbegriff „Merkmale“.

1. Samenform (rund / runzlig)
2. Samenfarbe* (gelb / grün)
3. Blütenfarbe (weiß / violett)
4. Hülsenform (gewölbt / eingeschnürt)
5. Hülsenfarbe (gelb / grün)
6. Stellung der Blüten (in den Achseln / endständig)
7. Wuchsform (hoch / niedrig)

Samen		Blüte	Schote		Stängel	
Form	Keimblatt	Farbe	Form	Farbe	Ort	Größe
						
grau & rund	gelb	weiß	voll	gelb	mittig Sch., und Blüten	lang 1,8m-2,1m
						
weiß & schrumpelig	grün	violett	verengt	grün	abschl. Sch., Blüten oben	kurz (<30cm)
1	2	3	4	5	6	7

This file is made available under the Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication

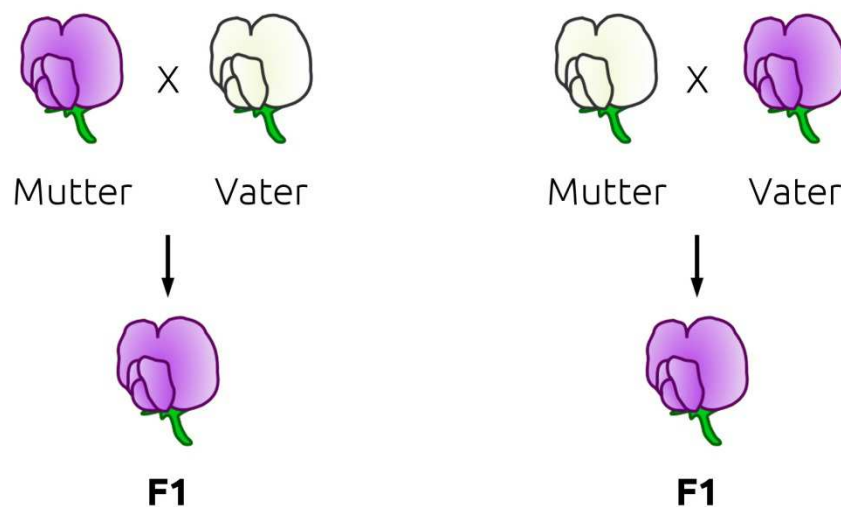
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mendel_seven_characters-ger.svg

* Samenfarbe bezieht sich hier konkret auf die Keimblätter im Inneren des Samens. Rundherum befindet sich eine Samenschale, die wiederum verschiedene Farben, wie rotbraun oder weiß, aufweisen kann.

Wie Mendel mit seinen umfangreichen Versuchen zeigte, weisen alle dieser Merkmale dieselben Regelmäßigkeiten bei der Vererbung auf. Im Sinne der Einfachheit konzentrieren wir uns hier aber nur auf ausgewählte Merkmale und geben nur einen Teil der Experimente wieder.

Anfang der 1860er Jahre begann der eifrige Mönch also damit Kreuzungen anzulegen. Gelbsamige Sorten wurden mit grünsamigen gekreuzt, hohe mit niedrigen, und so weiter... Dabei stellte Mendel rasch fest, dass sich bestimmte Eigenschaften in der ersten Nachkommengeneration durchsetzen, während andere vollkommen verschwinden. Außerdem beobachtete der Forscher, dass sich die Nachkommen dieser ersten Generation untereinander nicht wesentlich unterscheiden.

So zeigten beispielsweise sämtliche Nachkommen aus der Kreuzung zwischen einer weiß blühenden und einer violett blühenden Pflanze ausschließlich violette Blüten. Dabei spielte es keine Rolle ob die Mutter- oder die Vaterpflanze die violette Blüte hatte, stets setzte sich die violette Farbe durch. Mendel bezeichnete daher violette Blüten als „dominierende“ und weiße Blüten als „recessive Merkmale“. Diese Begriffe finden in leicht abgewandelter Form („dominant“ & „rezessiv“) bis heute Verwendung.

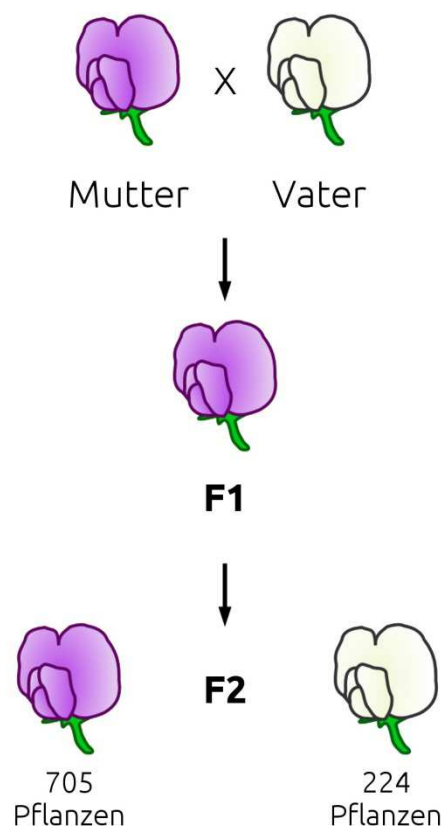


Diese Beobachtungen in der ersten Generation nach einer Kreuzung werden heute als erste Mendelsche Regel („Uniformitätsregel“) zusammengefasst. Demnach zeigt die erste Generation nach einer Kreuzung einheitlich das dominante Merkmal. Häufig wird diese Generation auch als „Hybridgeneration“ oder „F₁“ (Abkürzung für „erste Filialgeneration“) angesprochen.

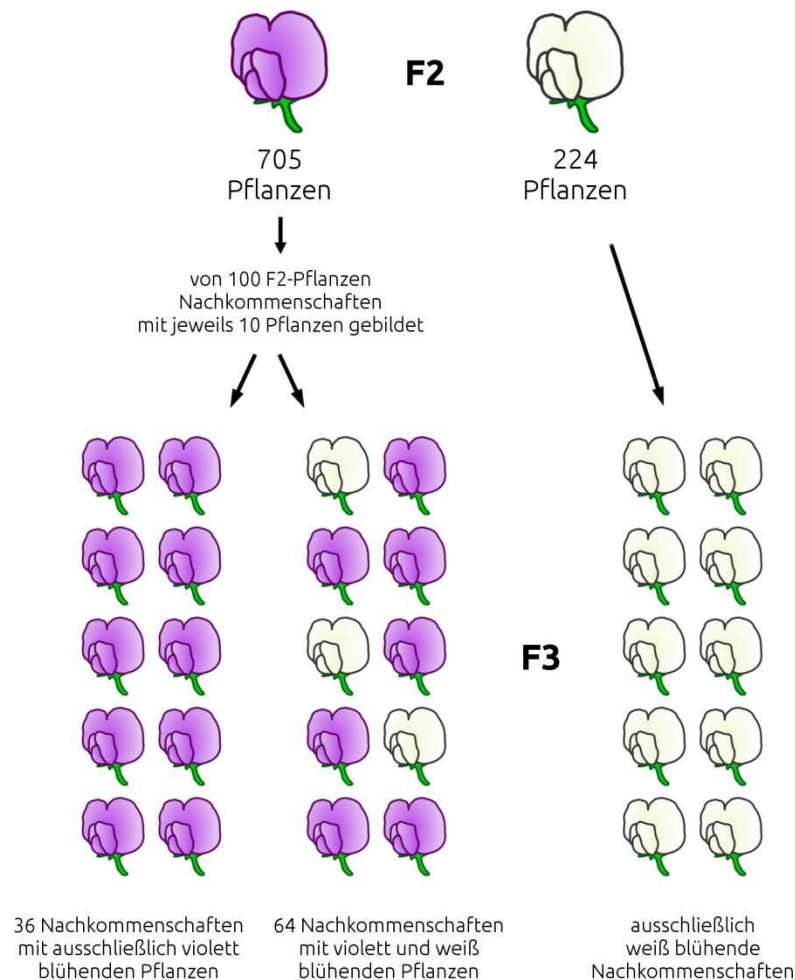
Damit gab sich unser Gregor natürlich noch nicht zufrieden. Er ließ die Hybridgeneration sich selbst bestäuben und säte das daraus gewonnene Saatgut erneut aus. Nun hatte Mendel also die zweite Nachkommengeneration (F₂) im Garten stehen und interessanterweise zeigte sich diese deutlich vielfältiger als die Hybridgeneration: Erneut traten plötzlich wieder beide Elternformen in Erscheinung, weiße und violette Blüten.

Dieses Phänomen war grundsätzlich nicht neu und bereits von zahlreichen Gärtnern und Forscherinnen beobachtet worden. Was die Arbeiten von Mendel aber nun so besonders macht, ist sein Versuch mathematische Zusammenhänge für diese Beobachtungen zu finden. Unter Pflanzenwissenschaftlern der damaligen Zeit war diese Herangehensweise keinesfalls unüblich. Vielerorts zählte man leidenschaftlich Blütenbestandteile und maß Blattflächen, mit Freude wurden Beträge multipliziert und Wurzeln gezogen. Daraus entwickelte die wissenschaftliche Elite abenteuerliche Formeln und mathematische Gesetze, die heute, leider zurecht, größtenteils wieder in Vergessenheit geraten sind. Gregor Mendel stellt diesbezüglich wohl die erfolgreichste Ausnahme seiner Zeit dar und wir finden seine Gedanken auch heute noch in jedem Biologieschulbuch.

Aber wieder zurück ins Brno der 1860er Jahre: Akribisch begann Gregor die Nachkommen seiner Kreuzungen zu kategorisieren und zu zählen. Dabei stellte er beispielsweise fest, dass 705 Pflanzen violette Blüten zeigten und lediglich 224 weiße Blüten hervorbrachten. Das kommt einem Verhältnis von 3:1 erstaunlich nahe (exakt 3,147:1). Interessanterweise fand Mendel auch bei den anderen Merkmalen ähnliche Verhältnisse. Der Forscher war sich sicher, dass das kein Zufall sein konnte. Auf Basis seiner Beobachtungen formulierte er ein theoretisches Konzept, das wir heute als zweite Mendelsche Regel („Spaltungsregel“) kennen.



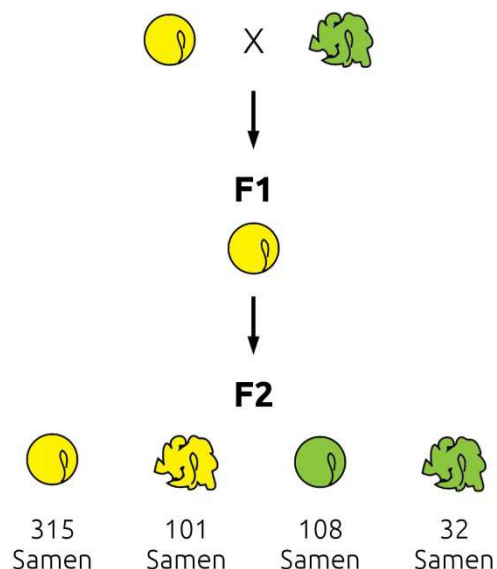
Und weil er gerade dabei war, kultivierte der gute Gärtner auch gleich noch eine dritte Generation (F_3). Dafür wählte er willkürlich hundert von den 705 violett blühenden F_2 -Pflanzen aus und erntete von jeder dieser Pflanzen separat Saatgut. Im nächsten Jahr säte er alle 100 Nachkommenschaften getrennt wieder aus, mit jeweils 10 Pflanzen.



In 36 von 100 Fällen zeigten sämtliche der zehn Nachkommen ausschließlich violette Blüten. In 64 Nachkommenschaften beobachtete Mendel hingegen sowohl weiß blühende Individuen, wie auch violett blühende. Obwohl alle in der F_2 -Generation ausgewählten Pflanzen äußerlich gleich ausgesehen hatten, musste ihr inneres Wesen offensichtlich doch unterschiedlicher Natur gewesen sein. Interessanterweise zeigte sich erneut ein bestimmtes Verhältnis (durchschnittlich 2:1) bei sämtlichen dominanten Merkmalen die Mendel untersuchte. Bei rezessiven Merkmalen beobachtete Mendel dieses Phänomen hingegen nicht. In diesem Fall zeigten sämtliche Nachfahren ebenso die rezessive Merkmalsausprägung. Mendel wendet hier bereits gezielt eine Methode an, die heute als „Nachkommenschaftsprüfung“ bezeichnet wird und weite Verbreitung in der Pflanzenzüchtung beziehungsweise Züchtungsforschung findet. Die Grundidee besteht darin, durch die Beurteilung der Nachkommen besser zu verstehen welche Genetik die Elternpflanzen in sich trugen.

Aber nun zurück in den tschechischen Erbsenzuchtgarten. Ausgehend von diesen ersten Versuchen konzipierte Gregor Mendel dann weitere mehrjährige Versuchsreihen. Um der Langeweile beim Erbsenzählen vorzubeugen, betrachtete Gregor nun nicht mehr einzelne Merkmale, sondern beschäftigte sich lieber mit dem Zusammenspiel von zwei verschiedenen Eigenschaften. Erneut wiederholte der Forscher seine Versuchsreihen mit unterschiedlichen Merkmalen. Die umfangreichsten Auswertungen führte er mit Samenmerkmalen durch. Hier ist zu beachten, dass sich die hier betrachteten Sameneigenschaften noch im Jahr der Kreuzung zeigen. Während das Aussehen der Hülse zwar noch ausschließlich von der Mutterpflanze bestimmt wird, ist der darin heranwachsende Samen ja bereits das Produkt einer Kreuzung. Dementsprechend wird das Aussehen des Samenkorns aus der Kombination von Ei- und Pollenzelle geprägt.

Gregor Mendel kreuzte nun eine Sorte mit runden gelben Samen (beides dominant) mit einer Sorte mit runzligen grünen Samen (beides rezessiv). Die daraus wachsenden Hybridsamen glichen vollständig denen des ersten Elters, sie zeigten eine runde Form und gelbe Farbe. Interessant wurde es dann erneut in der F₂-Generation: nun zeigten sich nicht nur die Merkmalskombinationen der Eltern, sondern auch ganz neue Varianten. So traten erstmals auch runzlige gelbe beziehungsweise runde grüne Samen in Erscheinung. Mendel wäre nicht Mendel hätte er nicht auch diese Erbsen gründlich ausgezählt. Und tatsächlich, auch hier fand der Forscher Muster, die bei allen verschiedenen Kreuzungen gleichermaßen auftraten (9:3:3:1).



Auch zu diesem Phänomen formulierte der Forscher theoretische Überlegungen in seinem Artikel. Er ging davon aus, dass unterschiedliche Merkmale unabhängig voneinander vererbt werden und sich daher in den Nachkommen zum Teil auch neu kombinieren können. Diese These wurde inzwischen für viele Merkmale bestätigt und ist als dritte Mendelsche Regel („Unabhängigkeitsregel“) bekannt.

Gregor Mendel erkannte also anhand empirischer Forschung klare mathematische Gesetzmäßigkeiten innerhalb der verschiedenen Nachkommenschaften. Der damalige Stand der Wissenschaft bot jedoch keinen brauchbaren theoretischen Erklärungsansatz für die beobachteten Phänomene. Um diese Lücke zu schließen schuf Mendel den Begriff „Factoren“. In Gregors Vorstellung musste es etwas außerhalb unserer Wahrnehmung geben, das diese Regelmäßigkeiten bedingte. Er stellte sich Einheiten vor, die von der Elternpflanze an jede Pollen- und in jede Eizelle gleichermaßen weitergegeben werden. Bei der Befruchtung treffen dann zwei dieser Einheiten wieder aufeinander und erzeugen im Zusammenwirken das Erscheinungsbild des neu entstehenden Samens und der daraus wachsenden Pflanze. Heute sind diese Faktoren, die sich Gregor auf rein theoretischer Ebene ausgedacht hat, weitreichend erforscht. Mit verschiedenen Techniken ist es uns inzwischen auch gelungen sie tatsächlich sichtbar zu machen, wovon man zu Mendels Zeit nur träumen konnte. Lediglich die Begrifflichkeiten haben sich mittlerweile geändert, so nennen wir diese Einheiten heute nicht mehr „Factoren“ sondern „Allele“ (häufig unscharf auch „Gene“).

Während sich Mendel den grundlegenden Vererbungsprozessen mit einer züchterischen Perspektive näherte, erhielt das Thema gegen Ende des 19. Jahrhunderts auch in der zellbiologischen Forschung zunehmend Aufmerksamkeit. Durch neue Erkenntnisse verstand man immer besser, welche Rolle die Zelle und der Zellkern bei der Fortpflanzung spielen. Begriffe wie „Chromosomen“ und „Mitose“ wurden eingeführt und als sich die einzelnen Forschungsarbeiten zu einer umfangreichen Theorie verdichtet hatten (Chromosomentheorie der Vererbung) fügten sich die lange Zeit eher wenig beachteten Beobachtungen von Mendel als ein zentraler Baustein in ein großes Gesamtkonzept ein.

Heute wissen wir, dass DNA die Trägerin von Mendels „Factoren“ ist und dass sich diese DNA in den Chromosomen befindet. Die Erbse besitzt wie wir Menschen und viele andere Organismen einen diploiden Chromosomensatz. Das hört sich kompliziert an, bedeutet aber lediglich dass jeweils zwei „Factoren“ vorhanden sind. Jede Erbsenpflanze besitzt demnach also zwei Allele für das Merkmal violette Blütenfarbe.

Bei der Fortpflanzung treten temporär haploide Geschlechtszellen auf, Zellen mit nur einem Allel. Somit entscheidet der Zufall darüber welches der im Organismus vorhandenen Allele an die Pollen- beziehungsweise Eizelle weitergegeben wird. Bei der Reproduktion verschmelzen diese einfach gestrickten Geschlechtszellen dann wieder zu einer diploiden Zelle, aus der sich dann wiederum eine diploide Pflanze entwickelt. Diese Pflanze trägt nun ein Allel aus der Pollenzelle und ein Allel aus der Eizelle in sich.

Betrachten wir die zuvor beschriebenen Versuche Mendels nun erneut, stimmen die praktischen Beobachtungen einwandfrei mit dem theoretischen Konzept überein. Im Beispiel der Blütenfarbe steht B für das dominante Allel, das eine violette Blüte bedingt und b für das rezessive Allel für weiße Blütenfarbe. Eine violett blühende Sorte trägt zweimal das Allel B, während eine weiß blühende Sorte mit bb beschrieben werden kann. Folglich ist der Hybrid aus diesen beiden Bb.

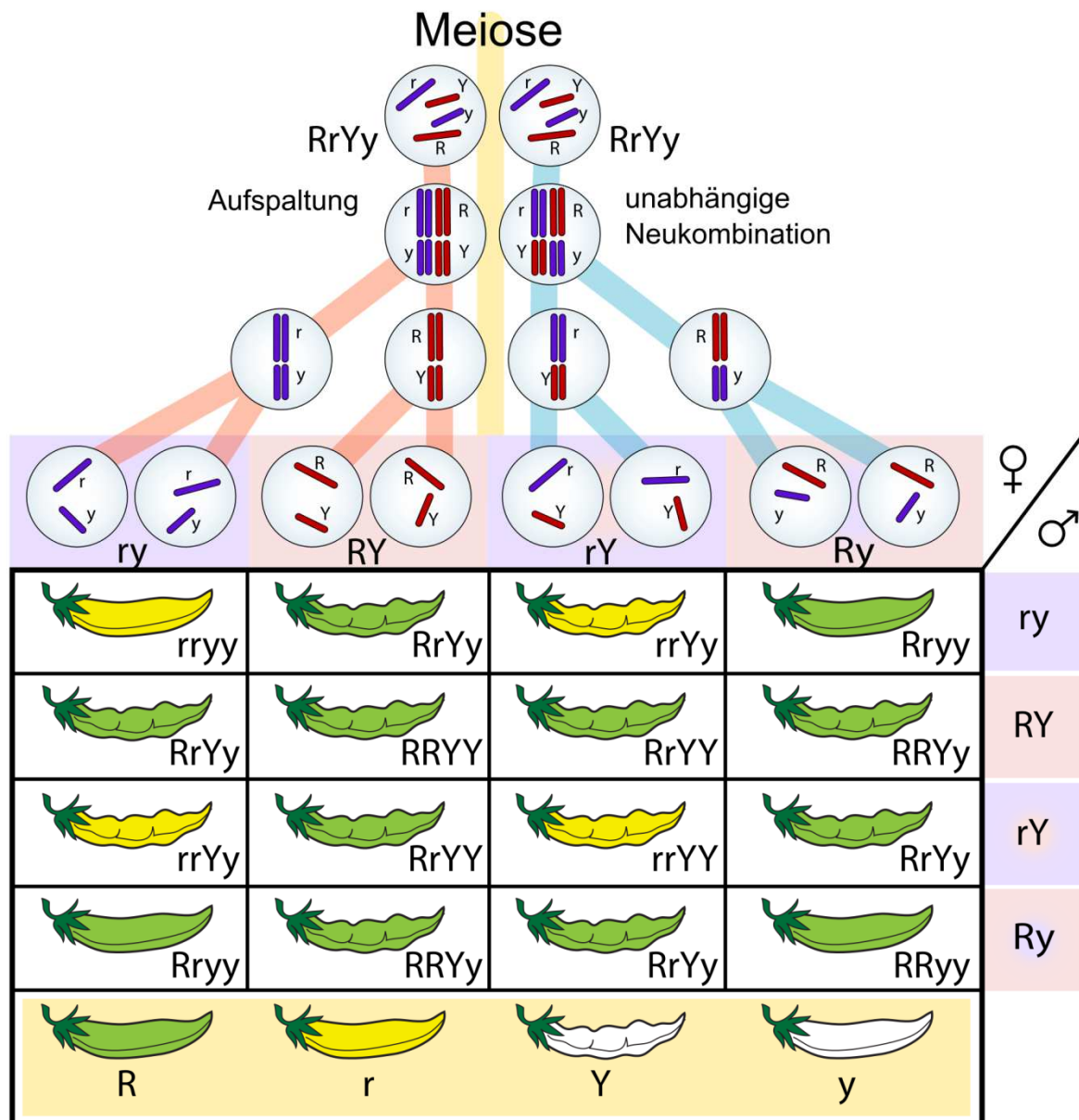
Im nächsten Schritt kommt es nun zu einer zufälligen Verteilung in den Pollen- beziehungsweise Eizellen. Wie in der nachfolgenden Graphik dargestellt, trägt etwa die Hälfte der Geschlechtszellen B und die andere Hälfte b. Bei der Befruchtung sind daher verschiedene Kombinationen möglich, die in der F₂-Generation dann in Erscheinung treten. Dreiviertel der F₂-Nachkommen zeigen violette Blüten und das restliche Viertel blüht weiß. Bei Praxisversuchen wird der Anteil von weiß blühenden natürlich nur selten exakt 25 % betragen. Kultiviert man nur wenige Individuen kann es sein, dass sich durch Zufall abweichende Verhältnisse zeigen. Betrachtet man hingegen viele Nachkommen, wie es auch Mendel machte, nähern sich die beobachtbaren Verhältnisse dem theoretisch ermittelten Werten an.

		 pollen ♂	
		B	b
 pistil ♀	B	 BB	 Bb
	b	 Bb	 bb

*This file is made available under the Creative Commons CC0 1.0 Universal Public Domain Dedication
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Punnett_square_mendel_flowers.svg*

Hier wird auch erkennbar, warum Mendel Unterschiede in den F₃-Nachkommenschaften der violett blühenden F₂-Pflanzen entdeckte, obwohl ja alle Nachkommen von optisch identen Elternpflanzen abstammten. Aufgrund des dominanten Charakters der violetten Blütenfarbe, blühen alle Pflanzen violett sobald sie ein violettes Allel besitzen. Wie Mendel erkannte, sind zwar alle violett blühende Pflanzen äußerlich nicht unterscheidbar, tragen aber trotzdem teilweise verschiedene Erbanlagen (BB beziehungsweise Bb). Erst in der nächsten Generation treten diese Unterschiede in Erscheinung. Während die Nachkommen der BB-Pflanze ausschließlich wieder BB-Pflanzen hervorbringen, kommt es bei Bb-Pflanzen erneut zur Aufspaltung wie bereits in der F₂-Generation. Daraus ergibt sich das von Mendel beobachtete Verhältnis von 2:1 bei der Nachkommenschaftsprüfung.

Und zum Abschluss schauen wir uns jetzt auch noch einen sogenannten „dihybriden“ Erbgang auf theoretischer Ebene an, auch wenn es hier schon etwas komplizierter wird. In der folgenden Abbildung ist die Kombination zweier unabhängigen Merkmale in der F₂-Generation dargestellt. Wie zuvor bei den Samenmerkmalen zeigen sich auch bei den Hülisen verschiedene Merkmalskombinationen im Verhältnis von 9:3:3:1. In der Graphik wurden die Mendelschen Regeln mit der Chromosomentheorie der Vererbung zusammengeführt.



This work has been released into the public domain

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Independent_assortment_%26_segregation.svg

Kapitel Drei – Die Sorten

Um den Einstieg in die Erbsenzüchtung zu erleichtern haben wir für zwei Mendelversuche geeignete Sorten recherchiert:

Mendelexperiment 1: Samenfarbe und Samenform

Besonders einfach durchzuführen, sind Experimente mit Samenmerkmalen. Denn wie zuvor beschrieben, kann man bereits im zweiten Jahr die Aufspaltung in den F2-Samen beobachten. In der Tabelle sind einige Sorten angeführt, die geeignet sind das oben dargestellte Mendel Experiment mit zwei unabhängig vererbten Samenmerkmalen zu wiederholen.

Geeignete Sorten:

<i>Gelbe runde Samen</i>	<i>Grüne kantige Samen</i>
Vierzigtägige Zuckerbse (Arche Noah EZ004)	Tschechische Erbse (Arche Noah ER240)
Norli (Reinsaat)	Van Waverens Titan(Arche Noah ER027)

Erstes Jahr: Kreuzung + Ernte F1-Saatgut

Zweites Jahr: F1-Pflanzen + Ernte F2-Saatgut

(Anmerkung: um die grüne Samenfarbe zu erkennen muss man teilweise recht genau hinschauen. Gregor dazu im Originalton: „Bei der Abzählung der Samen wird jedoch, namentlich beim 2. Versuche, einige Aufmerksamkeit erfordert, da bei einzelnen Samen mancher Pflanzen die grüne Färbung des Albumens weniger entwickelt wird und anfänglich leicht übersehen werden kann.“)

Mendelexperiment 2: Blütenfarbe und Hülsenfarbe

Ein Jahr länger dauert das experimentieren, wenn man Eigenschaften der Pflanzen betrachtet. In diesem Fall müssen die F2-Samen logischerweise tatsächlich ausgesät werden, denn erst die daraus wachsenden Pflanzen zeigen die betrachteten Merkmale.

Geeignete Sorten:

<i>Violette Blüten und grüne Hülsen</i>	<i>Weißer Blüten und gelbe Hülsen</i>
'Mahunar' (Arche Noah EZ017)	'Krimberger Erbse' (Arche Noah EZ022)
'Schweizer Riesen' (Reinsaat)	'Suppenerbse Rupp' (Arche Noah ES055)

Erstes Jahr: Kreuzung + Ernte F1-Saatgut

Zweites Jahr: F1-Pflanzen + Ernte F2-Saatgut

Drittes Jahr: F2-Pflanzen

Eigene Erbsenexperimente

Eine Jahrtausende alte Kulturpflanze hat natürlich weit mehr zu bieten als die sieben Merkmalspaare die Mendel in seiner Publikation betrachtet hat. Der Experimentierfreude sind hier keine Grenzen gesetzt! Warum nicht mal eine Erbse mit violett gescheckten Hülsen (z.B.: 'Erler Erbse' ES054) mit einer gelbhülsigen (z.B.: 'Suppenerbse Rupp' ES055) kreuzen? Oder wie vererben sich eigentlich akazienförmige Blätter (z.B.: 'Akazienblättrige Weißblühende' ER205) oder rosa Blütenfarbe (z.B.: 'Crown Pea' ES057)? Was passiert wenn ich eine Zuckerbse mit einer winterfesten Felderbse kreuze? Lassen sich besonders große Hülsen mit besonders dickfleischigen Hülsen kombinieren?



Auch wenn sich diese Liste noch lange fortsetzen ließe, möchten wir an dieser Stelle keine weitere Zeit vergeuden und dem praktischen Experimentieren nicht weiter im Wege stehen. Wir wünschen gutes Gelingen für die eigenen Kreuzungsvorhaben und freuen uns jederzeit über Erfahrungsaustausch mit gleichgesinnten Erbsenliebhabern und Hausgartenzüchterinnen. Rückmeldungen jeglicher Art, von intuitiven Beobachtungen bis hin zu präzisen Mendelschen Auszählungen, an die unten angeführten Emailadressen sind jederzeit sehr willkommen!

Weiter Kreuzungsanleitungen für andere Kulturpflanzen sowie allerhand Lesenswertes rund ums Thema Sortenentwicklung im eigenen Hausgarten gibt's auf unserer Homepage:
<https://www.arche-noah.at/sortenerhaltung/sorten-entwickeln/sortenentwicklung-im-hausgarten>



Kontakt:

Philipp Lammer (philipp.lammer@arche-noah.at)

Florian Luf (florian.luf@arche-noah.at)