

Inzucht – Linienzucht – Rassezucht

Kontrollierte Inzucht ist in der Rassezucht, ob Nutztier oder Haustier, eine weit verbreitete Methode Rassemerkmale zu festigen. Dabei erzielt man durch kontrollierte Verwandtschaftsverpaarungen schnell eine Reinerbigkeit rassetypischer Merkmale (Allele). Es gibt neben einmaligen Rück- und Geschwisterverpaarungen verschiedene konventionelle Methoden. Bei der Linienzucht werden z.B. über mehrere Generationen Inzuchtlinien auf Einzelindividuen aufgebaut, indem Nachkommen aus Rückkreuzungen immer wieder auf ein bestimmtes Anfangsindividuum zurück verpaart werden. Diese Linien können dann erneut ohne Verlust der Reinerbigkeit mit anderen Inzuchtlinien gekreuzt werden. Die jeweiligen Anfangsindividuen können miteinander verwandt sein oder völlig fremdblütig. So haben sich im Laufe der Jahre bestimmte Schemata in der Linienzucht eingebürgert. Im Gegensatz zu vielen anderen Haustieren sind Inzuchtverpaarungen (solange keine Qualzucht erreicht wird) unbegrenzt erlaubt. Bei Hunden oder Katzen gibt es dagegen gesetzlich verbotene Verpaarungen, so sind meist nur sehr entfernte Verwandtschaftsverpaarungen erlaubt. Der Grund hierfür liegt bei den zahlreichen Gendefekten (bei Hunden 500 Erbkrankheiten), Lethalfaktoren und negativen Fitnessgenen.

Inzuchtkoeffizient (Verwandtschaftskoeffizient)

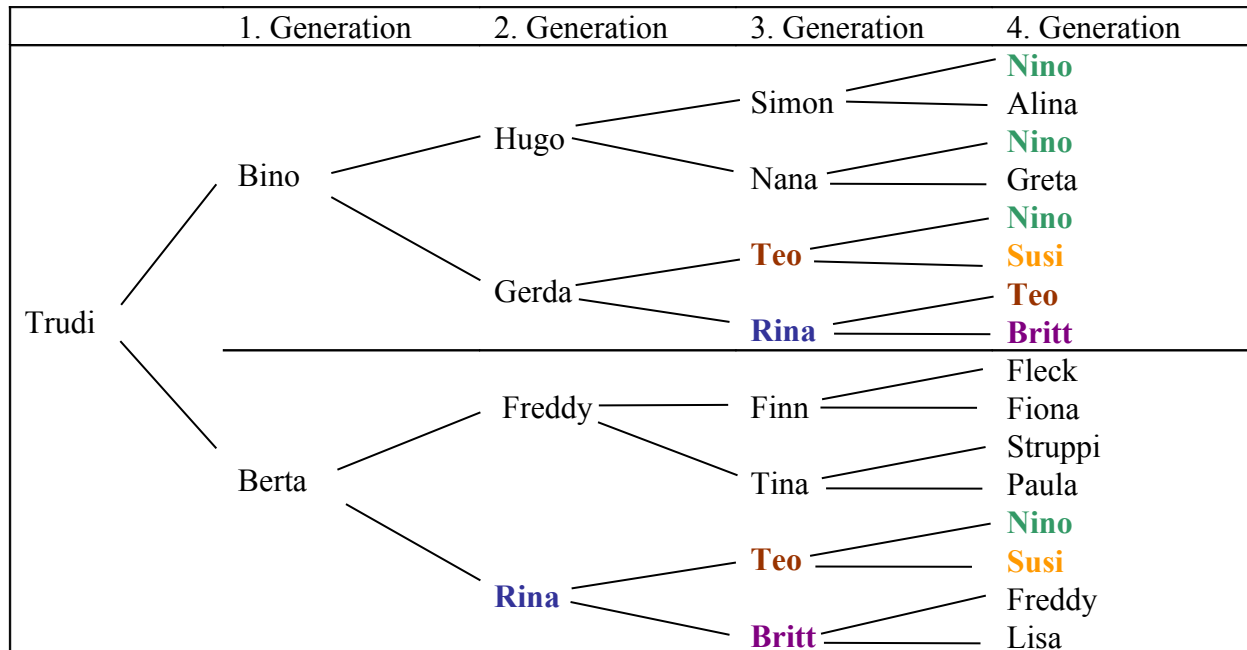
Der Inzuchtkoeffizient ist eine Methode von vielen, um den Grad der Inzucht festzustellen. Hierbei wird anhand aller bekannten Vorfahren ein Zahlenwert für eine Verpaarung bzw. des daraus hervorgegangenen Nachwuchses ermittelt. Dieser ergibt sich ausschließlich aus der Namenhäufigkeit im Stammbaum, wodurch der Inzuchtkoeffizient nur für einen bestimmten Zeitraum aussagekräftig ist. Mit zunehmenden unbekanntem Vorfahren im Stammbaum, wird der Wert nämlich mehr und mehr zu einer Schätzung. Allerdings reicht die Bestimmung des Inzuchtkoeffizienten über 3 oder 4 Generationen (normales Stammbaum-Format) völlig aus, um eine ausreichend sichere Aussage zu machen. Gewöhnlich wird aber sowohl der Inzuchtkoeffizient als auch der Ahnenverlustkoeffizient auf 5 Generationen berechnet, um einen allgemein vergleichbaren Wert zu erhalten. Moderne Zuchtprogramme beziehen sich bei der Berechnung gerne auf alle angegebenen Vorfahren, was über längere Zeit den Inzuchtkoeffizient ungenau macht.

$$IK = (1/2)^{n1+n2+1}$$

Solche Programme ersetzen unbekannte Vorfahren mit fremdblütigen Vorfahren, hier ist also Vorsicht geboten!

Der Inzuchtkoeffizient lässt sich nun also durch eine einfache Formel verdeutlichen. Dabei entspricht $n1$ der Anzahl der Generationen zwischen Vater und mehrfach vorkommendem Vorfahren und $n2$ der Anzahl der Generationen zwischen Mutter und mehrfach vorkommendem Vorfahren. Dies ergibt einen Wert, der für jeden weiteren mehrfach vorkommenden Ahnen erneut berechnet werden muss. Anschließend werden alle Werte summiert und ergeben den endgültigen Inzuchtkoeffizienten. Die Ahnen eines mehrfach aufgeführten Vorfahren werden allerdings nicht eingerechnet, da diese bereits in diesem „stecken“.

Nun aber ein anschauliches und relativ einfaches Beispiel anhand des Meerschweinchens Trudi, deren Inzuchtkoeffizienten wir bestimmen wollen.
(Alle Daten des Stammbaums sind frei erfunden.)



Aus dem Stammbaum ergibt sich, dass wir insgesamt 5 mehrfach vorkommende Ahnen haben, allerdings erscheint **Britt** nur hinter Rina und **Susi** nur hinter Teo. Da sowohl Teo und Rina aber beide ebenfalls mehrmals auftauchen „stecken“ Susi und Britt bereits in ihren Nachkommen und müssen nicht extra berechnet werden.

Wir berechnen also nur den Inzuchtkoeffizienten auf 3 Ahnen:

1. Ahne: **Rina**

Rina taucht väterlicherseits/vls (hinter Bino) in der 3. Generation und mütterlicherseits/mls (hinter Berta) in der 2. Generation auf. Um die Inzucht auf Rina festzustellen schreiben wir vereinfacht:

vls zu mls = 3:2

Dann berechnen wir nach der obigen Formel: $(3+2)-1 = 4 \Rightarrow (1/2)^4 = 0,0625$

Die Dezimalzahl 0,0625 nun anschaulicher als Prozentwert ergibt den Inzuchtkoeffizienten **6,25%** auf Rina.

2. Ahne: **Teo**

Teo erscheint einmal vls in der 3. und der 4. Generation und mls in der 3. Generation.

Wir schreiben:

vls zu mls = 3,4:3

Davon erscheint Teo aber zweimal hinter Rina (die unterstrichenen Zahlen), die wir bereits berechnet haben, deshalb werden wir dies in der Rechnung nicht berücksichtigen.

Wir berechnen:

$(\underline{3}+\underline{3})-1 = 5 \Rightarrow (1/2)^5 = 0,0313$

Aber nicht $(\underline{4}+\underline{3})-1 = 6 \Rightarrow (1/2)^6 = 0,0156$!!!

Was einem Inzuchtkoeffizienten von **3,13%** auf Teo entspricht.

3. Ahne: **Nino**

Nino erscheint vls insgesamt 3-mal in der 4. Generation und mls einmal in der 4. Generation.

Wir schreiben dies dann so:

vls zu mls = **4,4,4:4**

Davon erscheint er aber zweimal hinter Teo (die unterstrichenen Zahlen), den wir bereits berechnet haben, deshalb werden wir dies in der Rechnung nicht berücksichtigen.

Wir berechnen:

$$(4+4)-1 = 7 \Rightarrow (1/2)^7 = 0,0078 \text{ und}$$

$$(4+4)-1 = 7 \Rightarrow (1/2)^7 = 0,0078$$

$$\text{Aber nicht } (4+4)-1 = 7 \Rightarrow (1/2)^7 = 0,0078 \text{ !!!}$$

$$0,0078 + 0,0078 = 0,0156 \Rightarrow \text{Inzuchtkoeffizient } \mathbf{1,56\%} \text{ auf Nino.}$$

Die Summer aller Inzuchtkoeffizienten ergibt sich ein endgültiger Inzuchtkoeffizient von: **6,25 + 3,13 + 1,56 = 10,94%** auf 4 Generationen.

Ahnenverlustkoeffizient

Bei Verwendung des Inzuchtkoeffizienten ergibt sich allerdings ein Problem, so kann die Inzucht auf einen bestimmten Ahnen nicht mehr berechnet werden, wenn er nur väterlicherseits oder nur mütterlicherseits mehrfach auftaucht. Es reicht bereits eine Fremdverpaarung, um den Inzuchtkoeffizienten auf 0% zu bringen. Dies entspricht aber nicht den Tatsachen, denn hinter einem Elternteil können immer noch Ahnen mehrfach auftauchen. Am extremsten haben wir dies bei Auskreuzungen, also Verpaarungen zweier stark ingezüchteter Tiere! Würde man hier alleine nur vom Inzuchtkoeffizienten ausgehen, hätte man überhaupt keine Inzucht. Um dieses Problem zu umgehen, kann man den Ahnenverlustkoeffizienten zu Rate ziehen. Er bezieht sich, wie der Name schon sagt, auf die Anzahl „verlorener“ fremdblütiger Ahnen.

Der Ahnenverlustkoeffizient berechnet sich bedeutend umstandsloser, als der Inzuchtkoeffizient, wir dividieren lediglich die Anzahl tatsächlich fremdblütiger (verschiedener) Ahnen durch die Anzahl wahrscheinlicher, fremdblütiger (verschiedener) Ahnen. Auf den obigen Stammbaum bezogen sieht das so aus:

Bei 4 Generationen ergeben sich insgesamt 30 Ahnen, also 30 wahrscheinliche, verschiedene Ahnen. Tatsächlich wird aber genau 7-mal ein Name mehrfach genannt, es gibt also nur 23 tatsächlich verschiedene Ahnen (30-7=23).

Wir rechnen:

$$23:30 = 0,7667 \Rightarrow \text{Ahnenverlustkoeffizient von } \mathbf{76,67\%} \text{ auf 4 Generationen.}$$

(Achtung der „Ahnenverlust“ liegt bei 23,33% (100%-76,67%=23,33%), nicht verwechseln!)

Inzuchtdepression

Was fangen wir nun aber mit den berechneten Werten an? Alleine sagen die Werte nicht viel, aber generell gilt: Der Inzuchtkoeffizient sollte so gering wie möglich und der Ahnenverlustkoeffizient so groß wie möglich sein. Ein nicht ingezüchtetes Tier hat demnach einen Inzuchtkoeffizienten von 0% und einen Ahnenverlustkoeffizienten von 100%. Da, wie erwähnt, keine gesetzlichen Vorgaben für die Nagetierzucht bestehen, ist es jedem Züchter selbst überlassen, bis zu welchen Werten er die Inzucht ausweiten will. In der Hundezucht liegen beispielsweise die empfohlenen Grenzwerte bei 10% IK und einem AVK von 75%. Laut Literatur tritt Inzuchtdepression, je nach Grundinzuchtgrad der Linie bereits ab 20%IK auf. Dies liegt vor allem an der schon bereits vorhanden Inzucht, die je nach Rasse unterschiedlich ist. So stammen einige Rassen von beispielsweise nur zwei oder drei Vorfahren ab. Diese aus der Hundezucht stammenden Werte sind natürlich nicht als Toleranzwerte für die Nagetierzucht zu übernehmen. Vor allem wenn man davon ausgeht, dass bereits bei einer Rück- oder Vollgeschwisterverpaarung ein Inzuchtkoeffizient von 25% entsteht. Im Gegensatz zu Hunden, Katzen oder Pferden ist Inzucht bei Meerschweinchen und

allen anderen Nagern nicht verboten, da diese Tierarten relativ inzuchtstabil sind. Das heißt, eine Inzuchtdepression tritt erst sehr spät auf und auch Schäden durch Lethalfaktoren sind sehr selten. Wichtig hierfür ist aber vor allem eine gute Zuchttierauswahl. Bei falscher Auswahl an Zuchttieren verstärken sich nicht nur die in der Zucht erwünschten Rassemerkmale, sondern auch negative Eigenschaften, wie beispielsweise erbliche Zahnfehlstellungen oder Lethalfaktoren. Für das Gelingen einer gesunden Inzucht ist somit eine genaue und gewissenhafte Auswahl der Zuchttiere notwendig. Auch sollte man bereit sein, im Fall eines Auftretens erblicher Dispositionen, alle verwandten Zuchttiere aus der Zucht zu nehmen, um eine weitere Verbreitung der gesundheitsschädlichen Merkmale zu verhindern. Zu diesem Punkt sei auch erwähnt, dass das deutsche Tierschutzgesetz alle Zuchthandlungen, die wissentlich oder unwissentlich zu beeinträchtigten Jungen führen, verbietet und mit Geldstrafen sowie Zucht- und Haltungsverboten bestraft. Der Zeitpunkt, ab dem eine Inzuchtdepression auftritt, scheint aber auch nicht ausschließlich von erblichen Faktoren abhängig. Der Anteil mit dem die Erblichkeit eines Merkmals (Heritabilität) bestimmt wird, lässt sich durch positive Selektion beeinflussen. Merkmale wie Körpergröße, die Leistungsfähigkeit des Immunsystems, die Fruchtbarkeit und damit auch die allgemeine Lebenserwartung scheinen allerdings zu großem Maß nicht erblich beeinflusst zu sein. Diese Eigenschaften sind schwer selektierbar und von einem hohen Maß an Heterozygotie abhängig. Vereinfacht gesagt verhalten sich die Merkmale entgegengesetzt der typischen Rassezuchtmerkmale. Während sich Rassezuchtmerkmale mit einem erhöhten Homozygotiegrad verstärken, zeigen sich die oben erwähnten Merkmale dagegen eher bei erhöhtem Heterozygotiegrad verstärkt. Es ist daher bei Verpaarung zweier Individuen, die möglichst verschiedene Gene für die Fitness-Merkmale Körpergröße, Immunsystem und Fruchtbarkeit besitzen mit besonders leistungsfähigen, fruchtbaren und frohwüchsigen Nachkommen zu rechnen. Als Inzuchtdepression bezeichnet man nun den Rückgang der Fitness unter erhöhtem Inzuchtgrad. Inzucht alleine ist daher nicht erfolgreich. Wichtig ist, dass man sobald eine Inzuchtdepression auftritt umgehend handeln sollte. Auskreuzen oder Fremdzucht sind dann die naheliegendsten Wege aus der Depression heraus. Fremdzucht hat dabei sehr große Nachteile, da sie die Heterozygotie in allen Merkmalen erhöht und daher zwar zu vitalen Nachkommen führt, die aber in ihren erwünschten Rassemerkmalen den Elterntieren nachstehen. Aus diesem Grund wird meist ausgekreuzt. Dabei stammt das fremdblütige Tier selbst aus einer ingezüchteten Linie und ist, wie die eigenen Tiere in den gewünschten Merkmalen stark homozygot. In allen anderen Erbanlagen, ist es jedoch verschieden. So erzielt man Nachkommen, die in den Rassemerkmalen homozygot sind, aber in allen anderen Merkmalen stark heterozygot. Diese Nachkommen übertreffen somit meist die Eltern in allen ihren Eigenschaften.

Heterosiseffektes

Als Heterosiseffekt versteht man nun dieses Phänomen, wenn die Nachkommen zweier stark reinerbiger aber nicht verwandter Elterntiere ihre jeweiligen Eltern in deren Eigenschaften übertreffen. Die genaue Ursache hierfür ist noch nicht vollständig aufgeklärt. Man geht aber davon aus, dass günstige Merkmale meist dominant sind und sich bei der Verpaarung zweier fremdblütiger Eltern eine Vielzahl an dominanten, positiven Allelen in den Nachkommen vereinigen. Da diese Merkmale dominant sind, kommen bedeutend mehr positive Merkmale bei den mischerbigen Nachkommen zur Ausprägung, als bei den jeweiligen Eltern. Dies bedeutet allerdings auch, dass die Ausprägung des Heterosiseffektes durch Zucht stabil zu erreichen ist und außerdem nicht jedes Elternpaar zu einem Höchstmaß an positiven phänotypischen Merkmalen führt. Der Heterosiseffekt kann ebenso ausbleiben oder nur gering ausfallen.

Purging

Purging ist das Überwinden der Inzuchtdepression einer Inzuchtpopulation, wenn starker Selektionsdruck auf die Fitness besteht. Also eine starke Selektion der ingezüchteten Individuen auf ihre Vitalität. Man geht heute davon aus, dass das „Modell der Überdominanz“ unwahrscheinlich ist. Dieses Modell beschreibt, dass die Inzuchtdepression alleine durch den hohen Grad an Homozygotie verursacht wird, egal welche Gene homozygot werden. Ein weiteres Modell nennt sich „Partielles Dominanzmodell“. Dabei geht man davon aus, dass es rezessive, negative Fitnessgene gibt, die durch vermehrte Inzucht, wie jedes rezessive Merkmal, deutlich häufiger zur Ausprägung kommen. Durch den hohen Selektionsdruck auf gesunde, dominante Gene kann die Fitness wieder gesteigert werden, indem die rezessiven, negativen Gene ausgesiektiert werden. Die Inzuchtdepression wird somit überwunden und es entsteht ein inzuchtstabiler und stark homozygoter Stamm. Die Häufigkeit negativer Allele in einer Population bestimmt daher wie inzuchtstabil diese ist. Jede Tierart und jeder Zuchttierstamm reagiert somit individuell auf Inzucht. Dies verdeutlicht auch wie wichtig die korrekte Zuchttierauswahl bei einer erfolgreichen Inzucht ist.

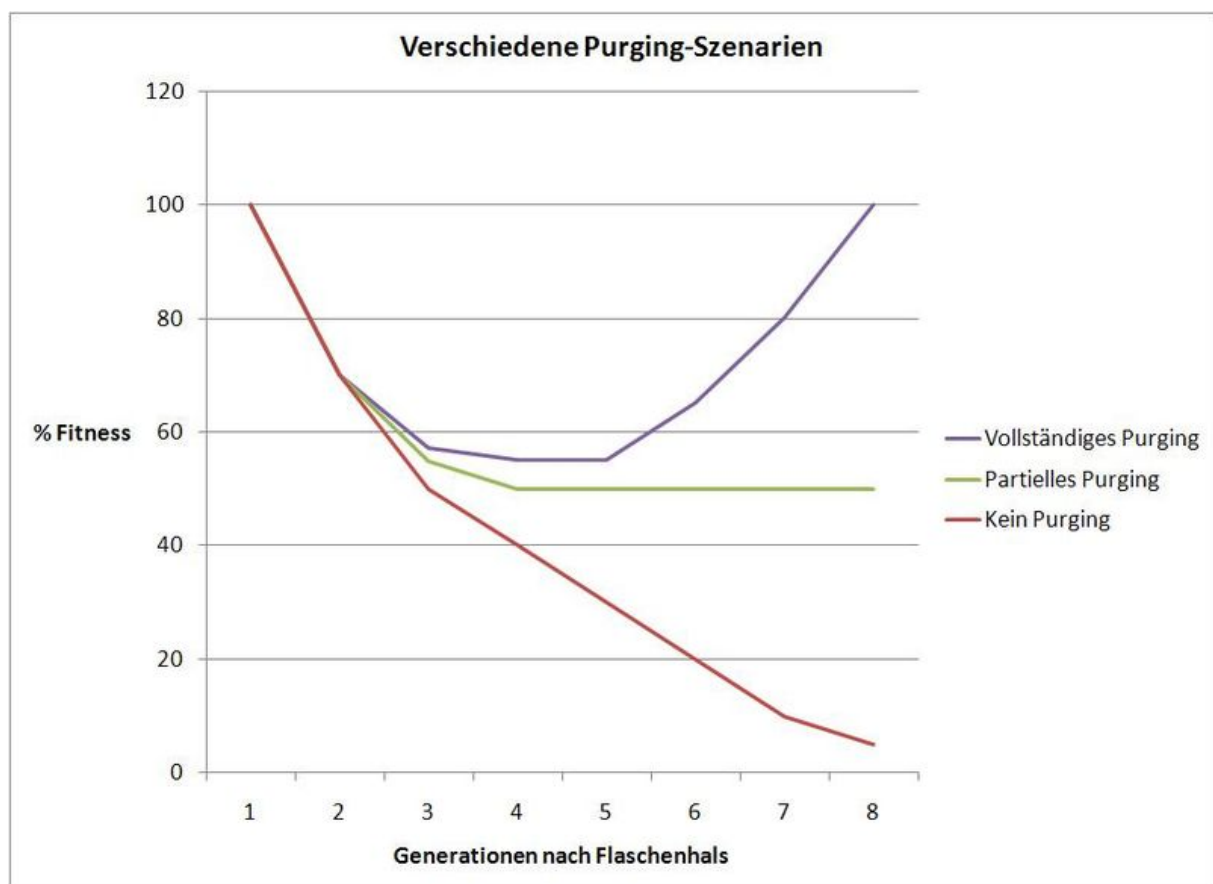


Abbildung 1 Purging (Quelle: Wikipedia.de)

Partielles Dominanzmodell: Inzucht ist umso schädlicher, je länger zuvor keine Inzucht betrieben wurde. Inzucht wird umso weniger schädlich, je länger sie betrieben wird. Überlebt eine Population eine Phase intensiver Inzucht, hat sie sich rezessiver Allele entledigt und kann höhere Fitness als zu Beginn erreichen.

Modell der Überdominanz: Inzucht ist und bleibt gleich schlecht in jeder Generation. Das Ausmaß von Inzuchtdepression hängt nur von der Anzahl der Genorte ab, die Überdominanz zeigen. Heterozygotie korreliert mit Toleranz gegenüber Umweltstress. Heterozygotie korreliert mit Resistenz gegen Pathogen. Jedes Allel verschafft Resistenz gegen jeweils ein Typ von Pathogen.

Quelle: <http://www.bio.uni-potsdam.de/professuren/biodiversitaet-botanik/lehre/archiv/okologische-genetik/Inzucht.pdf>

Inzuchtpraxis

Egal ob man sich nun für die Linienzucht oder andere Formen der Inzucht entscheidet, sollte man um die Gesundheit des Bestandes nicht zu gefährden, nach erfahrungsgemäß spätestens 4 bis 6 Generationen eine Auskreuzung vornehmen. Bei der Linienzucht kann man beispielsweise die Nachkommen der Mutterlinie mit denen der Vaterlinie kreuzen, ohne auf weitere Linien zurück greifen zu müssen. Mit den Nachkommen dieser Verpaarungen, kann nun jeweils wieder eine Vater- und Mutter-Inzuchtlinie aufgebaut werden. Auch die Kreuzung zweier völlig fremdblütiger Vater/Mutterlinien ist möglich. So kann ein Sohn aus einer Mutter- oder Vaterlinie mit einer Tochter einer völlig fremden Mutter- oder Vaterlinie verpaart werden. Nach einigen Generationen kann dann das Auskreuzung wiederholt werden. Natürlich können auch andere Formen der Inzucht vorgenommen werden, die keinen klaren Schema folgen und die Paare innerhalb einer Zuchtgruppe nach Rassemerkmalen und einem möglichst niedrigen Inzuchtgrad ausgewählt werden. Auch hier kann nach einigen Generationen die Verpaarung mit einem fremdblütigen Tier aus einer möglichst ebenfalls ingezüchteten Gruppe hilfreich sein, um einer Inzuchtdepression vorzubeugen.

Generation	Inzuchtkoeffizient	Ahnenverlustkoeffizient
1	0,00%	100,00%
2	+ 25,00% = 25%	75,80%
3	+ 12,50% = 37,5%	64,52%
4	+ 6,25% = 43,75%	59,68%
5	+ 3,125% = 46,875%	58,07%
6	+ 1,56% = 48,435%	58,07%
7	+ 0,78% = 49,215%	58,07%

Tabelle 1 Inzuchtgrad bei reiner Linienzucht, ausgehend von zwei fremdblütigen Anfangstieren.

Neben der Rückkreuzungszucht sind viele weitere auf Inzucht basierende Gebrauchskreuzungen aus der Nutztierzucht bekannt. Bei der Gebrauchszucht wird der Heterosiseffekt ausgenutzt um Verbrauchstiere z.B. für den Verzehr als Fleischlieferanten zu erhalten, die mehr Körpermasse liefern als ihre Eltern und Großeltern. Hierbei sind die Eltern und Großeltern selbst reingezogen oder stammen aus einer Inzuchtlinie. Die Eltern und Großeltern stellen dabei die Zuchttiere da und die erzeugten Nachzuchten sind die Nutztiere selbst. In der Hobbyzucht bieten sich solche Verpaarungsmethoden beispielsweise bei gefestigten Zuchten an, bei denen man den Heterosiseffekt für die Zucht von hervorragenden Ausstellungstieren nutzen möchte, die in ihren Merkmalen die Eltern und Großelternlinien deutlich übertreffen.

1. Dreiwegekreuzung

Bei dieser Form der Nutztierzucht werden drei möglichst fremdblütige, reinerbige Linien verwendet. Das Verfahren geht über zwei Generationen, wobei zunächst Linie A mit Linie B gekreuzt wird. Die Nachkommen aus dieser Zucht werden dann mit der Linie C gekreuzt und es entstehen die gewollten Nutztiere, die ihre Eltern deutlich übertreffen. Dies ist eine Erweiterung der einfachen Auskreuzung (auch Einfachkreuzung genannt), bei der nur zwei fremdblütige, reinerbige Tiere verpaart werden und bereits die F1-Generation den Heterosiseffekt zeigt.

2. Vierwegekreuzung

Die Form ist eine Weiterführung der Dreiwegekreuzung und schließt eine weitere Linie D ein, mit der die Generation ABC gekreuzt wird. Diese zwei Methoden bieten sich neben der Zucht

von Inzuchtlinien an, um Ausstellungstiere zu produzieren, die Merkmale aller verwendeten Inzuchtlinien vereinigen und in ihrer Ausprägung die Ursprungslinien übertreffen.

1. Kreuzung: $A \times B \rightarrow AB$
2. Kreuzung: $AB \times C \rightarrow ABC$
3. Kreuzung: $ABC \times D \rightarrow ABCD$ (Ausstellungstier)

Weiterhin kann die Vierwegekreuzung auch darin bestehen, das die F1-Nachkommen aus der Paarung AxB und der Paarung CxD miteinander verpaart werden, um ein ABCD-Nachkommen zu erzeugen, der alle Merkmale vereinigt und den Heterosiseffekt zeigt.

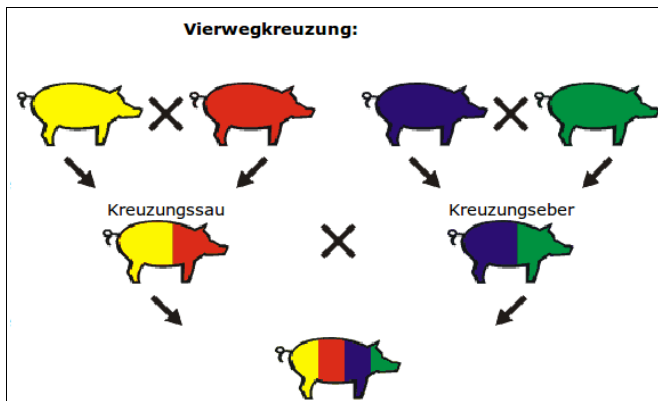


Abbildung 2 Schema zur Vierwegekreuzung 1,
Quelle: <http://www.bauernhof.net/schweine/zucht/vierweg.htm>

3. Wechselkreuzung

Diese Zuchtform ist eine Mischung aus Rückkreuzung, Dreiwegekreuzung und Einfachkreuzung. Hierbei wird die reinerbige Linie A mit der fremdblütigen, ebenfalls reinerbigen Linie B gekreuzt und der Nachwuchs (AB) daraus einmal zur Erzeugung des Heterosiseffektes mit der Linie C (reinerbig, fremdblütig) verpaart, aber auch auf eines der Elternteile (A) rückgekreuzt. Der Nachkomme ABC dient als Gebrauchstier (Nutztier/Ausstellungstier) der Nachkomme aus der Rückverpaarung kann wieder zur Gebrauchstierzeugung mit der Linie C gekreuzt werden und wird auch wieder auf das andere Ursprungselternteil (B) rückgekreuzt. Diese Methode kann immer weiter geführt werden und neben den Eltern aus der Linie A und B auch andere Tiere dieser Zuchtlinie verwendet werden.

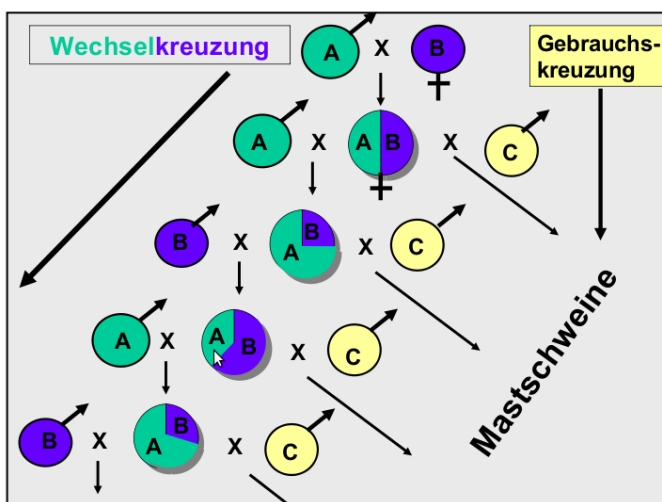


Abbildung 3 Schema zur Wechselkreuzung aus <http://www.kolleg.loel.hs-anhalt.de/professoren/waehner/allgTierzucht/zuchtverfahren.pdf>

4. Rotationskreuzung

Hierbei werden die Zuchtformen der Dreivegeform und der Vierwegeform weitergeführt, indem immer wieder abwechselnd Rückkreuzungen oder Inzuchtverpaarungen auf eine der Linien bzw. das entsprechende Eltern- oder Großelternzuchttier (A, B, C oder D) durchgeführt werden. Die Wechselkreuzung ist ebenfalls eine Form der Rotationskreuzung.

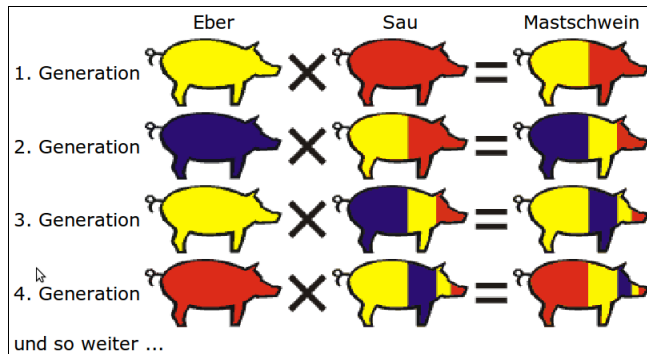


Abbildung 4 Schema zur Rotationskreuzung 1,

Quelle: <http://www.bauernhof.net/schweine/zucht/rotationskreuzung.htm>

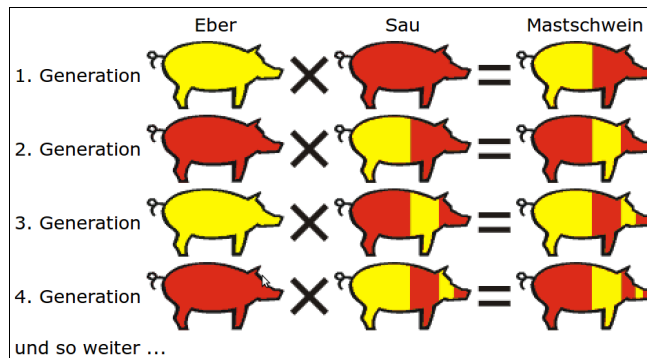


Abbildung 5 Schema zur Rotationskreuzung 2,

Quelle: <http://www.bauernhof.net/schweine/zucht/wechselkreuzung.htm>

Ausselektieren rezessiver Faktoren

Dies geht ausschließlich über ein hohes Maß an Inzucht bei gezielter **Rückkreuzungszucht**. In der Laborzucht, bei der man Stämme mit möglichst hohem Homozygotiegrad erhalten will, werden über mindestens 20 Generationen immer wieder Bruder-Schwester-Verpaarungen vorgenommen. Die Homozygotie beträgt nach dieser Generationszeit bereits 98%. Erst nach 30-40 Generationen kann man von annähernd 100% Homozygotie ausgehen. Ein gewisses Maß an Heterozygotie verbleibt aber immer. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass rezessive Faktoren trotz Inzucht nur schwer selektierbar sind, aber auch eine Reihe an Genen existiert, die möglichst in heterozygotem Zustand vorliegen müssen, um die Gesundheit des Bestandes nicht zu gefährden. Bei dieser verbleibenden Heterozygotie handelt es sich somit vor allem um die bereits beschriebenen Erbanlagen (Fitnessgene), die bei zunehmender Homozygotie zu Inzuchtdepression führen. In der Rassezucht sind solche Zuchtmethoden allerdings übertrieben und erhöhen nur das Risiko von Inzuchtdepression ohne ein Zuchtziel effekt zu festigen. Um ein Rassemerkmal zu verstärken, sind weitaus weniger Inzuchtverpaarungen nötig und die positive Selektion durch den Züchter ist sehr viel ausschlaggebender. Als effektives Mittel dient hier die Linienzucht, bei der möglichst dem Rassebild entsprechende Eltern gewählt werden. Will man zudem ein rezessives Merkmal ausselektieren, so werden Tiere gewählt bei denen man von vorne herein von Trägerlosigkeit ausgeht. Um zu gewährleisten, dass man bei Auftreten eines rezessiven Merkmals nicht die

gesamte Zuchtgruppe ausselektieren muss, sollten möglichst mehrere Elternpärchen parallel getestet werden. Abbildung 1 zeigt hierbei das Schema der

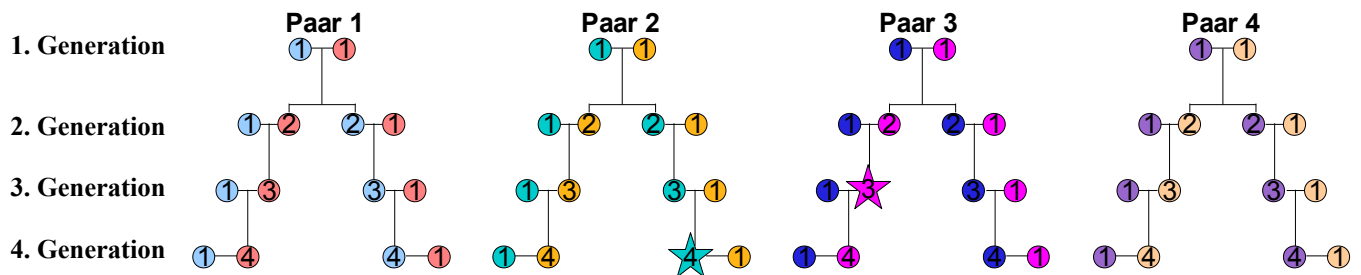


Abbildung 6 Schema der Linienzucht

Linienzucht. Die blauen Symbole sind dabei jeweils die männlichen Individuen. Das Schema geht von 4 Anfängspärchen aus, die als trägerlos gelten. Hier soll nun ein homozygot dominanter Inzuchtstamm gebildet werden. Es werden auf jeweils den Ursprungsvater, sowie die Ursprungsmutter jeden Paares 3 Rückverpaarungen mit jeweils einem der gegengeschlechtlichen Nachkommen durchgeführt. Die sternförmigen Symbole entsprechen dabei Nachkommen welche homozygot auf das rezessive Gen sind und es daher im Phänotyp zeigen. Der blaue (männliche) Stern-Nachkomme aus der 4. Generation des Paares 2 (★) hat dabei die zwei rezessiven Faktoren von der Urmutter gelb/1 (1) und dem direkten Vater blau/3 (3) erhalten. Da die Urmutter gelb/1 in allen Nachkommen des Paares 2 steckt, müssen auch alle inklusive der Urmutter selbst aus der Zucht genommen werden. Sie alle sind Träger oder durch ihre Abstammung stark gefährdet. Genauso verhält es sich mit dem weiblichen Stern-Nachkommen aus dem Paar 3, der 3. Generation. Hier stammt der rezessive Faktor vom Urvater blau/1 und er, sowie alle Nachkommen des Paares, sind sicherheitshalber aus der Zucht zu nehmen. Möchte man jedoch nicht auf alle Nachkommen der betroffenen Paare verzichten, so empfiehlt es sich im Fall von Paar 3 mit den besten männlichen und weiblichen Nachkommen einer späten Muttergeneration (z.B. blau/3 oder blau/4) und einem passenden Partner aus einer anderen Inzuchtlinie eine neue Vater/Mutter-Linienzucht zu beginnen. Genauso ist auch die Urmutter noch als trägerfrei anzusehen, und könnte ebenfalls weiter zur Zucht eingesetzt werden. Im Fall von Paar 2 wären weibliche oder männliche Nachkomme aus einer späten Vatergeneration (z.B. gelb/3 oder gelb/4) und der Urvater blau/1 selbst die beste Wahl, wenn man diese Linie nicht aufgeben möchte. Für die weitere Zucht können nun die besten Nachkommen der Paare 1 und 4 untereinander gekreuzt werden (Auskreuzen), dabei können die Paare frei zwischen den Linien Hellblau, Rot, Violett und Orange gewählt werden. Man kann nun erneut auf jedes Paar eine neue Inzuchtlinie beginnen, um noch weiter die Trägerlosigkeit zu überprüfen, oder aber je nach Geschmack die Nachkommen untereinander verpaaren. Hier ist allerdings eine Nachberechnung des Inzuchtkoeffizienten anzuraten, um den jeweiligen Inzuchtgrad nicht aus den Augen zu verlieren. Wichtig ist, dass man auch nach mehreren Inzuchtverpaarungen keine Garantie auf Trägerlosigkeit geben kann. Es gibt, da es sich um eine rezessive Eigenschaft handelt, immer nur den Positivbeweis sobald sich zwei Träger treffen. Eine nahezu 100%ige Homozygotie, wie man sie bei der Laborzucht erzielt, sind im Hobbybereich daher nicht möglich. Die nötige Zeit würde bei einer Generationszahl von 2 Generationen pro Jahr mindestens 15 Jahre umfassen. Schwierig wird es vor allem, wenn eine Trägereigenschaft von nur einem oder sehr wenigen Individuen einer großen Population weiter gegeben wird. Dies ist beispielsweise bei Einkreuzen eines Fremdblutieres in den eigenen Bestand oder bei einer spontanen Mutation der Fall. In solchen Fällen sind Inzuchtverpaarungen auf niedrigem Niveau, wie Onkel-Nichte oder Großvater-Enkelin, nicht hilfreich um die Trägereigenschaft aufzudecken. Nur die beschriebene Rückkreuzungszucht kann hier die Trägereigenschaft aufdecken. Aus diesem Grund empfiehlt es sich auf neue Zuchttiere zunächst eine kleine Inzuchtlinie von 2-4

Generationen aufzubauen, bei der möglichst viele Nachzuchten auf das neue Zuchttier zurück gekreuzt werden. Auch bei der klassischen Linienzucht gilt, dass je mehr Nachkommen auf ein Individuen rückgekreuzt werden, desto sicherer ist das Ergebnis. Pro Generationen können so beispielsweise alle Töchter eines Wurfes auf den Vater zurück gekreuzt werden. Bei einer Mutter kann allerdings nur ein Sohn aus dem Wurf mit der Mutter verpaart werden. Aus diesem Grund sind Böcke deutlich leichter zu testen und es müssen weniger Nachzuchtböcke untergebracht werden. Eine gute Lösung ist deshalb ausschließlich fremdblütige Böcke zuzukaufen und auf fremdblütige Weibchen generell zu verzichten. Die nötigen Nachzuchtöchter können in größeren Gruppen ohne Einbussen der Haltunqsqualität gehalten werden.

Der Blutanteil

Abbildung 2 verdeutlicht noch einmal, warum man bei der Linienzucht mit Rückverpaarungen auf ein Elternteil so schnell eine Homozygotie erreicht und rezessive Trägereigenschaften rasch aufgedeckt werden. Neben der Anzahl der Generationen erhöht auch die Anzahl der durch eine Rückkreuzung entstandenen Nachkommen die Wahrscheinlichkeit rezessive Merkmale aufzudecken. So sind bereits nach 4 Generationen 90% Blutanteil auf das Ursprungselternteil vorhanden und die Chance, dass eine rezessive Eigenschaft Homozygot bei einem Nachkommen vorliegt ist deutlich erhöht. Der theoretische Blutanteil entspricht aber nicht der tatsächlichen genetischen Identität. Es ist vielmehr ein Richtwert für die ungefähre Ähnlichkeit der Nachkommen zum ursprünglichen Vorfahren.

P-Generation: 100% Blutanteil
F1-Generation: 50% Blutanteil
F2-Generation: $50 + 25 = 75\%$ Blutanteil
F3-Generation: $75 + 12,5 = 87,5\%$ Blutanteil
F4-Generation: $87,5 + 6,25 = 93,75\%$ Blutanteil
F5-Generation: $93,75 + 3,125 = 96,875\%$ Blutanteil
F6-Generation: $96,875 + 1,5625 = 98,4375\%$ Blutanteil
F7-Generation: $98,4375 + 0,78125 = 99,21875\%$ Blutanteil
F8-Generation: $99,21875 + 0,390625 = 99,609375\%$ Blutanteil

Abbildung 7 Blutanteil des Elternanteils bei einer Rückverpaarungslinie

Will man den Blutanteil eines Nachkommen auf einen Vorfahren bestimmen, so geht man wie folgt vor. Ein Elternteil trägt 50% Blutanteil bei, ein Großelternteil jeweils 25%, ein Urgroßelternteil 12.5%, ein Ururgroßelternteil 6.25% und ein Urururgroßelternteil 3.125% usw. Bei einer Inzuchtlinie müssen also nur die einzelnen Generationen mit ihrem jeweiligen Prozentsatz zusammen gerechnet werden, in denen ein Vorfahre auftaucht. Taucht der Bock A bei einer Inzuchtlinie beispielsweise als Vater, einmal als Großvater und zweimal als Urururgroßvater auf, so beträgt sein jeweiliger Blutanteil $50\% + 25\% + 2 \times (3.125\%) = 81.25\%$. Der Blutanteil wird oft missverständlicherweise mit dem Inzuchtgrad verwechselt, gibt aber jeweils nur die Inzucht auf ein einziges Individuum an. Ferner gibt der Blutanteil den theoretischen Anteil an herkunftsgleichen Allelen eines Individuums wieder. Dieser Blutanteil wird aber auch bei starker Inzucht nie wieder 100%ig dem ursprünglichen Vorfahren entsprechen, denn durch Neukombination der Chromosomen und Gene während der Bildung von Samen- und Eizelle entstehen immer wieder neue Kombinationsmöglichkeiten der Gene.

Viele Hobbyzüchter folgen dem Irrglauben, nur durch Fremdzucht gesunde und vitale Nachzuchten zu erzeugen. Oft liegt diesen Ansichten der Glaube zugrunde, dass Inzucht Schäden verursacht. Fakt ist jedoch, dass Inzucht tatsächlich ausschließlich bereits im Bestand vorhandene, rezessiv vererbte Schäden des Erbgutes aufdeckt. Dabei werden innerhalb weniger Generationen und ohne Erzeugung vieler Nachkommen zwei Träger relativ schnell zueinander geführt und es entstehen Nachzuchten, die in ihren negativen Merkmalen homozygot sind und dadurch einen kranken oder unerwünschten Phänotyp zeigen. Mit dem aus dieser Verpaarung gewonnenen Wissen, können Träger-Linien mit unerwünschten Eigenschaften gezielt aus der Zucht ausgeschlossen werden und die Trägereigenschaft sich nicht weiter im Bestand ausbreiten. Ohne Inzucht kann eine ungewollte rezessive Eigenschaft bereits eine ganze Rasse unterlaufen haben, ehe sie zum ersten Mal zu Tage tritt. Da aber rezessive Eigenschaften nur schwer wieder aus einer Population zu entfernen sind, kann die Rasse nicht mehr ohne ungewolltes Auftreten dieser Eigenschaft gezüchtet werden. Nun scheinen einige Züchter jedoch weiterhin der Überzeugung zu sein, dass ausschließlich Fremdverpaarungen das Treffen zweier rezessiver, negativer Gene verhüten kann. Aber auch dies ist ein Irrglaube, denn die heutigen Meerschweinchen stammen in ihrer Vielfalt von einer sehr kleinen Urpopulation ab und haben so bereits einen starken Inzuchtgrad erhalten. Echte Nicht-Verwandtschaftsverpaarungen sind daher in der Rassezucht nicht möglich, da jede Rasse einen gewissen Inzuchtgrad aufweist. Schon bei den südamerikanischen Ureinwohnern wurde im Laufe jahrtausendelanger Selektion der Genpool stark eingeschränkt und nur eine kleine Gruppe wurde nach Europa exportiert. Aus dieser kleinen Urpopulation wurden dann in weiteren getrennten Populationen die heutigen Rassetiere mit ihren Rassemerkmalen gezüchtet. Durch diese Selektion und das Eingrenzen bestimmter Populationen in Rassen und Farben, kam es zudem zur Bildung von Subpopulationen, die in sich eine Inzuchtgruppe darstellen. So bildet jede Rasse eine eigene Inzucht-Subpopulation mit einem hohen Grad an Homozygotie. Ein besonders gutes Beispiel sind hierbei die Kraushaarassen, bei denen die Verwandtschaft schon anhand des Phänotyps ersichtlich ist. Denn alle besitzen dasselbe Gen, welches die Kraushaarbildung verursacht, und stammen von nur einem Individuum, bei dem diese Mutation erstmals auftrat, ab. Inzucht als Mittel der Selektion ist dabei ein bereits in der Natur vorgegebenes Phänomen. Durch Genetic Drift, also die Abgrenzung von Teilpopulationen beispielsweise durch Naturkatastrophen oder Inselformationen, entstehen neue Arten mit einer neuen Allelfrequenz und phänotypischen Vielfalt. In der Hobbyzucht wird durch gezielte Selektion daher eine Artentstehung im Anfangsstadium simuliert. Inzucht ist dabei ein Bestandteil, denn es erhöht sehr schnell den Grad der Homozygotie und vereinheitlicht das Bild dieser Teilpopulation innerhalb weniger Generationen. Problematisch wird Inzucht erst dann, wenn die Selektionen zu Ungunsten der Gesundheit ausfällt. In der Natur überleben hier die Individuen mit der höchsten Fitness und können so oft die Inzuchtdepression überwinden. In der Hobbyzucht wird dies durch korrekte und überlegte Selektion durch den Züchter bewirkt.

Als Hobbyzüchter sollte man sich aber auch im Klaren sein, dass es sich hier um Tiere handelt, bei denen unsere Moralvorstellungen in Bezug auf Inzucht nicht anwendbar sind. Beim Menschen und auch vielen anderen Arten führt Inzucht schon in geringem Maß zum Auftreten von Schäden durch Lethalfaktoren, Erbkrankheiten oder rezessive Negativgene. Es ist daher völlig unangebracht die Tiere zu vermenschlichen und die zugrunde liegende Genetik und Physiologie der Art zu ignorieren.

Quellen: www.wikipedia.de, www.deki-la-chenga.de, <http://www.stuben-tiger.de>, <http://www.arbeitskreis-azawakh.com/4481/index.html>, <http://www.bauernhof.net>, Die Tierpflegerausbildung von Robert Pies-Schulz-Hofen