
Vererbung von Farbe und Zeichnung

beim Hund

PSK Züchtertagung 2011

von Ralf Wiechmann

Haare

Haare sind in der Haut gebildete Horn(Keratin)-Fäden.

Die Haare lassen sich in drei verschiedene Arten einteilen.

- **Deckhaare:** Leithaare (steifer und länger als Grannen)
und die häufigeren Grannenhaare
- **Wollhaare:** bilden die Unterwolle; fehlen z.B. bei den Pinscher-Rassen
- **Tasthaare:** fehlen auch bei angeborener Haarlosigkeit nicht

Die Farbe im Haar

Die Haarfarbe wird durch die in der Haarwurzel eingelagerte Pigmentmenge, den Luftgehalt und die Oberfläche bestimmt.

Haar erscheint weiß, wenn es luftgefüllte Räume, aber keine Pigmente enthält.

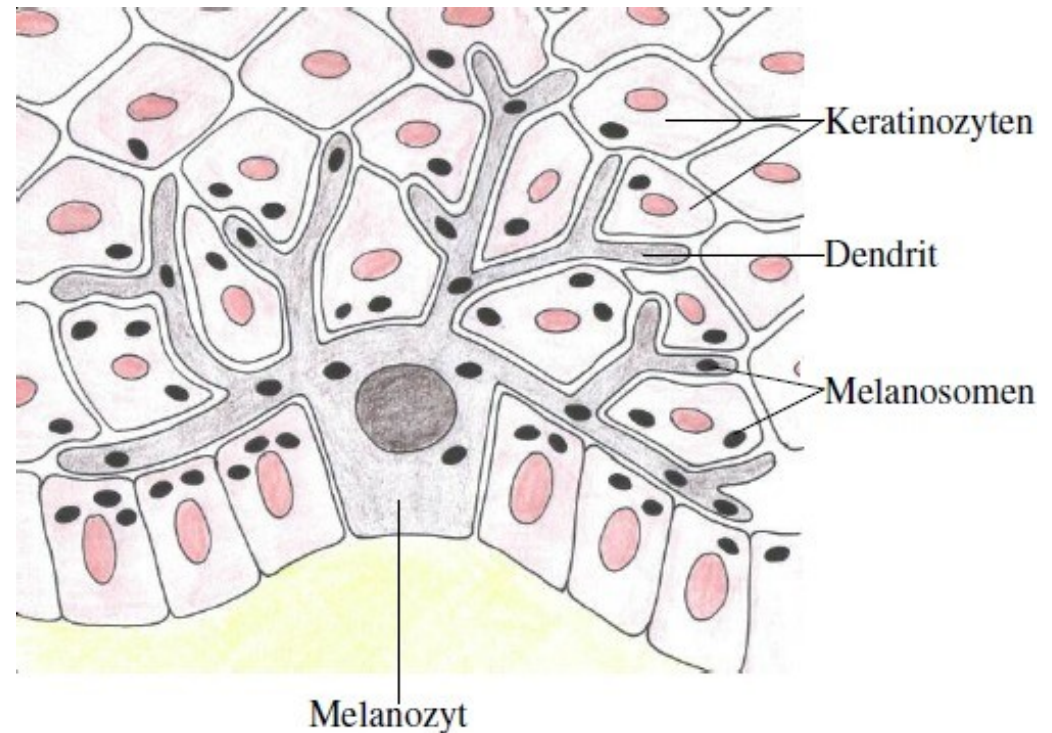
Schwarze, braune, bläuliche, rote und gelbe Farben werden durch Pigmente erzeugt.



Die Pigmentzellen (Melanozyten)

Die Pigmente werden in speziellen Zellen, den Melanozyten gebildet.

In Form von Melaninbläschen (Melanosomen) werden diese über Zellfortsätze (Dendriten) an die umgebenden hornbildenden Zellen (Keratinocyten) der Haut oder der Haarwurzel abgegeben.



Quelle: Lipka 2004; S.9

Pigmentformen

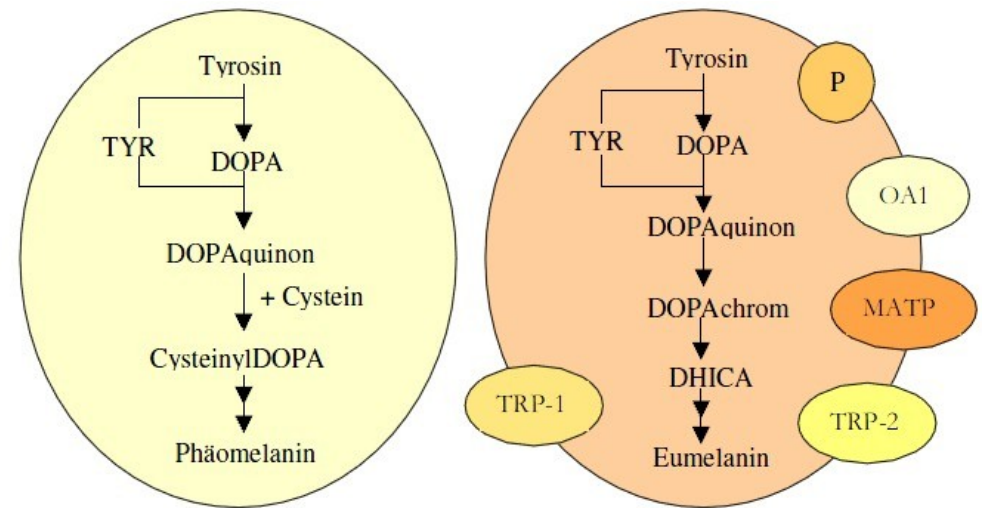
Alle Fellfarben beim Hund lassen sich auf zwei Pigmentformen zurückführen.

- Eumelanin ist verantwortlich für schwarze, braune und bläuliche Farbtöne. Es ist entscheidend für den Schutz vor schädlicher UV-Strahlung.
- Phäomelanin ist verantwortlich für rote und gelbe Farbtöne und kann nur von den Melanozyten der Haut und Haarwurzel gebildet werden. Im Auge (Iris und Aderhaut) fehlt dieses Pigment.

Die Melaninbildung

Die Melaninbildung ist ein mehrstufiger Vorgang, der von zahlreichen Proteinen abhängig ist. Das erklärt die große Anzahl von beteiligten Genen. Für die Hausmaus wurden z.B. 127 Gene ermittelt, welche die Farbe von Haar, Haut und Augen beeinflussen (Bennett + Lamoreux; 2003).

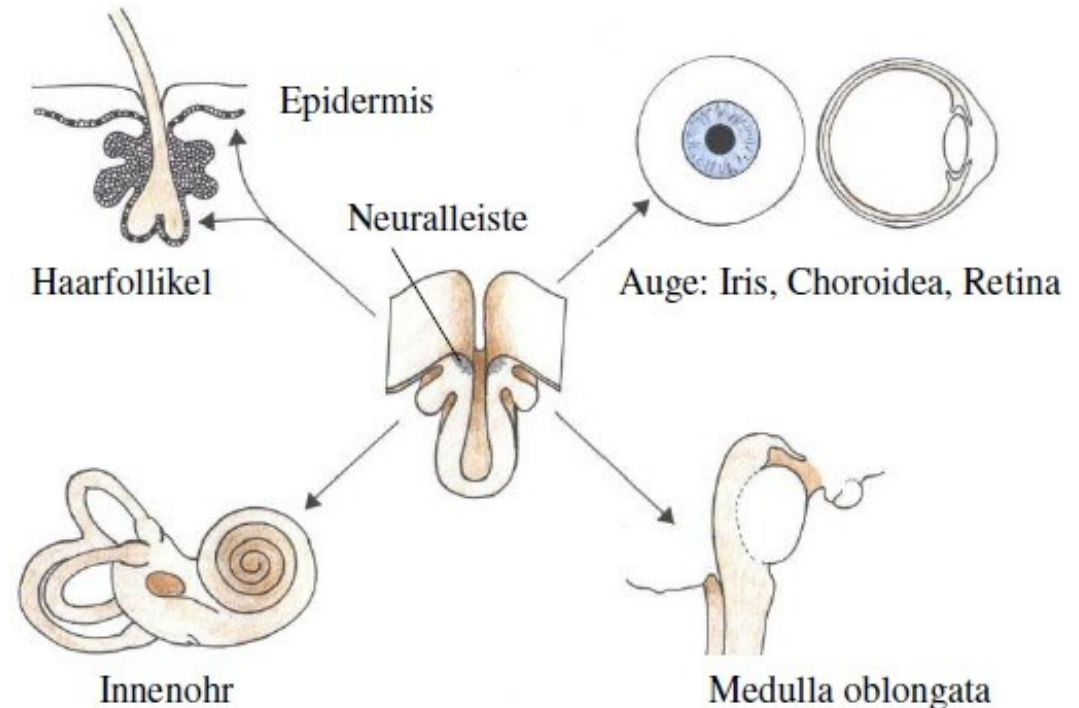
Dabei sind die ersten Schritte bei beiden Melaninarten gleich.



Quelle: Lipka 2004; S.11

Fetale Entwicklung der Melanozyten

Die Vorstufen der Melanozyten wandern in der frühen Fetalperiode aus der Neuralleiste (Anlage des gesamten Nervensystems) in die Epidermis der Haut, in die Haarfollikel und verschiedene andere Organe aus. Störungen in diesem Prozess haben somit weit über die Haarfarbe hinausgehende Folgen.



Quelle: Lipka 2004; S.8

Unpigmentiertes(weißes) Fell - I

Scheckungsmuster wie beim Jack Russell Terrier oder Dalmatiner beruhen auf einer Fehlentwicklung der Neuralleiste.

In den unpigmentierten (weißen) Bereichen befinden sich keine Melanozyten.

Zu große weiße Bereiche sind oft mit Funktionsstörungen an Auge, Ohr und/oder Nervensystem verbunden!



Unpigmentiertes(weißes) Fell - II

Bei vollständig weißem Fell wie z.B. beim weißen Schäferhund oder beim weißen Schnauzer besitzen die Haarwurzeln eine normale Menge an Melanozyten.

Diese können aber aus verschiedenen Gründen kein Melanin bilden.

Echte Albinos (kein/sehr wenig Pigment in Haut + Haar + Augen) sind bei Hunden sehr selten!



Varianten von Grau



einfarbiges Haar mit verdünntem Pigment + Silberung



zweifarbiges Haar schwarz weiß



einfarbiges Haar mit blau-grauem Pigment



altersbedingt eingestreute weiße Haare

farbige Wilde



Iberischer Wolf



Mittel-Osteuropäische Wölfe



Timberwölfe



Arktischer Wolf

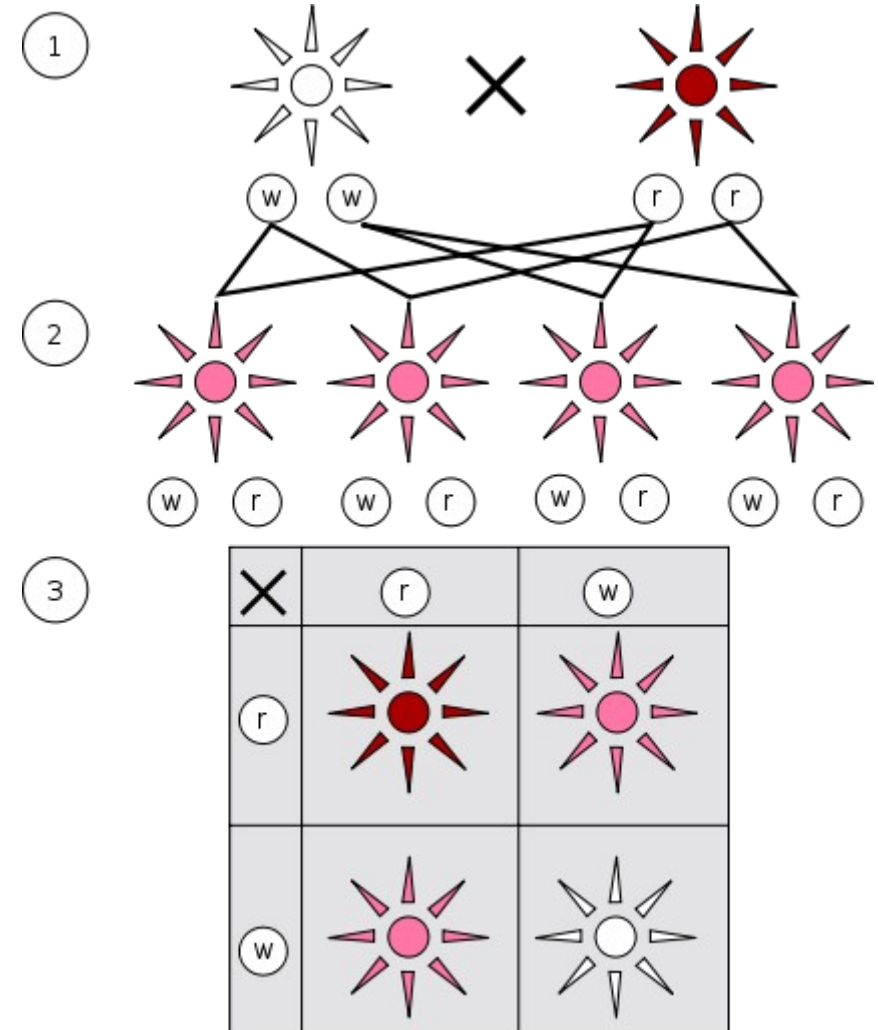
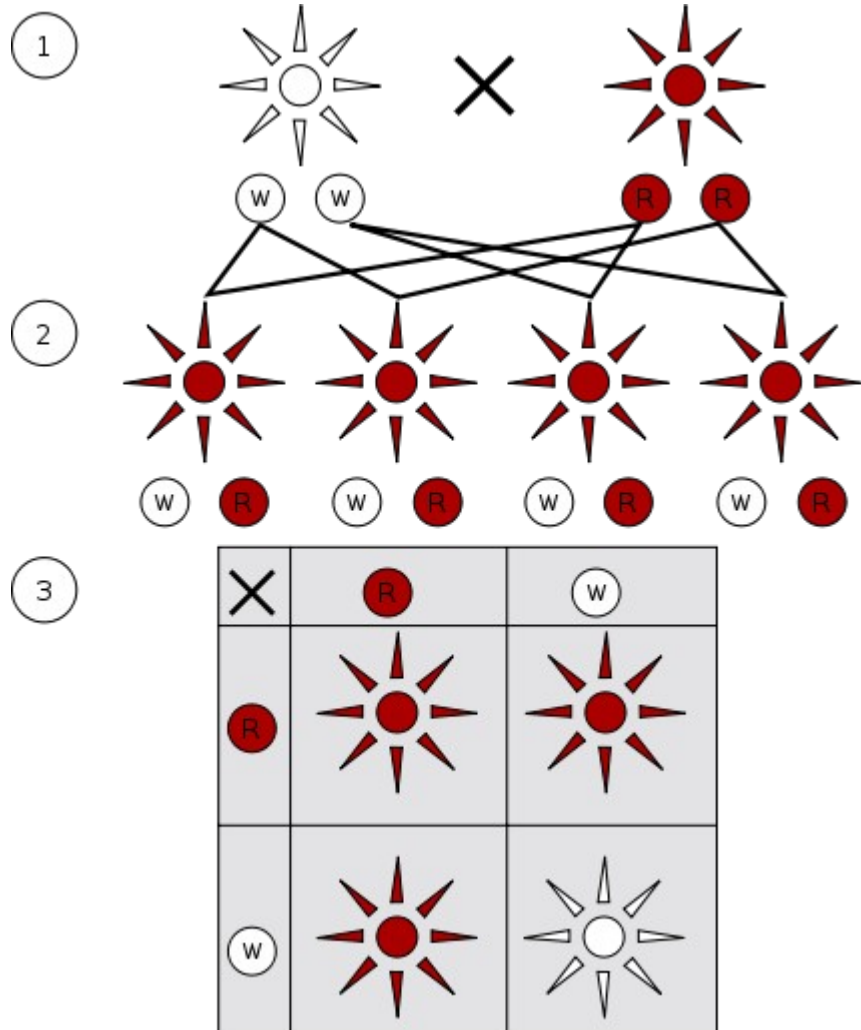
Genetik

- Es gibt erbliche Einheiten - die Gene.
- Gene bestimmen die Ausprägung einzelner Merkmale.
- Bestimmte Eigenschaften können in Individuen aufeinanderfolgender Generationen immer wieder beobachtet werden.
- Fast jedes Gen ist in jeder Zelle zweifach vorhanden (Diploidie).
- Die in Körperzellen doppelt vorhandenen Gene werden in den Keimzellen voneinander getrennt, so dass an die Nachkommen von jedem Elternteil ein einfacher (haploider) Satz übergeben wird.

Mendel - Genetik

- Gregor Mendel (1822 - 1884) katholischer Priester und bedeutender Naturforscher, entdeckte um 1865 die nach ihm benannten Mendelschen Regeln der Vererbung u.a. anhand der beobachteten Farbvererbung bei Erbsen.
- Seine Regeln beschreiben die Vererbung von Merkmalen, deren Ausprägung von nur einem Gen bestimmt wird (einfacher Erbgang).
- *1. Uniformitätsregel*: Eltern unterscheiden sich in einem Merkmal, für das sie beide homozygot (reinerbig) sind.
- *2. Spaltungsregel*: Eltern sind für ein Merkmal gleichzeitig heterozygot.
- *3. Unabhängigkeitsregel*: Die Vererbung von zwei Merkmalen erfolgt unabhängig voneinander.

Erbgang / Genotyp-Phänotyp



Mendel 1+2 im dominant rezessiven Erbgang

Mendel 1+2 im intermediären Erbgang

Die Übergänge vom dominant-rezessiven zum intermediären Erbgang sind fließend.
Weiterhin gibt es noch den kodominanten Erbgang.

klassische Farbgenetik

Die klassische Farbgenetik basiert auf den sichtbaren Farben und Farbverteilungen (Phänotypen). Auf Grundlage der Mendel-Gesetze wurden die Regeln, wie Eltern ihre Farben auf ihre Nachkommen vererbten, interpretiert.

Der US-amerikanische Genetiker C.C. Little führte 1914 für Mäuse die Bezeichnung der Farb-Genorte mit Buchstaben (A..T) ein.

1957 erschienenen sein Buch „The Inheritance of Coat Colors in Dogs“, welches für Jahrzehnte die Vorstellung von der Farbvererbung beim Hund bestimmte.

Die in den letzten Jahren erzielten Ergebnisse der Molekulargenetik bestätigen einige seiner Ergebnisse, in einigen Fällen gibt es aber auch neue Erkenntnisse.

Zeichnung: der Genort A(guti)

Dieser Genort ist nach den Agutis benannt. Diese südamerikanischen Nagetiere zeigen eine typische Wildfarbe. Molekulargenetisch wurde der Aguti-Genort beim Hund auf dem Chromosom 24 gefunden und dort als „Agouti signal peptid“ (ASIP) bezeichnet.

Die Genvarianten (Allele) an diesem Genort steuern die Verteilung von Eumelanin (Schwarz, Braun oder Blau) und Phäomelanin (Rottöne) im Einzelhaar und/oder an genau festgelegten Körperstellen.

Allel	Wirkung auf die Zeichnung	Bemerkungen
A^y	deutliche Reduktion von Eumelanin (Schwarz), dadurch rötliche Fellfarbe mit reduzierter Körperzeichnung; schwarze Farbe z.T. in den Haaspitzen oder als einzelne schwarze Haare (Stichelung)	y steht für „yellow“
a^w	Wildfarbe; schwarz-rote (gelbe, weiße) Bänderung des Einzelhaares; reduzierte Wild-Körperzeichnung	w steht für „wild“
a^t	Das Einzelhaar im Mantel (Grundfarbe) ist einheitlich schwarz (oder braun oder blau). Die Wildfarbigkeitsabzeichen sind rot (dunkles rot bis fast weiß). Dadurch entsteht eine sehr kontrastreiche Zeichnung.	t steht für „tan“
a	Die Fellfarbe ist am ganzen Körper schwarz. Es ist das einzige wirklich rezessive Allel an diesem Genort.	

Dominanzfolge: $A^y > a^w = a^t > a$

Zeichnung: der Genort A(guti)



$A^Y -$; dominantes Rot



$a^w a^w$; reinerbig Wildfarbe



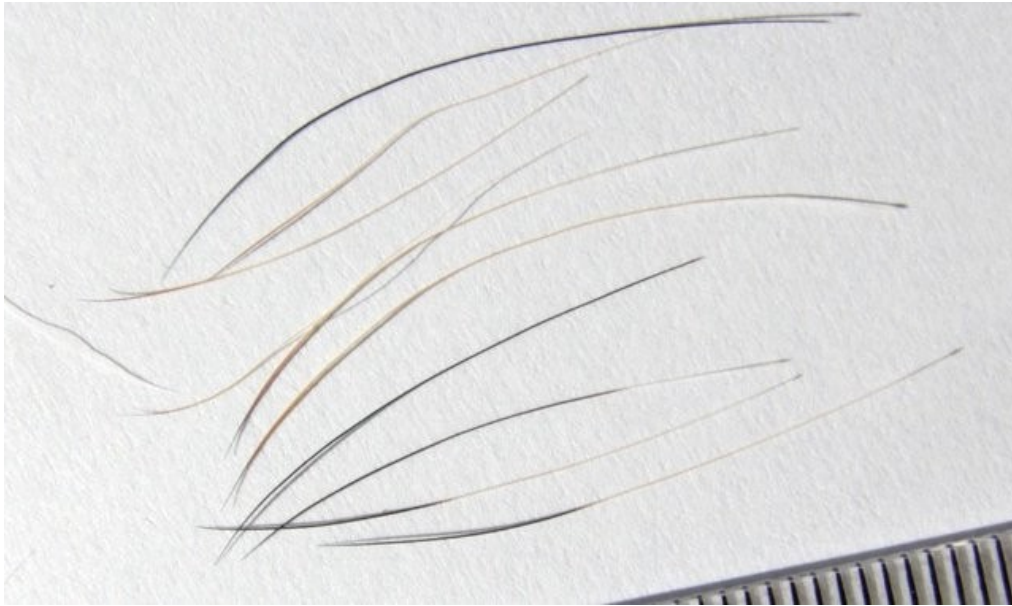
$a^t a^t$; reinerbig Schwarz-Rot



Foto: René Gómez

$a a$; reinerbig Schwarz (mit Scheckung)

Zeichnung: der Genort A(guti) - Rot



$a^y a^t / a^y a^w$; Rot mischerbig; Mantel-Haare
Die Stichelung ist über den ganzen Körper verteilt.

$a^y a^y$; Rot reinerbig; Mantel-Haare
Die Stichelung findet sich nur an Kopf und Schwanzspitze.

Zeichnung: der Genort A(guti) - Wild



Foto: Niina Partanen



$a^w a^f$; Diese wildfarbenen Hunde sind alle mischerbig und zeigen die typischen roten Abzeichen der schwarz-rot Zeichnung. Die für die Wildzeichnung typischen Mantelhaare zeigen drei Banden (schwarz-rot-schwarz).

Zeichnung: der Genort A(guti) – Schwarz Rot



$a^t a^t$; Beide Hunde sind am Genort A reinerbig! Die schwarze Maske beim DSH wird aber durch einen anderen Genort (E) gesteuert. Die Sattelzeichnung wurde früher als eigenes Allel an diesem Genort gesehen. Dieses hat sich aber molekulargenetisch nicht bestätigt.

Diese Variationen in Form und Ausdehnung der roten Zeichnung werden durch Allele an noch unbekanntem Genorten verursacht.

Farbe: der Genort B(lack)

Allel	Wirkung auf die Farbe
B	Ein oder mehrere dominante Allele, welche schwarzes Eumelanin zulassen.
b	Mindestens drei rezessive Allele (b^d , b^s , b^c), welche reinerbig verhindern, dass schwarzes Eumelanin gebildet werden kann. Der Nasenspiegel ist braun, die Augenfarbe ist aufgehellt und die eigentlich schwarze Fellfarbe erscheint braun.

Molekulargenetisch wurde dieser Genort auf dem Chromosom 11 gefunden und als „Tyrosinase Related Protein 1“ (TYRP 1) bezeichnet.



Farbe: der Genort C(hinchilla)

Die Existenz nur eines Genortes für alle intensiven bzw. aufgehellten Rottöne (Mahagonirot bis Creme/Weiß) ist sehr unwahrscheinlich. Für diesem Genort wurden Allele beschrieben, welche auf die Farbintensität des Phäomelanin einwirken. Aufgehelltes Rot in Zusammenhang mit der Allelkombination ee scheint für viele weiße Hunde verantwortlich zu sein.



Farbe: der Genort D(ilution)

Allel	Wirkung auf die Farbe
D	Ein oder mehrere dominante Allele, welche schwarzes Eumelanin zulassen.
d	Mindestens ein rezessives Allel. Homozygot (dd) verhindert es, dass schwarzes Eumelanin gebildet werden kann. Der Nasenspiegel ist Dunkelgrau, die Augenfarbe ist aufgehellt und eigentlich schwarzes Fell erscheint blau-grau.

Molekulargenetisch wurde dieser Genort auf dem Chromosom 25 gefunden und als „Melanophilin-Gen“ (MLPH) bezeichnet. Bei einigen Rassen ist diese Farbe oft mit einer Hauterkrankung, der Farbmutantenalopecie, verknüpft.



Zeichnung: der Genort E(xtension)

Allel	Wirkung auf die Zeichnung
E	Ein oder mehrere dominante Allele. Die Ausdehnung der schwarzen Zeichnung erfolgt in der Weise, wie die Allele am Genort A dieses bestimmen.
E^m	Wahrscheinlich nur ein dominantes Allel. Die Ausdehnung der schwarzen Zeichnung wird im Kopfbereich verstärkt (schwarze Maske).
e	Ein rezessives Allel. Homozygot (ee) verhindert es die Ausbildung von Eumelanin (Schwarz) im gesamten Fell.

Dieser Genort wurde auf dem Chromosom 5 gefunden und als „Melanocortinrezeptor“ (MC1R) bezeichnet.



E^m -; roter Schäferhund (A^yA^y) mit Maske



ee; gelb-rote Retriever ohne schwarzes Haar

Zeichnung: der Genort K

Allel	Wirkung auf die Zeichnung
K^B	Dieses dominante Allel bewirkt, dass das gesamte Fell schwarz ist, und unterdrückt dabei die Ausprägung der Allele am Genort A. Die Allele ee wiederum unterdrücken ihrerseits das dominante Schwarz K^B (Epistase).
K^{br}	Dieses gegenüber K^B rezessive Allel bewirkt, dass in der rötlichen Zeichnung eine unruhige schwarze Streifung erscheint (gestromt, englisch brindle).
k^y	Dieses Allel ist rezessiv gegenüber K^B und K^{br} . Homozygot ($k^y k^y$) wird die rötliche Zeichnung nur durch andere Genorte (z.B. A, E) bestimmt.

Dieser Genort befindet sich auf dem Chromosom 16 und heißt „ β -Defensin103“ (CBD103).



K^B -; Schnauzer haben das dominante Schwarz



K^{br} ; Stromung im Faserverlauf der Muskulatur

Farbe: der Genort G(reying) = Ergrauen

Allel	Wirkung auf die Farbe
G	Dieses dominante Allel führt bereits in den ersten Lebensjahren zu einer Aufhellung beider Farbtypen (Eumelanin, Phäomelanin). Bei Hunden mit viel Schwarz im Fell ist dieses Ergrauen am auffälligsten.
g	Diese rezessiven Allele haben keinen Einfluss auf Farbe oder Zeichnung im Fell.

Genort, Anzahl der Allele und Erbgang (dominant-rezessiv oder intermediär) sind unbekannt. Es sind keine kurzhaarigen Rassen bekannt, deren Pigmentintensität sich in dieser Weise ändert (Laukner 2009). Eine evtl. vorhandene Maske ist nicht betroffen.



Farbe: der Genort M(armorierung)

Allel	Wirkung auf die Farbe
M	<p>Dieses Allel ist unvollständig dominant. Im heterozygoten Zustand <i>Mm</i> führt es zur Merle-Zeichnung. Es werden nur Eumelanin - Farben (Schwarz, Braun, Blau) verändert. Bei Hunden, welche kaum oder gar kein Eumelanin im Fell haben, kann Merle übersehen werden.</p> <p>Im homozygoten Zustand <i>MM</i> führt es zu großflächiger Weisscheckung. Diese Tiere werden Weisstiger genannt und zeigen meist gravierende Fehlentwicklungen der Sinne oder sind nicht lebensfähig.</p>
m	Diese rezessiven Allele haben keinen Einfluss auf Farbe oder Zeichnung im Fell.

Dieser Genort befindet sich auf dem Chromosom 10 und heißt „Silver“ (SILV).



Foto: Leslie Bickel

Zeichnung: der Genort S(potting) = Scheckung

Allel	Wirkung auf die Zeichnung
S	Dieses dominante Allel hat keinen Einfluss auf Farbe oder Zeichnung im Fell.
s^i	Irische Scheckung: symmetrische Scheckung; überwiegend pigmentiert
s^p	Piebald-Scheckung: unregelmäßig verteilte Pigmentflecken; max. 50% pigmentiert
s^w	Extremscheckung: Abzeichen nur am Kopf und Rutenansatz; > 70 % Weiß

Es ist ein Genort auf dem Chromosom 20 (MITF) bekannt. Evtl. gibt es nur drei Allele, die je nach Kombination zu mindestens vier unterschiedlichen Phänotypen führen (Laukner 2009). Es können aber auch noch weitere Genorte an der Scheckung beteiligt sein.



Zeichnung: die Tüpfelung und Schimmelung

Die molekulargenetischen Grundlagen für diese Zeichnungen sind bisher noch unbekannt. Man weiß, dass die Tüpfelung/Schimmelung dominant über die Nicht-Tüpfelung/Schimmelung ist, aber mehr nicht (Laukner 2009). Wahrscheinlich sind mehrere Gene dafür zuständig. Ein voll pigmentierter Hund kann die Gene für Tüpfelung oder Schimmelung auch haben, doch phänotypisch sehen kann man diese nur am gescheckten Hund. Getüpfelte und geschimmelte Hunde werden ohne Tupfen geboren. In den ersten Lebensstagen gleichen sie gescheckten Hunden. Diese Zeichnungen erscheinen erst in den ersten Lebenswochen.



Foto: Eva Holderegger Walsler

Schimmelung: Australian Cattle Dog



Foto: Dalmatiner24.eu

Tüpfelung: brauner Dalmatiner

Unbekannte Gene

Ein Zwergpinscher (ohne Papiere) mit deutlicher Stichelung am ganzen Körper.

Die Stichelung belegt, dass dieser Hund an Genort *E* nicht ee sein kann. Dennoch zeigt er eine aufgehellte Nase (Wechselnase), aufgehellte Lider und gestreift aufgehellte Krallen. Die Genetik ist unklar.

Der zweite Fuß (links oben) gehört zu einem schwarz-roten Pinscher.



Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit



hasenburg-pinscher.de