Friedrich-Karl Tiesler
Kaspar Bienefeld
Ralph Büchler

Selektion bei der Honigbiene

182 Abbildungen

IMPRESSUM

Erstausgabe:

1. Auflage: 2016

© 2016 bei Friedrich-Karl Tiesler, Kaspar Bienefeld und Ralph Büchler
Layout-Satz: boesing-design.de
Buschhausen Druck- und Verlagshaus – Herten
Printed in Germany

ISBN: 978-3-946030-45-4

Alle Rechte vorbehalten, insbesondere das Recht der mechanischen, elektronischen oder fotografiischen Vervielfältigung, der Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen, des Nachdrucks in Zeitschriften, des öffentlichen Vortrags, der Verfilmung oder Dramatisierung, der Übertragung durch Rundfunk, Fernsehen oder Video, auch einzelner Text - und Bildteile.

Titelfotos: Dustmann, IWF, Zeichnung Hinderhofer
Fotos: Fotolia.com

Friedrich-Karl Tiesler
Kaspar Bienefeld
Ralph Büchler

Selektion bei der Honigbiene

182 Abbildungen

Vorwort

Zuchtauslese ist bei der Honigbiene genauso möglich wie in anderen Bereichen der Tierzucht. Sie gehört heute zu den tragenden Elementen einer modernen Imkerei. Stärker als bei anderen Tierarten bedeutet die Leistungsauslese bei der Honigbiene auch Selektion auf Gesundheit und Vitalität, denn Bienenvölker müssen sich in freier Natur bewähren und einen ausreichend großen Honigvorrat zum Überleben anlegen.

Jeder ernst zu nehmende Züchter weiß, dass dauerhafte Zuchtfortschritte nur zu erzielen sind, wenn erbliche Unterschiede erkannt und die entsprechend ausgelesenen Tiere dann gezielt miteinander verpaart werden. Seit Jahrzehnten wird in Deutschland intensive Zuchtarbeit betrieben, wobei viele Impulse dazu von Österreich, insbesondere von den Brüdern H. u. F. RUTTNER ausgingen. Die dort erarbeiteten Grundlagen wurden bei der Zuchtarbeit in Deutschland übernommen. Wie kaum in einem anderen Bereich der Imkerei besteht auf dem Gebiet der Bienenzüchtung eine enge Verbindung zwischen Wissenschaft und Praxis. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse fließen ständig in die praktische Zuchtarbeit ein. Die Paarungskontrolle ist in den letzten Jahrzehnten durch Optimierung der Belegstellen, Einsatz der Merkmalsprüfung und Weiterentwicklung der künstlichen Besamung erheblich verbessert worden. Bei der Selektion wurden einheitliche Zuchtziele formuliert und die Leistungsprüfung wurde standardisiert. Auch moderne Methoden der Populationsgenetik, wie sie in der übrigen Tierzucht üblich sind, fanden Eingang in die Bienenzüchtung. Mit Unterstützung des Deutschen Imkerbundes wurde am Länderinstitut für Bienenkunde Hohen Neuendorf e. V. im Jahre 1993 die Zuchtwertschätzung nach dem BLUP-Tiermodell eingeführt, wodurch die Zusammenarbeit vieler Züchter ermöglicht und die Selektion auf eine wesentlich breitere Grundlage gestellt wurde. Viele Züchter sind heute interessiert an wissenschaftlich begleiteten Zuchtprogrammen mitzuarbeiten. Sie beobachten ihre Völker genau, ermitteln die erforderlichen Daten und führen meist über viele Jahre exakte nachprüfbare Aufzeichnungen. Derzeit stellt die Zucht einer widerstandsfähigen, varroatoleranten Biene die größte züchterische Herausforderung dar.

Durch beständige, konsequente Zuchtarbeit, Abgabe von Zuchtmaterial und eine gezielte Breitenarbeit wurde der Zuchtfortschritt auch in die Landesbienenzucht übertragen, so dass auch auf den Ständen der nicht züchtenden Imker heute leis-

tungsfähige und friedfertige Völker vorhanden sind, die eine Bienenhaltung in dicht besiedelten Gebieten, ja sogar in Ballungsräumen ermöglichen. Darüber hinaus bewährt sich Zuchtmaterial aus Deutschland in vielen Ländern der Welt, so dass eine große Nachfrage nach Königinnen besteht. Diese an sich sehr erfreuliche Bestätigung einer erfolgreichen Zuchtarbeit stellt aber eine ernste Gefahr für den Erhalt regional angepasster Rassen und Ökotypen in vielen Ländern dar. Dieser Aspekt findet im Buch ebenso Erwähnung wie Anregungen für nachhaltige Zuchtstrategien.

Die Zuchtarbeit, wie sie heute in Deutschland überaus erfolgreich betrieben wird, hat sich über Jahrzehnte entwickelt. In dem vorliegenden Buch wird die eigentliche Zuchtauslese, die Selektion von Bienenvölkern beschrieben. Die Zuchttechnik und die Paarungskontrolle werden in zwei anderen, ebenfalls bei BUSCHHAUSEN erschienenen Büchern „Aufzucht und Verwendung von Königinnen“ und „Paarungsbiologie und Paarungskontrolle bei der Honigbiene“ geschildert. Alle drei Bücher beschreiben damit ausführlich und für jeden Imker verständlich das gesamte Gebiet der Bienenzüchtung.

Februar 2016

Autoren:

Teil 1	Kap. 1.1 – 1.3.4	K. Bienefeld
Teil 2	Kap. 2.1 – 2.3.2	F.-K. Tiesler
	Kap. 2.3.3	R. Büchler
	Kap. 2.3.4	F.-K. Tiesler
	Kap. 2.4	R. Büchler
	Kap. 2.5	F.-K. Tiesler
Teil 3	Kap. 3.1 – 3.6	K. Bienefeld
	Kap. 3.7	F.-K. Tiesler
Teil 4	Kap. 4.1 – 4.7	F.-K. Tiesler
	Kap. 4.8	M. Meixner
Teil 5	Kap. 5.1 – 5.3	F.-K. Tiesler
Teil 6	Kap. 6.1 – 6.9	F.-K. Tiesler

Vorwort

Inhaltsverzeichnis

Teil 1 Grundlagen der Züchtung 10

1.1 Genetische Grundlagen 11
1.1.1 Molekulare Genetik 11
1.1.2 Mendelsche Genetik 16
1.1.3 Mutationen 21
1.1.4 Quantitative Genetik 22
1.1.5 Inzucht 35
1.1.6 Selektion 36
1.1.7 Zuchtverfahren 38

1.2 Genetische und fortpflanzungsbiologische Besonderheiten der Honigbiene 44
1.2.1 Mehrfachpaarung der Königin 44
1.2.2 Geschlechtsbestimmung 47
1.2.3 Kastenbestimmung 49
1.2.4 Die Biene als soziales Insekt 50
1.2.5 Konsequenzen aus den genetischen und fortpflanzungsbiologischen Besonderheiten der Honigbiene 51

1.3 Ergebnisse aus wissenschaftlichen Untersuchungen bei der Honigbiene 62
1.3.1 Auswirkung der Inzucht 62
1.3.2 Wiederholbarkeit der Honigleistung 65
1.3.3 Erblichkeit von Eigenschaften 68
1.3.4 Beziehungen zwischen Eigenschaften 71

Teil 2 Leistungs- und Eigenschaftsprüfung in der imkerlichen Praxis 75

2.1 Grundlagen der Leistungsprüfung 82
2.1.1 Aufstellung 82
2.1.2 Königinnen 86
2.1.3 Start - Aufbau der Prüfvölker 89
2.1.4 Verteilung der zu prüfenden Königinnen 93
2.1.5 Auffütterung 94

2.1.6 Varroabehandlung 94
2.1.7 Völkerführung 94
2.1.8 Schwarmverhinderung 96
2.1.9 Prüfdauer 97

2.2 Beurteilung der Leistungsmerkmale 98
2.2.1 Bewertung der Honigleistung 99
2.2.2 Bewertung der Sanftmut 109
2.2.3 Bewertung des Wabensitzes 112
2.2.4 Bewertung der Frühjahrsentwicklung 114
2.2.5 Bewertung der Schwarmneigung 117
2.2.6 Bewertung der Volksstärke 121
2.2.7 Beurteilung der Winterfestigkeit 122

2.3 Sonstige Beurteilungen 123
2.3.1 Erfassung der Brutlücken 123
2.3.2 Beurteilung der Brutflächen 126
2.3.3 Populationsschätzung 128
2.3.4 Weitere Beurteilungen bei der Zucht der Buckfastbiene 132

2.4 Beurteilung der Widerstandsfähigkeit und Krankheitstoleranz 135
2.4.1 Generelle Empfehlungen zur Prüfung auf Krankheitstoleranz 136
2.4.2 Varroa-Resistenz als besondere Herausforderung 140

2.5 Erfassung und Zusammenstellung der Daten 156
2.5.1 Führung von Stockkarten 156
2.5.2 Handhabung des Zuchtbuches 162

Teil 3 Zentrale Datenerfassung und Zuchtwertschätzung 178

3.1 Das Prinzip der Zuchtwertschätzung 178

3.2 Durchführung der Zuchtwertschätzung 181

3.3 Ergebnisse der Zuchtwertschätzung 187

3.4 Negative Auswirkungen der Zuchtwertschätzung 189

3.5 Zuchtwertschätzung und Nachhaltigkeit 192

3.6 Genomische Selektion – Die Zukunft der Zuchtwertschätzung **193**

3.7 Datenmanagement für die Zuchtwertschätzung in den Verbänden **194**

Teil 4 Merkmalsbeurteilung **197**

4.1 Instrumente **202**
4.1.1 Lupen 202
4.1.2 Mikroskope 202
4.1.3 Dia-Projektoren 205
4.1.4 Mikrofilm – Lesegeräte 205
4.1.5 Sonstige Geräte und Hilfsmittel 205

4.2 Entnahme von Merkmalsproben **206**

4.3 Merkmale der Arbeitsbienen **210**
4.3.1 Panzerzeichen 210
4.3.2 Haarlänge 212
4.3.3 Filzbinden 217
4.3.4 Cubitalindex 219

4.4 Merkmale der Drohnen **237**
4.4.1 Panzerzeichen 237
4.4.2 Haarfarbe 240
4.4.3 Cubitalindex 242

4.5 Ergebnis der Merkmalsuntersuchung **244**

4.6 Zentrale Erfassung von Merkmalsdaten **248**

4.7 Anerkennung und Kontrolle von Merkmalsuntersuchungsstellen **252**

4.8 Herkunftsnachweis mit Methoden der Molekularbiologie **253**

Teil 5 Körung **258**

5.1 Körung als Zuchtvolk **258**
5.1.1 Nachweis der Abstammung 258
5.1.2 Nachweis der Eigenleistung 259
5.1.3 Nachweis der Geschwisterleistung 260
5.1.4 Körbefund 261
5.1.5 Körklassen 263

5.2 Körung als Drohnenvolk **266**

5.3 Abkörung **268**

Teil 6 Organisation des Zuchtwesens in Deutschland **269**

6.1 Organisation der Imkerei in Deutschland **269**

6.2 Struktur der Imkerei **269**

6.3 Gesetze und Richtlinien zur Bienenzüchtung in Deutschland **272**

6.4 Aufgaben der Organisation **273**

6.5 Zuständigkeiten der Imker- / Landesverbände **274**

6.6 Zuchtmaterial **277**

6.7 Anerkennung und Kontrolle von Züchtern und Zuchteinrichtungen **289**
6.7.1 Anerkennung und Kontrolle von Züchtern und Züchterringen 290
6.7.2 Anerkennung und Kontrolle von Vermehrungsbetrieben 293

6.8 Zuchtplanung, Kooperation von Züchtern und Breitenarbeit **296**

6.9 Kommerzielle Zuchtbetriebe und Zuchtverbände **302**

Stichwortverzeichnis 307
Namensverzeichnis 313
Danksagung 314

Anhang (Beiheft)

TEIL I

1 Grundlagen der Züchtung

Die Vererbungslehre steht in dem Ruf, kompliziert und theoretisch zu sein und die interessante Vielfalt der Lebensformen auf Zahlen, Formeln und Regeln zu reduzieren. Aber das eigentliche Untersuchungsgebiet der Vererbungslehre ist keinesfalls nur von theoretischer, sondern von ausgesprochen praktischer Bedeutung. Es erstaunt keinen, dass z. B. Pferde immer wieder nur Pferde und Hunde immer wieder nur Hunde erzeugen. Aber was ist die Ursache?

In der Regel gleichen sich Eltern und Nachkommen in vielen Eigenschaften. Aber warum können aus der Kreuzung von einem schwarzen Hahn und einer schwarzen Henne auch weiße Küken schlüpfen, aus rot- und weißblühenden Blumen rosafarbene entstehen und schwarzhaarige Eltern schwarz-, braun- und blondhaarige Kinder haben?

Die Ähnlichkeit von Eltern und Nachkommen im Allgemeinen, aber auch Unterschiede in Bezug auf einige Merkmale im Besonderen lassen sich durch wenige sehr einfache Vererbungsregeln erklären. Diese gelten für alle Tier- und Pflanzenarten gleicherweise. Auch die Biene macht da keine Ausnahme. Sie weist jedoch einige fortpflanzungsbiologische Besonderheiten auf, die zwar die Vererbungsregeln nicht außer Kraft setzen, sie aber nicht so deutlich in Erscheinung treten lassen.

Um die Genetik der Biene darzustellen, erscheint somit neben einem Abschnitt über genetische Grundlagen eine detaillierte Darstellung der fortpflanzungsbiologischen Besonderheiten der Biene und deren Auswirkungen sinnvoll.

1.1 Genetische Grundlagen

1.1.1 Molekulare Genetik

Die Übertragung von Merkmalen und Eigenschaften von den Eltern auf die Nachkommen wird als Vererbung bezeichnet.

Aufbau der Chromosomen

Früher hatte man die Vorstellung, dass die Samenzelle des männlichen Geschlechts den kompletten, aber winzig kleinen Nachkommen enthält, der durch die Paarung dann nur noch in das weibliche Geschlecht gebracht werden musste, um dort "ausgebrütet" zu werden. Diese Theorie hat zwar den Vorteil, anschaulich zu sein, sie ist aber völlig falsch. Wie soll man mit dieser Vorstellung vereinbaren, dass Nachkommen nicht nur dem Vater sondern auch der Mutter ähnlich sind?

Mit modernen leistungsfähigen Mikroskopen ist man in der Lage, den Inhalt von männlichen (Samen) und weiblichen Keimzellen (Eizellen) sichtbar zu machen. Man sieht darin keine winzigen, mehr oder weniger fertigen Lebewesen, sondern stäbchenförmige Gebilde. Sie wurden Kernschleifen oder Chromosomen genannt. Diese Chromosomen sind natürlich nicht Merkmale und Eigenschaften an sich, sondern eine Art Betriebsanleitung zur Reproduktion von Merkmalen oder Eigenschaften.

Bevor dieser Vorgang beschrieben wird, nur einige Bemerkungen zum Aufbau der Chromosomen. Man erkennt in der vereinfachten Darstellung (1), dass der wesentliche Bestandteil der Chromosomen ein in besonderer Weise verketteter Doppelfaden ist.

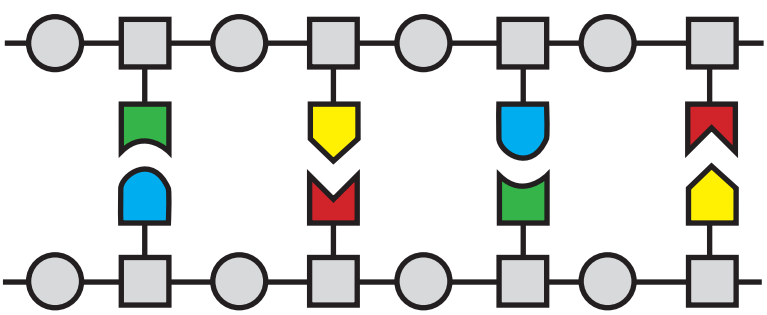


Abb. 1: Vereinfachte Darstellung der wesentlichen Bestandteile eines Chromosoms.

Der Bauplan aller Lebewesen als eigentliche Erbinformation ergibt sich aus der Anordnung der in der Mitte des Doppelfadens befindlichen Basenmoleküle. Von diesen gibt es nur vier verschiedene Ausprägungen, wobei jeweils zwei zueinander passen und entsprechende Paare bilden. Das Basenmolekül kann nur eine Verbindung mit dem entsprechenden Basenmolekül eingehen (1). Es ist leicht einzusehen, dass mit nur vier verschieden Codes (Basenmolekülen) nicht die gesamte Vielfalt der Lebensformen verschlüsselt werden kann. Das Problem ist von der Natur anders gelöst worden. Die verschiedenen Merkmale und Eigenschaften werden nicht durch unterschiedliche Basenmolekülpaare verschlüsselt von einer Generation an die nächste weitergegeben, sondern durch die Reihenfolge der Basenmolekülpaare. Der Vergleich mit dem Alphabet mag das veranschaulichen. Unser Alphabet hat 26 Buchstaben, unsere Sprache aber bedeutend mehr als 26 Wörter. Wir ordnen darum nicht jedem Wort ein bestimmtes Symbol (Buchstaben) zu, sondern verwenden jeweils verschiedene Kombinationen dieser 26 Buchstaben. Das "genetische" Alphabet hat sozusagen nur vier Buchstaben (4 verschiedene Basen), ist jedoch vollkommen ausreichend, um alle Tier- und Pflanzenarten eindeutig festzulegen.

Tierart	Anzahl der Chromosomen	Anzahl der Paare
Pferd	64	32
Schwein	38	19
Rind	60	30
Honigbiene		
- weibl. Geschlecht	32	16
- Drohnen	16	0

Tab. 1: Anzahl der Chromosomen bei verschieden Tierarten.

In Tabelle 1 ist die Anzahl der Chromosomen bei verschiedenen Tierarten angegeben. Man sieht, dass die unterschiedliche Zahl Chromosomen bei den verschiedenen Tierarten nicht der Anzahl der Eigenschaften und Merkmale entsprechen kann. Es gibt bedeutend mehr Eigenschaften als es Chromosomen gibt.

Die Erklärung ist einfach: Nicht ein ganzes Chromosom ist für ein Merkmal zuständig, sondern nur ein kleiner Abschnitt auf diesen Chromosomen bzw. mehrere solcher

Abschnitte. Ein solcher kleiner Abschnitt, der für eine bestimmte Erbinformation, z. B. Ausbildung der Augenfarbe, (mit-)verantwortlich ist, wird als Erbanlage oder Gen bezeichnet.

Damit ist aber die Frage noch nicht beantwortet, wie aus dem auf den Chromosomen verschlüsselten Aufbauplan das fertige Lebewesen entsteht. Vergleichbar mit einem Backrezept (man nehme 150 g Mehl, 5 Eier etc.) wird in den Zellen durch die Reihenfolge der Basenmoleküle vorgeschrieben, welche Bestandteile der Nahrung zu Muskeln, Nerven, Fettgewebe, Haaren usw. des Lebewesens verarbeitet werden sollen. Aber die Erbanlagen geben nur die Möglichkeit vor, was für ein Lebewesen entstehen kann. Wenn, um nochmals den Vergleich mit einem Backrezept heranzuziehen, eine Rezeptur unter anderem 150 g Mehl und 5 Eier fordert, man aber nur 100 g Mehl und 3 Eier zur Verfügung hat, so wird der Kuchen entweder erst gar nicht gebacken werden können, anders schmecken oder kleiner werden. Die gleiche Situation entsteht auch bei der Ausbildung von Eigenschaften und Merkmalen. Wenn aufgrund der Erbanlagen der Einbau von einer bestimmten Menge an Fett, Eiweiß und Mineralien möglich wäre, diese aber aufgrund von Nahrungs-/Nährstoffmangel nicht in die Körpersubstanz eingebaut werden können, so entstehen z. B. Hunde mit geringerem Körperwachstum, Kühe, die weniger Milch geben oder auch Bienen, die weniger Honig sammeln.

Die beobachteten, gemessenen oder gewogenen Merkmale oder Eigenschaften geben somit nicht direkt die Erbanlage wieder, sondern die Wirkung dieser Erbanlagen unter den jeweiligen Umweltbedingungen. Waren diese für die Ausbildung eines Merkmals günstig, so wird sich ein anderer Merkmalswert ergeben, als wenn dieselben Erbanlagen unter schlechten Bedingungen ihre "Arbeit verrichten" mussten. Die sichtbaren, aus dem Zusammenspiel von Erbanlagen und Umweltbedingungen hervorgegangenen Leistungen, Eigenschaften oder Merkmale werden als der *Phänotyp* eines Lebewesens, die zugrundeliegenden Erbanlagen werden als dessen *Genotyp* bezeichnet.

Bis auf einige Ausnahmen, auf die später noch Bezug genommen werden wird, entsteht jedes Lebewesen aus der Vereinigung einer mütterlichen Eizelle und einer väterlichen Samenzelle. Das fertige Lebewesen besteht aber aus ungeheuer vielen und sehr unterschiedlichen Zellen. Das bedeutet, dass eine Zellvermehrung stattfinden und dass jede einzelne Zelle mit der Steuereinheit, d. h. den Erbanlagen, ausgerüstet werden muss.

Vermehrung der Chromosomen

Wie schon erwähnt, bestehen die Chromosomen im Wesentlichen aus einem Doppelfaden, wobei der eine Teil des Stranges eindeutig durch den anderen festgelegt ist. Die Zellvermehrung wird durch eine Auftrennung der Basenpaare eingeleitet, wodurch aus einem Doppelfaden zwei Einzelfäden entstehen. Die beiden Einzelfäden werden nun durch immer in den Zellen befindliche "Ersatzteile" ergänzt. Hierbei wird durch das beschriebene Schloß-Schlüssel-Prinzip gewährleistet, dass die bei der Auftrennung frei werdenden Seiten der beiden Einzelfäden nur durch die "passenden Ersatzteile" ergänzt werden. Aus einem Chromosom sind zwei völlig identische Chromosomenkopien geworden.
Bevor sich die Zelle teilt, ordnet sich jeweils eine Chromosomenkopie einer der einander gegenüberliegenden Zellhälften zu. Die Zelle teilt sich und es entstehen zwei identische Kopien der Ursprungszelle. Durch diesen Vorgang, Verdopplungsteilung oder Mitose genannt, wird sichergestellt, dass Anzahl und Ausprägung der Chromosomen in allen Körperzellen gleich sind. Dass die Körperzellen ganz verschiedene Funktionen (Haut-, Leber-, Muskel- und andere Zellen) erfüllen können, ist somit nicht durch unterschiedliche Ausstattung mit Chromosomen verursacht, sondern es werden nur in den verschiedenen Zellen jeweils "andere Seiten" (andere Chromosomenabschnitte) des ansonsten für alle Zellen "gleichen Kochbuchs" verwendet. Unterzieht man sich der Mühe, in einer Körperzelle die Gesamtheit der Chromosomen genau mit dem Mikroskop zu untersuchen, so wird man zu jedem Chromosom ein in Form und Größe identisches "Partnerchromosom" finden (2 a).

Es sind, wie in der ersten Spalte von Tabelle 1 aufgeführt, im Zellkern nicht lauter verschiedene Einzelchromosomen, sondern entsprechend der zweiten Spalte dieser Tabelle, jeweils (halb so viele) Chromosomenpaare vorhanden. Dies erklärt sich aus der Tatsache, dass bei der Verschmelzung der väterlichen und mütterlichen Keimzellen die beiden elterlichen Chromosomensätze als selbstständige Einheiten erhalten bleiben. Jede Körperzelle hat somit bei den meisten Tier- und Pflanzenarten einen doppelten (diploiden) Chromosomensatz, jeweils einen von der Mutter und einen vom Vater. Die paarweise gleichen Kernschleifen sind nicht nur äußerlich einander ähnlich, sie gleichen sich auch in ihrer Bedeutung und ihrem inneren Aufbau, indem sie Erbanlagen für die gleichen Merkmale enthalten. Die beiden Chromosomen eines Paares sind beide für die gleichen Aufgaben verantwortlich, z. B. Festlegung der Körpergröße, was aber nicht notwendigerweise bedeutet, dass beide diese Aufgabe in gleicher Weise erfüllen. Welche Ausprägung letztendlich Eigenschaften und Merkmale erhalten,

resultiert – abgesehen vom Umwelteinfluss – aus dem Zusammenwirken der beiden Partnerchromosomen. Auf diesen Aspekt wird später noch genauer eingegangen. Die Anzahl der Chromosomen in den Körperzellen ist für jede Tier- und Pflanzenart charakteristisch und konstant.

Entstehung der Keimzellen

Die Anzahl der Chromosomen könnte aber nicht konstant gehalten werden, wenn die Eltern ihren Nachkommen jeweils einen doppelten Chromosomensatz weitergäben; eine Verdoppelung der Anzahl der Chromosomen in jeder Generation wäre die Folge.

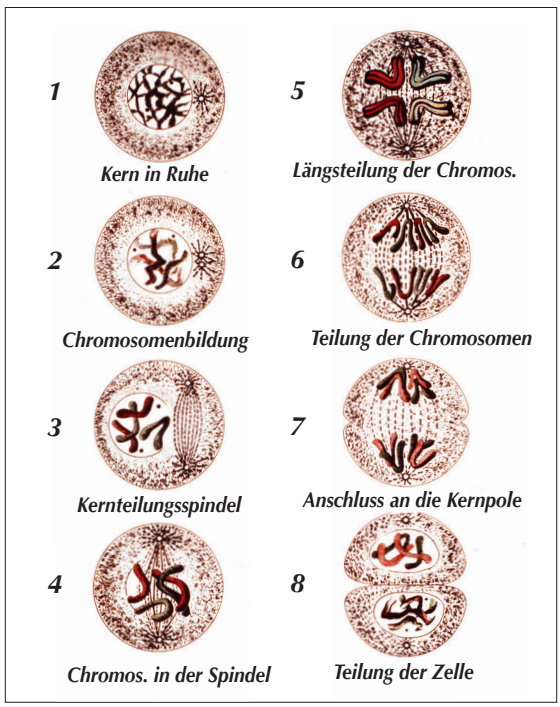


Abb. 2 a: Darstellung der Zellteilung. (Zeichnung: NESWETHA)

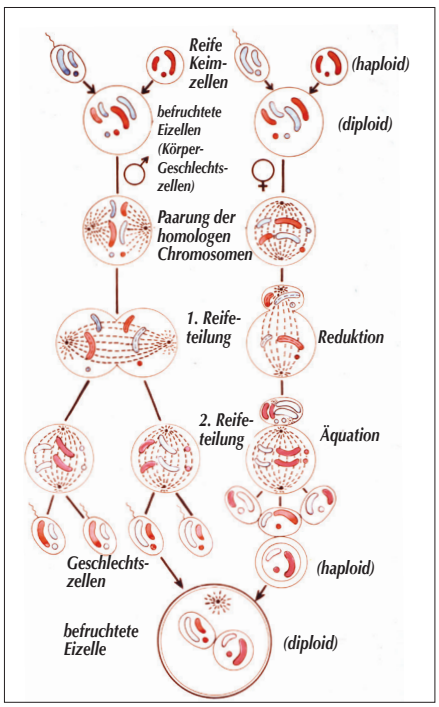


Abb. 2 b: Darstellung der Geschlechtszellenbildung. (Zeichnung: NESWETHA)

Die *Reduktionsteilung* oder *Meiose* im Keimgewebe verhindert dies. Bei diesem Vorgang ordnen sich die Chromosomenpaare, die vorher regellos im Zellkern verteilt waren, gegenüberliegend in der Zellmitte an. Nachfolgend werden die einzelnen Chromosomenpaare auseinandergezogen, so dass sich jetzt in der rechten bzw. linken Zellkernhälfte je ein einfacher (haploider) Chromosomensatz befindet. Abschlie-

ßend teilt sich die Zelle, und aus einer Zelle mit einem doppelten Chromosomensatz sind zwei Zellen mit jeweils einem halbierten Chromosomensatz geworden (2 b). Aus diesen Zellen entwickeln sich die Geschlechtszellen (männliche Samenzellen bzw. weibliche Eizelle). Es muss hier betont werden, dass es dem Zufall überlassen bleibt, welches der beiden "Partnerchromosomen" auf der "rechten" bzw. "linken" Seite der Zellmitte angeordnet wird. Schöpft man alle Anordnungsvarianten aus, so können bei zwei verschiedenen Chromosomenpaaren vier unterschiedliche Geschlechtszellen entstehen. Bei einer Bienenkönigin mit 16 Chromosomenpaaren ergeben sich schon 65536 Möglichkeiten verschiedener Geschlechtszellen.
Bei der Paarung entstehen nun aus der Kombination der jeweils halbierten väterlichen und mütterlichen Chromosomensätze wieder Nachkommen mit doppeltem (diploidem) Chromosomensatz. Die oft beobachtete Eltern-Nachkommen-Ähnlichkeit ist durch den Besitz gleicher Chromosomen leicht zu erklären. Aber auch die Unterschiede innerhalb der Nachkommen werden durch die Möglichkeit der Weitergabe verschiedener Geschlechtszellen der beiden Eltern verständlich.

1.1.2 Mendelsche Genetik

GREGOR MENDEL (1822-1884), Mönch im Augustinerkloster in Brünn (3), erhielt aufgrund seiner besonderen Begabung die Möglichkeit, sich an der Universität Wien in Mathematik, Physik und Biologie weiterzubilden. Nach seiner Rückkehr ins Kloster unterrichtete er an der Brünner Oberrealschule Naturgeschichte und Physik, bis er 1868 Abt des Klosters wurde. Soviel zum Lebensweg des Mannes, der durch seine Versuche und deren geniale Interpretation den Vererbungsgesetzen den Namen gab.
Schon bevor 1856 MENDEL seine Versuche mit Erbsen begann, hatte sich eine Reihe von Forschern (KNIGHT, SAGERET, SETON, GOSS) mit Kreuzungsversuchen an verschiedenen Kulturpflanzen beschäftigt. MENDEL schreibt darüber: *„Unter den zahlreichen Versuchen ist keiner in dem Umfange und in der Weise durchgeführt, 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“*. Er beschränkte sich bei seinen Versuchen auf leicht unterscheidbare Form- oder Farbmerkmale, sogenannte qualitative Merkmale, und machte genaue Aufzeichnungen über das Auftreten dieser Merkmale bei den Nachkommen.

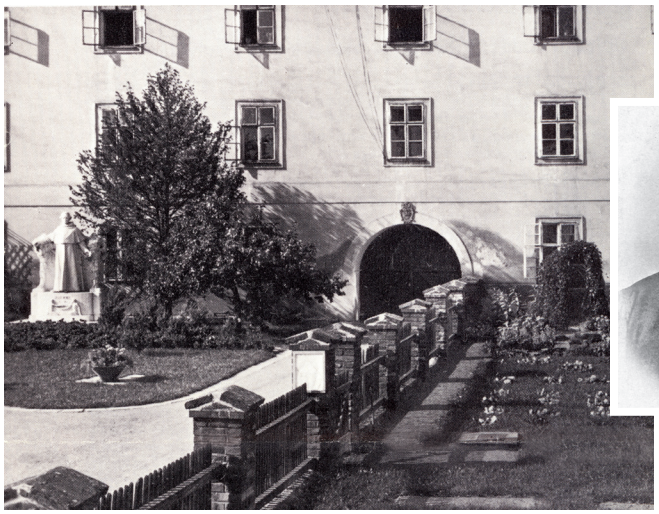
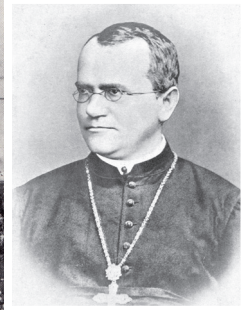


Abb. 3: Der Versuchsgarten MENDELS im Augustinerkloster Brünn.



GREGOR MENDEL (1822-1884)

Erstes Mendelsches Gesetz (Uniformitätsgesetz)

Aus der Kreuzung von sich in nur einem Merkmal reinerbig unterscheidenden Eltern entstehen untereinander (bezüglich dieses Merkmals) vollkommen gleiche Nachkommen. Reinerbig (homozygot) bedeutet, dass sowohl die mütterliche wie auch die väterliche Erbanlage für ein Merkmal identisch ist. Hat ein Individuum zwei unterschiedliche Erbanlagen für ein Merkmal z. B. Erbanlage „weiße Gefiederfarbe" vom Vater und Erbanlage „schwarze Gefiederfarbe" von der Mutter, so wird es als mischerbig oder heterozygot bezeichnet. Wie die untereinander gleichen Nachkommen aussehen, wird durch den Typ des Erbgangs bestimmt. Man nennt den Erbgang dominant-rezessiv, wenn alle Nachkommen so aussehen wie der Elternteil, der die dominante Erbanlage trägt. Bei der in Abbildung 4 a dargestellten Vererbung der Schalenfarbe bei der Schnecke ist die Erbanlage für den braunen Farbton dominant, d. h. diese Erbanlage unterdrückt (dominiert über) die Anlage zur gelben Schalenfarbe. Die Erbanlage „gelbe Schalenfarbe" ist rezessiv (unterdrückt), so dass bei einer Kreuzung von braunen mit gelben Schnecken nur Nachkommen mit brauner Schalenfärbung auftreten (4 a). Beim intermediären (in der Mitte liegend) Erbgang entstehen Nachkommen, die bezüglich eines Merkmals genau zwischen den beiden Eltern liegen. Kreuzt man z. B. rotblühende mit weißblühenden Erbsen, so wird man in der nächsten Generation nur rosablühende Nachkommen finden (4 b).

Die Nachkommen reinerbiger Eltern zeigen entweder nur die Merkmalausprägung des dominanten Elternteils, oder es entsteht eine in der Elterngeneration noch nicht

beobachtete (intermediäre) Merkmalsausbildung. Sind die demnach nicht mehr in Erscheinung tretenden Eigenschaften verschwunden? Um diese Frage zu beantworten, kreuzte MENDEL die mischerbigen Nachkommen untereinander.

Zweites Mendelsches Gesetz (Spaltungsgesetz)

Bei der Kreuzung mischerbiger Nachkommen treten alle Merkmalsausprägungen der (jeweils reinerbigen) Elterngeneration wieder auf, und zwar in einem ganz bestimmten Zahlenverhältnis. Beim dominant-rezessiven Erbgang fand MENDEL, dass 75 % der Nachkommen bezüglich der Schalenfarbe mischerbiger Eltern braun(dominant) und 25 % gelb (rezessiv) waren (4 a). Dies entspricht einem Verhältnis von 3:1. Beim intermediären Erbgang waren 25 % der Nachkommen weiß-, 50 % rosa- und 25 % rotblühend (4 b). Die Aufspaltungsregeln sind beim intermediären und dominant-rezessiven Erbgang aber nicht prinzipiell verschieden. Das unterschiedliche Zahlenverhältnis kommt nur dadurch zustande, dass beim dominant-rezessiven Erbgang die mischerbigen Erbanlagenträger optisch nicht von den reinerbig dominanten unterschieden werden können. Könnte man die unterschiedlichen Erbanlagen in den Zellen mit dem Auge erkennen, so ergäbe sich auch beim dominant-rezessiven Erbgang das Aufspaltungsverhältnis

25 % dominant reinerbig		50 % mischerbig		25 % rezessiv reinerbig
1	:	2	:	1

Die Erklärung, wie diese Aufspaltungsgesetzmäßigkeiten zustande kommen, ist durch die vorhergehende Beschreibung der Keimzellenbildung und des doppelten Erbanlagensatzes schon vorweggenommen. Ein mischerbiger Vorfahre kann seinen Nachkommen entweder die eine oder die andere Erbanlage weitergeben. Die Wahrscheinlichkeit beträgt wie beim Münzwurf (Kopf oder Zahl) für beide Erbanlagen jeweils die Hälfte (1/2) d. h. 50 %. Demnach wird ein Nachkomme in jeweils 50 % (1/2) der Fälle vom Vater (1/2) oder von der Mutter (1/2) die gleiche Erbanlage bekommen, sodass in (1/2 • 1/2 = 1/4) 25 % der Fälle der Nachkomme von beiden Eltern (Vater und Mutter) die gleiche Erbanlage bekommt.

Dies bedeutet, dass 25 % der Nachkommen mischerbiger Eltern reinerbig sind. In 25 % der Fälle entstehen aus der Kreuzung mischerbiger Eltern Nachkommen, die vom Vater die eine Erbanlage (z. B. für braune Schalenfarbe) und von der Mutter die entsprechend andere Erbanlage (z. B. für gelbe Schalenfarbe) bekommen. Der umgekehrte Fall (Erb-

anlage für Gelb vom Vater und Erbanlage für Braun von der Mutter) wird ebenfalls in 25 % der Fälle auftreten. Da es für die Merkmalsausprägung gleichgültig ist, ob die entsprechenden Erbanlagen vom Vater oder von der Mutter stammen – auch ein Resultat aus MENDELS Versuchen – sind 50 % (25 % + 25 %) der Nachkommen mischerbiger Eltern wieder mischerbig. Graphisch ist dies noch einmal in den Abbildungen 4 a und b dargestellt.

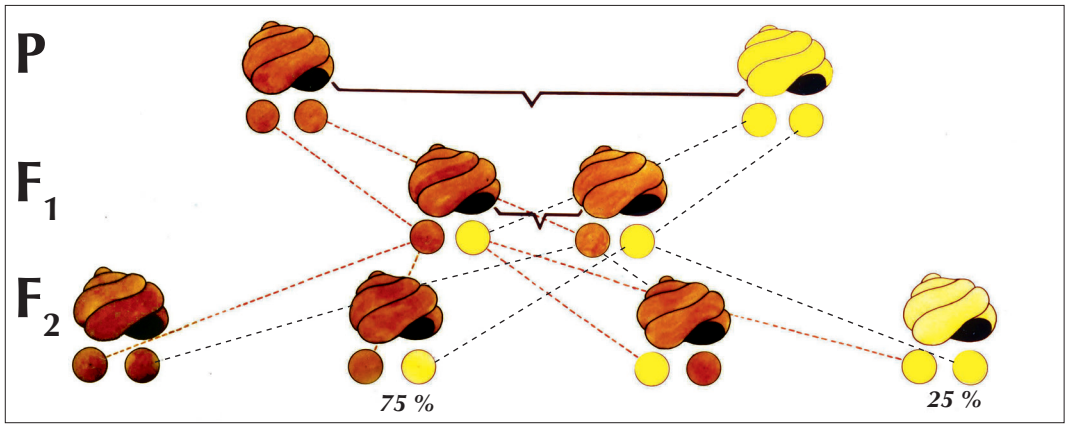


Abb. 4 a: Dominanter Erbgang. (Zeichnung: FOCKE)

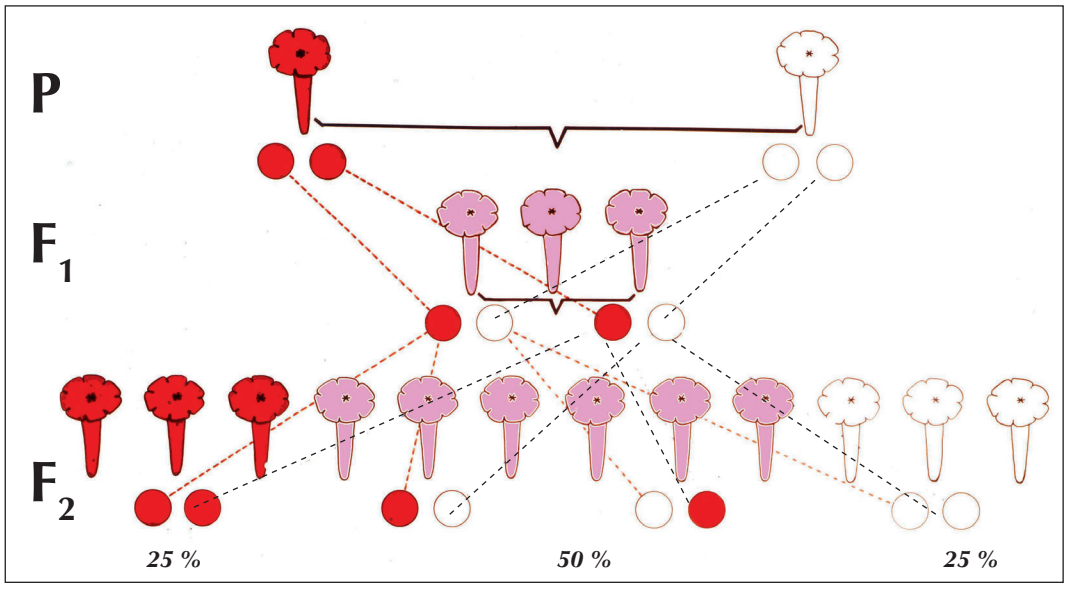


Abb. 4 b: Intermediärer Erbgang. (Zeichnung: FOCKE)

Es wurde schon eingangs auf die Zufälligkeit bei der Chromosomenverteilung hingewiesen. Diese hat zur Folge, dass es im Einzelfall, d. h. wenn man nur sehr wenige Nachkommengruppen auszählt, zu einem deutlichen Unterschied zwischen den theoretisch erwarteten Spaltungsverhältnissen und dem, was man tatsächlich beobachtet, kommen kann. Wie beim Münzwurf, wo man mehrmals hintereinander nur Kopf oder nur Zahl werfen kann und erst nach häufigen Würfen zum theoretisch erwarteten Ergebnis (50 % Kopf und 50 % Zahl) kommt, stellt sich gewöhnlich auch bei Kreuzungsexperimenten erst bei einer größeren Nachkommenzahl eine Übereinstimmung zwischen „Theorie“ und „Realität“ ein.

Drittes Mendelsches Gesetz (Gesetz von der freien Kombinationsmöglichkeit der Anlagen)

Bei der Kreuzung von Eltern, die sich in zwei (oder mehr) Erbanlagen unterscheiden, werden die einzelnen Anlagen unabhängig voneinander vererbt und bei der Keimzellenbildung und Befruchtung neu zusammengestellt.

Die Aussage, dass die einzelnen Erbanlagen während der Reduktionsteilung vollkommen frei kombiniert werden können, kann angesichts der eingangs beschriebenen Verhältnisse im Zellkern nicht mehr in dieser allgemeinen Formulierung aufrechterhalten werden. Die freie Kombinationsmöglichkeit der Erbanlagen ist natürlich nur dann möglich, wenn diese Erbanlagen auf unterschiedlichen Chromosomen liegen. Da es bedeutend mehr Erbanlagen als Chromosomen gibt, werden viele Eigenschaften gemeinsam vererbt. Für solche Merkmale, die durch die Lage auf dem gleichen Chromosom „zwangsverbunden“ sind, gilt das dritte Mendelsche Gesetz nicht.

Die große Leistung MENDELS, dem weder die Zellkernstrukturen noch die Meiose bekannt waren, liegt in der richtungsweisenden Interpretation der Ergebnisse seiner Kreuzungsversuche.

Für die praktische Tier- und Pflanzenzucht sind auch weniger die numerischen Ergebnisse dieser Kreuzungsversuche von Bedeutung, als vielmehr die daraus abzuleitenden allgemeingültigen Gesetzmäßigkeiten. Sie sind nachfolgend als Zusammenfassung des bisher Gesagten aufgeführt: