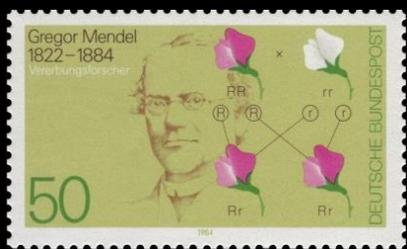


Warum Erbsenzählen wichtig ist: Gregor Mendels Experimente



Ortrun Mittelsten Scheid

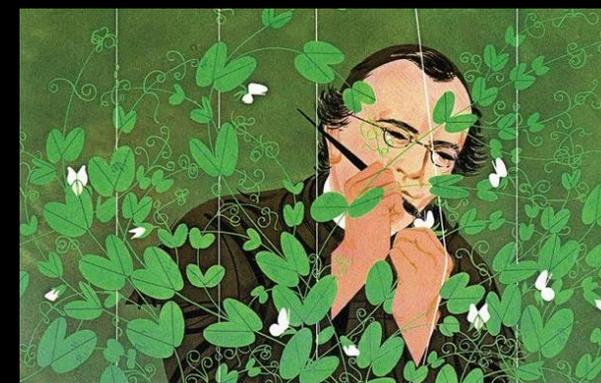
Gregor Mendel Institut
Wien, Österreich



„Vater der Genetik?“



Horst Janssen



Charley Harper



Lily McKiernan

Übersicht

Ausgangslage

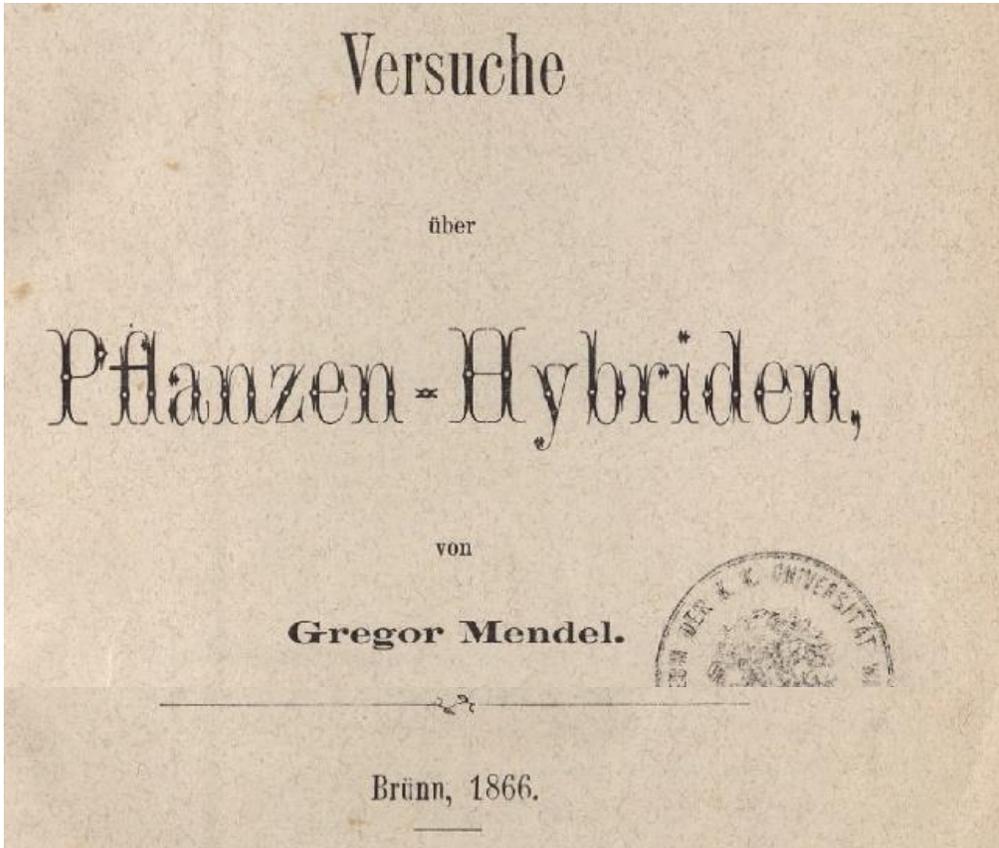
Kluge Vorbereitung

Mendelsche Vererbung

Eine Portion Glück

Nicht-Mendelsche Vererbung

Mendels Ausgangspunkt



„Wer die Arbeiten auf diesem Gebiet überblickt, wird zu der Ueberzeugung gelangen, dass unter den zahlreichen Versuchen keiner in dem Umfange und in der Weise durchgeführt ist, dass es möglich wäre, die Anzahl der verschiedenen Formen zu bestimmen, unter welchen die Nachkommen der Hybriden auftreten, dass man diese Formen mit Sicherheit in den einzelnen Generationen ordnen und die gegenseitigen numerischen Verhältnisse feststellen könnte.“

„Es gehört allerdings einiger Muth dazu, sich einer so weitreichenden Arbeit zu unterziehen....“

„Ob der Plan, nach welchem die einzelnen Experimente geordnet und durchgeführt wurden, der gestellten Aufgabe entspricht, darüber möge eine wohlwollende Beurtheilung entscheiden.“

Die Auswahl der Merkmale

34 Sorten mit verschiedenen Eigenschaften



Test auf Stabilität und Einheitlichkeit (1854)



22 Sorten



Beobachtung der Merkmale in Kreuzungen



Wahl der Merkmale („entweder/oder“ statt „mehr oder weniger“)



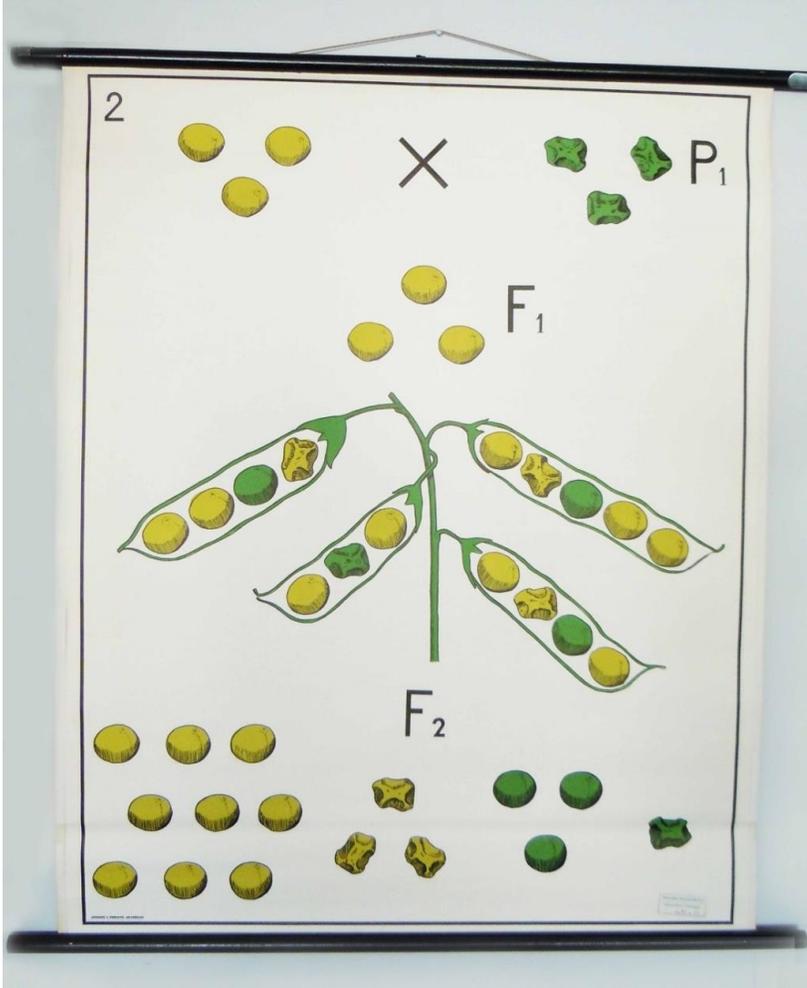
7 Merkmale, darunter Samenfarbe, Samenform



www.plantura.garden



9:3:3:1 Spaltung im Logo



Um diese Voraussetzungen auf experimentellem Wege einer Prüfung zu unterziehen, wurden folgende Versuche ausgewählt: Zwei Formen, welche in der Gestalt der Samen und in der Färbung des Albumens constant verschieden waren, wurden durch Befruchtung verbunden.

Werden die differirenden Merkmale wieder mit *A, B, a, b* bezeichnet, so war:

AB Samenpflanze,
A Gestalt rund,
B Albumen gelb,

ab Pollenpflanze.
a Gestalt kantig.
b Albumen grün.

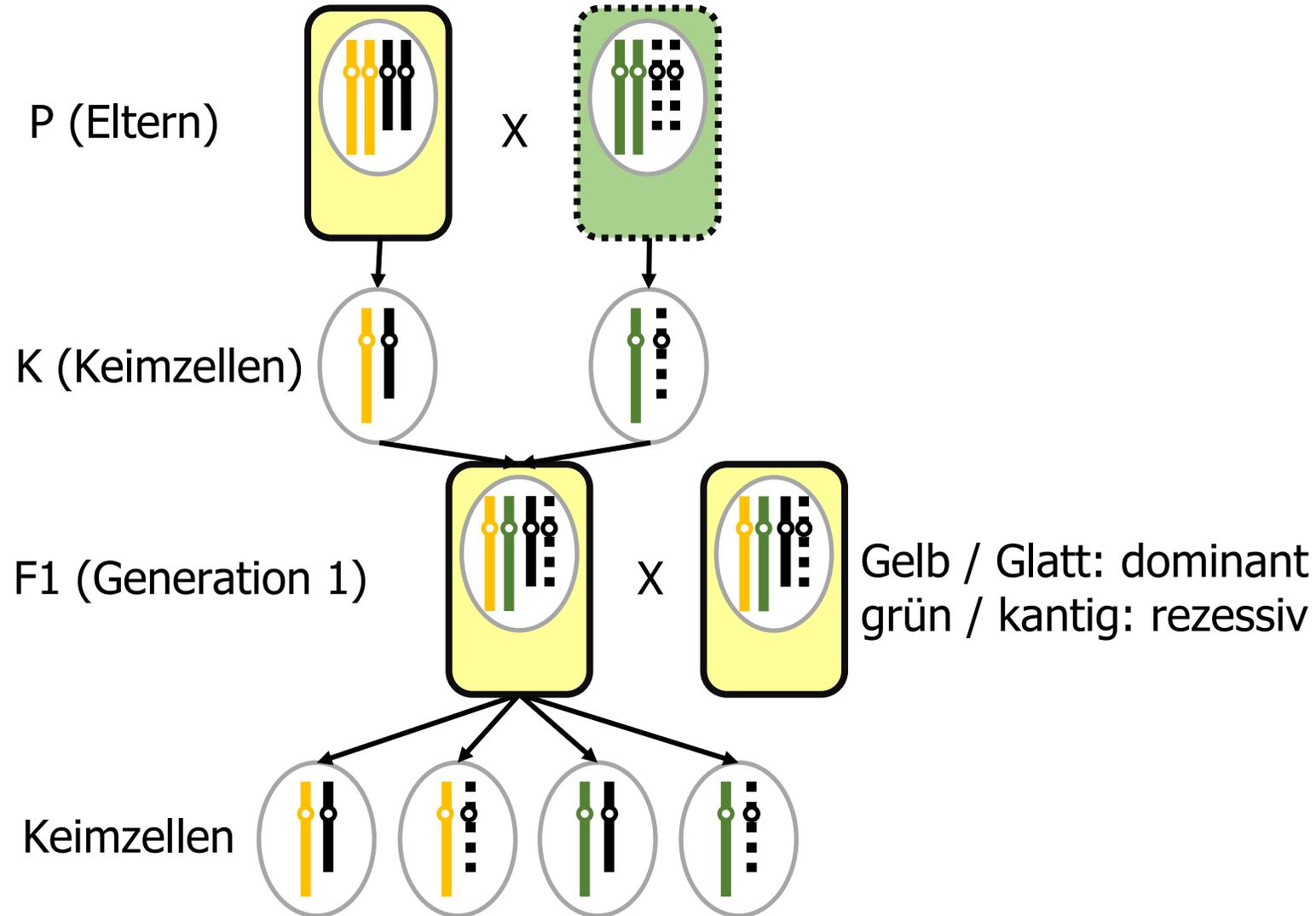
Uniformitätsregel

Spaltungsregel
 3:1
 9:3:3:1

Unabhängigkeitsregel

Mendelsche Regeln (1866)

Erklärung durch Chromosomenverteilung



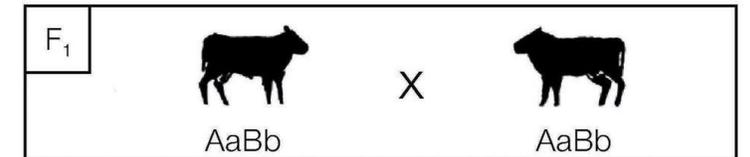
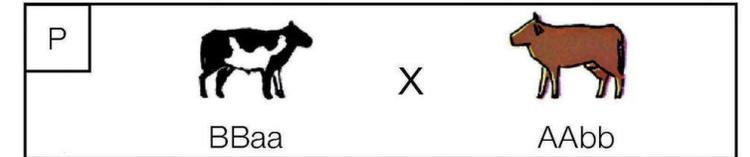
	♀				
♂					

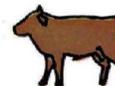
F2 (Generation 2)

Gültigkeit jenseits der Erbse

aber:

- es gibt viele Ausnahmen



F ₂	AB	Ab	aB	ab
AB	 AABB	 AABb	 AaBB	 AaBb
Ab	 AABb	 AAbb	 AaBb	 Aabb
aB	 AaBB	 AaBb	 aaBB	 aaBb
ab	 AaBb	 Aabb	 aaBb	 aabb

Ausnahme: umweltabhängige Merkmale

geringer Aluminiumgehalt

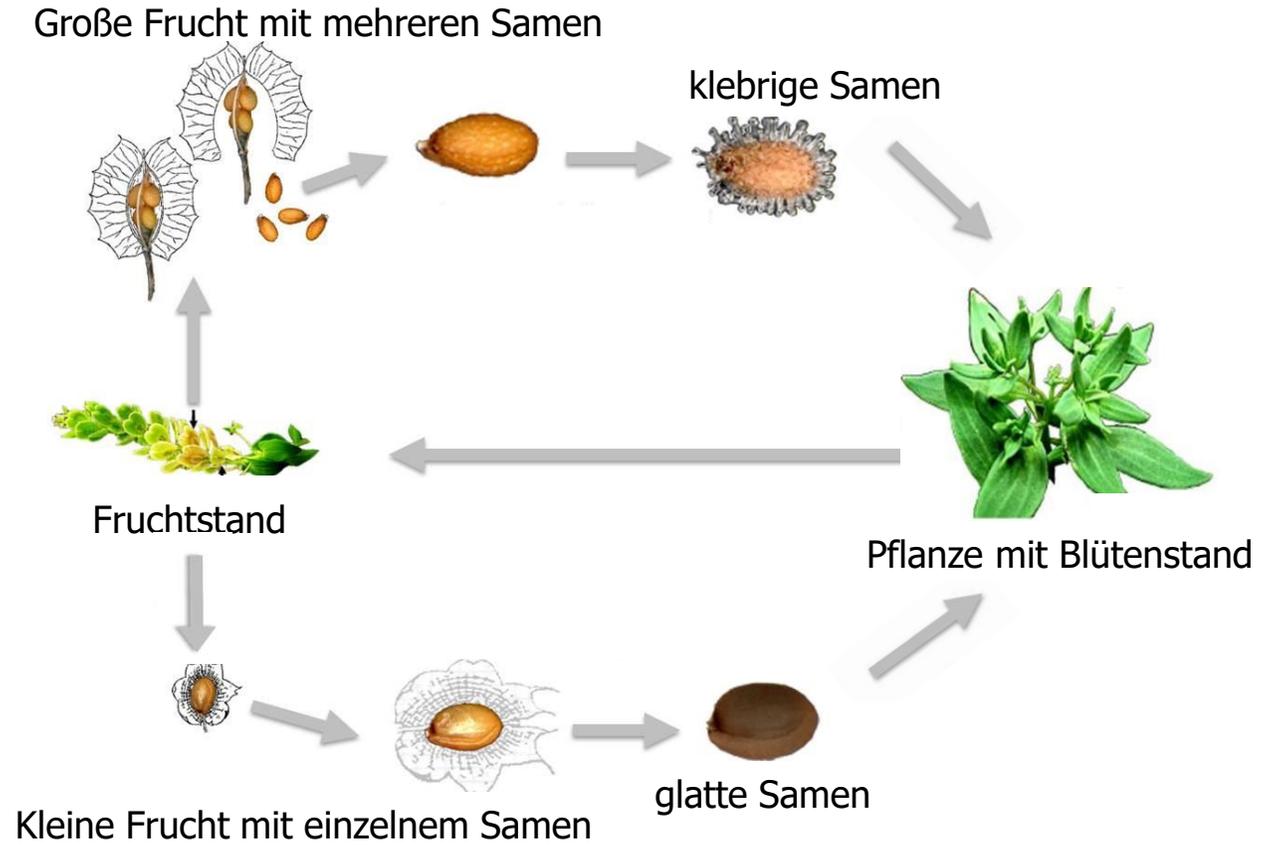


erhöhter Aluminiumgehalt

Chen et al. 2022



Lenser et al. 2016

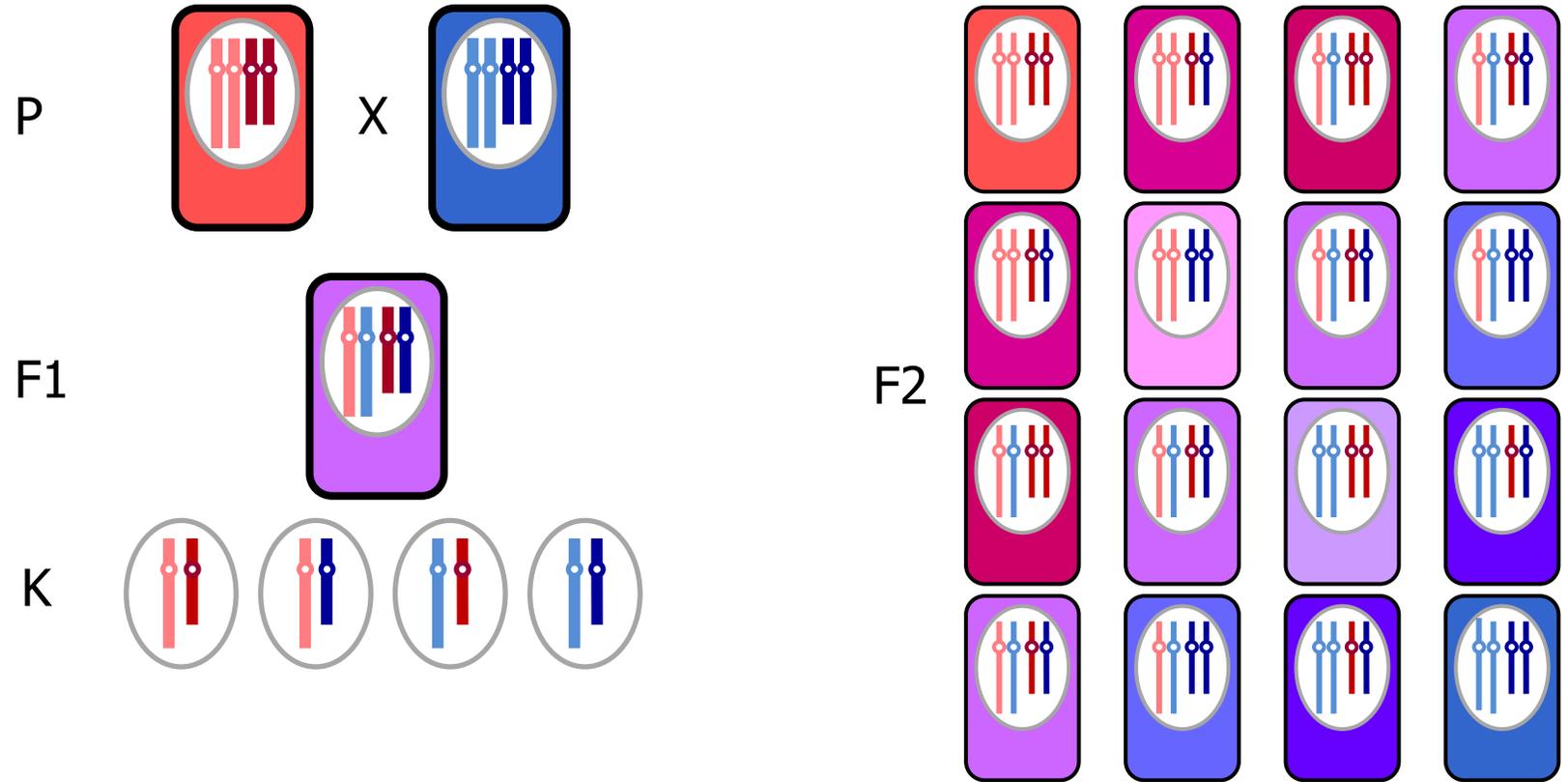


Ausnahme: polygene Merkmale

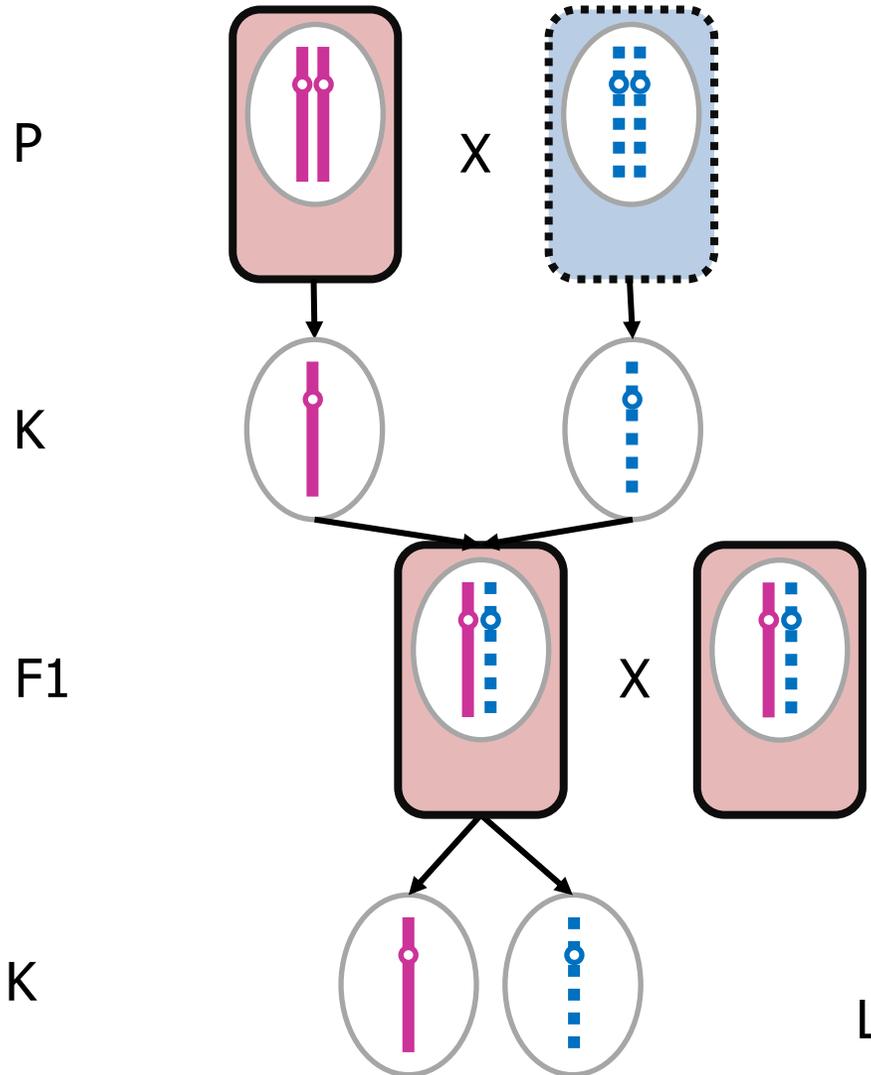
Beispiel Heterosis



genome.cshlp.org



Ausnahme: gekoppelte Gene



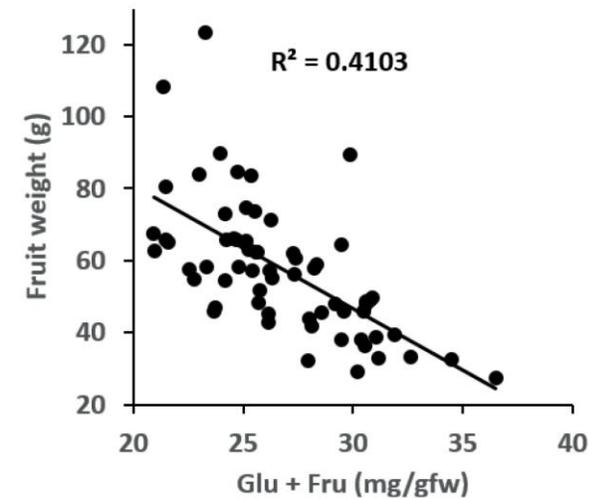
	♀		
♂			

F2

Lage der Gene auf dem gleichen Chromosom
Keine unabhängige Segregation



Wikipedia



Tiemann et al. 2017

Ausnahme: mehr als zwei Kopien des Chromosomensatzes

Beispiel Polyploidie



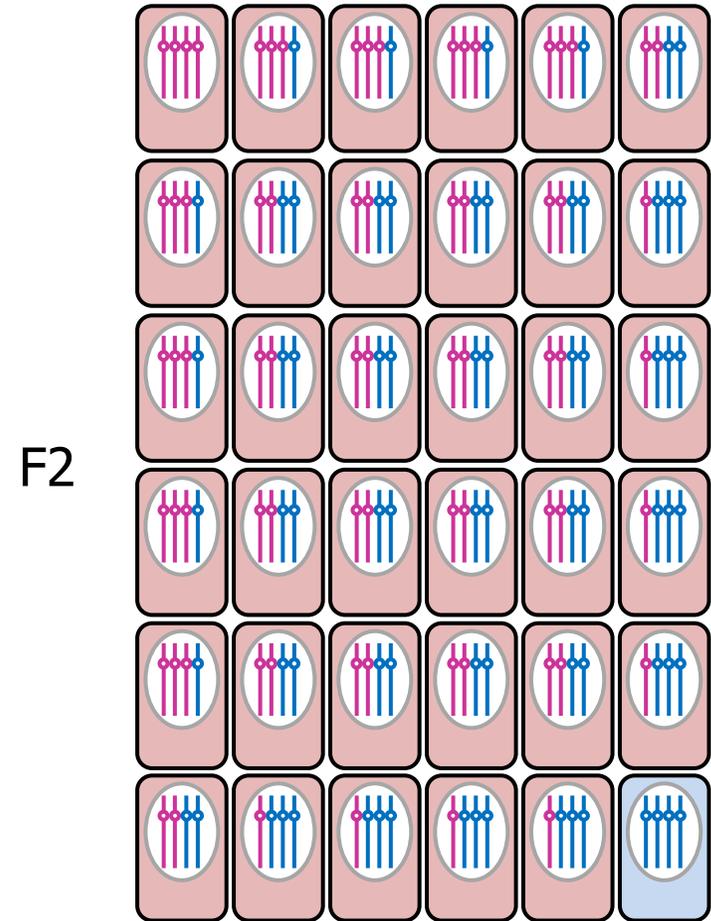
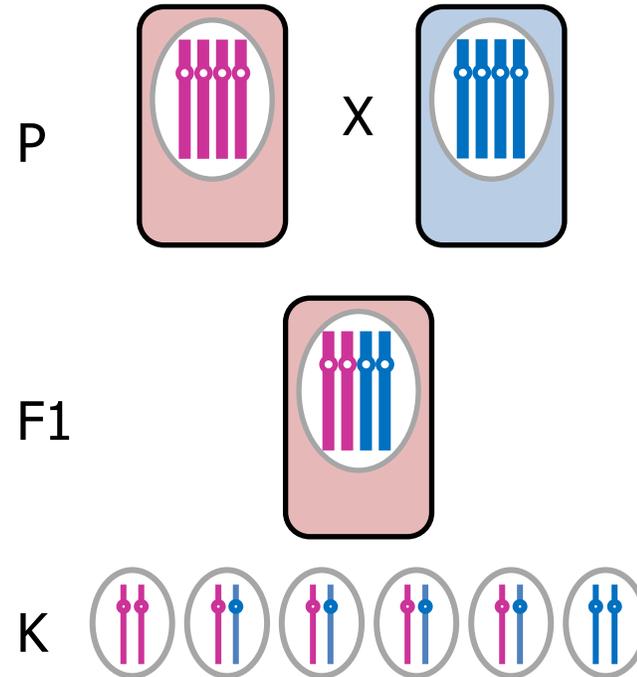
4 x



6 x

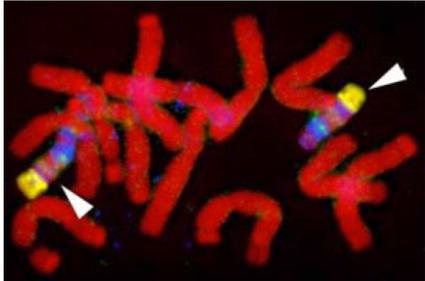


8 x

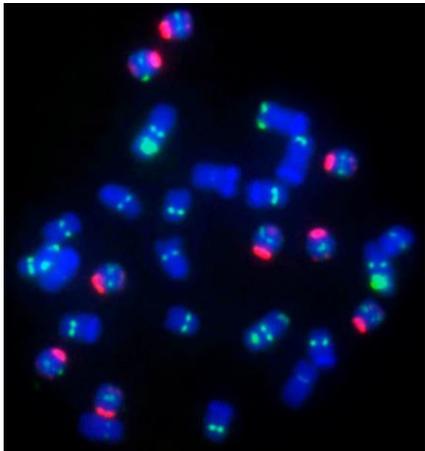


Multiplizierte Segregationsmöglichkeiten und andere Segregationsverhältnisse

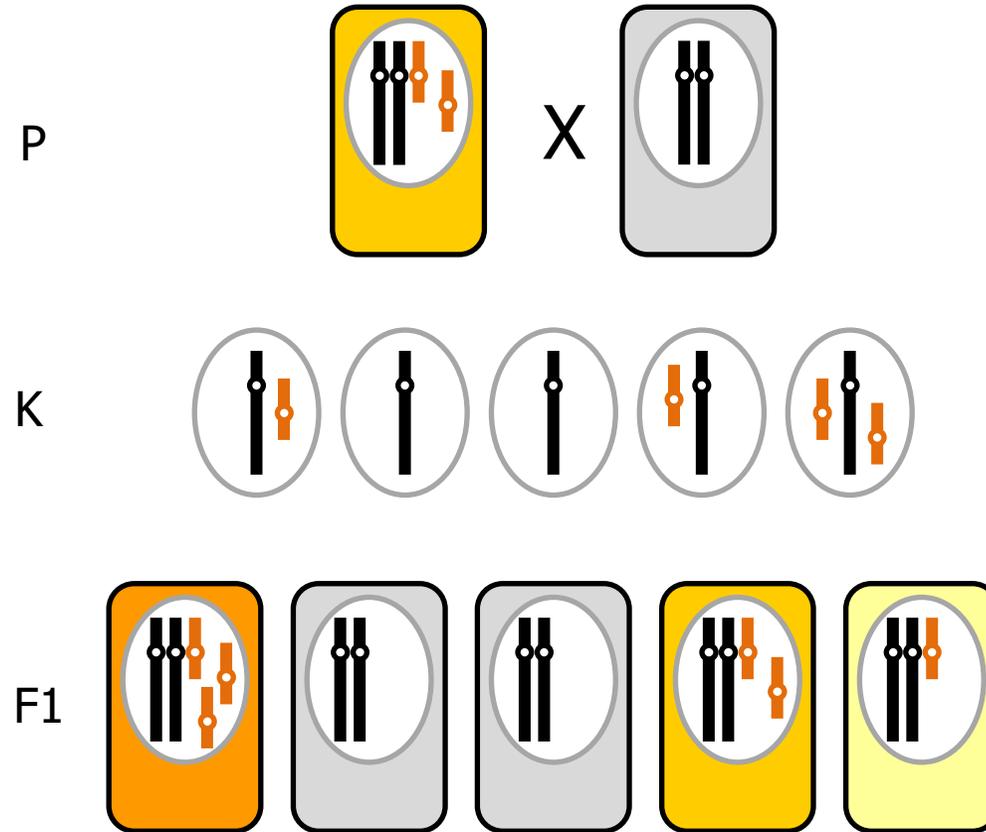
Ausnahme: B-Chromosomen



Roggen, Houben et al. 2014



Mais, Blavet et al. 2021



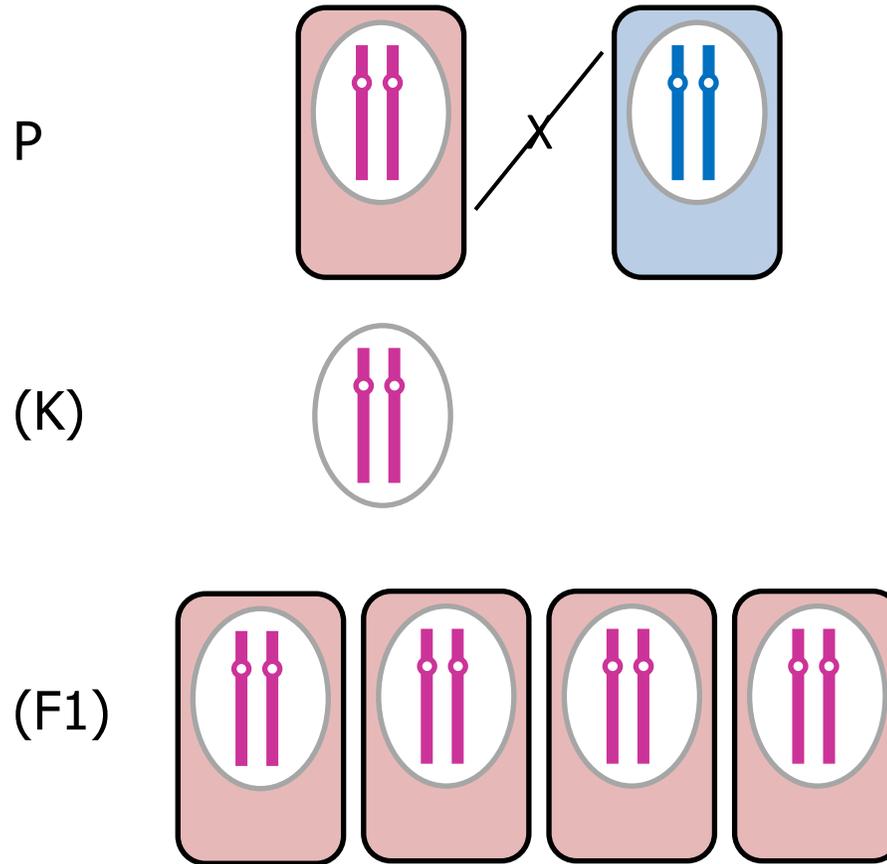
Zusätzliche, nicht-essentielle Chromosomen
Asymmetrische Segregation

Ausnahme: keine Keimzellenbildung

Beispiel Apomixis / Agamospermie



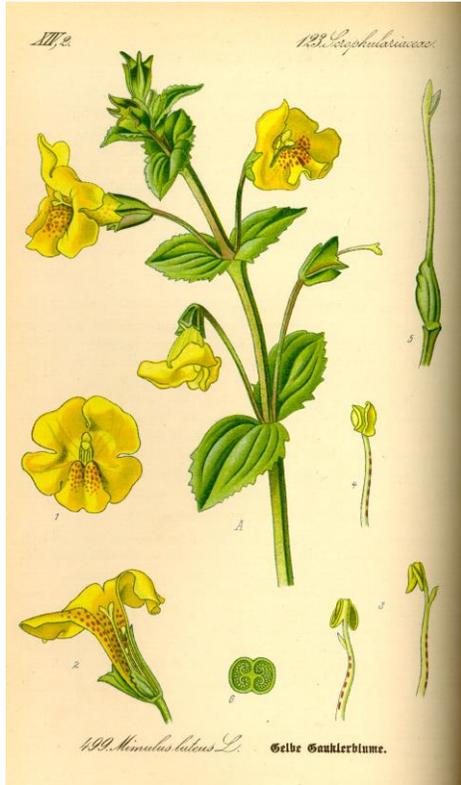
Wikipedia



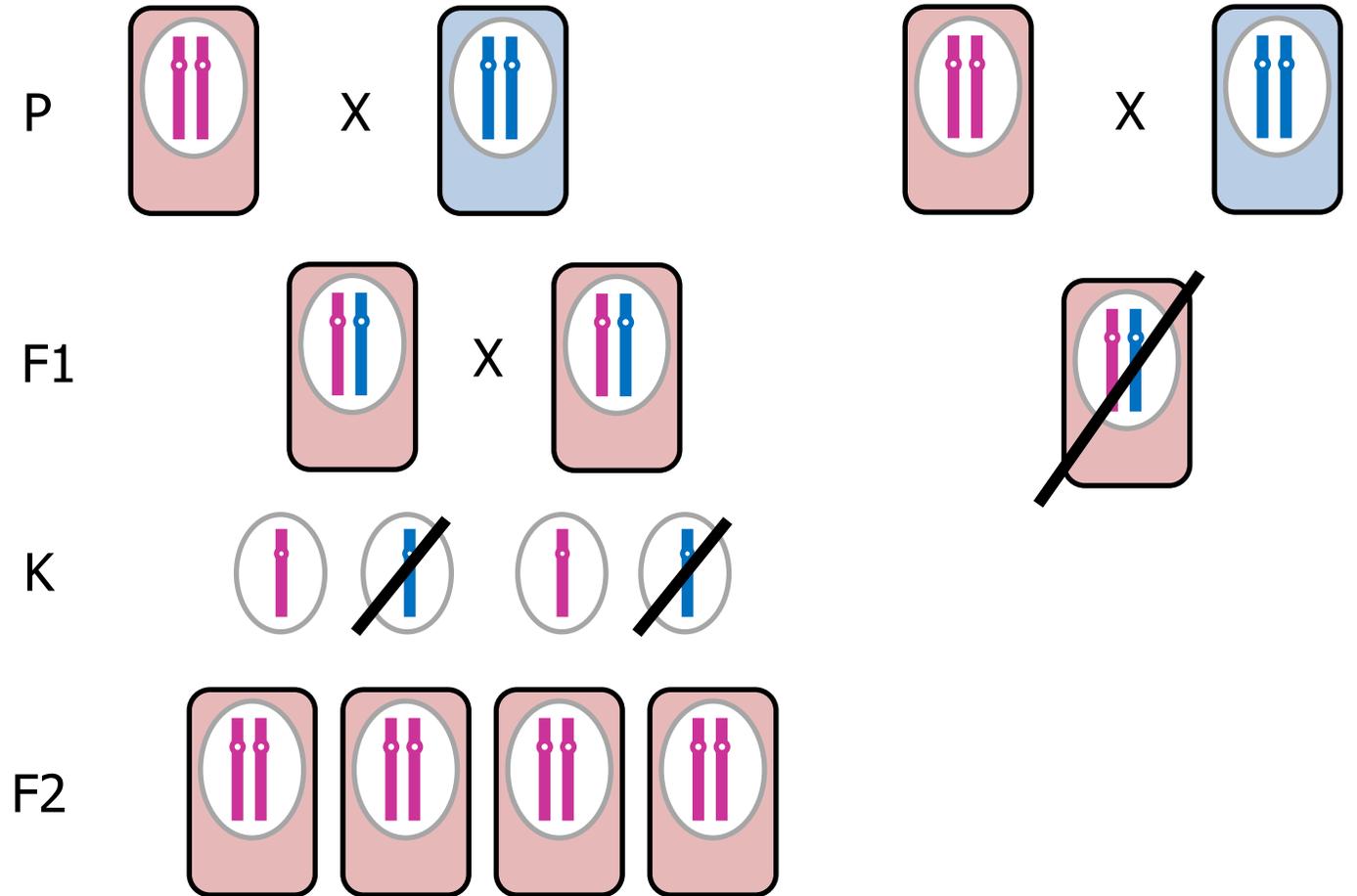
Entwicklung der Samen ohne Keimzellenverschmelzung
Vegetative, klonale Vermehrung

Ausnahme: irreguläre Meiose oder Inkompatibilität

Beispiel "meiotic drive"



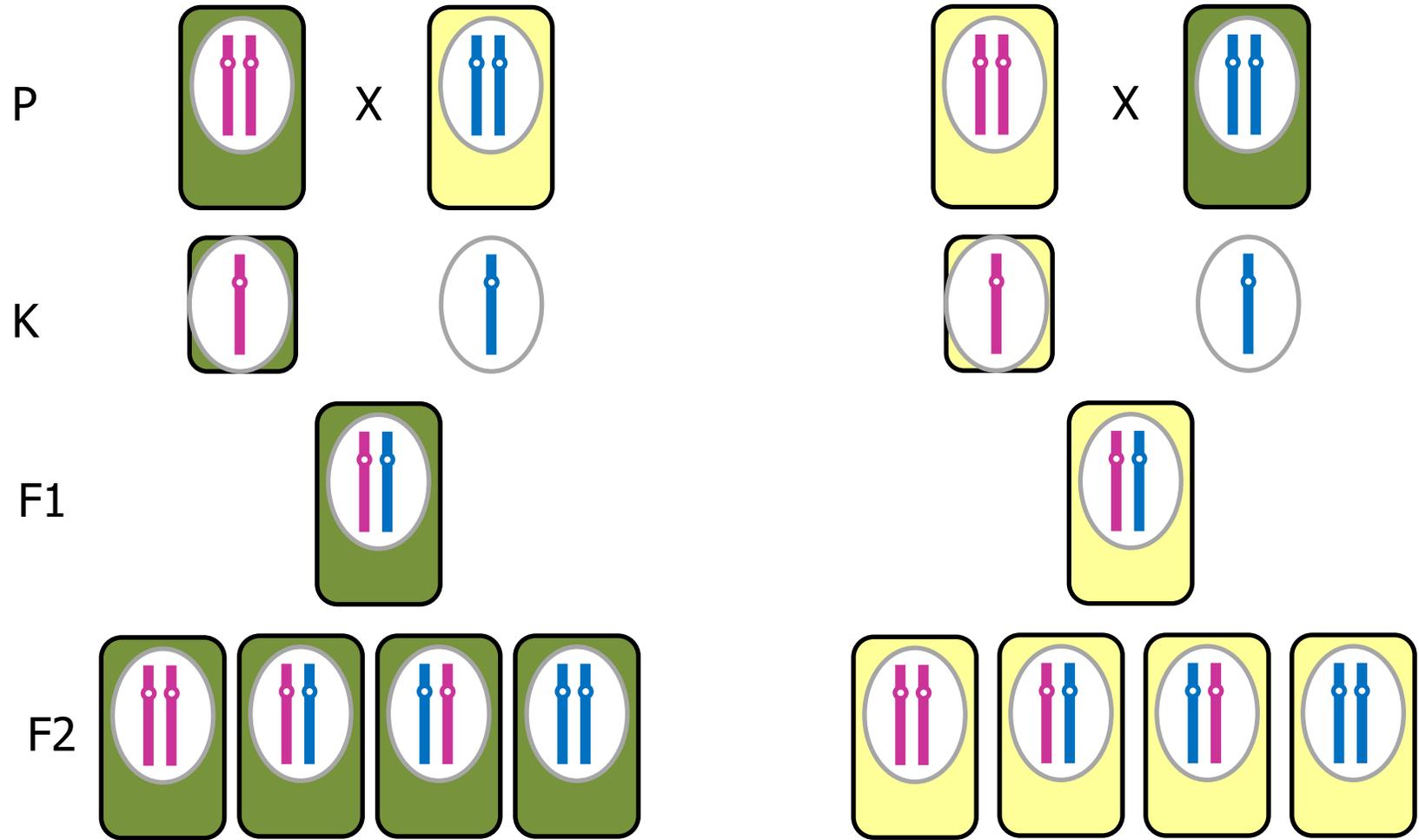
Wikipedia



Selektion gegen oder für Keimzellen mit bestimmten Chromosomentypen

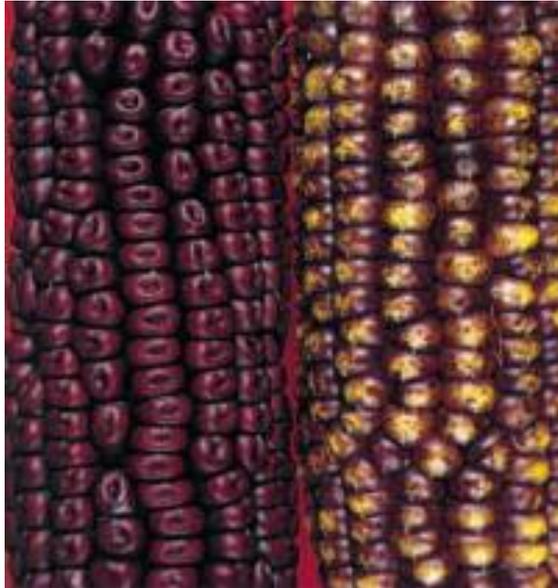
Fehlen bestimmter Kombinationen in den Nachkommen

Ausnahme: zytoplasmatische Vererbung

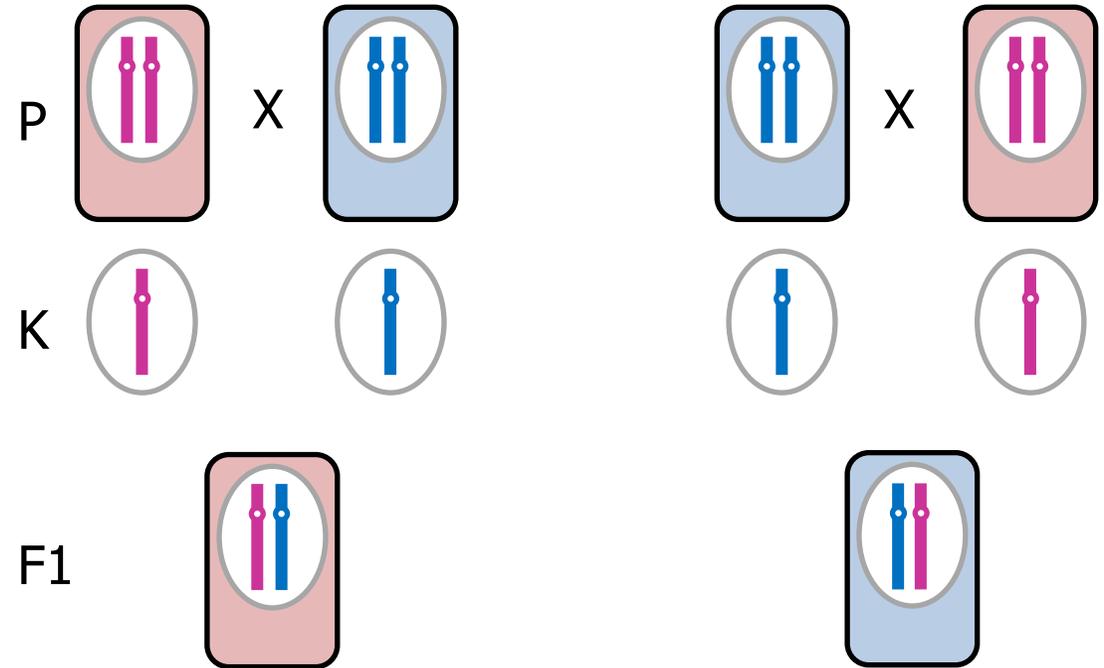


Merkmalsgen auf Chloroplasten- oder Mitochondriengenom
Organellen werden nur mütterlich vererbt

Ausnahme: "Imprinting"



Alleman and Doctor 2000



Unterschiedliche Genaktivität nach Vererbung durch Mutter oder Vater
Unterschiede bei reziproken Kreuzungen

Ausnahme: Paramutation

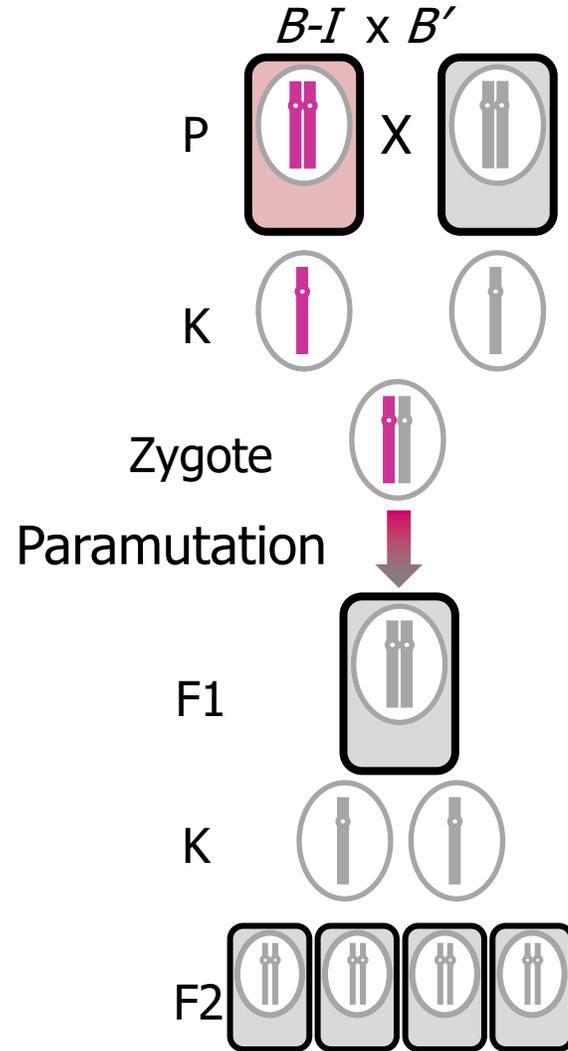
B-I
paramutabel



B'
paramutagen



Brink 1958
Coe 1959
Hagemann 1958



Sekundäre Paramutation

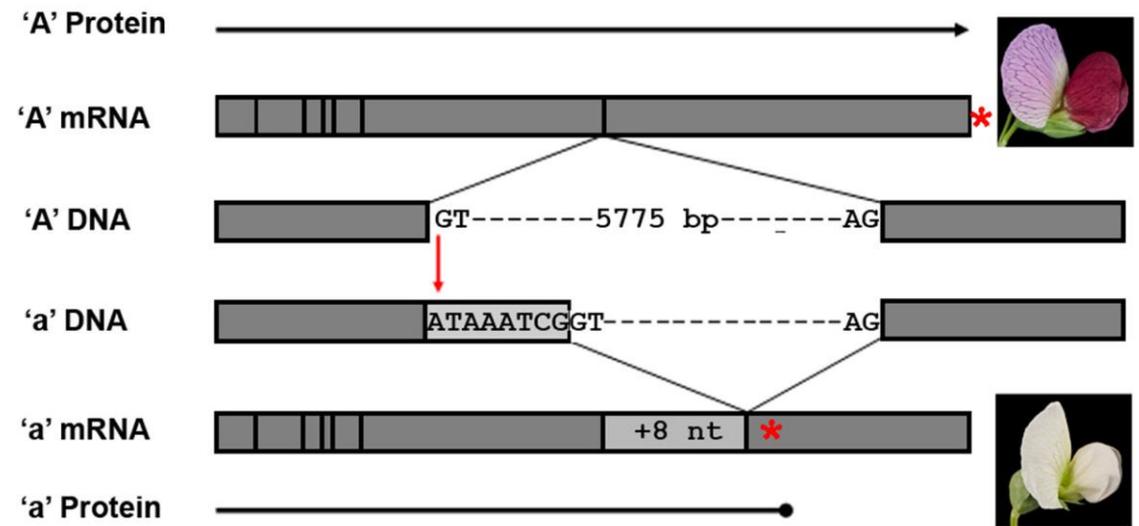
Keine unabhängige Segregation
Dauerhafte Veränderung einer Kopie

Vorteil Erbse

- keine umweltabhängigen Merkmale
- polygene Merkmale
- gekoppelte Gene
- Polyploidie oder B-Chromosomen
- Agamospermie oder Apomixis
- irreguläre Meiose oder Inkompatibilität
- zytoplasmatische Vererbung
- epigenetische Unterschiede

Erbse

- Grundlage der von Mendel gewählten Eigenschaften: Mutationen

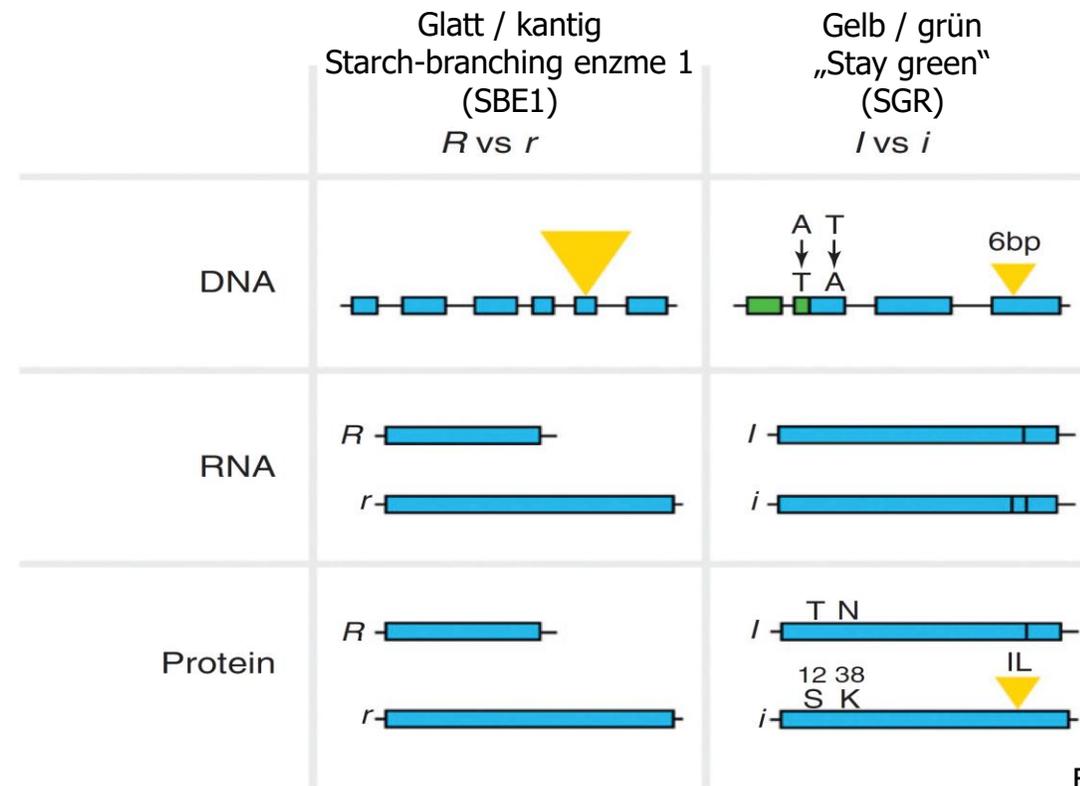


Vorteil Erbse

- umweltabhängige Merkmale
- keine polygenen Merkmale
- gekoppelte Gene
- Polyploidie oder B-Chromosomen
- Agamospermie oder Apomixis
- irreguläre Meiose oder Inkompatibilität
- zytoplasmatische Vererbung
- epigenetische Unterschiede

Erbse

- die von Mendel gewählten Eigenschaften sind monogen, vier Mutationen identifiziert
- Selbstbestäubend, deshalb reinerbig

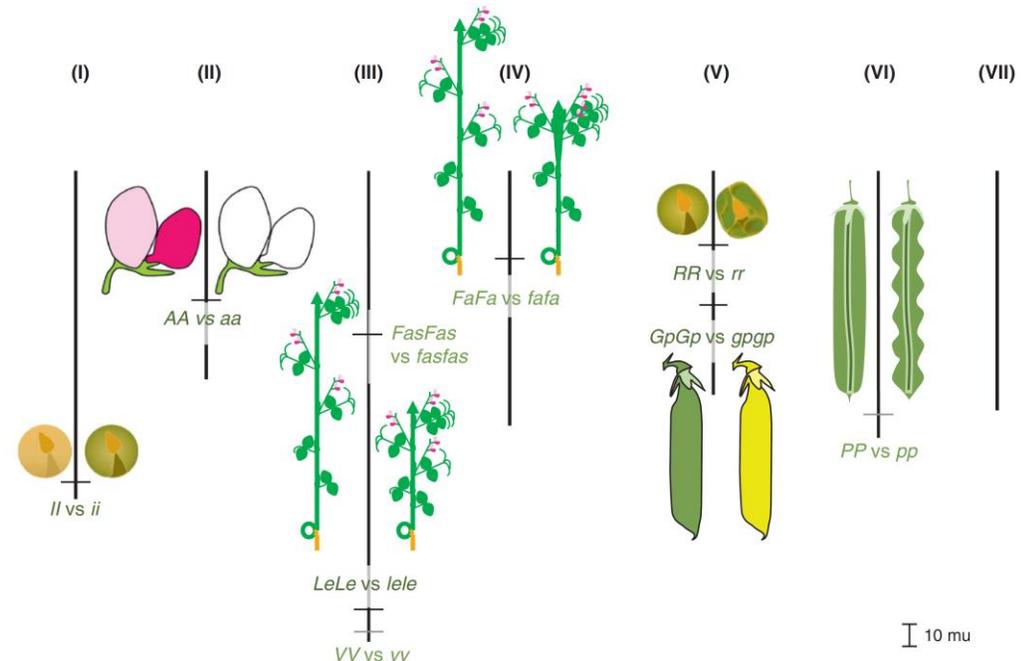


Vorteil Erbse

- umweltabhängige Merkmale
- polygene Merkmale
- keine (eng) gekoppelten Gene
- Polyploidie oder B-Chromosomen
- Agamospermie oder Apomixis
- irreguläre Meiose oder Inkompatibilität
- zytoplasmatische Vererbung
- epigenetische Unterschiede

Erbse

- relevante Gene liegen auf 6 der 7 Chromosomen; die zwei auf dem gleichen Chromosom sind weit voneinander entfernt und werden häufig durch Rekombination getrennt.



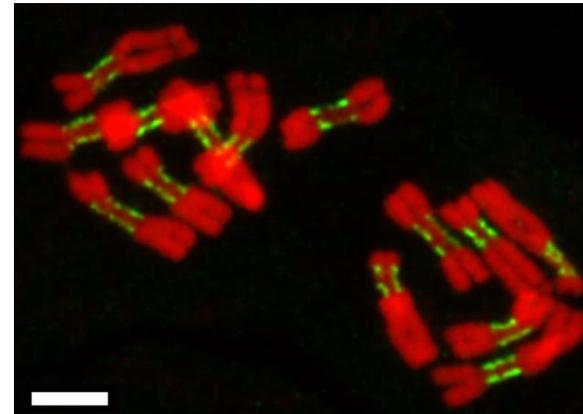
Vorteil Erbse

- umweltabhängige Merkmale
- polygene Merkmale
- gekoppelte Gene
- **diploid**
- Agamospermie oder Apomixis
- irreguläre Meiose oder Inkompatibilität
- zytoplasmatische Vererbung
- epigenetische Unterschiede

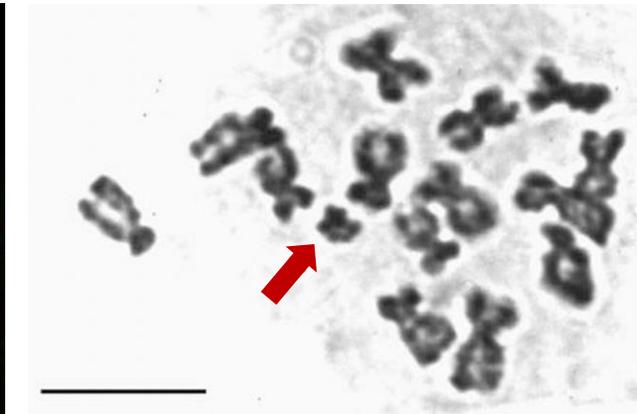
Erbse

- ist (trotz eines sehr großen Genoms) diploid

Aber Abweichungen sind möglich.



Neumann et al. 2012



Berdnikov et al. 2003

Vorteil Erbse

- umweltabhängige Merkmale
- polygene Merkmale
- gekoppelte Gene
- Polyploidie oder B-Chromosomen
- keine Apomixis
- irreguläre Meiose oder Inkompatibilität
- zytoplasmatische Vererbung
- epigenetische Unterschiede

Erbse

- pflanzt sich ausschließlich sexuell fort und hat auch keine Sexchromosomen

Habichtskraut, Mendels andere Versuchspflanze, ist apomiktisch



Ostenfeld und Rosenberg 1906
Bicknell et al. 2016

Vorteil Erbse

- umweltabhängige Merkmale
- polygene Merkmale
- gekoppelte Gene
- Polyploidie oder B-Chromosomen
- Agamospermie oder Apomixis
- reguläre Meiose
- zytoplasmatische Vererbung
- epigenetische Unterschiede

Erbse

- hat zuverlässige Meiose, Inkompatibilitäten sind nicht bekannt

Vorteil Erbse

- umweltabhängige Merkmale
- polygene Merkmale
- gekoppelte Gene
- Polyploidie oder B-Chromosomen
- Agamospermie oder Apomixis
- irreguläre Meiose oder Inkompatibilität
- keine zytoplasmatische Vererbung
- epigenetische Unterschiede

Erbse

- alle von Mendel gewählten Eigenschaften sind durch Gene im Zellkern bestimmt.

Aber: es gibt auch maternal bestimmte Kantigkeit der Samen

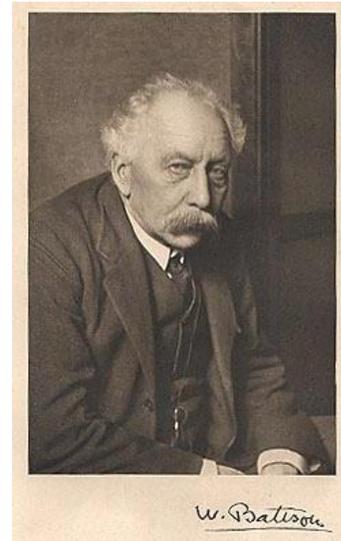
Rayner et al. 2017

Vorteil Erbse

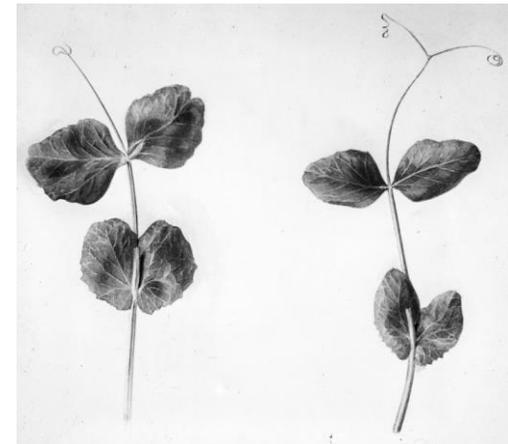
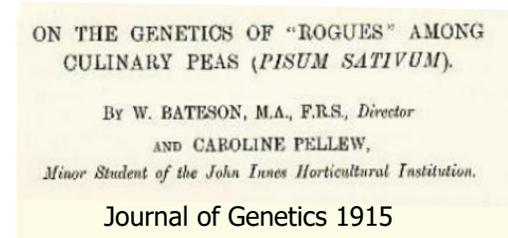
- umweltabhängige Merkmale
- polygene Merkmale
- gekoppelte Gene
- Polyploidie oder B-Chromosomen
- Agamospermie oder Apomixis
- irreguläre Meiose oder Inkompatibilität
- zytoplasmatische Vererbung
- epigenetische Unterschiede, aber nicht für die von Mendel gewählten Merkmale

Erbse

- ein erster Fall von Paramutation



John Innes Centre Archive



regulär

"rogue"

Zusammenfassung

- Mendel hat Regelmäßigkeiten bei der Vererbung beschrieben und, seiner Zeit weit voraus, als gleichwertige Beiträge beider Eltern richtig interpretiert.
- Die Entdeckung gelang aufgrund sorgfältiger Versuchsplanung, systematischer Durchführung, logischer Auswertung, sowie einer Portion Glück.
- Angetrieben von Interesse an der Züchtung hat er mit pflanzlichen Modellorganismen und statistischen Methoden grundlegende Prinzipien der Biologie entdeckt.
- Mendelsche Vererbungsregeln haben unter bestimmten Voraussetzungen ihre Gültigkeit behalten, aber gibt es viele Arten Nicht-Mendelscher Vererbung, mit genetischen und epigenetischen Ursachen.
- Mendelsche und Nicht-Mendelsche Vererbung stehen nicht im Widerspruch, sondern bilden zusammen unglaublich vielseitige Forschungsfelder.

