

Dr. Anna Laukner
Dr. Christoph Beitzinger
Dr. Petra Kühlein

Die Genetik der Fellfarben beim Hund

© 2017 KYNOS VERLAG Dr. Dieter Fleig GmbH
Konrad-Zuse-Straße 3, D-54552 Nerdlen/Daun
Telefon: 06592 957389-0
Telefax: 06592 957389-20
www.kynos-verlag.de

Grafik & Layout: Kynos Verlag
Gedruckt in Lettland

ISBN 978-3-95464-150-5

Bildnachweis: Alle Fotos Dr. Anna Laukner außer:

Beedham, Patty: S. 123 Mi., 240 u.; **Bezdicek**, Anne: S. 94 u.re.; **Bögli**, Cornelia: S. 244; **Buckisch-Urbanke**, Elke: S. 124 o.re.; **Czolgoszewski**, Martina: S. 32 u.li.; 68 u.re.; 92 Mitte li.; 190 u.li.; 198 u.li., re.o., re.u.; 234 o.li.; 236 u.li.; **Doktor**, Iris: S. 43; S. 254 u.re.; **Endres**, Jennifer: S. 202 alle außer o.li.; **Englichova**, Jarmila : S. 239 alle; **Fleischer**, Birk: S. 94 u.li.; 136 u.li.; **Freyberg**, Jennifer/Inspiring Moments Photography: S. 95 o. re., 243 u.li.; **Hilgers**, Nicole: S. 99; **Holderegger-Walser**, Eva: S. 27; 55 o. re.; 151 alle; 154 u.; 156 u.re.; 157 alle; 231 beide; **Jurrack**, Anke: S. 240 o.li.; Mi.li.; **Kitsche**, Annett: S. 161 alle; **Kitsche**, Falko: S. 190 u.re.; **Koller**, Barbara: S. 201 o.; **Krämer**, Eva Maria: S. 22 u.re.; 23 u.li.; 61; 89; 90 o.li.; 104; 112 beide; 118 unten; 121 o.re; 166 o.li.; 184 o.re.; 186 u.li.; 187 o.li., u.li.; **Laboklin**: S. 47; 81 u.re.; 96 o.re.; 103 u.re.; 170 o.re und u.re.; 233 o.re., o.li., u.li., u.re; 259; **Laukner**, Margrit: S.23 u.li.; **Massini**, Michelle: S. 236 o.li.; **Müller**, Maik: S.12; **Müller**, Prof. Ralf. S., **LMU München**: S. 225; **Neuhaus**, Astrid: S. 243 u.re.; **Nievoll**, Regina: S. 218 u.li., u.re.; **Offer**, Katrin: S. 183 Mi.li. und re.; u.li und re.; **Palm**, Andreas: S. 172 Mi.; **Potthin**, Petra: S. 173; **Ruoff**, Ute: S. 202 o.li.; **Scheidig**, Janet: S. 243 o.re., Mi. li., Mi. re.; **Schlenther**, Michael/misch-art.de S. 144 u.li.; **Schmid**, Carolin: S. 120; **Schröder**, Kristin: S. 185 o.re.; **Schulze**, Heidi: S. 182 o.li.; 188 o.li., o.re; **Southwest Collie Rescue**, USA: S. 246; **Stahl**, Alexa: S. 238 u.; **Synkova**, Helena: S. 110; **Titus-Langer**, Bianka: S. 62; 181 u.li., 184 Mi. re.; **Viljoen**, Marisha: S. 123 o.; **Ziegler**, Carolin: S. 187 u.re.



Mit dem Kauf dieses Buches unterstützen Sie die
Kynos Stiftung Hunde helfen Menschen
www.kynos-stiftung.de

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Haftungsausschluss: Die Benutzung dieses Buches und die Umsetzung der darin enthaltenen Informationen erfolgt ausdrücklich auf eigenes Risiko. Der Verlag und auch der Autor können für etwaige Unfälle und Schäden jeder Art, die sich bei der Umsetzung von im Buch beschriebenen Vorgehensweisen ergeben, aus keinem Rechtsgrund eine Haftung übernehmen. Rechts- und Schadenersatzansprüche sind ausgeschlossen. Das Werk inklusive aller Inhalte wurde unter größter Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Druckfehler und Falschinformationen nicht vollständig ausgeschlossen werden. Der Verlag und auch der Autor übernehmen keine Haftung für die Aktualität, Richtigkeit und Vollständigkeit der Inhalte des Buches, ebenso nicht für Druckfehler. Es kann keine juristische Verantwortung sowie Haftung in irgendeiner Form für fehlerhafte Angaben und daraus entstandenen Folgen vom Verlag bzw. Autor übernommen werden. Für die Inhalte von den in diesem Buch abgedruckten Internetseiten sind ausschließlich die Betreiber der jeweiligen Internetseiten verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Extra: Übersichtstabelle Genorte (Ausklapptafel) 32

Vorwort	9
Einleitung	10
Kapitel 1: Entstehung und Bedeutung der Fellfarben	13
Pigmentbildung.....	15
Mutationen	17
Bedeutung der Fellfarben	20
Mythologische und religiöse Bedeutung	20
Praktische Bedeutung.....	21
Ästhetische Bedeutung	25
Gesundheitliche Bedeutung	28
Kapitel 2: Grundlagen der Vererbung	37
Die Mendelschen Gesetze	40
Die Grundfarbe	42
Zusammenspiel E-, K- und A-Lokus – das „Zwiebelschalenmodell“	43
Kapitel 3: Genorte	45
Der E-Lokus – Die Extensions-Serie	47
Genetische Grundlage.....	47
Rezessiv Gelb oder dominant Gelb?	48
Gentest	51
Der Schwarzmaskenfaktor EM	52
Der EG-Lokus – Das Grizzle-Gen.....	60
Der EH-Lokus – Das Zobel-Gen	61
Der K-Lokus	62
Dominantes Schwarz	63
Dominantes Schwarz vs. rezessives Schwarz.....	66
Stromung (brindle).....	66
Gelb x gelb = Gestromt	73
Gentest	73
Der A-Lokus – Die Agouti-Serie	74
Dominantes Gelb.....	75
Wildfärbung	78
Black and Tan.....	82
Rezessives Schwarz	89
Farbentwicklungen	89
Zusammenspiel mit anderen Genorten	90
Gentest	91
Saddle Tan-Lokus	91
B-Lokus – Das Braun-Gen.....	95
Viele Namen für eine Farbe.....	96
Braun plus	101
D-Lokus – Das Dilute-Gen	102
Gentest	104
Verbreitung des Dilutionsfaktors	105
Nomenklatur	109
Verwechslungsmöglichkeiten	109
M-Lokus – Das Merle-Gen.....	111
Vorkommen.....	116
Zuchtwahl.....	119
Kryptisches Merle und Atypisches Merle vs. Phantom Merle	120
„Tweed“	121
H-Lokus – Das Harlekin-Gen.....	124
Die Weißscheckung	126
Entstehung der Weißscheckung	129
Der S-Lokus – Das Piebald-Gen.....	131
Weiße Abzeichen	137
Irische Scheckung (Irish pattern)	144
KIT-Gen	145
Ticking	146
Vorkommen	152
Genetik	154
Aussehen	154
Verwechslungsmöglichkeiten	160
Progressive Ergrauung (G-Lokus)	162
Welchen Einfluss hat der Felltyp?	164
Fellpflege und Farbe	166
Vererbung	168
Verwechslungsmöglichkeiten	168
Andere Ergrauungsformen	170
Silberung (Silvering)	170
Weiße Stichelhaare	171
„Fever Coat“	172
Greyhound Ticking	173
Seal.....	175
Geisterzeichnung	181

Domino bzw. „Husky-Zeichnung“	181
Verwechslungsmöglichkeiten	186
Urajiro	189
Farbintensität des Phäomelanin	192
Farbabschwächung von Phäomelanin	194
Farbintensivierung von Phäomelanin	196
Rotstichigkeit	196
Chemische Ursachen	197
Physikalische Ursachen	198
Genetische Ursachen.....	200
Ernährungs-/ stoffwechselbedingt.....	200
Krankheitsbedingt	200
Somatische Mutation.....	201

Kapitel 4:	
Farbe der Sinushaare,	
Nase und Augen	203
Sinushaare	204
Nasenfarbe	207
Gesundheitsaspekte	212
Nomenklatur	213
Augenfarbe.....	215

Kapitel 5:	
Fellfarbe und Gesundheit	223
Hautschäden durch UV-Strahlung	224
Melanome und Melanozytome	225
Zehenkrebs	226
Melanodermie und Alopezie	
beim Yorkshire Terrier	226
Weißscheckung und	
allgemeine Fitness.....	228
Weißscheckung und Taubheit	228
Colour Mutant Alopecia (CMA).....	232
Weißtiger (Double Merles)	238
Albinismus	241
Gray Collie Syndrome	245

Kapitel 6:	
Fellfarbe und Verhalten.....	247
Stoffwechselzusammenhänge	248
Verhaltensbeobachtungen	251
Kapitel 7:	
Testablauf und	
Laboruntersuchung in der Praxis.....	257
Blut	258
Backenabstriche	258
Testmethoden.....	259
Schlusswort	260
Danksagung	261
Über die Autoren.....	262
Literaturverzeichnis	263
Glossar.....	268
Index.....	273

Vorwort

“...pigment is not merely decorative; pigment has structural and protective functions, and pigment cells have other duties beyond color“

Zitat: J.P. Yousha (aus: Coat Color in the Great Dane:
History & current genetics,
Dane World, 2006, Vol. 15, Issue 5)

Ein umfassendes Buch über die Fellfarben beim Hund ... das war seit Jahren der Traum der Tierärztin und Autorin Anna Laukner. Doch erst durch die Zusammenarbeit mit den Molekulargenetikern Petra Kühnlein und Christoph Beitzinger wurde aus dem Traum ein konkretes Projekt. Dabei ergänzten sich die Expertise der praktischen Tierärztin, Kynologin und Autorin und die Expertise der beiden Labor-erfahrenen Genetiker geradezu ideal. Herausgekommen ist ein (so hoffen wir) breit gefächertes Kompendium der Hundefarben, das von der biologischen Entstehung der Farben über deren Bedeutung für den Hund (und seine Menschen), die Nomenklatur, Vererbung und die gesundheitlichen Aspekte bis hin zu praktischen Tipps zu Gentests so ziemlich alles abdeckt, was man schon immer über Fellfarben wissen wollte. Ein Schwerpunkt ist dabei der gesundheitliche Aspekt. Fellfarben sind nicht nur schön und faszinierend, sie können auch krank machen: Zum einen, wenn ihre genetische Grundlage auch Auswirkungen auf wichtige Körperfunktionen hat. Und zum anderen, wenn sie in der Zucht als wichtigstes Selektionskriterium gewertet werden. Dann nämlich besteht die Gefahr, dass Merkmale wie Gesundheit und Wesen an zweite oder dritte Stelle rücken. So faszinierend die Fellfarbe auch ist: Wir alle sollten nie vergessen, dass die Fellfarbe nicht nur schmückendes Beiwerk ist, sondern auch wichtige Funktionen hat. In diesem Sinne wünschen wir Ihnen viel Vergnügen und neue Erkenntnisse bei der Lektüre dieses Buches! Möge es Ihnen beim Lesen ebenso viel Freude bereiten wie uns beim Schreiben.

Dr. Anna Laukner, Dr. Petra Kühnlein, Dr. Christoph Beitzinger,
September 2017

Einleitung

Vielleicht sind Sie ein Hundebesitzer, der schon immer mehr über Farbgenetik beim Hund wissen wollte, sich sein Wissen aber bisher mühsam aus dem Internet zusammensuchen musste. Vielleicht sind Sie ein Züchter, der sich speziell über die Genorte, die bei seiner Rasse relevant sind, informieren möchte. Vielleicht sind Sie ein Zuchtrichter, der sich über die unterschiedliche Farb-Nomenklatur in den verschiedenen Rassen Gedanken macht. Oder vielleicht sind Sie ein Tierarzt, der die Hundezüchter unter seinen Kunden besser beraten möchte, vor allem über die gesundheitlichen Auswirkungen bestimmter Farbschläge oder Verpaarungen. All diesen Lesern soll das vorliegende Buch Antworten geben.

Das erste Kapitel geht darauf ein, wie Pigmente, Pigmentzellen und damit die unterschiedlichen Fellfarben überhaupt aufgebaut sind. Auch die Bedeutung der verschiedenen Fellfarben – unter unterschiedlichen Gesichtspunkten – wird hier dargestellt.

Weiterhin beschäftigt sich Kapitel 1 mit der Nomenklatur (also der Benennung) der verschiedenen Farben. Bei den vielen hundert Hunderassen ist die Vielfalt der Farbbezeichnungen nahezu unerschöpflich. Darum wird an dieser Stelle kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben, es soll lediglich diese Vielfalt dargestellt und der Versuch einer rasseübergreifenden Nomenklatur dargestellt werden, der sich an den aktuellen Erkenntnissen der Molekulargenetik orientiert.

Kapitel 2 behandelt die Grundlagen der Genetik. Mancher erfahrene Züchter oder mit der Genetik vertraute Tierarzt kann dieses Kapitel überspringen, aber für viele Neuzüchter und interessierte Hundebesitzer stellt es die Grundlage zum Verständnis des folgenden Kapitels dar.

In Kapitel 3 (das den größten Umfang des Buches ausmacht) werden die einzelnen Genorte ausführlich vorgestellt. Dabei werden die

Genorte, die bereits molekulargenetisch identifiziert werden konnten (für die also Gentests kommerziell verfügbar sind) ebenso vorgestellt wie die Genorte, von denen man noch nicht genau weiß, wo und in welcher Form sie lokalisiert sind.

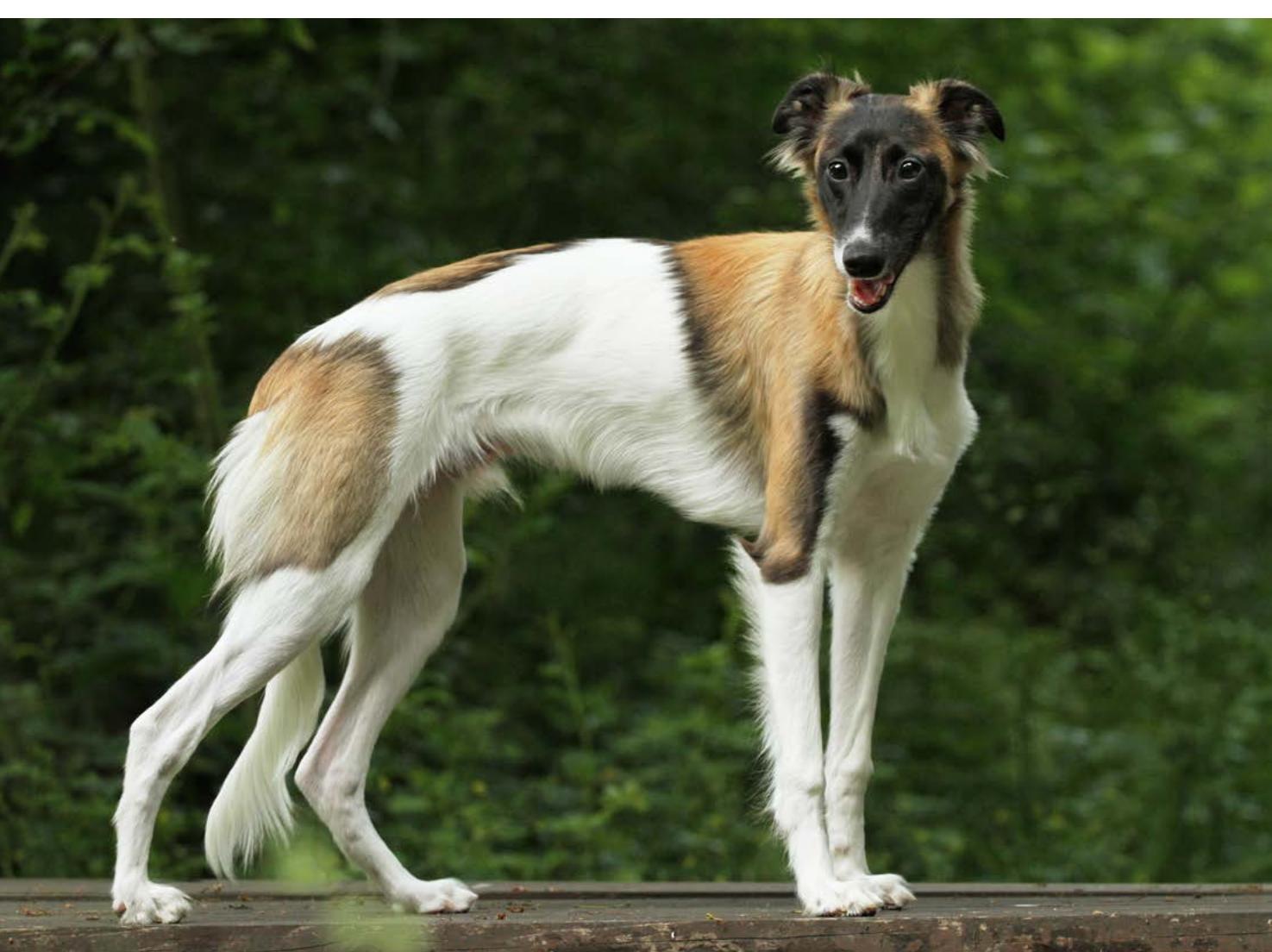
Kapitel 4 behandelt die gesundheitlichen Aspekte der Fellfarben und in Kapitel 5 werden die Zusammenhänge zwischen der Fellfarbe und dem Verhalten von Hunden näher beleuchtet.

Kapitel 6 schließlich geht näher auf den Ablauf von Gentests im Labor ein, hier finden Sie auch praktische Tipps, wie Sie Proben optimal entnehmen und versenden.

Abgerundet wird das Buch durch zahlreiche Fotos (die übrigens zum Großteil exklusiv für dieses Buch gemacht wurden), Grafiken, Tabellen, ein Glossar zum schnellen Nachschlagen und ein ausführliches Literaturverzeichnis.

Die einzelnen Kapitel bauen zwar inhaltlich aufeinander auf, sind aber so formuliert, dass man auch einzelne Abschnitte lesen und verstehen kann, ohne unbedingt auf Seite 1 beginnen zu müssen. Zahlreiche Querverweise erleichtern es, inhaltlich zusammenhängende Textstellen schnell zu finden und bestimmte Themen zu vertiefen.

Doch nun genug der Vorrede ... auf der nächsten Seite geht es los!



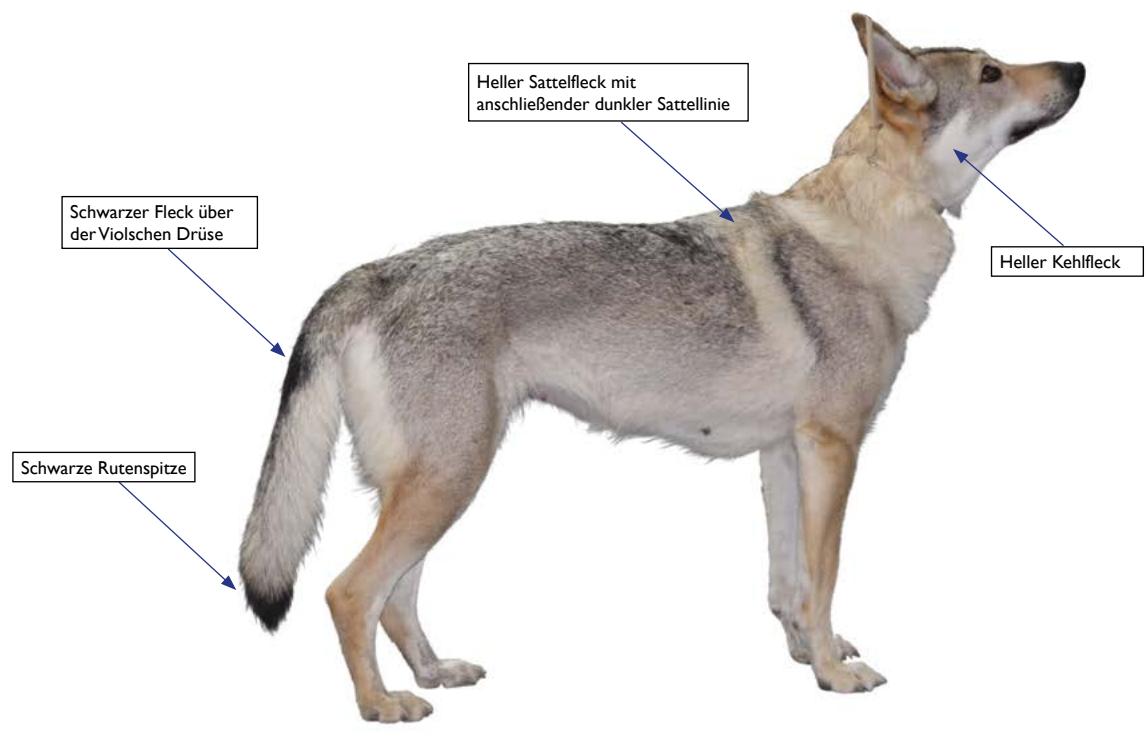
Kapitel 1: Entstehung und Bedeutung der Fellfarben

Kein anderes Haustier und erst recht kein Wildtier hat eine dem Hund vergleichbare Farbpalette. Kaum vorstellbar, dass sich alle Farben und Zeichnungsmuster, die wir heute beim Hund kennen, aus dem Wolfsgrau entwickelt haben.

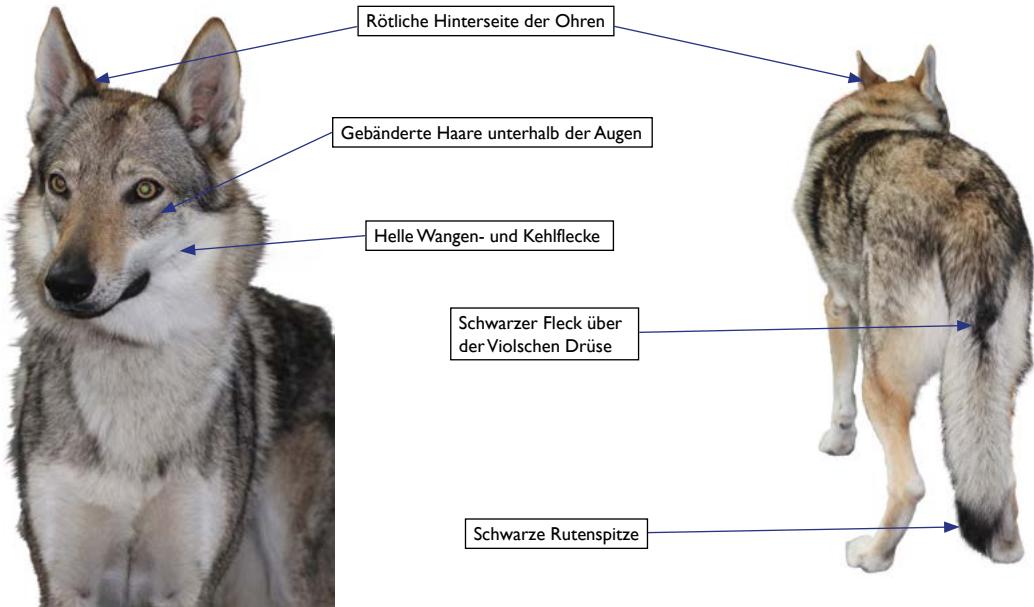
Ein genauerer Blick aufs Wolfsfell verrät, wie sich dieses perfekte Tarnkleid zusammensetzt: Wölfe haben ein dichtes Stockhaar mit langerem Deckhaar und – je nach Jahreszeit – mehr oder weniger dicht ausgeprägter Unterwolle. Die Unterwolle ist bei Wölfen heller als das Deckhaar. Es gibt – je nach Herkunftsgebiet – auch beim Wolf unterschiedliche Fellfarben. So sind Wölfe aus der Arktis oft weiß, Wölfe aus gemäßigten Klimazonen graubraun. Es kommen aber auch silberfarbene, hellgraue und rötliche Farbvarianten vor.¹ Der Äthiopische Wolf ist intensiv orangerot mit deutlich abgesetzten hellen Wildfarbigkeitsabzeichen. Schwarze Wölfe kommen in Nordamerika vor.

Bei ihnen wurde nachgewiesen, dass die Erbinformation für das schwarze Fell durch Einkreuzungen von Hunden stammt.² Die Farbe des Deckhaares setzt sich aus zwei Pigmentarten zusammen: Eumelanin (schwarzes Pigment) und Phäomelanin (gelbliches Pigment).

Diese beiden Pigmentarten verteilen sich zu unterschiedlichen Anteilen im Einzelhaar (und bilden dadurch so genannte Banden). Außerdem gibt es Bereiche am Wolfkörper, in denen ausschließlich Phäomelanin ins Haar eingelagert wird. Diese Bereiche sind die so genannten Wildfarbigkeitsabzeichen oder Marken. Diese vier Merkmale (also die beiden Pigmentarten Eumelanin und Phäomelanin sowie die Einzelhaaränderung und die Verteilung der beiden Pigmentarten über den gesamten Körper) sind die Ansatzpunkte für eine Vielzahl von Mutationen, die schließlich zu den heute bekannten Fellfarben beim Hund geführt haben.



Saarloos Wolfhund

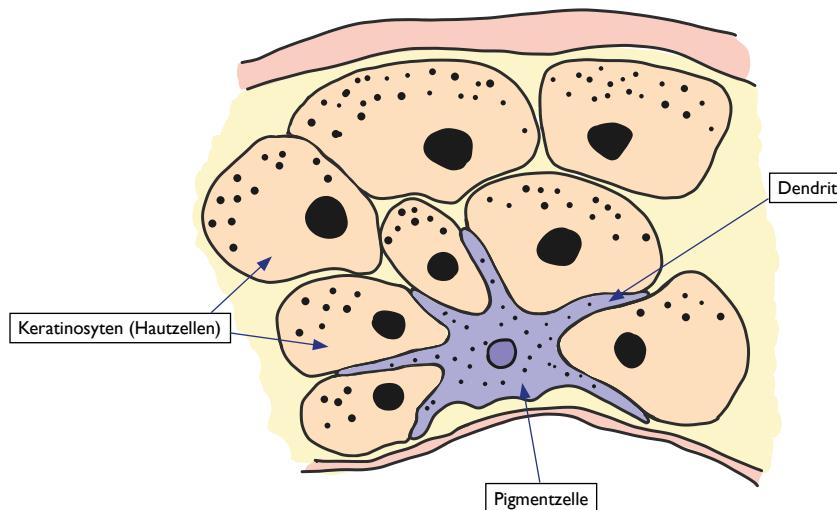


Pigmentbildung

Pigment besteht aus kleinen Körnchen (Granula), dem Melanin. Gebildet wird dieses Pigment in den Pigmentzellen (Melanozyten), die in der Haut und in den Haarfollikeln sitzen. Die Pigmentzellen in der Haut und diejenigen in den Haarfollikeln unterscheiden sich in verschiedenen Merkmalen voneinander. Melaningranula, die in die Haut abgegeben werden, zersetzen

sich meist vollständig, während Melaningranula, die ins Haar abgegeben werden, dort so gut wie gar nicht abgebaut werden.³

Die Pigmentzellen entstammen der embryonalen Struktur der so genannten Neuralleiste im Inneren des Embryos. Im Laufe der Embryonalentwicklung wandern die Vorläufer der Pigmentzellen (so genannte Melanoblasten) dann nach außen, bis sie ihr Zielgebiet in Haut und Haarfollikeln erreicht haben. Entwicklungsge-



schichtlich sind Pigmentzellen verwandt mit Nervenzellen, dies wird später noch wichtig, wenn es darum geht, welche gesundheitlichen Probleme durch bestimmte Pigmentierungsstörungen entstehen können (siehe Seite 223 ff.). In den Pigmentzellen wird das Melanin über mehrere Stoffwechselschritte aus der Aminosäure Tyrosin zu Melanin synthetisiert. Eine wichtige Rolle dabei spielt das kupferhaltige Enzym Tyrosinase. Fehlt dieses, kann kein Pigment gebildet werden, das Resultat ist der so genannte Albinismus (siehe Seite 241 ff.). Das in der Pigmentzelle gebildete Melanin wird in Melanosomen gespeichert und schließlich über verästelte Ausläufer (Dendrite) der Pigmentzellen an die so genannten Keratinozyten, die ein Bestandteil der obersten Hautschicht sind, abgegeben. Das Pigment in den Haaren gelangt auf gleiche Weise von den Pigmentzellen der Haarfollikel in die Haarwurzel und wird hier in die verhornten Zellen der Haarrinde eingelagert. Auch im Haarmark kann sich etwas Pigment befinden, dieses hat jedoch wenig Einfluss auf die Fellfarbe.

Neben den Pigmentzellen in Haut und Haarfollikeln gibt es noch Pigmentzellen in der Netzhaut (Retina) und der Regenbogenhaut (Iris) des Auges, in der Maulschleimhaut und in modifizierter Form im Innenohr.

Die Melaninproduktion wird durch UV-Strahlung angeregt, außerdem durch ein Hormon, das so genannte MSH (Melanozyten-stimulierendes Hormon oder Melanotropin).

Man unterscheidet bei der Hautpigmentierung zwischen konstitutiver (grundlegender) Pig-

Melaninsynthese

Eumelanin besteht aus größeren Granula und sorgt für schwarze Farbe, Phäomelanin hingegen liegt in kleineren und feineren Granula vor und ist für Schattierungen zwischen creme, gelb und rot zuständig. Beide Pigmentarten (Eumelanin und Phäomelanin) werden in den so genannten Melanosomen innerhalb der Pigmentzellen aus Tyrosin synthetisiert. Die Synthese der beiden Pigmentarten unterscheidet sich nur durch wenige Schritte, so wird etwa beim Phäomelanin aus der Zwischenstufe Dopachinon durch Anlagerung einer weiteren Aminosäure, des Cysteins, und einer nachfolgenden Oxidation und Polymerisation das Phäomelanin erzeugt. Eumelanin hingegen wird durch andere Syntheseschritte aus Dopachinon hergestellt. In den Melanosomen werden die Pigmentgranula außerdem gelagert und transportiert.

mentierung und fakultativer Pigmentierung:⁴ Als konstitutive Pigmentierung bezeichnet man die genetisch vorgebene Pigmentierung. Als fakultative Pigmentierung bezeichnet man die Pigmentierung, die durch andere Auslöser erzeugt wird, also etwa durch die UV-Strahlung, durch Hormone oder durch Entzündungen. Auch mit der Nahrung aufgenommene Karotinoide (gelbliche bis rötliche Farbstoffe aus Pflanzenzellen) können in die Zellen der Oberhaut eingelagert werden.

Eumelanin ist verantwortlich für schwarzes, blaues, braunes oder lilac Pigment; Phäomelanin ist verantwortlich für gelbes, cremefarbenes oder rötliches Pigment.

Tabelle 1: Unterschiede von Eumelanin und Phäomelanin

Merkmal	Eumelanin	Phäomelanin
Fellfarbe	Schwarz oder braun	Gelb bis rot
Einfluss des Dilute-Faktors	Blau oder lilac	Sandfarben bis zimtfarben
Schwefelgehalt	0-1%	9-12%
Form der Melanosomen	oval	rund
Struktur der Melanosomen	Blättchen oder Fasern	Bläschen

(aus: MILLER 2013)

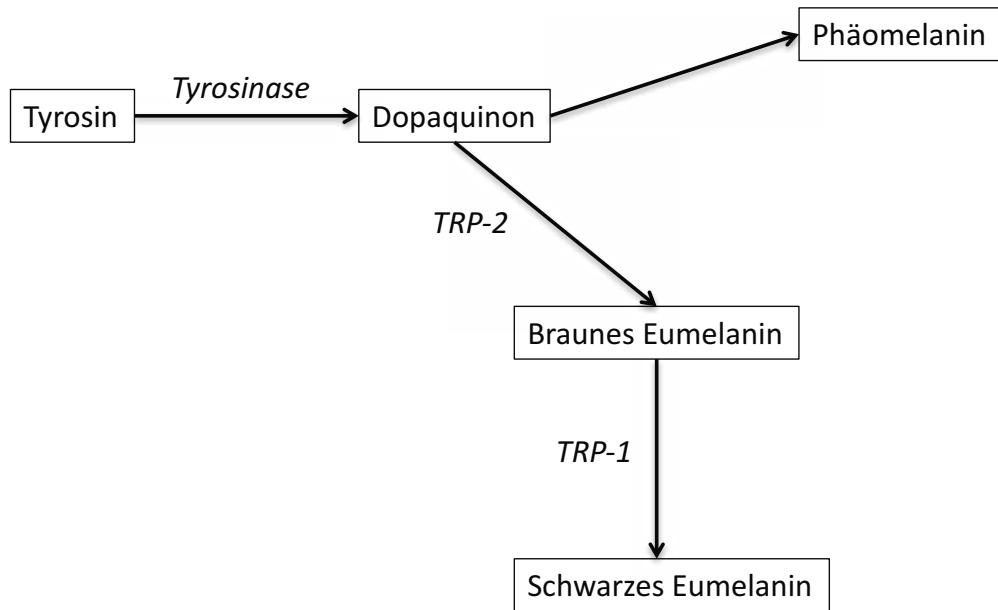
An der Außenwand der Pigmentzellen befinden sich Rezeptoren. Das sind „Andockstellen“, die man sich wie eine Art Türschloss vorstellen kann. Man nennt diese Pigmentzell-Rezeptoren MC1R (Melanocortinrezeptor 1). Setzt sich der passende Agonist („Schlüssel“) an diesen Rezeptor, so wird die Pigmentproduktion gestartet. Dockt MSH an, so wird Eumelanin produziert, dockt hingegen ASIP (Agouti signaling protein) an, so wird Phäomelanin produziert.⁵

Embryonalstadium vorläufig gestoppt wird. Hunde mit mehr oder weniger ausgedehnten unpigmentierten Bereichen sind die Folge – landläufig auch als Schecken bekannt (siehe Seite 126 ff.). Andere Mutationen greifen in die Pigmentsynthese ein, wie etwa eine Mutation des TYRP1 (Tyrosinase related protein 1), die dazu führt, dass statt schwarzem braunes Eumelanin gebildet wird (siehe Seite 95 ff.).⁶ Eine andere Mutation wiederum führt dazu, dass die Pigmentgranula kleiner und verklumpter ausfallen, was den optischen Farbeindruck von schwarz zu blau und von braun zu lilac verändert (siehe Seite 102 ff.). Viele der Mutationen sind heute bereits molekulargenetisch entdeckt und können in kommerziell erhältlichen Tests nachgewiesen werden. Andere Mutationen sind noch nicht identifiziert, hier ist noch viel Forschungsarbeit nötig, um das Wissen, das bislang Züchter über Beobachtungen zusammen getragen haben, wissenschaftlich zu untermauern.

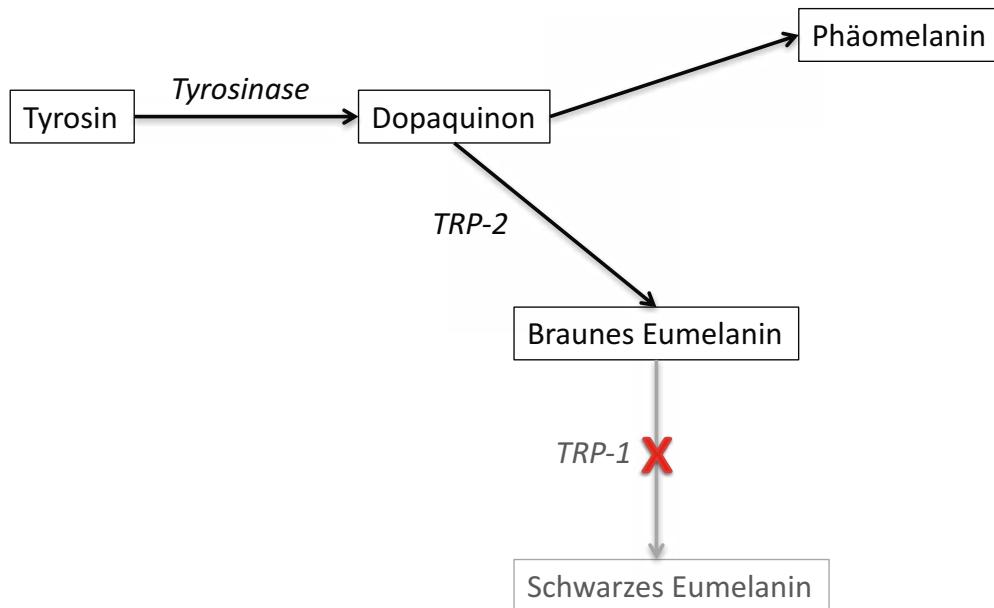
Mutationen

Mutationen können auf allen Ebenen und in allen Phasen der Pigmentzellentwicklung, Pigmentsynthese und Pigmenteinlagerung entstehen. Mutationen in der Pigmentzellentwicklung können etwa dazu führen, dass die Auswanderung der Pigmentzellvorläufer im

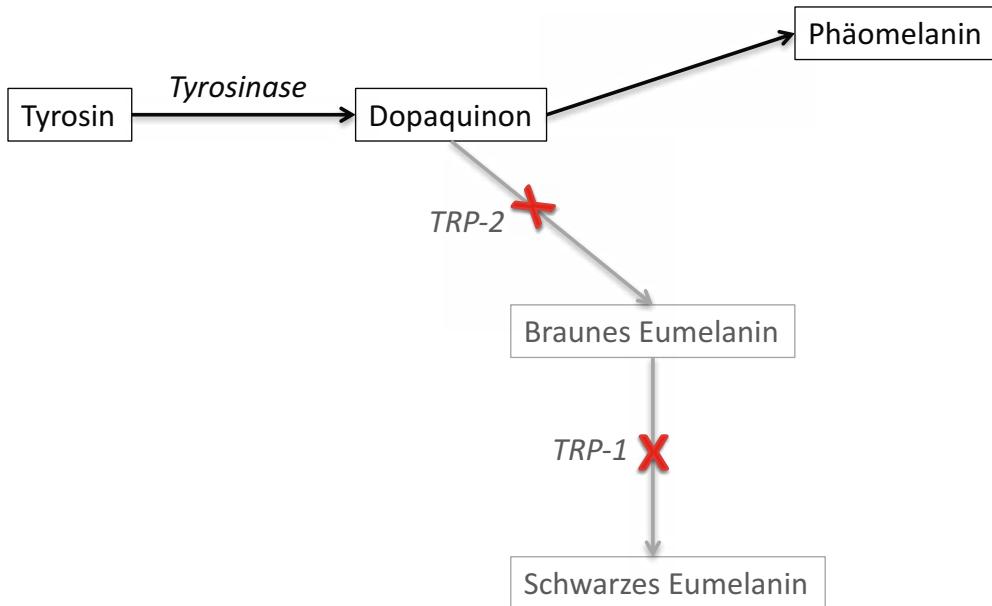
Fall 1: Schwarzes Eumelanin und Phäomelanin können produziert werden



Fall 2: Braunes Eumelanin und Phäomelanin können produziert werden



Fall 3: Es kann nur Phäomelanin produziert werden



Fall 4: Es kann – je nach Mutation – kein oder kaum Pigment produziert werden

