

Dressurexperimente zum Kontrast- und Farbsehen von
Phoca vitulina* und *Arctocephalus pusillus

Dissertation
zur Erlangung des Grades
„Doktor
der Naturwissenschaft“
am Fachbereich Biologie Zoologie III (Neurobiologie)
der Johannes Gutenberg-Universität
in Mainz

Daniela Oppermann
geb. in Wiesbaden

Mainz, 2015

Dekan:

1.Berichterstatter:

2.Berichterstatter:

Tag der mündlichen Prüfung : 22.05.2015

„Noch sind wir weit entfernt, das tierische Leben erkannt zu haben,
und noch studieren wir an Tieren, in der Absicht, uns selbst kennenzulernen“

Alfred Brehm

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
1. Zusammenfassung	7
1.1. Zusammenfassung.....	7
1.2. Summary	8
2. Einleitung.....	9
2.1. Systematik der Robben	9
2.2. Evolution der Robben	9
2.3. Pinnipedia	10
2.3.1 Der Seehund (<i>Phoca vitulina</i>).....	14
2.3.2. Der Südafrikanische Seebär (<i>Arctocephalus pusillus</i>).....	15
2.4. Das visuelle System	16
2.4.1. Aufbau und Funktion des Vertebraten-Auges	16
2.4.2. Visuelles System bei Pinnipedia.....	19
2.4.3. Helligkeitsunterscheidung.....	20
2.4.4 Farbensehen	22
3. Material und Methoden	26
3.1. Versuchstiere.....	26
3.1.1. Die Seehunde	26
3.1.2. Die Südafrikanischen Seebären	28
3.2.Haltungsbedingungen	29
3.3. Versuchsaufbau.....	33
3.3.1. Seehund	33
3.3.2. Südafrikanischer Seebär	34
3.4. Herstellung der Versuchsfolien.....	35
3.4.1. Anfertigung der Testfolien zum Kontrastsehen.....	35
3.4.2. Herstellung der Testfolien zum Farbensehen: Blau	40
3.4.3. Herstellung der Testfolien zum Farbensehen: Grün.....	43
3.4.4. Herstellung der Testfolien zum Farbensehen: Gelb	46
3.4.5. Herstellung der Testfolien zum Farbensehen: Orange	50
3.5. Versuchsablauf.....	53
3.5.1. Allgemeines Training	53
3.5.2. Andressur der Seehunde an die Dressurfolie.....	54

3.5.3. Dressur und Tests der Seehunde.....	55
3.5.4. Andressur der Seebären an Dressurfolie	56
3.5.5. Dressur und Tests der Seebären.....	57
4. Ergebnisse.....	60
4.1. Kontrastsehen.....	60
4.1.1. Versuchsergebnisse der einzelnen Tiere.....	60
4.1.1.1. Ergebnisse von Seehund Fridolin	60
4.1.1.2. Ergebnisse des Seehundes Angie	62
4.1.1.4. Ergebnisse des Seebären Nabi	67
4.2. Farbsehen	69
4.2.1. Testreihe Blau.....	69
4.2.1.2. Ergebnis vom Seehund Angie	70
4.2.1.4. Ergebnis des Seebären Nabi	73
4.2.2. Testreihe Grün	74
4.2.3.1. Ergebnis vom Seehund Fridolin	74
4.2.2.2. Ergebnis Seehund Angie	76
4.2.2.3. Ergebnis vom Seebär Otti.....	77
4.2.2.4. Ergebnis vom Seebär Nabi	79
4.2.3. Testreihe Gelb.....	80
4.2.3.1. Ergebnis vom Seehund Fridolin	80
4.2.3.2. Ergebnis vom Seehund Angie	82
4.2.3.3. Ergebnis vom Seebär Otti.....	83
4.2.3.4. Ergebnis vom Seebär Nabi	86
4.2.4. Testreihe Orange.....	87
4.2.4.1. Ergebnis Seehund Fridolin	87
4.2.4.2. Ergebnis vom Seehund Angie	89
4.2.4.3. Ergebnis vom Seebär Otti.....	90
4.2.4.4. Ergebnis vom Seebär Nabi	92
5. Diskussion	95
5.1. Kontrastsehen	96
5.1.1. Erregungskontraste von Zapfen und Stäbchen	98
Erregungskontrast beim Kontrastsehen	99
5.1.2. Seehunde.....	99
5.1.3. Seebären.....	101

5.2. Farbsehen	102
5.2.1. Farbe Blau, Seehunde	102
5.2.2 Farbe Blau, Seebären	104
5.2.3 Farbsehen Grün, Gelb und Orange: Seehunde.....	105
5.2.4. Farben Grün, Gelb, Orange: Seebären.....	108
5.3. Erregungsverhältnis von Stäbchen und Zapfen	111
6. Literaturverzeichnis	118
7. Abkürzungsverzeichnis	122
8. Abbildungsverzeichnis	123
9. Tabellenverzeichnis	127
10. Anhang.....	129
11. Schriftliche Erklärung.....	140

1. Zusammenfassung

1.1. Zusammenfassung

Robben sind amphibische marine Säugetiere. Das bedeutet, dass sie zwei unterschiedliche Lebensräume, Wasser und Land, bewohnen. Ihre sensorischen Systeme müssen auf beide Medien abgestimmt sein. Gerade für das Sehvermögen ist es eine große Herausforderung, sich den zwei optisch unterschiedlichen Medien anzupassen. Deshalb sind Forscher an dem Sehen von marinen Säugern seit dem zwanzigsten Jahrhundert so sehr interessiert.

Bis heute wird kontrovers diskutiert, ob marine Säugetiere Farbe sehen können, da sie durch einen Gendefekt nur einen Zapfentyp besitzen und somit zu den Zapfen-Monochromaten gehören. Dressurexperimente zeigten jedoch, dass Seebären und Seelöwen in der Lage sind grüne und blaue Testfelder von Graustufen zu unterscheiden (Busch & Dücker, 1987; Griebel & Schmid, 1992).

Um auszuschließen, dass die Tiere ein Farbensehen über die Unterscheidung von Helligkeit vortäuschen, wurde in der vorliegenden Arbeit zunächst die Kontrasterkennung untersucht und danach Tests auf Farbensehen durchgeführt. Als Versuchstiere dienten zwei Seehunde (*Phoca vitulina*) und zwei Südafrikanische Seebären (*Arctocephalus pusillus*). Alle Versuche wurden unter freiem Himmel im Zoo Frankfurt durchgeführt. Den Tieren wurden immer drei Testfelder zur Auswahl geboten: zwei waren gleich und zeigten einen homogenen Hintergrund, das dritte zeigte ein Dreieck auf demselben Hintergrund. Die Tiere wurden auf das Dreieck dressiert. In den Versuchen zum Helligkeitskontrast wurden graue Dreiecke auf grauem Hintergrund verwendet. Das Dreieck wurde nicht erkannt bei einem Luminanz-Kontrast ($K = L_D / (L_D + L_H)$) zwischen 0,03 und -0,12.

Beim Test auf Farbensehen wurden die Farben Blau, Grün, Gelb und Orange auf grauem Hintergrund verwendet. Die Testreihen zeigten, dass jedes Tier auch in Bereichen von geringem Helligkeitskontrast hohe Wahlhäufigkeiten auf das farbige Dreieck erzielte und somit eindeutig die Farben Blau, Grün und Gelb sehen konnte. Lediglich bei der Farbe Orange kann keine Aussage zum Farbensehen getroffen werden, da das farbige Dreieck immer dunkler war als der Hintergrund.

Zusammenfassend konnte in dieser Arbeit gezeigt werden, dass Seehunde und Seebären in der Lage sind Farbe zu sehen. Vermutlich beruht diese Fähigkeit auf der Interaktion von Stäbchen und Zapfen.

1.2. Summary

Pinnipeds are amphibious marine mammals. That means that they inhabit two different environments – water and land. Their sensory systems have to function in both mediums, which is a great challenge for their sense of sight to have adapted to two so different mediums. That is the reason scientists have been so interested in vision in marine mammals since the 20th century.

Even today, it is still controversially discussed whether marine mammals can see in colour, because, due to a genetic defect, they only have one cone, thereby placing them into the group of Cone-Monochromates. However, training experiments have shown that Fur Seals and Sea-lions are able to differentiate between green and blue test-panels and varying shades of grey (Busch & Dücker, 1987; Griebel & Schmid, 1992).

To rule out that the animals fake their ability to see in colour by distinguishing light intensities, the present paper firstly studied contrast recognition and then subsequently tested colour vision. Two Harbour Seals and two South African Fur Seals served as the test animals. All experiments were conducted in natural light in the Frankfurt Zoo. The seals were always offered three test-panels; two were identical and showed a homogenous background, the third panel contained a triangle on the same background. The animals were trained to select the panel with the triangle. The experiments concerned with light intensities were conducting using grey triangles on a grey background. The triangles were not recognised with a luminosity contrast ($K = L_D / (L_D + L_H)$) between 0,03 and -0,12.

The experiments for colour vision were conducted using the coloured triangles in blue, green, yellow and orange on a grey background. The test series showed that every animal, even in areas of low luminosity, had high successes in recognising the coloured triangles, which proves they are clearly able to see blue, green and yellow. With the colour orange, the triangle was always darker than the background, so no conclusion can be given.

In summary, this paper was able to show that Harbour Seals and South African Fur Seals are able to see colours. This ability is probably due to the interaction between rods and cones.

2. Einleitung

2.1. Systematik der Robben

Die meisten marinen Säugtiere werden in zwei große Gruppen eingeteilt: die eine Gruppe besteht aus den Walartigen (*Cetaceae*) und die andere Gruppe bilden die Robben (*Pinnipedia*) (Shirihai & Jarrett, 2006).

Pinnipedia ist der wissenschaftliche Name der Robben und leitet sich aus dem lateinischen Wort *pinna* Flosse und *pedis* Fuß ab (Seal Conservation Society, 2011).

Die Systematik von Robben sieht wie folgendermaßen aus:

Überklasse: Kiefermäuler (*Gnathostomata*)

Klasse: Säugetiere (*Mammalia*)

Unterklasse: Höhere Säugetiere (*Eutheria*)

Ordnung: Raubtiere (*Carnivora*)

Unterordnung: Robben (*Pinnipedia*)

Überfamilie: Hundeartigen (*Canoidea*)

Die Robben werden in drei Familien unterteilt:

Hundsrobben (*Phocidae*, 19 Arten)

Ohrenrobben (*Otariidae*, 16 Arten)

Walrosse (*Odobenidae*, eine Art)

(National Geographic, 2009)

2.2. Evolution der Robben

Seit Jahrzehnten herrscht eine Debatte über die Beziehung von Robben zu anderen Säugetieren. Man geht davon aus, dass die Hundsrobben *Phocidae* einerseits und die Ohrenrobben *Otariidae* und Walrosse *Odobenidae* andererseits zwei unterschiedliche Vorfahren haben. Die Hundsrobben sollen auf gemeinsame Vorfahren mit den Marderartigen (*Mustelidae*) zurückgehen und sind im mittleren Eozän, d.h. vor ca. 15 Millionen Jahren, an der Atlantikküste zum ersten Mal aufgetaucht. Die Ohrenrobben und Walrossartige dagegen sollen in enger Verwandtschaft mit den Bären (*Ursidae*) stehen und sich ab dem frühen Eozän, d.h. vor ca. 22 Millionen Jahren, an der Pazifikküste Nordamerikas aus terrestrischen Carnivoren entwickelt haben (Abb.2.1b).

Eine andere Sicht ist, dass Robben eine monophyletische Abstammung haben, das heißt, dass sie eine gemeinsame Stammform und somit einen gemeinsamen „Ur-Ahnen“

besitzen. Diese Hypothese sagt aus, dass die Bären *Ursidae* die nächsten Verwandten von Robben sind (Abb.2.1a) (Arnason et al., 2006; Berta, 2006).

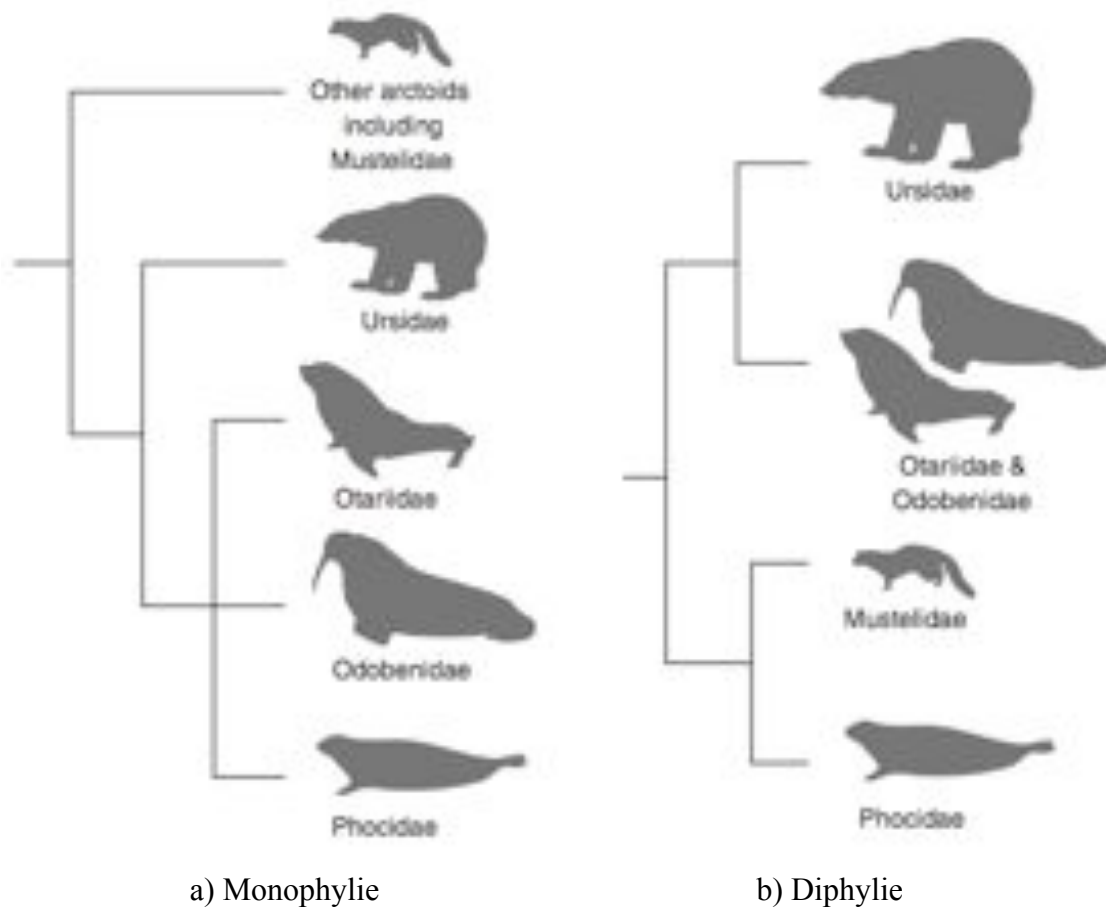


Abb. 2.1: Zwei unterschiedliche Theorien zu Verwandtschaftsbeziehung von Robben.

a) Monophylie mit Bären als den engsten Verwandten der Robben. b) Diphylie - *Phocidae* und Marderartige werden zusammengeführt und Ohrenrobber, Walrosse mit Bären. (Berta et.al, 2009).

2.3. Pinnipedia

Pinnipedia (Robben) sind eine Untergruppe der Ordnung der Raubtiere (*Carnivora*) (Levenson et al., 2006; Schusterman, Kastak, Levenson, Reichmuth, & Southall, 2000). Robben sind amphibische Säugetiere, da sie in zwei verschiedenen Habitaten leben (Griebel & Peichl, 2003; Hanke, Hanke, Scholtyssek, & Dehnhardt, 2009; Hanke & Dehnhardt, 2013). Der amphibische Lebensstil stellt an alle sensorischen Systeme, vor allem an das Sehvermögen, große Herausforderungen, da sie in zwei optisch unterschiedlichen Medien, nämlich Wasser und Luft, leben (Hanke et al., 2009; Levenson et al., 2006; Schusterman et al., 2000).

Ihr Nahrungsspektrum ist vielfältig. Jedoch haben sich einige Robben zu Futterspezialisten entwickelt. Ein Beispiel hierfür stellt der Seehund (*Phoca vitulina*)

aus der Familie der Hundsrobben (*Phocidae*) dar. Er ist ein Futtergeneralist, was bedeutet, dass er ein größeres Beutespektrum besitzt. Jedoch hat er eine Vorliebe für kleine und mittelgroße Fische, die er im uferfernen Freiwasser oder auf dem Meeresboden vorfindet. Im Gegensatz dazu frisst die Bartrobbe (*Erignathus barbatus*) Wirbellose und Wirbeltiere und hat eine großen Vorliebe für Bodenbewohner. Ohrenrobben (*Otariidae*) haben ein großes Beutespektrum: Freiwasserfische, Bodenfisch und Tintenfische von seichten Tiefen bis hin zu einer Tiefe von 100 m. Der Seebär jedoch neigt dazu im tiefen Wasser, auch über den Kontinentalschelf hinaus, zu fressen und erbeutet dort kleine Tintenfische und Fisch. Der Südafrikanische Seebär wiederum ernährt sich der Situation angepasst hauptsächlich von Knochenfischen, die sehr selten größer als einen Meter lang werden, sowie zeitweise auch von Seevögeln (Hanke, Wieskotten, Marshall, & Dehnhardt, 2013).

Robben sind in allen Weltmeeren vertreten und es gibt sie in verschiedenen Größen. Sie können von 1,20 m (Ringelrobbe *Pusa hispida*) bis zu 6,50 m (Südlicher See-Elefant *Mirounga leonina*) groß werden und bis zu 4 Tonnen schwer (Shirihai & Jarrett, 2006).

Robben haben sich perfekt an das Leben im Wasser angepasst. Ihr Körper hat eine stromlinienförmige, torpedoartige Gestalt und die in Ruderflossen endenden Extremitäten sind relativ kurz ausgebildet. Somit verringern sie den Strömungswiderstand. Ihre Gelenkfortsätze, der Lendenwirbel ist stark reduziert, so dass diese nicht starr miteinander verbunden sind. Deshalb sind Robben sehr schnell im Wasser und können auf kurzer Strecke eine Geschwindigkeit von 30 Stundenkilometer erreichen. Auch an Land sind einige Robben sehr schnell unterwegs. Dabei bestehen große Unterschiede zwischen Ohrenrobben und Hundsrobben. Im Laufe der Evolution bildeten sich die vier Beine in Flossen um. Bei genauerer Betrachtung der Ohrenrobben kann man erkennen, dass jede Flosse in fünf langen, abgeflachten Zehen endet, die durch Schwimmhäute verbunden sind, und dass sich die Hals- und Brustwirbel deutlich verstärkt haben (Abb. 2.2 a) (Jefferson, Leatherwood, & Webber, 1993).

Ohrenrobben verfügen über große muskulöse Hinterflossen und können diese nach vorne drehen. Sie können die Vorderflossen unter den Körper stellen und somit auf ihren 4 Flossen laufen (<http://www.polarwelten.de>; Zoo Augsburg). Für einen ausgewachsen Seebärbullen, der ungefähr ein Gewicht von 250 kg besitzt, ist es kein Problem sein ganzes Gewicht auf seinen Vorderflossen zu tragen (Abb. 2.3 b).

Hundsrobben sind im Gegensatz dazu sehr unbeholfen an Land. Die Vorderflossen können das Gewicht nicht abstützen. Die Hinterflossen sind zu kleinen Schwanzflossen umgewandelt und können nicht unter den Körper geschlagen werden. Der Lendenbereich ist am stärksten ausgeprägt (Abb. 2.2 b). Daher können sie sich an Land nur „robbend“ fort bewegen (Zoo Augsburg) (Abb. 2.3 a).

a)



b)



Abb. 2.2: Äußeres Erscheinungsbild und Anatomie einer Ohrenrobbe und einer Hundsrobbe.

a) In Abbildung a wird das Erscheinungsbild und eine grobe Anatomie einer Ohrenrobbe dargestellt. Bei dem äußeren Erscheinungsbild erkennt man die äußeren Ohren und die kräftigen Flossen. Die anatomische Abbildung zeigt den Bereich, in dem sich die Nackenmuskulatur befindet und verdeutlicht, dass die Muskulatur dort sehr ausgeprägt ist. b) In der Abbildung b wird das Erscheinungsbild und die Anatomie einer Hundsrobbe dargestellt. In der Abbildung des äußeren Erscheinungsbildes sieht man die nicht vorhandenen äußeren Ohren und die verkürzten Flossen. In dem anatomischen Bild wird die Muskulatur im Lendenbereich hervorgehoben. Bei Hundsrobben ist dieser Bereich sehr stark ausgebildet (Zoo Augsburg).

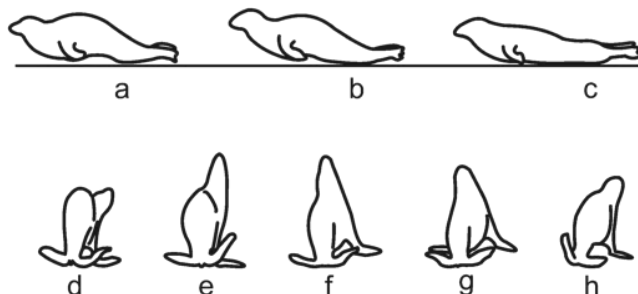


Abb. 2.3: Darstellung der Fortbewegung von Ohren- und Hundsrobben an Land.

a) Die Hundsrobben sind sehr unbeholfen bei der Fortbewegung an Land, da sie ihre Flossen nicht unter den Körper schieben können. Die Fortbewegung erfolgt bei den Hundsrobben, indem auf dem Bauch „gerobbt“ wird. Indem erst der hintere Teil des Körpers angezogen wird, der dann den Körper vorschleibt. b) Ohrenrobben sind sehr gut an das Leben an Land angepasst. Sie können ihre Flossen unter den Körper stellen, wodurch die Flossen wie Beine funktionieren (Kuhn & Frey, 2012).

Die Pinnipedia gehören in die Ordnung Carnivoren, besitzen jedoch kein typisches Raubtiergebiss, sondern ein Fischfressergebiss. Die Reißzähne sind als solche nicht mehr erkennbar. Die Eckzähne sind im Allgemeinen gut ausgebildet (Duguay & Robineau, 1992).

Robben sind wie alle Säugetiere homöotherm, was bedeutet, dass ihre Körpertemperatur fast konstant ist. Sie besitzen eine Zentimeter dicke Fettschicht. Einige von ihnen haben dazu noch ein wasserdichtes Fell. Seebären, zum Beispiel, sind mit einem Fell ausgestattet, das vor allem durch darin gelöste Luftbläschen die Wärme zurück hält.

Die isolierende Speckschicht, der sogenannte „Blubber“ und ein Gegenstrom-Wärmetauscher in der Blutversorgung der Flossen sorgen dafür, dass Robben in kalten Meeren nicht frieren. Die Arterien, die das Blut aus dem Körper in die Extremitäten leiten, sind mit einem Netz von Venen umringt, so dass das in den Flossen abgekühlte Blut auf dem Rückweg in den Körperkern noch wertvolle Wärme „mitnehmen“ kann. Auf diese Weise kann das Blut über die Flossen auch überschüssige Wärme an die Umgebung abgeben und der Körper wird gekühlt. Wenn es jedoch richtig heiß ist, dann reicht dieses System nicht aus. Bei hohen Umgebungstemperaturen werden vermehrt Gefäße durchblutet, die oberhalb der isolierenden Speckschicht der Robben liegen. Durch Wärmebilder wurde gezeigt, dass dies zunächst nur punktuell geschieht. Die „Thermofenster“ bilden sich häufig zuerst an Kopf, Nacken und Schulter der Robben. Nach und nach wachsen die Flecken und vermelzen miteinander. Es wird vermutet, dass es energetisch günstiger ist, die Temperatur nur stellenweise stark in die Höhe zu treiben als den ganzen Körper mäßig zu erwärmen. Denn bei höheren Temperaturen der Körperoberfläche kann das noch im Pelz der Robben vorhandene Wasser leichter verdunsten, so dass mehr überschüssige Körperwärme in diesen energie-intensiven Prozess fließen kann. Das nasse Fell kann somit als eine Art „Kühlmittelspeicher“ dienen (Mauck, 2003).

Die Sozialstruktur der Robben ist unterschiedlich. Bis auf einige Ausnahmen, die Einzelgänger sind, sind die meisten Arten gesellig. Der Seehund gehört zu den Arten, die einzelgängerisch sind und ungern in großen Gruppen leben. So versuchen sie beim Sonnen auf Sandbänken immer den größten Abstand zum nächsten Tier zu halten. Seebären und Seelöwen hingegen leben in große Kolonien. Im Gegensatz zum Seehund liegen sie an Land immer sehr gerne beieinander (Puschmann, Zscheile, & Zscheile, 2009).

2.3.1 Der Seehund (*Phoca vitulina*)

Der Seehund (*Phoca vitulina*) gehört in die Familie der Hundsrobben (*Phocidae*). Die Gattung *Phoca*, besteht wiederum aus zwei Arten, nämlich dem Seehund und dem Largha-Seehund (*P.largha*). Seehunde leben in eisfreien Küstengewässern, wie z.B. an der deutschen Nord- und Ostseeküste (Verband deutscher Zoodirektoren, 2012). Die Seehundrüden werden zwischen 1,50 m und 1,85 m lang, die Seehundweibchen bis zu 1,70 m. Die Rüden können je nach Verbreitungsgebiet ein Gewicht von 80 kg bis zu 170 kg erreichen und die Weibchen bis zu 142 kg. Seehunde haben eine Lebenserwartung von bis zu 40 Jahren (WWF, 2007).

Bei Seehunden kommen Wassergeburten vor. Das Jungtier wechselt schon im Mutterleib kurz vor der Geburt sein Fell und wird bereits mit dem „Erwachsenenfell“ geboren. Deshalb ist ein Seehundjunges auch gleich nach der Geburt fähig zu schwimmen. Die Seehundmutter schwimmt immer hinter dem Seehundjungen her (Puschmann et al., 2009).

Die Fellfarbe von Seehunden ist sehr variabel und reicht von einem hellen Farbton, cremefarben oder braungelb-weiß bis zu einem dunklen Farbton, sehr dunkel bis metallisch schwarz, dazu können sie gestreift oder gefleckt sein. Sie besitzen sehr große, runde Augen und sind nach den Walen (*Cetacea*) und den Seekühen (*Sirenia*) die am besten an das Leben im Wasser angepassten Säugetiere. Ihr Körperbau ist für die Fortbewegung unter Wasser optimiert und an Land wirken sie eher schwerfällig (Abb. 2.3 a). Ihre Vorderflippen sind klein mit spitzen Enden und besitzen fünf lange hakenförmige Krallen. Die Hinterflipper sind proportional klein und etwas kantig. Ihre Hinterflossen dienen zur Fortbewegung (Abb. 2.4) (Puschmann et al., 2009).



Abb. 2.4: Fortbewegung eines Seehundes im Wasser.

In dieser Abbildung wird die Fortbewegung eines Seehundes mit seinen Hinterflossen dargestellt. In Bild wird die Bewegung der Hinterflosse von links nach rechts bildlich dargestellt.

Die Hinterflossen werden bei der Fortbewegung wie ein Fächer ausgebreitet, womit er einen größeren Wasserwiderstand hat und sich dadurch mit wenig Aufwand schnell im Wasser bewegen kann (Kuhn & Frey, 2012).

Seehunde trifft man auf hoher See generell als Einzelgänger an, jedoch während der Fellwechselperiode von Juni bis Oktober sind sie gesellige Tiere. Sie können bis zu 150 m tief und länger als 10 min tauchen (Shirihai & Jarrett, 2006).

2.3.2. Der Südafrikanische Seebär (*Arctocephalus pusillus*)

Der Südafrikanische Seebär gehört zu der Familie der Ohrenrobben (*Otariidae*), da er kleine äußere Ohren besitzt. Heutzutage wird der Südafrikanische Seebär auch als Südafrikanischer Zwergseebär titulierte. Die Bezeichnung „Zwergseebär“ ist jedoch falsch und irreführend. Denn ein männlicher *Arctocephalus pusillus* erreicht im adulten Alter ein Gewicht von 300 kg und eine Größe von bis zu 2,2 m. Die weiblichen Tiere erreichen eine Größe von maximal 1,80 m mit einem Gewicht von bis zu 100 kg. Somit ist der Südafrikanische Seebär der größte Seebär seiner Art, der unzutreffende Name entstand lediglich, da er anhand eines Jungtieres erstmals beschrieben wurde. Südafrikanische Seebären sind an der steilen Küste Afrikas von Namibia bis Südafrika beheimatet, wo der kalte Benguelastrom aus der Antarktis sich mit dem warmen Oberflächenwasser vermischt und zu einem gewaltigen Planktonwachstum und einem artreichen Fischleben führt (Verband deutscher Zoodirektoren).

Auf Grund ihres Körperbaus können Seebären sehr gut laufen und rennen und sind sehr gut an die Umgebung der Küste angepasst. Die Vorderflippers werden beim Laufen gestreckt und gebogen. Das Hauptgewicht ruht auf ihnen, wobei es an ihrem Handgelenk zu einer Abknickung um 90 Grad kommt. Die Hinterflipper können vorwärts gerichtet werden oder rotieren (Abb. 2.3 b). Auch die Fortbewegung im Wasser geschieht durch die Vorderflossen. Sie können auf kurzer Strecke eine Geschwindigkeit von bis zu 30 Stundenkilometer erreichen (Jefferson et al., 1993; Shirihai & Jarrett, 2006), (Abb. 2.5).



Abb. 2.5: Fortbewegung eines Seebären unter Wasser.

Für die Fortbewegung unter Wasser nehmen die Seebären ihre Vorderflossen, mit denen sie sich kräftig im Wasser abstoßen können. Es scheint regelrecht, dass sie durchs Wasser fliegen würden (Kuhn & Frey, 2012).

Seebären sind Haremstiere, ein Männchen lebt mit vielen Weibchen zusammen. Die Jungtiere tragen nach der Geburt ein dichtes, weichwolliges Embryonalhaarkleid (Lanugo). Dieses Fell ist ein idealer Kälteschutz, aber nicht Wasserabweisend. Im Wasser durchnässt es bis auf die Haut, was zu einer Unterkühlung führen würde. Aufgrund dessen können Seebärjungen erst nach dem Fallwechsel, 3 Wochen nach der Geburt, ins Wasser (Puschmann et al., 2009).

Der Körper der Seebären ist lang und schmal und komplett mit einem braun/dunkelbraunen Oberfell bedeckt. Unter diesem besitzen sie zudem noch ein schwarzes Unterfell (Puschmann et al., 2009).

2.4. Das visuelle System

2.4.1. Aufbau und Funktion des Vertebraten-Auges

Ein Wirbeltierauge (Abb. 2.6) ist eine runde, flüssigkeitsgefüllte Struktur, die von einer zähen Lederhaut, die sogenannte *Sklera*, umgeben ist. Diese bildet im vorderen Bereich des Auges die Hornhaut (Purves, Sadava, Orians, & Heller, 2006). Mit Hilfe des optischen Systems (des dioptrischen Apparats = Hornhaut, Linse und Glaskörper) werden Objekte der Umwelt auf der Netzhaut abgebildet (Mutschler, Schaible, & Vaupel, 2007).

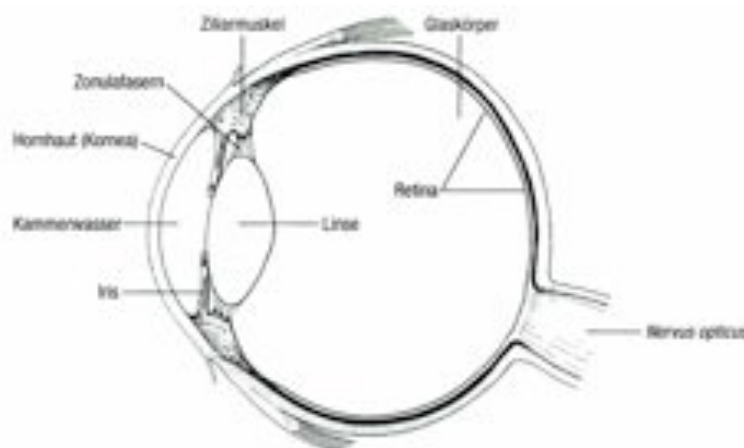


Abb. 2.6: Das menschliche Auge.

In dieser Abbildung wird bildlich das menschliche Auge dargestellt (Ahne, Liebich, Stohrer, & Wolf, 2000).

Das Auge kombiniert eine relativ kleine Apertur (Pupillenöffnung) mit einer lichtbrechenden Hornhaut sowie einer Linse (Eckert, 2000). Die Linse ist für die

Feinjustierung und Fokussierung der Bilder auf die Netzhaut verantwortlich (Purves et al., 2006). Die Pupille kann erweitert oder verengt werden und kann sich so den Lichtverhältnissen anpassen, welches auch als Adaptation bezeichnet wird.

Wenn einfallende Lichtstrahlen durch die durchsichtige Cornea fallen, werden diese gebrochen und erzeugen ein umgekehrtes Bild auf der Retina.

Bei höheren Vertebraten wird das Bild durch die Änderung des Krümmungsradius und durch die Dicke der Linse scharf gestellt. Die Linse ist an radial angeordneten Zonulafasern aufgehängt, die einen radialen Zug auf die äußere Zone der Linse ausüben und vom Außenrand des Ciliarkörpers ausgehen. Die Linse wird so lange durch den elastischen Zug der Zonulafasern abgeflacht, wie die ringförmig angeordneten Muskeln der Ciliarkörper entspannt sind. Objekte, die weiter entfernt sind, werden fokussiert, während nahe Objekte unscharf erscheinen. Durch die Kontraktion der glatten Muskelfasern des Ciliarkörpers werden die Zonulafasern entspannt und die Linse kugelt sich ab und nahe Objekte werden scharf gesehen (Eckert, 2000). Die *Fovea centralis* (Sehgrube – „gelber Fleck“) ist die lichtempfindlichste Stelle im Auge und der Bereich des schärfsten Sehens (Purves et al., 2006).

Die Netzhaut (*Retina*) ist ein Gewebe, in der die eigentlichen Sehzellen (*Photorezeptoren*), die Stäbchen und Zapfen, sowie nachgeschaltete Nervenzellen enthalten sind und hat bemerkenswerte Eigenschaften. Durch sie ist man in der Lage sowohl bei sternklarem Himmel als auch bei grellem Sonnenlicht zu sehen. Diese Arbeit verrichten die Photorezeptoren (Müller & Kaupp, 1998). Die Stäbchen sind höchst lichtempfindlich und sind für das Sehen im Dämmerlicht und in der Dunkelheit verantwortlich (Abb. 2.9). Bei Tageslicht sind sie gesättigt und tragen nicht zum Sehen bei. Die Zapfen dagegen sind weniger lichtempfindlich. Die *Fovea centralis* besteht ausschließlich aus Zapfen. Da diese weniger lichtempfindlich sind, eignen sie sich zum Sehen bei hohen Lichtintensitäten und sind bei schwachem Licht funktionslos. Der Zapfen ist eine modifizierte Nervenzelle und produziert kein Aktionspotenzial sondern schüttet Neurotransmitter aus, die wiederum die Membranpotenziale anderer Nervenzellen beeinflussen. Durch die sensorischen Nervenzellen werden die Signale von den Photorezeptoren verarbeitet und es werden Aktionspotenziale in ihren Axonen, die den Sehnerv bilden, erzeugt. Sogenannte Bipolarzellen verbinden die Ganglienzellen, die in der Vorderseite der Retina existieren, mit den Photorezeptoren. Kommt es zur Belichtung von Stäbchen und Zapfen, verändert sich das Membranpotenzial und somit die Neurotransmitter-Ausscheidung an den Synapse der

Stäbchen und Zapfen mit der Bipolarzelle. Dadurch werden die Aktionspotenziale der Ganglienzellen reguliert und diese senden die Information an das Gehirn weiter. Ein Photorezeptor kann mit Hilfe von den Horizontalzellen auch seine Nachbarzellen hemmen. Diese kommunizieren lateral über die Retina. Durch den lateralen Informationsfluss kommt es zu einer verbesserten Kontrastwahrnehmung zwischen hellen und dunklen Bereichen (Purves et al., 2006).

Im menschlichen Auge existieren drei verschiedene Zapfentypen, die für die verschiedenen Wellenlängen des Lichtes unterschiedlich empfindlich sind und das Farbsehen ermöglichen. Somit ist das menschliche Auge fähig in einem Wellenlängenbereich zwischen 380 und 780 nm zu sehen (Abb. 2.7).

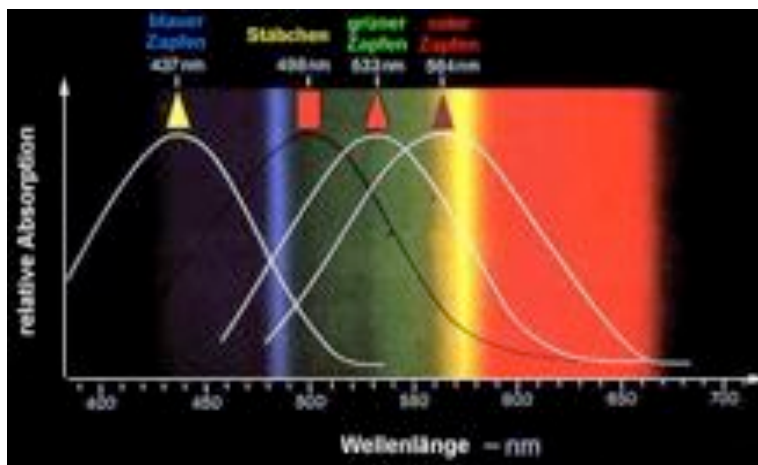


Abb. 2.7: Absorptionsspektrum von Zapfen und Stäbchen.

In dieser Abbildung wird gezeigt in welchen Wellenlängenbereichen die Stäbchen und Zapfen Licht absorbieren. Der B-Zapfen besitzt sein Absorptionsmaximum bei 437 nm, der G-Zapfen besitzt sein Absorptionsmaximum bei 533 nm und der R-Zapfen hat sein Absorptionsmaximum bei 584 nm. Die Stäbchen besitzen ihr Absorptionsmaximum bei 498 nm (Dowling, 1987).

Die Leistungen des Sehsystems werden durch die Messung der Lichtempfindlichkeit und des Auflösungsvermögens geprüft. In verschiedenen Tiergruppen kommt es durch die Dichte der Sehzellen in der Netzhaut zu unterschiedlichen Leistungen des Sehsystems. Bei hellem Tageslicht wird das größte Auflösungsvermögen erreicht. Dagegen muss während der Dämmerung oder in Meerestiefen jedes Lichtquant aufgefangen und somit das Auflösungsvermögen eingeschränkt werden (Wehner & Gehring, 1995).

2.4.2. Visuelles System bei Pinnipedia

Seit dem zwanzigsten Jahrhundert sind Forscher vom Sehen der Robben fasziniert, da sich diese marinen Säugetiere zusätzlich an das aquatische Medium angepasst haben (F. D. Hanke et al., 2009). Durch die semi-aquatische Lebensweise musste eine adaptive Evolution durchlaufen werden, in der es zu morphologisch-anatomischen und physiologischen Veränderungen kam, von denen fast alle Organsysteme betroffen waren (Busch & Dücker, 1987). Der häufige Wechsel zwischen Wasser und Luft ist sehr anspruchsvoll für das Auge. Da in zwei unterschiedlichen Medien verschiedene physikalische Faktoren vorhanden sind, ist eine genaue Anpassung für eine Antwort auf die optische Umwelt der Robben erforderlich (Kröger, 2008). Da Robben große Augen besitzen (Abb. 2.8), kann man davon ausgehen, dass Sehen für diverse biologische Funktionen wie zum Beispiel für das Jagen, die Orientierung und für die Kommunikation eine signifikante Rolle bei *Pinnipedia* spielt (Griebel, 2002).

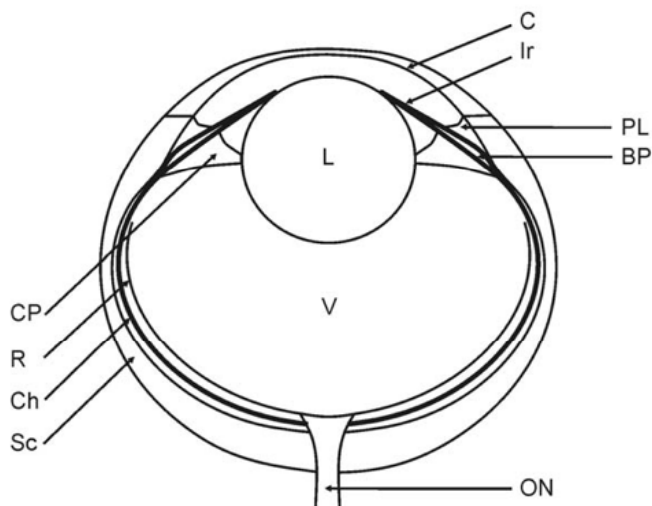


Abb. 2.8: Schematische Abbildung eines Seehundauges.

BP Grundplatte, C Cornea, Ch Aderhaut, CP Ziliarfortsatz, Ir Iris, L Linse, ON optischer Nerv
R Retina, Sc Sclera, V Glaskörper. Das Robbenaug ist sehr rund und groß (F. Hanke, 2009).

Unterwasser herrscht eine ganz andere Lichtenergie als an Land, das visuelle Unterwasserumfeld ist viel unterschiedlicher als das Umfeld, das an Land herrscht. Das Lichtspektrum an der Oberfläche ist fast gleich mit dem an Land. Je tiefer man sich jedoch im Meer befindet, desto mehr verschwinden die langen Wellenlängen und das eindringende Licht ist überwiegend blau (Newman & Robinson, 2005). Im Laufe der Evolution hat sich das visuelle System der Robben immer weiter entwickelt, damit es ohne Probleme in beiden Bereichen gut funktionieren kann. Im Gegensatz zu den

Augen von landlebender Säugetiere ist die Linse von Pinnipedia rund und die Hornhaut abgeflacht (Crognale, Levenson, Ponganis, Deegan, & Jacobs, 1998) .

Die Pupille von Robben kann zu einem vertikalen Spalt geformt werden. Dies führt dazu, dass die optischen Effekte beim Wechsel von Wasser zur Luft minimiert werden (F. D. Hanke, Dehnhardt, Schaeffel, & Hanke, 2006). Ihr visuelles System ist an das Unterwasserleben angepasst. So weist das Auge Unterwasser eine Emmetropie – Normalsichtigkeit auf, welche durch die kugelförmige Linse zustande kommt (Walls, 1963). Ein Auge wird als normalsichtig bezeichnet, wenn ein Gegenstand, der optisch unendlich weit entfernt ist, ohne Akkommodationsaufwand scharf gesehen wird (Mass & Supin, 2007). So gut sie Unterwasser sehen können, umso schlechter sehen sie an Land. Sie sind an der Luft kurzsichtig (F. D. Hanke et al., 2006).

Durch mehrere Studien an Seehunden (F. D. Hanke et al., 2006, 2009; R. H. Kröger, Campbell, Fernald, & Wagner, 1999) kam heraus, dass sie multifokale Linsen besitzen. Multifokale Linsen fokussieren das Licht unterschiedlicher Wellenlängen in unterschiedlichen ringförmigen Zonen. Dadurch wird eine optimale Bündelung der unterschiedlichen Wellenlängen auf der Netzhaut gewährleistet (Malmström & Kröger, 2006). Dies ist jedoch sehr ungewöhnlich, denn man geht davon aus, dass multifokale Linsen in der Evolution zur Behebung des Problems der chromatischen Aberration entstanden sind, was für Organismen wichtig war, die Farbe erkennen können. Robben gelten jedoch als Farbenblind (Hanke, 2009), da sie ihren S-Zapfen verloren haben und nur noch den M/L-Zapfen besitzen (Griebel & Peichl, 2003).

Robben besitzen ein hochentwickeltes *Tapetum lucidum*. Das *Tapetum lucidum* befindet sich hinter der Netzhaut des Auges und ist eine reflektierende Schicht. Diese Schicht spiegelt das Licht, das die Netzhaut schon einmal passiert hat, noch einmal zurück. Somit werden die Sinneszellen ein zweites Mal gereizt, was zu einem noch besseren Sehen in der Dämmerung und einbrechender Dunkelheit führt (Griebel & Schmid, 2002).

2.4.3. Helligkeitsunterscheidung

Mit dem Kontrastsehen wird die Fähigkeit des visuellen Systems, die örtlichen und zeitlichen Helligkeitsunterschiede zu erkennen, beschrieben.

Hierbei wird ein Kontrast als ein Leuchtdichteunterschied definiert, wobei es dafür mehrere Definitionen gibt, die das Verhältnis von höherer zu niederen Leuchtdichte beschreiben (Bach et al., 2008).

Für das Kontrastsehen, Hell-Dunkel-Sehen, sind bei geringer Lichtintensitäten die lichtempfindlichen Stäbchen (Abb. 2.9) verantwortlich. Sie besitzen eine solch hohe Empfindlichkeit, dass sie einzelne Lichtquanten detektieren können (Müller & Kaupp, 1998). Das kommt daher, dass sie einen großen Querschnitt (ca. $1 \mu\text{m}^2$), einen hohen Rhodopsingehalt und eine hochverstärkende Signaltransduktion besitzen. Deshalb können sie elektrische Reaktionen auf Lichtintensitäten von nur wenigen Photonen produzieren (Wehner & Gehring, 1995).

Unterwasser ist der Kontrast zwischen Objekt und Hintergrund mit zunehmender Distanz stärker reduziert als an der Luft. Deshalb ist es für Robben von großem Vorteil, eine hohe Empfindlichkeit für Helligkeitsunterschiede zu besitzen. Sie haben sich an das geringe Umgebungslicht angepasst. Durch ihre großen Augen, die eine starke Erweiterung der Pupille erlauben, resultiert eine geringe Blendenzahl und damit eine größere Schärfentiefe. Dies verstärkt die Summe vom fokussierendem Licht auf der Retina im Abendlicht Zustand. Die Retina ist voll gepackt mit hoch sensiblen Stäbchen (C Scholtyssek & Dehnhardt, 2013; Christine Scholtyssek, Kelber, & Dehnhardt, 2008). Das Absorptionsmaximum der Stäbchen liegt bei einem Seehund bei 496 nm (Griebel, König, & Schmid, 2006).

Zum Kontrastsehen mit Seebären und Seehunden gibt es verschiedene Studien. In einer Studie von Busch und Dücker (Busch & Dücker, 1987) wurde mit zwei Südafrikanischen Seebären und drei Südamerikanischen Seebären gearbeitet. Es wurde untersucht um welchen Hellbezugswert sich zwei Graustufen unterscheiden müssen, damit sie von den Seebären als differierend wahrgenommen werden. Die Versuche wurden in zwei Varianten durchgeführt. Einmal wurde die Beleuchtungsstärke bis 500 Lux genommen und einmal über 500 Lux. Bei vier von fünf Tieren kam es bei unterschiedlicher Beleuchtungsstärke zu keinem Unterschied des Wahlverhaltens. Ein Südafrikanischer Seebär konnte jedoch bei einer Beleuchtungsstärke bis 500 Lux die Graustufen signifikant unterscheiden, jedoch über 500 Lux war es nicht mehr möglich. Daraus wurde entnommen, dass Seebären eine bessere Unterscheidung treffen können, wenn die Beleuchtungsstärke nicht so hoch ist.

Weitere Studien über Helligkeitsunterscheidung mit einem Seebär *Fin* und einem Seehund machte Frau Scholtyssek im Jahre 2008 und 2013 (Scholtyssek & Dehnhardt,

2013; Scholtyssek et al., 2008). Die Versuchsreihen fanden hier in einem dunklen Raum statt. In einer beleuchteten Box, in der ein gleichmäßiges streuendes und konstantes Licht von $0,5 \text{ cd/m}^2$ existierte, war ein $173 \text{ cm} \times 121 \text{ cm}$ großer Bildschirm installiert. Vor dem Bildschirm wurde eine Vorrichtung gebaut, auf die der Seebär seinen Kopf legen musste. Dadurch war er stationiert und der Kopf fixiert, bevor ein Stimulus präsentiert wurde. Auf dem Monitor wurden den Tieren auf zwei Testfeldern verschiedene Abstufungen von Grautönen auf einem schwarzen Hintergrund präsentiert. Am Anfang wurden 10 Standards mit dem gleichen Luminanz-Wert gezeigt. Jede Standardintensität wurde mit acht dunkleren Intensitäten verglichen. Am Anfang war der Monitor schwarz. Der Seebär wurde vor dem Monitor stationiert. Er sollte die Position von dem helleren Stimulus anzeigen, indem er seinen Kopf von der Station nahm und mit seiner Nase einen der schwarzen Gummis rechts oder links von der Station berührte. Bei richtiger Ausführung ertönte ein Pfiff und im Anschluss bekam er ein Stück Fisch. Bei falscher Wahl ertönt das Wort NEIN. Dann wurde der Hintergrund wieder Schwarz und es ging weiter, wenn *Fin* seinen Kopf in die Stütze gelegt hatte. Ein Durchlauf hatte ca. 42 Proben die zweimal am Tag durchgeführt wurden. Die Schwelle wurde bei 75 % festgelegt. Die Helligkeitsunterscheidung wurde bei einem südafrikanischen Seebär genau so durchgeführt wie bei einem Seehund. Es wurde entdeckt, dass der Seebär in der Lage ist den Helligkeitsunterschied von 8 – 10 % zu erkennen und somit bessere Leistungen erbringt als der Seehund in den selben Versuchen.

2.4.4 Farbsehen

Der Begriff „Farbsehen“ bezieht sich auf die Leistungsfähigkeit des visuellen Systems Licht unterschiedlicher Wellenlängen verschieden wahrzunehmen (Griebel & Peichl, 2003; Jacobs & Rowe, 2004; Kelber & Osorio, 2010). Die Fähigkeit Farbe zu unterscheiden und die Welt nicht in Grautönen wahrzunehmen, resultiert auf der Existenz verschiedener Sehpigmente (Eckert, 2000).

Es existieren mehrere Zapfentypen (Abb. 2.9), die unterschiedliche spektrale Empfindlichkeit besitzen. Das Farbsehen des Menschen beispielsweise ist trichromatisch. Das bedeutet, dass sein Zapfensystem, welches zum Farbsehen benötigt wird, aus drei unterschiedlich absorbierenden Zapfentypen besteht, aus einem S-Zapfen mit dem Absorptionsmaximum bei 440 nm, einem M-Zapfen mit dem

Absorptionsmaximum von 535 nm und einem L-Zapfen mit dem Absorptionsmaximum von 570 nm (Wehner & Gehring, 1995).

Wenn man sich den Lauf der Evolution anschaut, hat sich durch eine Genduplikation aus dem dichromatischen Farbsehen der Säuger mit der Zeit das trichromatische Farbsehen von Mensch und Altweltaffe entwickelt (Neumeyer, 1991).

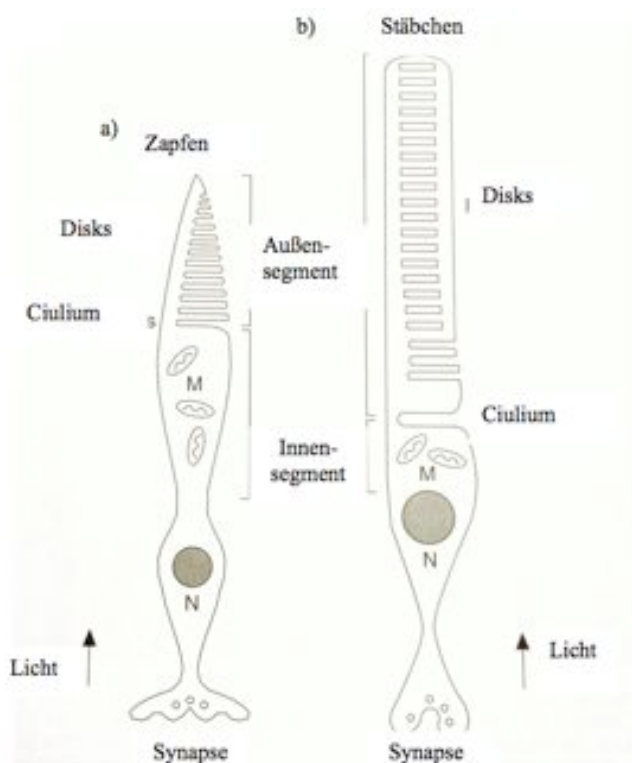


Abb. 2.9.: Schematische Darstellung eines Zapfens (links) und eines Stäbchens (rechts) (Schwartz, 2004).

a) Der Zapfen reagiert auf Licht und ist ein abgewandeltes, photosensitives Neuron b) Das Stäbchen ist für das Hell-Dunkel sehen verantwortlich (Purves et al., 2006).

Die meisten Säugetiere sind Dichromaten, das bedeutet, dass sie nur zwei unterschiedliche Zapfentypen besitzen (Bowmaker, 2008; Jacobs & Rowe, 2004): einen Zapfen mit dem Empfindlichkeitsmaximum im lang oder mittleren Wellenlängenbereich (M/L-Zapfen) und einen Zapfen im kurzwelligen Bereich (S-Zapfen) (Griebel, 2002). Bei Monochromaten dagegen ist nur ein Zapfentyp vorhanden, was dazu führt, dass diese Vertebraten farbenblind sind. Jedoch findet man diese nur selten an, meist bei nachtaktiven Tieren z.B. dem Nachtaffen (*Aotus*) (Jacobs, Deegan, & Crognale, 1993).

Es gibt zwei Gruppen von marinen Säugetieren, die in der Evolutionsgeschichte ihren S-Zapfen bei der Anpassung an das marine Umfeld verloren haben, die Robben und die Wale (Crognale et al., 1998; Peichl, Behrmann, & Kröger, 2001; Peichl & Moutairou,

1998). Somit gehören diese zu den Säugetieren, die nur einen Zapfentypen besitzen und somit farbenblind sein sollten (Griebel & Peichl, 2003). Das ist sehr überraschend denn Robben besitzen eine multifocale Linse und diese ist im Laufe der Evolution so entwickelt worden, dass sie dem Ausgleich der chromatischen Aberration für Tiere mit Farbsehen dient. Deshalb ist eigentlich eine multifokale Linse für eine Robbe nicht geeignet (Hanke, Kröger, Siebert, & Dehnhardt, 2008).

Es wurden im Laufe der Zeit mehrere Studien über das Farbsehen von Robben gemacht. Eine der ersten Studien wurde von Landau und Dawson 1970 durchgeführt. Es handelte sich um die Histologie der Retina von Robben. Dort wurden durch eine lichtmikroskopische Untersuchung erstmals nur stäbchenartige Photorezeptoren nachgewiesen (Landau & Dawson, 1970). In späteren Studien wurde jedoch gezeigt, dass auch zapfenartige Photorezeptoren existieren (Jamieson, 1971).

Der einzige Weg zu zeigen, dass ein Tier Farben sehen kann und um das System zu charakterisieren, ist die Durchführung von Verhaltensexperimenten. Die häufigste Methode besteht in einer Dressurmethode, in der man die Tiere mit Futter belohnt (Neumeyer, 1991).

Eine der ersten Verhaltensstudien stammt aus dem Jahre 1986. In dieser Studie wurde mit zwei Südafrikanischen Zwergseebären und drei Südamerikanischen Seebären gearbeitet. Diesen Tieren wurden mehrere Farbtafeln mit den Farbtönen rot, gelb, grün und blau, die einen negativen Signalwert hatten, vorgezeigt. Als Gegenpart wurde eine 28-stufige Graureihe, mit einem positiven Signalwert, gezeigt. Vier Tiere konnten die Farbe Blau von Grau signifikant unterscheiden, zwei Tiere konnten auch die Farbe Grün erkennen. Bei den Farben, Rot und Gelb kam es jedoch zu keiner Unterscheidung von Grau (Busch & Dücker, 1987). In einer weiteren Studie mit einem Kalifornischen Seelöwen kam es zu den selben Ergebnissen, die Farben Rot und Gelb wurden von einem Grau nicht unterschieden (Griebel & Schmid, 1992).

Doch diese Ergebnisse wurden in einer Studie von Crognale et al. (1998) angezweifelt, da die Tiere nicht in der Lage waren langwelliges Licht von Grau zu unterscheiden, es aber bei kurzwelligem Licht konnten. Dieses Problem ist bei Dichromaten und Trichromaten nicht bekannt. Deshalb wurde mit einem ERG (Elektro-Retinogramm) gemessen und geschaut, ob es mehr als nur einen Zapfentyp anzeigt. Das Ergebnis zeigte, dass der Seehund nur einen einzigen Zapfentyp besitzt (Crognale et al., 1998). In einer Arbeit von Peichl und Moutairou wurden spezielle Antikörper in die Netzhaut von zwei Robbenarten, einem Seehund und einer Ringelrobbe, infiziert und es zeigte sich,

dass der S-Zapfen nicht vorhanden ist (Peichl & Moutairou, 1998). Das Absorptionsmaximum des Zapfen beim Seehund liegt bei 552 nm (Levenson et al., 2006). Ohne einen S-Zapfen weisen marine Säugetiere eine lediglich geringe Empfindlichkeit im kurzwelligen Bereich des Spektrums auf (Peichl et al., 2001).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zu untersuchen, wie gut Robben Farbe sehen können und ob die Stäbchen zum Farbsehen beitragen. Eine Voraussetzung zum Test auf Farbe ist, dass die Tiere vorher auf Kontrastsehen getestet wurden. Als Versuchstiere dienten der Seehund (*Phoca vitulina*) und der Südafrikanische Seebär (*Arctocephalus pusillus*).

Den Tieren wurden immer drei Folien gleichzeitig gezeigt. Eine Folie für den Dressurreiz (positiver Reiz) (Abb. 3.12 A) und zwei Folien für den negativen Reiz (nicht belohnter Reiz) (Abb. 3.12 A). Die Folie für den Dressurreiz zeigte in der Mitte des grauen Hintergrundes ein Dreieck. Dieses Dreieck war zu Beginn schwarz und wurde zunehmend heller gezeigt, bis es mit dem Hintergrund verschmolz. Die Folien mit denen das Farbsehen getestet wurde, waren wie die Folien des Kontrastsehens aufgebaut. Der einzige Unterschied bestand darin, dass das Dreieck farbig auf einem grauen Hintergrund war.

3. Material und Methoden

3.1. Versuchstiere

3.1.1. Die Seehunde

Die in dieser Arbeit durchgeführten Experimente wurden mit zwei Seehunden durchgeführt. Diese sind zum einen der Seehundrüde *Fridolin*, und zum anderen das Seehundweibchen *Angie*.

Alle Versuche mit den Seehunden wurden auf der Anlage durchgeführt, da es keine Möglichkeiten zum Absperren der Seehunde gibt. Die Tiere werden von klein auf an einen bestimmten Futterplatz auf der Anlage stationiert, deshalb weiß jedes einzelne Tier, dass es nur an seinem bestimmten Platz Futter bekommt.

Der Seehundrüde *Fridolin* (Abb. 3.1) wurde 2001 im Bremerhaven geboren und kam 2003 in den Zoo Frankfurt.



Abb. 3.1: Der Seehundrüde *Fridolin*.

Zu Beginn der Doktorarbeit war *Fridolin* neun Jahre alt und war schon in der Diplomarbeit (Oppermann, 2009) eines der Versuchstiere. Sein Testplatz befand sich neben einer Steinbrücke, an einer ca. 1 Meter breiten Einbuchtung (Abb. 3.2). Die Versuchsausrüstung konnte dort sehr gut aufgestellt werden.



Abb. 3.2: Außenanlage der Seehunde mit gekennzeichnetem Testplatz des Seehundrüden *Fridolins* und des Seehundweibchens *Angie*.

Das Seehundmädchen *Angie* wurde 2008 (Abb. 3.3) im Frankfurter Zoo geboren und ist die Tochter von *Fridolin*. Zu Beginn der Doktorarbeit war *Angie* 1 ½ Jahre alt.



Abb. 3.3: Das Seehundweibchen *Angie*.

Ihr Testplatz befand sich rechts von *Fridolins* Platz, in einer zweiten Einbuchtung (Abb. 3.2). Diese Einbuchtung war auch gleichzeitig ihr Futterplatz, somit musste man

sie nicht an einen anderen Platz gewöhnen, sondern konnte dort mit dem Training an die Versuchsanlage beginnen.

3.1.2. Die Südafrikanischen Seebären

Für die in dieser Arbeit durchgeführten Testreihen wurden zwei Südafrikanische Seebären verwendet. Der erste Versuchskandidat war der Seebärbulle *Otti* und die Zweite, das Seebärweibchen *Nabi*.

Der Seebärbulle *Otti* (Abb. 3.4) ist 2002 im Bremerhaven geboren und kam 2004 nach Frankfurt. Zu Beginn der Doktorarbeit war *Otti* acht Jahre alt und wog um die 230 kg bei einer Größe von ca. 1,85 m. Auch er war schon ein Versuchstier in der Diplomarbeit (Oppermann, 2009). Die Versuchsreihen mit den Seebären wurden hinter den Kulissen ausgeführt.

Otti ist ein sehr aufgeweckter Kerl, der schneller entscheidet, als er nachdenkt, um schnell an seine Belohnung zu kommen.



Abb. 3.4: Südafrikanischer Seebärbulle *Otti*.

Das Seebärweibchen *Nabi* (Abb. 3.5) wurde 2007 in Frankfurt geboren und ist eine Tochter von *Otti*. Da sie zur Fütterung nicht hinter die Kulissen geholt wird, wurden die Testreihen auf der Außenanlage durchgeführt.



Abb. 3.5: Seebärmädchen *Nabi*.

Nabi war zu Beginn der Doktorarbeit 1 ½ Jahre alt. Sie war das schwierigste und unkonzentrierteste Tier von allen Testtieren.

Seebären sind sehr verspielte Gesellen. Da *Nabi* auf der Anlage getestet wurde, fiel es ihr sehr schwer sich auf die Tests zu konzentrieren, und ließ sich schnell von Artgenossen und anderen Geschehnissen auf der Anlage ablenken.

3.2.Haltungsbedingungen

Die Anlage der Robben im Zoo Frankfurt wurde im Jahr 2000 neu erbaut. Der gesamte Außenbereich und Innenbereich wurde erneuert. Es entstand jeweils eine eigene Anlage für die Seehunde und eine eigene Anlage für die Seebären.

Die Anlage der Seehunde umfasst eine Größe von ca. 350 m² mit einer Beckengröße von etwa 10x18m, welches ein Wasservolumen von ca. 400 Kubikmeter besitzt (Abb. 3.6).

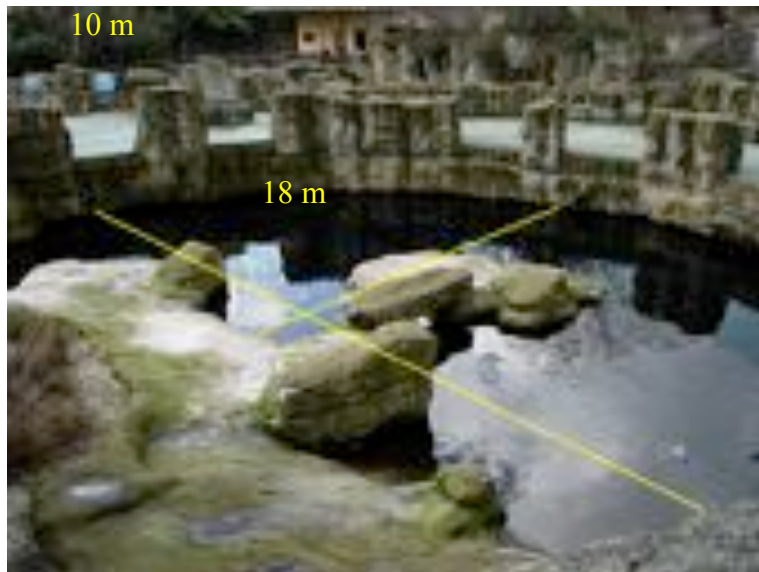


Abb. 3.6: Außenanlage Seehunde.

Derzeit leben im Zoo Frankfurt sechs Seehunde: ein Seehundrüde (12 Jahre), vier Weibchen (3 Jahre, 5 Jahre und zweimal 29 Jahr) und ein Jungtier (1 Jahr). Es finden täglich zwei Fütterungen, um 11:15 h und um 15:45 h statt. Da Seehunde an Land sehr schwerfällig sind, werden die Tiere vor der Fütterung nicht hinter die Kulissen abgesperrt, sondern jedes Tier besitzt auf der Anlage seinen eigenen Futterplatz. Jedes Tier muss während der Fütterung aus dem Wasser an seinen Futterplatz heraus kommen, wenn dies nicht der Fall sein sollte, wird es nicht gefüttert. Es ist notwendig, dass das Tier heraus kommt, denn nur so kann kontrolliert werden, ob der Gesundheitszustand des Tieres einwandfrei ist. Sollte ein anderes Tier an einen falschen Futterplatz kommen, wird es dort nicht gefüttert.

Der komplette Bereich der Südafrikanischen Seebären hat eine Gesamtgröße von 450 m^2 , mit einer Beckengröße von ca. 800 Kubikmeter (Abb. 3.7). Das Becken fällt von 1,60 m auf ^{8 m} 4,50 m ab. Der Landteil ist ca. 30 Meter lang und 8 Meter breit.

30 m



Abb. 3.7: Afrikanischer Seebär Außenbecken.

Hinter der Außenanlage der Seebären befinden sich sechs Absperrgehege (Abb. 3.8), die von den Zoobesuchern nicht einzusehen sind und eine Gesamtgröße von ca. 80 m^2 besitzen. In drei von sechs Gehegen befindet sich ein Wasserbecken. Sollte ein Tier erkranken, kann es dort gut abgesondert und behandelt werden.

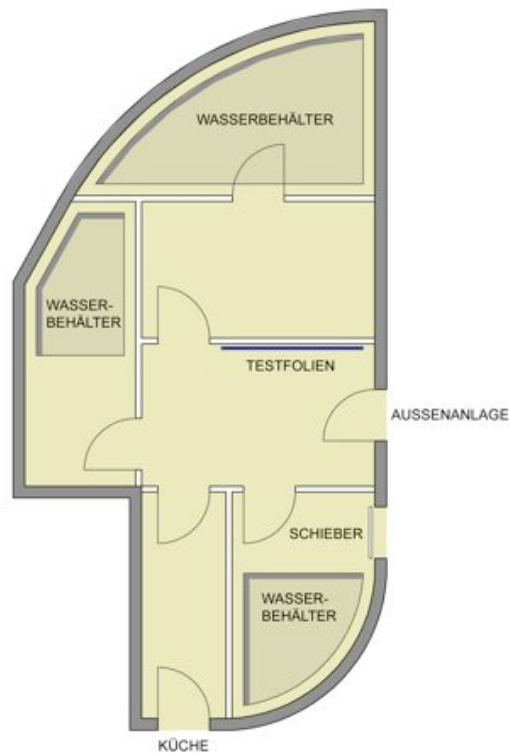


Abb. 3.8: Absperrgehege der Südafrikanischen Seebären.

Vor der Fütterung der Seebären werden die erwachsenen Tiere in die Absperrgehege geholt. Dort bekommen sie ihren größten Anteil an Fisch. So hat man eine klare Futterkontrolle und die Jungtiere auf der Anlage können ohne Stress gefüttert werden. Der Bulle wird von den Weibchen getrennt in ein separates Gehege gesperrt. Für eine Fütterung muss gewährleistet sein, dass sich der Bulle absperren lässt, denn so lange er mit auf der Anlage ist wäre es unmöglich die anderen Tiere zu füttern. Er ist das dominanteste Tier und würde den Anderen immer den Fisch streitig machen.

Im Frankfurter Zoo werden die Robben mit Makrelen und Heringen gefüttert. Der Fisch wird im gefrorenen Zustand geliefert und verliert im Einfrierungsprozess wichtige Mineralstoffe und Vitamine. Deshalb werden die Fische jeden Tag mit drei Vitamintabletten *Mazuri ZooFools – Fish Eaters Tablet* pro Tier versehen. Zusätzlich wird Meersalz über die Fische gestreut, da die Robben in Frankfurt in Süßwasser gehalten werden.

3.3. Versuchsaufbau

3.3.1. Seehund

Alle Tests wurden vor der Schaufütterung auf der Seehundanlage durchgeführt (Abb. 3.6). Für die Seehunde wurde eine Apparatur aus PVC entwickelt (Abb. 3.9 a, b). Sie bestand aus einem vertikalen Brett der Länge 87,8 cm und einer Höhe von 36 cm. Damit die Vorrichtung auf der Anlage stabil stehen konnte, wurde ein 25,5 cm breiter Standfuß befestigt. Auf der Vorderseite sind aus PVC-Leisten in U-Form drei Halterungen zum Einschleiben der Folien angebracht. Diese PVC-Leisten haben eine Breite von 2,2 cm. Die Fläche für die Folien besitzt eine Breite von 24,2 cm und eine Höhe von 22 cm. Der Abstand zwischen den Halterungen misst 4,5 cm und die äußersten Rahmen sind zu den Seitenenden 3 cm, zum oberen Rand 12 cm und nach unten hin 2,2 cm entfernt.



Abb. 3.9 a: Apparatur zum Einschleiben der drei Testfolien – Frontansicht.



Abb. 3.9 b: Apparatur zum Einschleiben der drei Testfolien – von Oben.

3.3.2. Südafrikanischer Seebär

Mit dem Seebärbullen Otti wurden alle Versuche hinter den Kulissen durchgeführt. Die Durchführung der Tests fand immer zu den Fütterungszeiten statt. Zu dieser Zeit wurde *Otti* abgesperrt und für die Versuche in das mittlere Gehege geholt (Abb. 3.8, 3.10). Dort wurden die Testfolien durch *DINA 4* Klemmbretter mit Hilfe von S-förmigen Haken an das Gitter gehängt (Abb. 3.10).



Abb. 3.10: Folienvorrichtung für den Seebärbullen Otti.

Das Seebärweibchen Nabi wurde auf der Außenanlage getestet, und die selbe PVC Apparatur wie bei den Seehunden (Abb. 3.9 a, b) verwendet. Um es dem Tier auf eine erreichbare Höhe zu präsentieren wurde ein Tritt untergestellt (Abb. 3.11), auf dem die Apparatur stabil stehen konnte.



Abb. 3.11: Apparaturvorrichtung für das Seebärweibchen *Nabi*.

3.4. Herstellung der Versuchsfolien

3.4.1. Anfertigung der Testfolien zum Kontrastsehen

Für die Herstellung der Folien wurde das Programm *Coral Draw, Version 11* verwendet. Dieses Programm charakterisiert die Farbe in „*Farbton*“, „*Sättigung*“ und „*Helligkeit*“.

Den Tieren wurden immer drei Folien gleichzeitig gezeigt. Eine Folie für den Dressurreiz (positiver Reiz) (Abb. 3.12 A) und zwei Folien für den negativen Reiz (nicht belohnter Reiz) (Abb. 3.12 B). Die Folie für den Dressurreiz zeigte in der Mitte des grauen Hintergrundes ein Dreieck. Dieses Dreieck war zu Beginn schwarz und wurde zunehmend heller gezeigt bis es mit dem Hintergrund verschmolz.

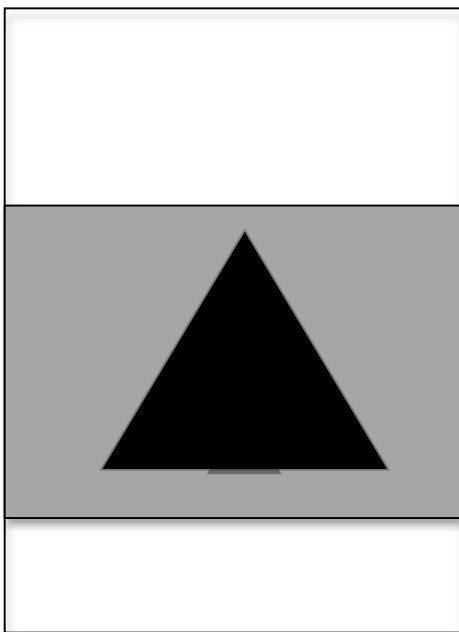
Es wurden die selben Folien, die für das Kontrastsehen in der Diplomarbeit genommen wurden, verwendet. Hinzu kamen jedoch zwei weitere neue Folien. Der Grund dafür war, dass das Seehundweibchen *Angie* so überzeugend in allen Testergebnissen war, dass die Folien für sie noch spezifischer gemacht werden mussten.

Für das Seebärweibchen *Nabi* und das Seehundweibchen *Angie* wurden 15 Dreiecke mit den Grautönen *Farbton 0*, *Sättigung 0* und *Helligkeit 10, 25, 38, 48, 49, 51, 57, 59, 61, 63, 65, 73, 80, 87* und *90* verwendet (Tabelle 3.1). Wie in Tabelle 3.1 gezeigt wird, gibt es Folien derselben Graustufe mit der Bezeichnung a und b. Folie a ist hierbei die ursprüngliche Folie, musste jedoch aufgrund Wetterbedingungen erneuert werden und durch Folie b ersetzt werden. Obwohl Folie b den gleichen Helligkeitswert in *Coral*

Draw besitzt, misst das Spektralphotometer *Spectro 320* jedoch nicht den gleich Wert. Ursache hier kann sein, dass die Folien mit dem Drucker *Epson Stylus Photo Ex* ausgedruckt wurde, der nicht zu 100 % jedes Blatt gleich bedruckt.

Der homogene Hintergrund, welcher sich auf den drei Folien befindet, besitzt einen *Farbton 0*, eine *Sättigung 0*, und die konstante *Helligkeit 60*. Die Folien wurden in das Programm *Adobe Photoshop CS2* importiert. Damit es nicht zu einen deutlich sichtbaren Rand des Dreiecks kommt, wurde mit Hilfe der Gauß-Weichzeichnung, mit der Einstellung 20 Pixel, ein weicher Rand erschaffen. Somit verschwamm der Rand des Dreiecks mit dem Hintergrund. Es wurde der Drucker *Epson Stylus Photo EX* verwendet und auf ein *DINA 4* Blatt der Marke *Claire fontaine Digital Color Printing 100g/m²* gedruckt.

A) positiver Reiz (Dressurreiz)



B) negativer Reiz

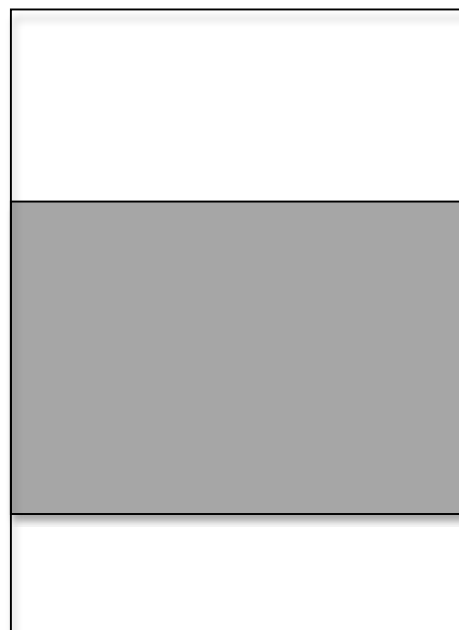


Abb. 3.12: Exemplarische Darstellung der Versuchsfolien zum Kontrastsehen.

A) Die Folie mit dem Dreieck stellt die Dressurfolie da. Das Dreieck variiert in seiner Helligkeit auf jeder einzelnen Folie. **B)** Die Vergleichsfolie besitzt einen homogenen Hintergrund und bildet den negativen Reiz. In der Versuchsausführung wurden den Testtieren zwei dieser Folien präsentiert.

Die Folien sind das Grundgerüst aller anderen Farbfolien, der einzige Unterschied ist, dass das Dreieck verschiedene Grün-, Gelb- oder Orangetöne besitzt.

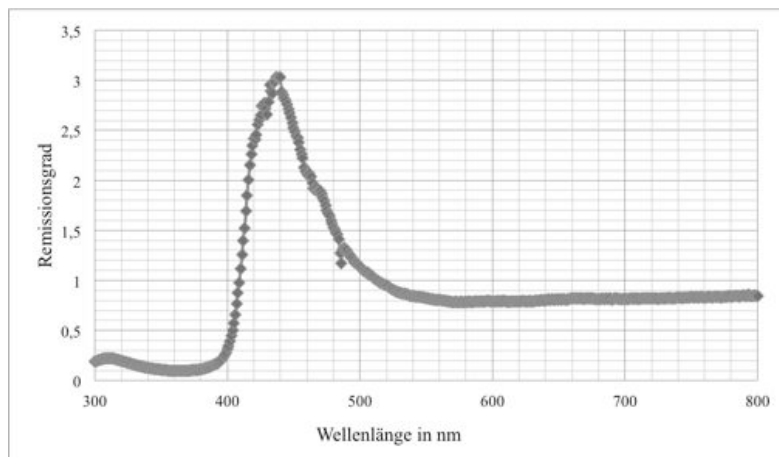
Zum Schutz vor Wetter und Nässe wurden die Folien in eine *A4 MattPouch* Laminierfolie von *GBC* laminiert.

Die Remission der grauen Flächen wurde mit Hilfe des Spektralphotometers *Spectro 320* im Bereich von 300 bis 800 nm in 1 nm-Schritten gemessen. Am

Spektralphotometer wurden auch die Luminanzwerte Y abgelesen. Luminanz ist die Helligkeitskomponente einer Farbe, die von der Farbe selbst unabhängig ist. Sie ist auf die Helligkeitsempfindlichkeit (V_λ) des Menschen bezogen. Da das Maximum von V_λ bei 550 nm liegt und das Empfindlichkeitsmaximum der Zapfen bei 552 nm, wurde zunächst die Luminanzwerte als Anhaltspunkt für das Helligkeitssehen der Tiere verwendet. Die Luminanzwerte sind in Tabelle 3.1 aufgelistet. Die Werte wurden gespeichert und in das Programm *Microsoft Office Excel 2007/2011* importiert und konvertiert.

Manche Folien besitzen einen Peak, der über dem Remissionsgrad von 1 liegt (Abb. 3.13 a, b, 3.14). Grund hierfür ist, dass das reine Papier, welches als Basis dient, stark fluoresziert. Durch das Drucken und Laminieren war die Fluoreszenz stark vermindert, aber immer noch vorhanden (Abb. 3.13).

a)



b)

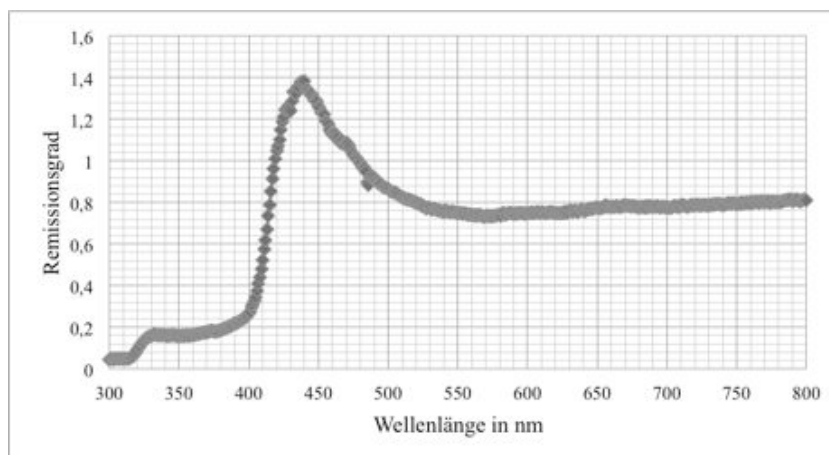


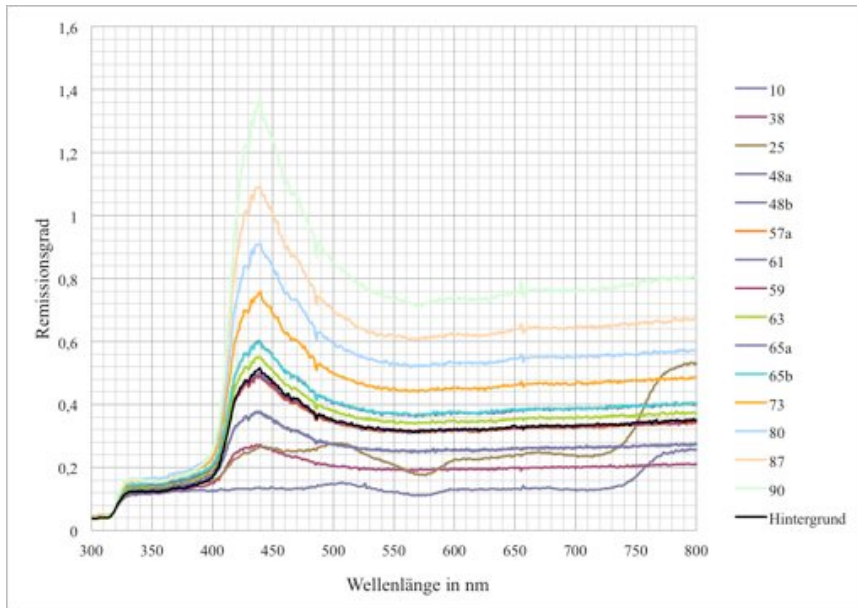
Abb. 3.13: Spektrale Remission des reinen weißen Blattes und laminierte weißen Blattes.

a) Darstellung der reinen weißen Folie. Die x-Achse stellt die Wellenlänge in nm dar. Durch eine hohe Fluoreszenz, die das weiße Blatt besitzt, liegt der Remissionsgrad der bei ca. 450 nm über 3.

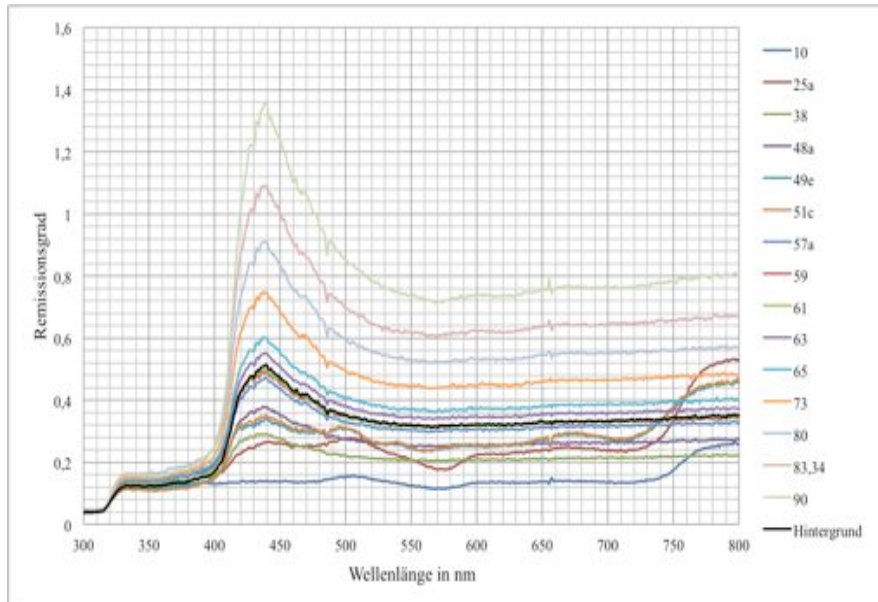
b) Darstellung der laminierten weißen Folie. Die x-Achse stellt die Wellenlänge in nm dar. Durch das Laminieren kommt es zu einer Verminderung der Fluoreszenz. Die y-Achse stellt den Remissionsgrad dar, der bei der laminierten Folie das Maximum mit dem Wert 1,4 bei 440 nm hat.

Die dazugehörigen Daten befinden sich in der in der dieser Arbeit beiliegenden CD („ergänzendes Material“).

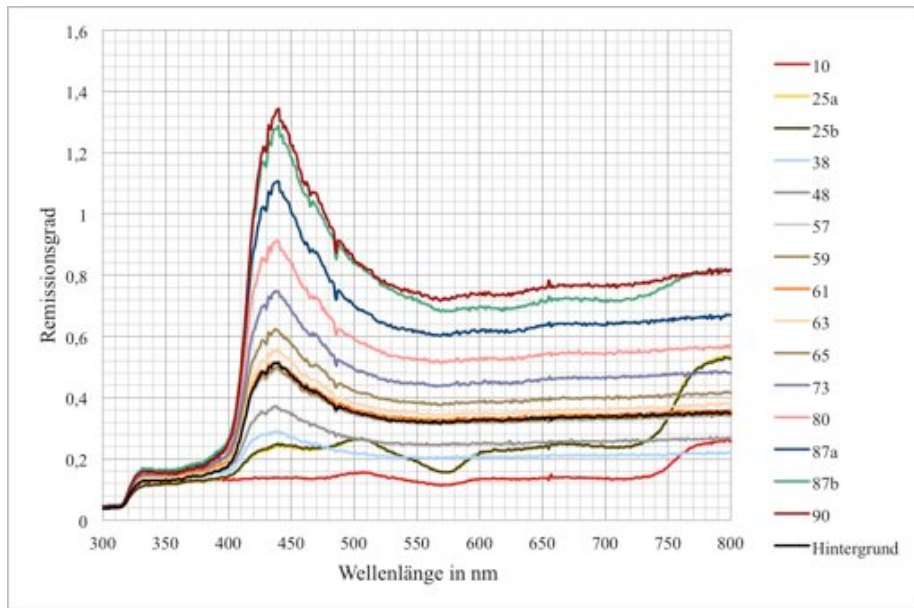
a) Seehund Fridolin



b) Seehund Angie



c) Seebär Otti



d) Seebär Nabi

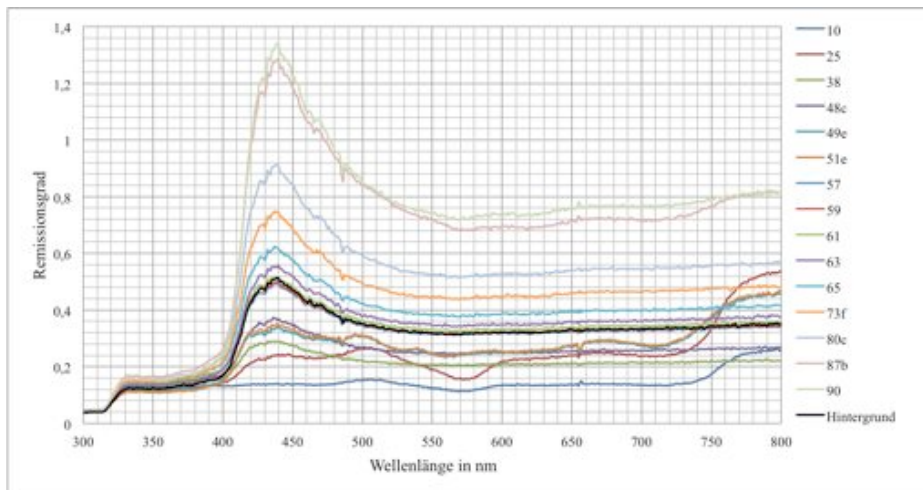


Abb. 3.14: Spektrale Remission von grauem Dreieck und grauem Hintergrund.

Parameter der Kurven: Helligkeitswert des Dreiecks. x-Achse: Wellenlänge [nm].

y-Achse: Remissionsgrad.

a) Folie verwendet bei Seehund Fridolin, b) bei Seehund Angie, c) bei Seebär Otti, d) bei Seebär Nabi.

Die dazugehörigen Daten befinden sich in der in der dieser Arbeit beiliegenden CD („ergänzendes Material“).

Tabelle 3.1: Auflistung der 16 erstellten Folien und die dazugehörigen Daten der Dreiecke für die einzelnen Tiere.

Spalte 1 zeigt die Bezeichnung der Folien. In Spalte 2 sind die Helligkeitswerte der Dreiecke Corel Draw aufgelistet. In Spalten 3-6 sind die Luminanz-Werte der einzelnen Folien aufgelistet. Der Luminanzwert des Hintergrundes betrug ca. 64,41.

Grau - stufe	Helligkeit in Corel Draw	Luminanz- Wert Seehund Fridolin	Luminanz- Wert Seehund Angie	Luminanz- Wert Seebär Otti	Luminanz- Wert Seebär Nabi
1	10	42,23	42,23	42,76	42,76
2a	25	53,63	53,63	52,32	52,32
2b	25	-	-	52,4	52,4
3	38	51,29	51,29	52,68	52,68
4a	48	57,8	-	57,21	57,21
4b	48	57,65	57,65	-	-
5	49	-	57,51	-	57,15
6	51	-	57,82	-	57,71
7a	57	62,26	-	63,43	63,43
7b	57	63,21	63,21	-	-
8	59	63,64	63,64	63,68	63,68
9	61	63,35	63,35	64,61	64,61
10	63	65,72	65,72	65,97	65,97
11a	65	67,68	-	68,7	68,7
11b	65	67,88	67,88	-	-
12	73	73,26	73,26	73,07	73,07
13	80	78,36	78,36	78,09	78,09
14	87	83,34	83,34	83,25	-
15	87	-	-	87,91	87,91
16	90	89,33	89,33	89,48	89,48

3.4.2. Herstellung der Testfolien zum Farbsehen: Blau

In der Testreihe Blau wurde überprüft, ob die Seehunde und die Seebären das blaue Dreieck vom grauen Hintergrund unterscheiden können und somit „Blau“ als Farbe sehen. Die Folien mit denen das Farbsehen getestet wurden, waren, außer bei der

Farbe Blau, wie die Folien des Kontrastsehens aufgebaut. Der Unterschied zwischen den Folien der Farbe Blau zu den anderen Farben bestand darin, dass das Dreieck in seinem Blau konstant blieb und der graue Hintergrund in seiner Helligkeit variiert wurde. Der Seebär Otti und der Seehund Fridolin wurden bereits im Rahmen der Diplomarbeit auf Kontrastsehen und auf das Farbsehen der Farbe Blau getestet (Oppermann, 2009).

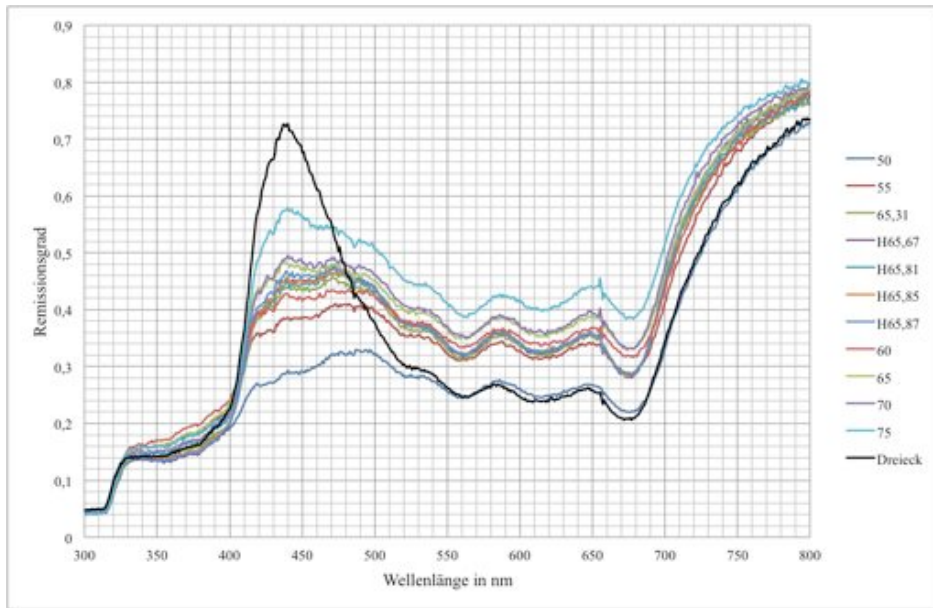
In dieser Testreihe blieb das Dreieck immer gleich, wohingegen der Hintergrund variierte. Das blaue Dreieck hatte den *Farbton 240*, die *Sättigung 100* und die *Helligkeit 60*. Der graue Hintergrund der drei Folien hatte den *Farbton 0*, die *Sättigung 0* und die *Helligkeit 50, 55, 60, 65, 70 und 75*. Zusätzlich zu den bereits existierenden Folien wurden noch fünf weitere Folien erstellt, die im Spektrometer den gemessenen Luminanz-Wert *65,71; 65,7; 65,59; 65,75 und 65,87* besaßen.

Für diese Testreihe wurden 12 Folien entwickelt (Tabelle 3.2), die ebenfalls in dem Programm *Coral Draw 11* hergestellt wurden.

Bearbeitet wurden die Folien mit dem Programm *Adobe Photoshop CS2*, die *Gauß-Weichzeichnung* mit 10 Pixel wurde angewendet und mit dem Drucker *Epson Stylus Photo EX* auf ein *DINA 4* Papier von *Claire fontaine Digital Color Printing 100 g/m²* gedruckt. Das Dreieck befand sich auch hier in der Mitte des Blattes (Abb. 3.12).

Alle in dieser Arbeit verwendeten Folien wurden mit der Laminierfolie *A4 MattPouch* von *GBC* laminiert, mit dem Spektralphotometer gemessen und in *Microsoft Office Excel 2007* importiert und konvertiert (Abb. 3.15). Die Leuchtdichte-Werte sind in Tabelle 2 gezeigt.

a) Seehunde



c) Seebären

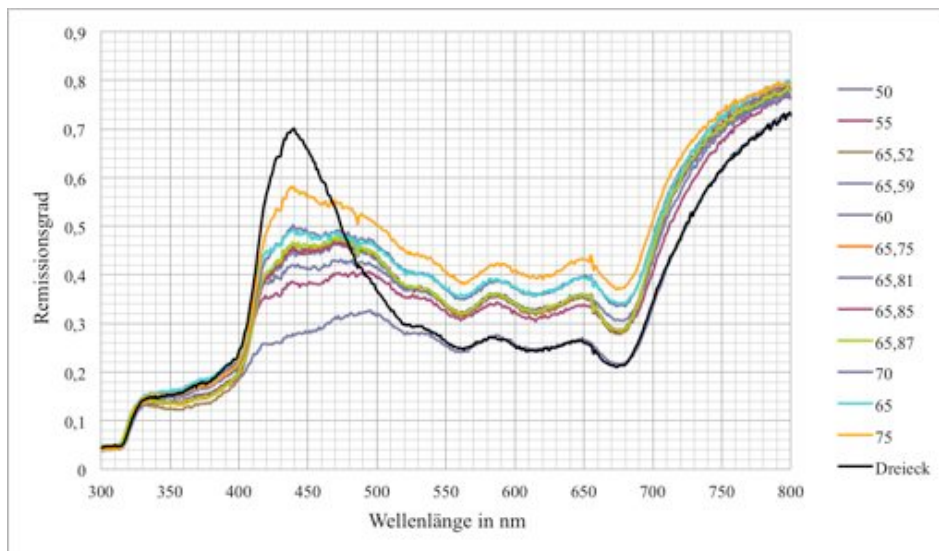


Abb. 3.15: Spektrale Remission von blauen Dreieck und grauem Hintergrund

Parameter der Kurven: Helligkeitswert des Dreiecks. x-Achse: Wellenlänge [nm].

y-Achse: Remissionsgrad.

a) bei Seehund Fridolin und Angie, b) bei Seebär Otti und Nabi.

Die dazugehörigen Daten befinden sich in der in der dieser Arbeit beiliegenden CD („ergänzendes Material“).

Tabelle 3.2: Auflistung der 12 erstellten Folien und die dazugehörigen Daten des Hintergrundes für die einzelnen Tiere.

Spalte 1 zeigt die Bezeichnung der Folien. In Spalte 2 sind die Helligkeitswerte der Dreiecke *Corel Draw* aufgelistet. In Spalten 3-6 sind die Luminanz-Werte der einzelnen Folien aufgelistet. Der Luminanzwert des Dreiecks betrug ca. 59,2.

Graustufe	Helligkeit in Corel Draw	Luminanz-Wert Seehund Fridolin	Luminanz-Wert Seehund Angie	Luminanz-Wert Seebär Otti	Luminanz-Wert Seebär Nabi
1	50	58,58	58,58	58,39	58,39
2	55	64,51	64,51	64,36	64,36
3	60	66,4	66,4	65,68	65,68
4	65	67,8	67,8	68,27	68,27
5	70	68,17	68,17	68,15	68,15
6	75	71,06	71,06	70,73	70,73
7		65,31	65,31	65,52	65,52
8		65,7	65,7	65,59	65,59
9		65,81	65,81	65,75	65,75
10		65,85	65,85	65,81	65,81
11		65,87	65,87	65,85	65,85
12				68,27	68,27

3.4.3. Herstellung der Testfolien zum Farbsehen: Grün

Diese Versuchsreihe sollte zeigen, ob Robben „Grün“ als Farbe wahrnehmen.

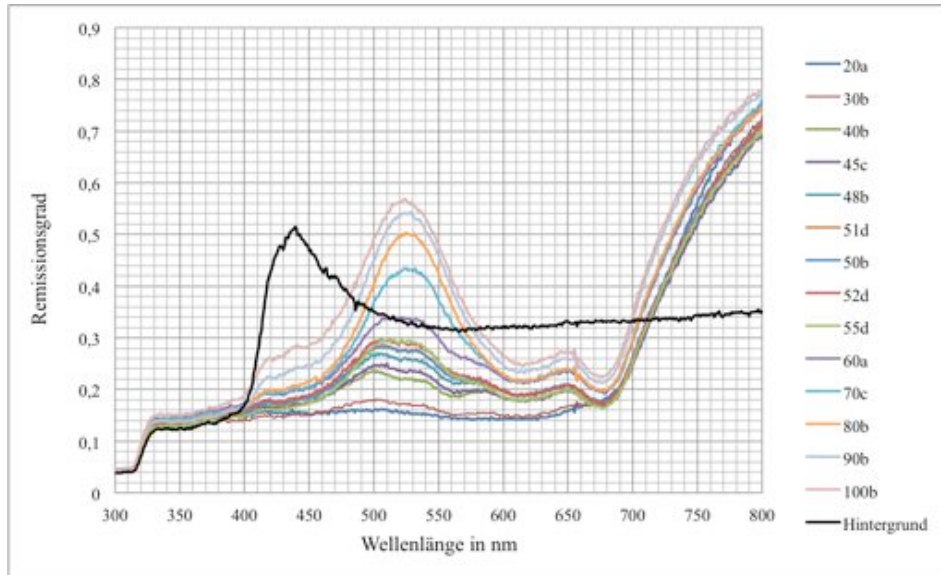
Hierfür wurden 14 Folien hergestellt. Die Folien bestanden aus einem Dressurreiz, bei dem sich das Dreieck in seiner Helligkeit unterschied. Das Dreieck besaß den *Farbton 120*, die *Sättigung 100* und die *Helligkeit 20, 30, 40, 45, 48, 50, 51, 52, 55, 60, 70, 80, 90* und *100* (Tabelle 3.3).

Das Dreieck war auf einem grauen Hintergrund abgebildet, der auf jeder Folie konstant blieb. Daneben wurden den Testtieren zwei weitere Folien gezeigt, die den selben homogenen Hintergrund besaßen wie die Folie des Dressurreizes. Auch diese wurde in *Adobe Photoshop CS2* bearbeitet und die Ränder des Dreiecks mit Hilfe von der *Gauß Weichzeichnung* mit 10 Pixel weicher gemacht.

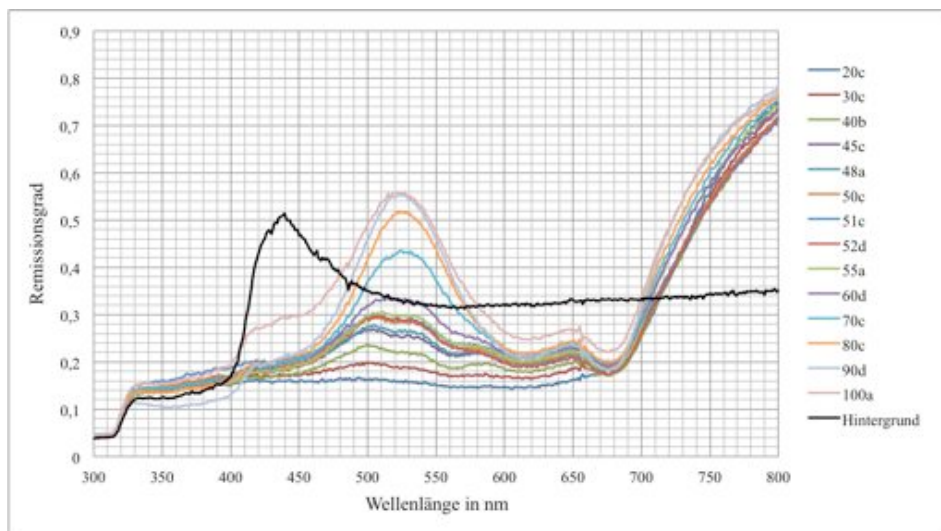
Die Folien wurden mit dem Drucker *Epson Stylus Photo EX* auf ein *DINA 4* Papier von *Claire fontaine Digital Color Printing 100 g/m²* gedruckt. Anschließend wurden die

Folien mit der Laminierfolie Größe *A4 Matt Pouch* von *GBC* laminiert und mit dem Spektralphotometer gemessen. Diese Werte wurden dann in *Microsoft Office Excel 2011* importiert und konvertiert (Abb. 3.16). Die Leuchtdichte-Werte sind in Tabelle 3.3 dargestellt.

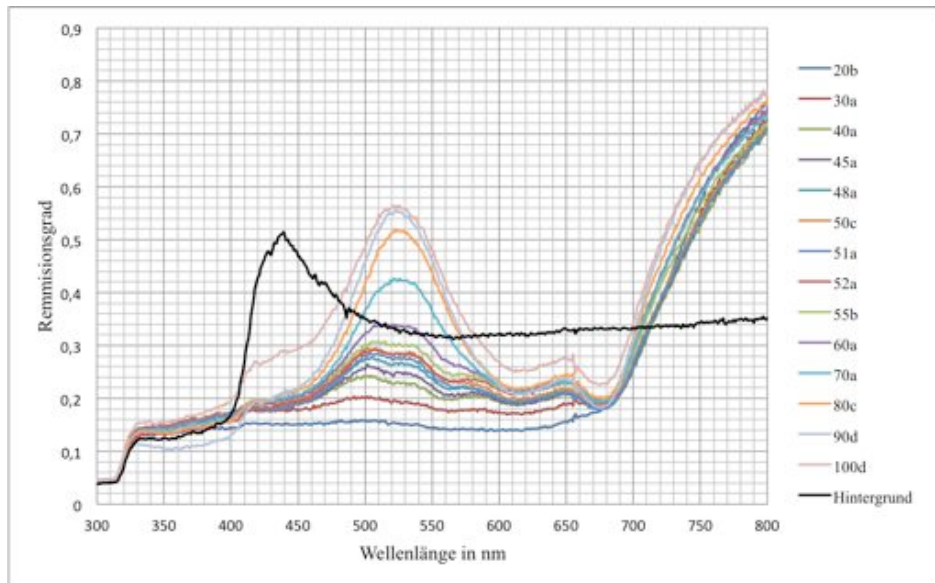
a) Seehund Fridolin



b) Seehund Angie



c) Seebär Otti



d) Seebär Nabi

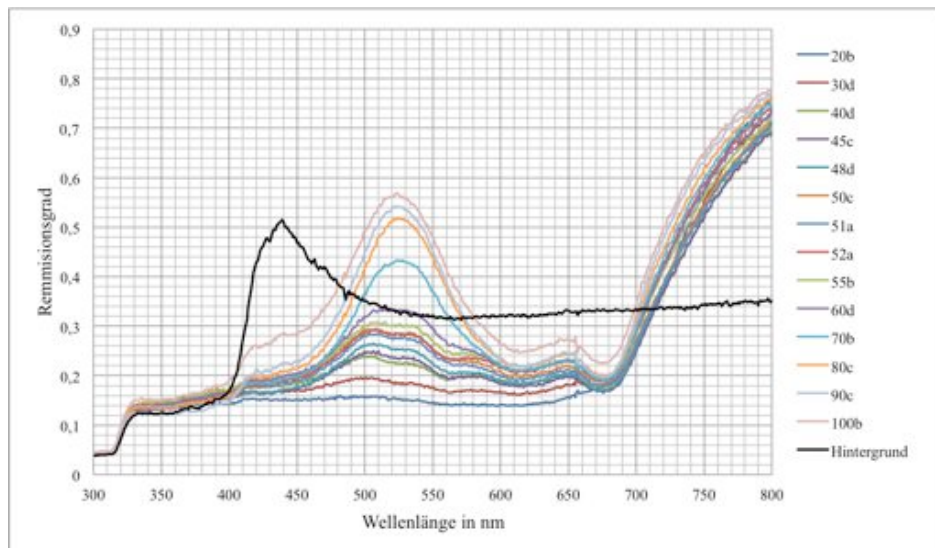


Abb. 3.16: Spektrale Remission vom grünen Dreieck und grauem Hintergrund.

Parameter der Kurven: Helligkeitswert des Dreiecks. x-Achse: Wellenlänge [nm].

y-Achse: Remissionsgrad.

a) Folie verwendet bei Seehund Fridolin, b) bei Seehund Angie, c) bei Seebär Otti, d) bei Seebär Nabi.

Die dazugehörigen Daten befinden sich in der in der dieser Arbeit beiliegenden CD („ergänzendes Material“).

Tabelle 3.3: Auflistung der 14 erstellten Folien und die dazugehörigen Daten der Dreiecke für die einzelnen Tiere.

Spalte 1 zeigt die Bezeichnung der Folien. In Spalte 2 sind die Helligkeitswerte der Dreiecke Corel Draw aufgelistet. In Spalten 3-6 sind die Luminanz-Werte der einzelnen Folien aufgelistet. Der Luminanzwert des Hintergrundes betrug ca. 58,5.

Graustufe	Helligkeit in Corel Draw	Luminanz-Wert Seehund Fridolin	Luminanz-Wert Seehund Angie	Luminanz-Wert Seebär Otti	Luminanz-Wert Seebär Nabi
1	20	45,43	45,88	45,02	
2	30	46,76	49,02	49,69	48,71
3	40	51,56	51,50	52,60	54,18
4	45	54,18	54,18	53,50	54,18
5	48	53,97	54,62	54,62	53,34
6	50	54,72	55,76	55,76	55,76
7	51	54,55	54,55	54,95	54,95
8	52	55,37	55,37	56,24	56,24
9	55	58,74	56,56	57,20	57,20
10	60	62,19	58,37	58,74	58,37
11	70	62,22	62,19	61,66	61,79
12	80	64,42	64,91	64,91	64,91
13	90	66,49	65,75	65,75	65,84
14	100	68,01	67,83	68,14	68,01

3.4.4. Herstellung der Testfolien zum Farbsehen: Gelb

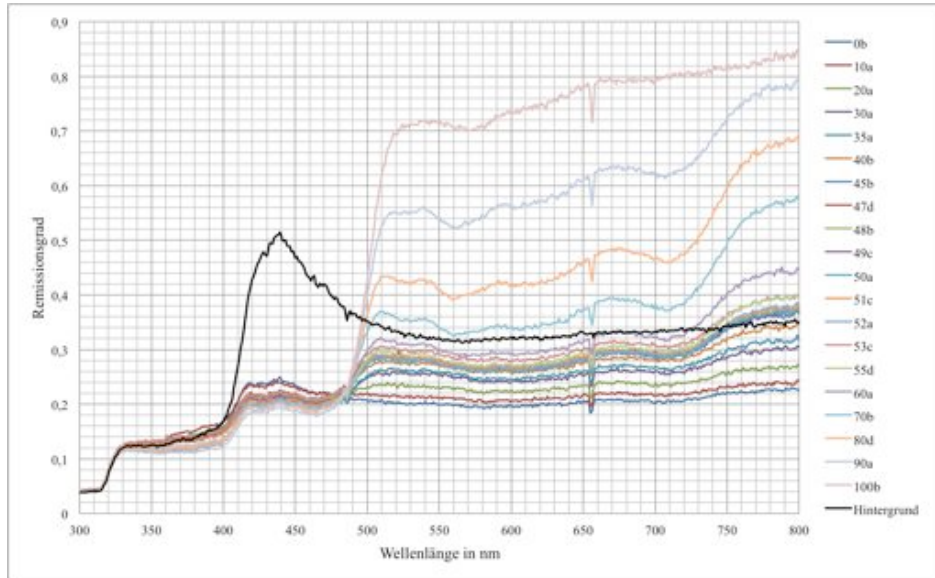
Hier werden den Robben Folien mit einem gelben Dreieck präsentiert, um zu zeigen, ob Robben „Gelb“ als Farbe wahrnehmen. Die Folien wurden nach dem gleichen Schema aufgebaut wie die vorherigen Farbfolien.

Es wurden 20 Folien für die Versuchsreihe erstellt. Das Dreieck besaß den *Farbton 60*, die *Sättigung 100* und die *Helligkeit 00, 10, 20, 30, 35, 40, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 55, 60, 70, 80, 90* und *100* (Tabelle 3.4).

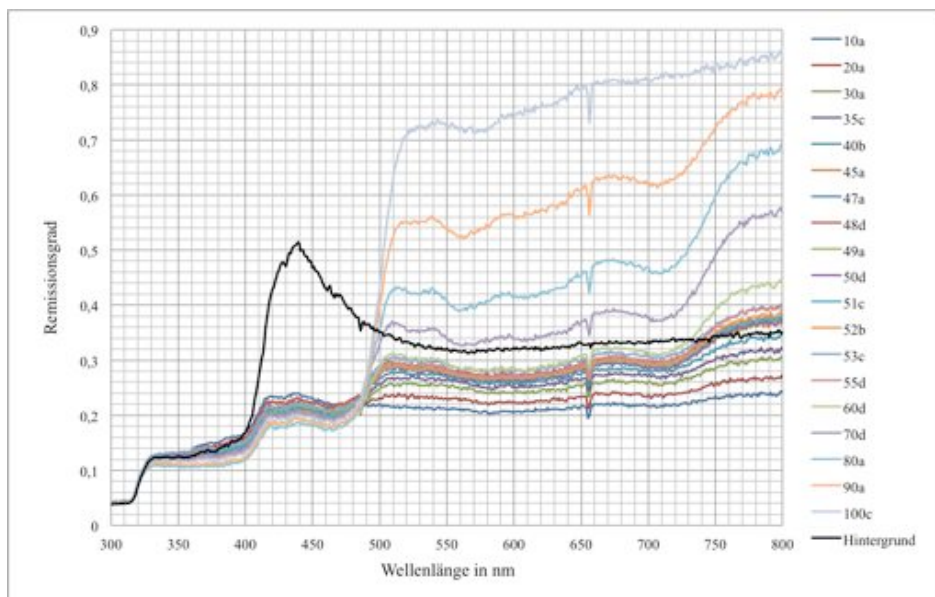
Alle Folien wurden auf ein *DIN4* Blatt von *Claire fontaine Digital Color Printing 100 g/m²* mit dem Drucker *Epson Stylus Photo EX* gedruckt und mit der Laminierfolie *Matt Pouch* von *GB* laminiert. Die Messdaten vom Spektralphotometer wurden in *Microsoft*

Office Excel 2011 importiert und konvertiert (Abb. 3.17). In Tabelle 3.4 wurden die Leuchtdichte Werte zusammengefasst.

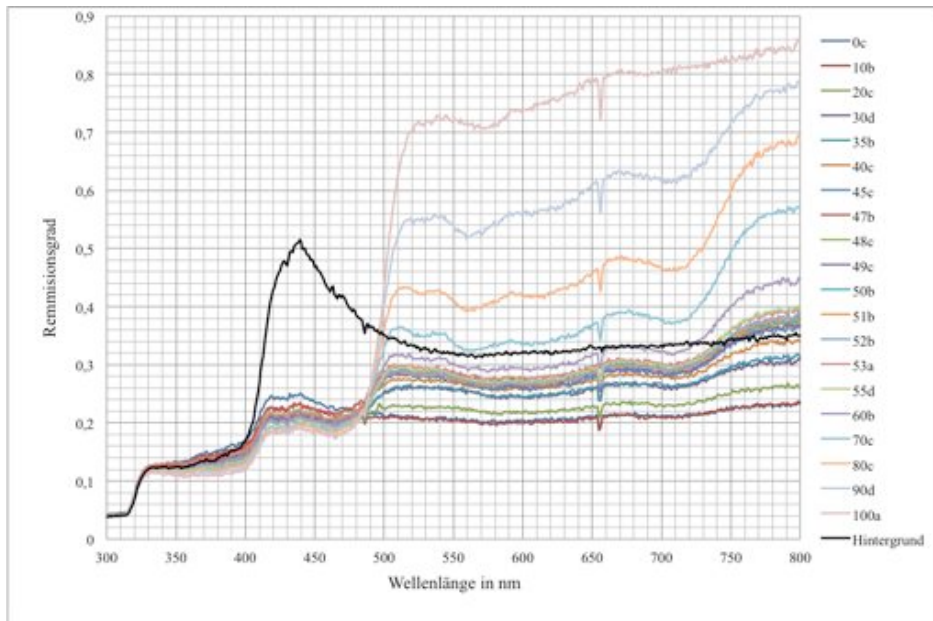
a) Seehund Fridolin



b) Seehund Angie



c) Seebär Otti



d) Seebär Nabi

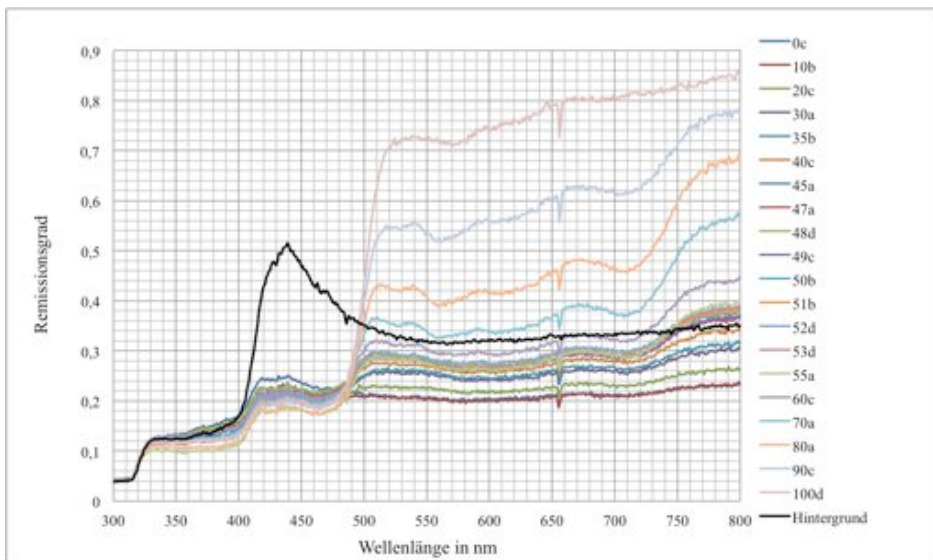


Abb. 3.17: Spektrale Remission vom gelben Dreieck und grauem Hintergrund.

Parameter der Kurven: Helligkeitswert des Dreiecks. x-Achse: Wellenlänge [nm].

y-Achse: Remissionsgrad.

a) Folie verwendet bei Seehund Fridolin, b) bei Seehund Angie, c) bei Seebär Otti, d) bei Seebär Nabi.

Die dazugehörigen Daten befinden sich in der in der dieser Arbeit beiliegenden CD („ergänzendes Material“).

Tabelle 3.4: Auflistung der 20 erstellten Folien und die dazugehörigen Daten der Dreiecke für die einzelnen Tiere.

Spalte 1 zeigt die Bezeichnung der Folien. In Spalte 2 sind die Helligkeitswerte der Dreiecke Corel Draw aufgelistet. In Spalten 3-6 sind die Luminanz-Werte der einzelnen Folien aufgelistet. Der Luminanzwert des Hintergrundes betrug ca. 59,28.

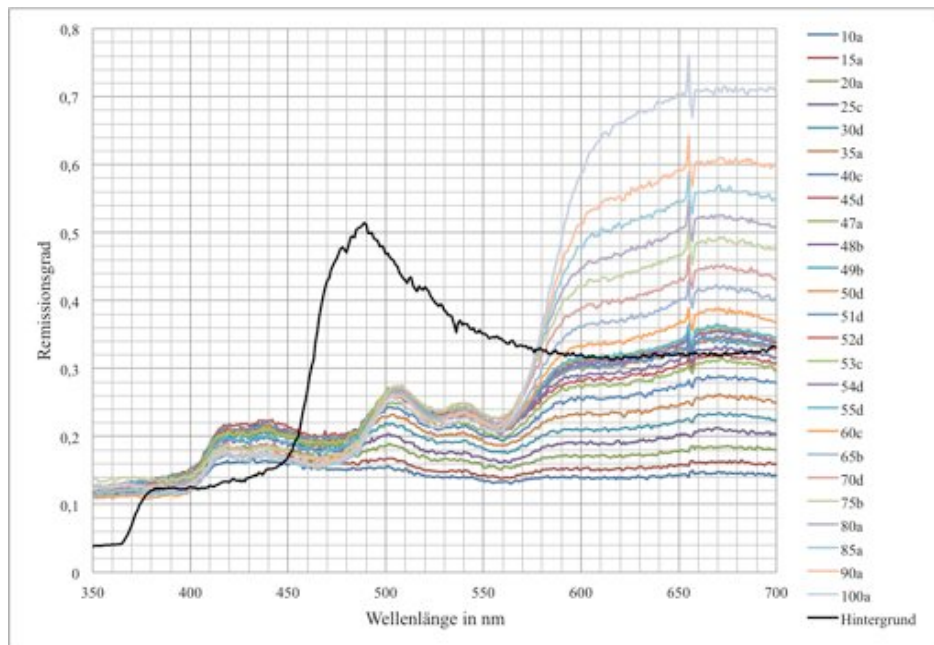
Graustufe	Helligkeit in Corel Draw	Luminanz-Wert Seehund Fridolin	Luminanz-Wert Seehund Angie	Luminanz-Wert Seebär Otti	Luminanz-Wert Seebär Nabi
1	0	49,22	49,22	52,48	52,48
2	10	52,97	52,97	52,16	52,16
3	20	54,81	54,81	54,22	54,22
4	30	56,8	56,8	57,14	56,80
5	35	57,32	57,8	56,62	56,62
6	40	58,5	58,5	58,36	58,36
7	45	59,19	58,86	58,72	59,34
8	47	59,34	59,34	59,83	59,35
9	48	59,29	59,29	59,24	59,86
10	49	58,97	59,29	58,97	58,97
11	50	58,8	58,92	59,22	59,22
12	51	59,25	59,25	59,14	59,14
13	52	58,97	59,31	60,02	60,02
14	53	59,31	59,31	60,15	59,07
15	55	59,69	59,69	59,69	58,89
16	60	61,38	60,71	61,46	61,6
17	70	65,03	64,99	64,8	64,8
18	80	70,33	70,33	70,3	70,14
19	90	78,58	78,58	78,58	78,34
20	100	87,12	87,7	87,39	87,6

3.4.5. Herstellung der Testfolien zum Farbsehen: Orange

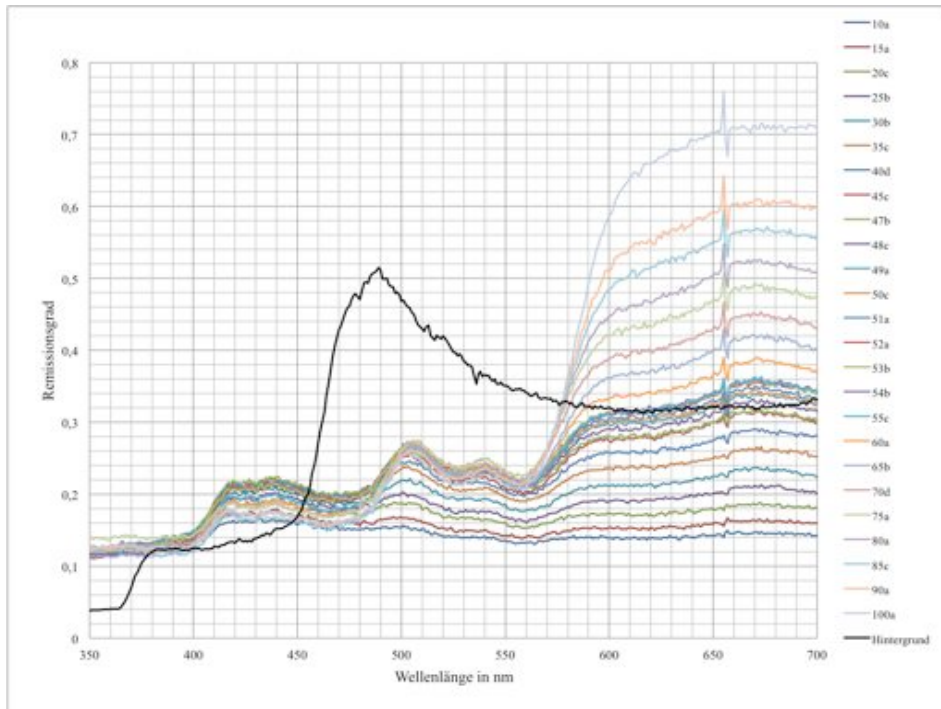
Diese Versuchsreihe sollte zeigen, ob Robben „Orange“ als Farbe wahrnehmen. Insgesamt wurden 25 Folien hergestellt. Das Dreieck besaß den *Farbton 0*, *Sättigung 100* und *Helligkeit 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90* und *100* (Tabelle 3.5).

Auch diese Folien wurden mit dem Drucker *Epson Stylus Photo EX* auf eine *DIN4* Blatt von *Claire fontaine Digital Color Printing 100 g/m²* gedruckt und anschließend in eine *DIN4* Folie *Matt Pouch* von *GB* laminiert. Dann wurden sie mit dem Spektralphotometer gemessen und in *Microsoft Office Excel 2011* importiert und konvertiert (Abb. 3.18). Die Leuchtdichte Werte sind in Tabelle 3.5 einsehbar.

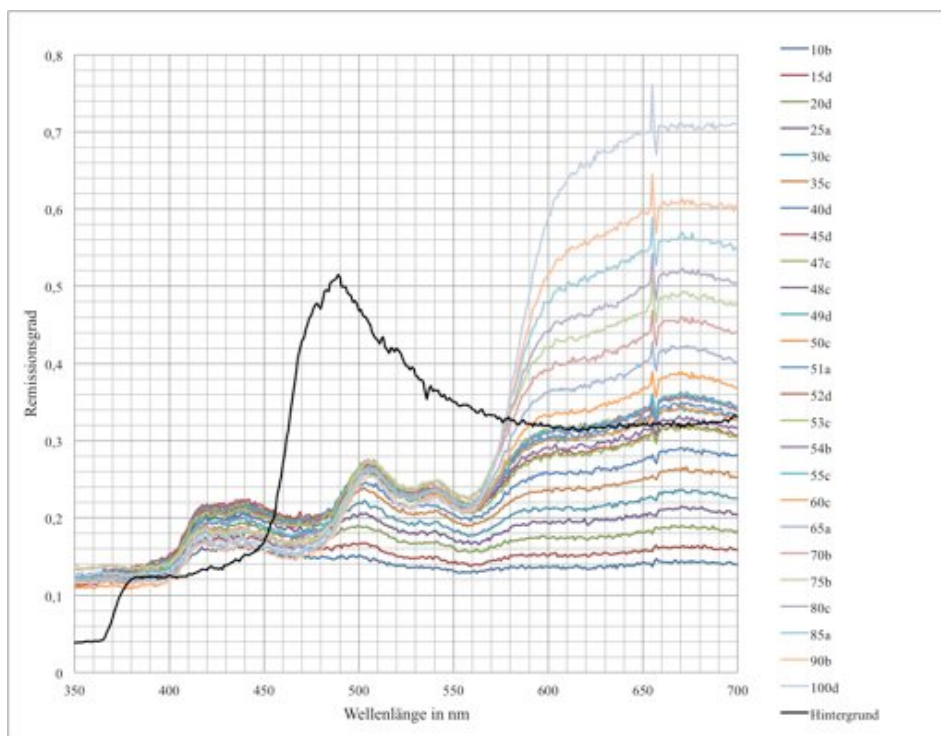
a) Seehund Fridolin



b) Seehund Angie



c) Seebär Otti



d) Seebär Nabi

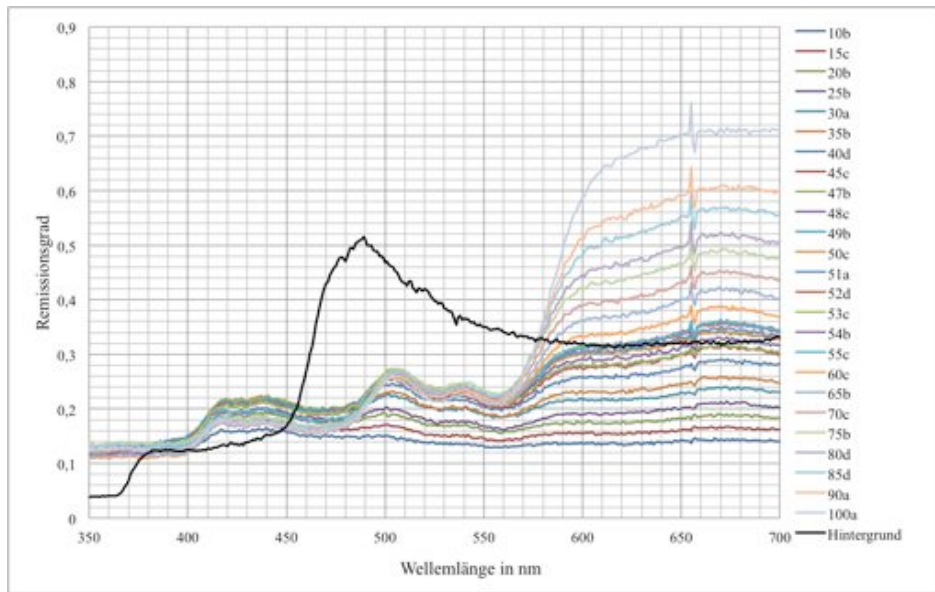


Abb. 3.18: Spektrale Remission vom orangen Dreieck und grauem Hintergrund.

Parameter der Kurven: Helligkeitswert des Dreiecks. x-Achse: Wellenlänge [nm].

y-Achse: Remissionsgrad.

a) Folie verwendet bei Seehund Fridolin, b) bei Seehund Angie, c) bei Seebär Otti, d) bei Seebär Nabi

Die dazugehörigen Daten befinden sich in der in der dieser Arbeit beiliegenden CD („ergänzendes Material“).

Tabelle 3.5: Auflistung der 25 erstellten Folien und die dazugehörigen Daten der Dreiecke für die einzelnen Tiere.

Spalte 1 zeigt die Bezeichnung der Folien. In Spalte 2 sind die Helligkeitswerte der Dreiecke *Corel Draw* aufgelistet. In Spalten 3-6 sind die Luminanz-Werte der einzelnen Folien aufgelistet. Der Luminanzwert des Hintergrundes betrug ca. 63,28.

Graustufe	Helligkeit in Corel Draw	Luminanz-Wert Seehund Fridolin	Luminanz-Wert Seehund Angie	Luminanz-Wert Seebär Otti	Luminanz-Wert Seebär Nabi
1	10	44,12	44,12	43,62	43,57
2	15	45,64	45,57	45,95	45,57
3	20	47,84	47,84	47,98	47,98
4	25	49,63	49,63	50,18	49,71
5	30	52,42	51,80	51,66	51,8
6	35	53,47	???	53,31	51,80
7	40	55,07	55,64	55,07	55,07
8	45	57,19	56,45	57,19	57,19
9	47	57,19	57,19	56,80	56,80
10	48	56,21	56,21	57,46	57,19

Graustufe	Helligkeit in Corel Draw	Luminanz-Wert Seehund Fridolin	Luminanz-Wert Seehund Angie	Luminanz-Wert Seebär Otti	Luminanz-Wert Seebär Nabi
11	49	57,46	57,46	58,31	58,07
12	50	58,36	58,36	58,36	58,2
13	51	58,35	58,35	58,42	58,42
14	52	58,92	58,92	58,6	58,6
15	53	58,98	58,98	58,98	58,98
16	54	58,07	59,73	58,07	59,73
17	55	58,67	58,67	58,46	58,67
18	60	59,55	59,55	59,3	59,3
19	65	60,45	60,45	60,64	60,64
20	70	63,21	63,21	62,32	62,32
21	75	63,37	63,37	63,32	63,32
22	80	64	64	63,68	63,68
23	85	64,94	64,94	64,94	65,36
24	90	66,02	66,02	65,77	65,77
25	100	68,18	68,18	68,13	68,13

3.5. Versuchsablauf

3.5.1. Allgemeines Training

Im Frankfurter Zoo findet täglich zur Fütterung ein Robbentraining statt. Die Robben werden im frühen Alter an das sogenannte *Target*, einen Stock mit einem Tennisball dressiert (Abb. 3.11).

Die jungen Seehunde werden in freier Wildbahn sechs bis acht Wochen von der Mutter gesäugt. Nach dieser Zeit schwimmen die Mütter weg und das Jungtier ist auf sich alleine gestellt. Im Frankfurter Zoo werden die Jungtiere nach dieser Zeit von der Mutter getrennt und hinter die Kulissen in ein Absperrbecken gesetzt, da es unmöglich ist, diese Tiere an den Fisch zu gewöhnen und es unmöglich ist ihnen auf der Anlage die Grundtrainingsschritte beizubringen. Zusätzlich werden sie an den Menschen gewöhnt. Im Absperrgehege besteht die Möglichkeit sich intensiv mit dem Tier zu beschäftigen.

Das *Target* ist im Grunde genommen der verlängerte Arm. Dem Tier wird beigebracht mit der Nase den Tennisball zu berühren und solange an dem Tennisball zu bleiben, bis ein Pfiff ertönt. Der Pfiff wird durch eine normale Hundepfeife produziert und ist für das Tier die Bestätigung, dass es seine Aufgabe richtig gemacht hat und es dafür seine Belohnung in Form von Fisch bekommt. Am Anfang des Trainings gehen die Tiere nur ganz kurz an den Ball, im Laufe der Zeit lernen sie, so lange am Ball zu bleiben bis der besagte Pfiff ertönt. Sobald das Tier zu 100 % an das *Target* dressiert ist, sich von den Pflegern anfassen lässt und verstanden hat, dass die Hand nichts „Böses“ will, wird es wieder zu seinen Artgenossen gelassen und bekommt auf der Anlage seinen eigenen Futterplatz zugewiesen. Mit Hilfe des *Targets* ist es möglich jedes Tier zu stationieren. Bei einem jungen Seebär läuft die Gewöhnung an das *Target* identisch, wie bei einem Seehund, ab. Der einzige große Unterschied ist, dass ein Seebärjunges erst nach einem Jahr von seiner Mutter getrennt wird.

3.5.2. Andressur der Seehunde an die Dressurfolie

Der Seehundrüde Fridolin musste nicht mehr an die Folien andressiert werden, da er schon durch die Diplomarbeit (Oppermann, 2009) genau wusste was er zu tun hatte.

Das Seehundweibchen Angie hatte noch an keiner Dressurtestreihe teilgenommen, weshalb sie als erstes auf ein Dreieck konditioniert werden musste. An die Apparatur musste sie jedoch nicht gewöhnt werden, da sie diese durch die Versuche mit Fridolin schon kannte und somit keine Scheu davor hatte.

Der Versuchsplatz (Abb. 3.2) war gleichzeitig ihr Futterplatz. Im Rahmen der Dressur musste Angie als Erstes das Dreieck erlernen. Das bedeutete, dass ihr bei jeder Fütterung die Folie mit dem dunkelsten Dreieck gezeigt wurde. Die Folie wurde vor sie gehalten und wenn sie freiwillig mit der Nase das Blatt stupste, ertönte im selben Moment der Pfiff und die Übung war beendet. Der Pfiff bedeutet für das Tier, dass es seine Übung gut ausgeführt hat und als Belohnung ein Stück Fisch bekommt. Sehr schnell hatte sie gemerkt, dass sie eine Belohnung bekommt, wenn sie an das Dreieck „andockt“. Schon nach kürzester Zeit konnte man die Folien in die Apparatur stecken.

Wenn man das Gefühl hatte, dass sie sich sehr sicher war und das Prinzip verstanden hatte, konnte man die zweite Folie hinzunehmen. Dockte sie an das Dreieck zu 100 % richtig an, wurde die dritte Folie hinzugefügt und alle drei Folien wurden beliebig umgesteckt. Ich befand mich hinter der Apparatur und konnte ohne großen Aufwand die

Folien nach Belieben umstecken. Für die Andressur musste eine 100 % richtige Wahlentscheidung vorhanden sein, damit mit den Testreihen begonnen werden konnte.

3.5.3. Dressur und Tests der Seehunde

Eine der drei Folien stellte den positiven Reiz dar und zeigte das Dreieck, die anderen Folien besaßen kein Dreieck sondern bestanden lediglich aus dem Hintergrund und stellten den negativen Reiz dar. Wie schon in der Diplomarbeit, musste Fridolin mit dem Befehl „ans Eck“ an das Dreieck andocken. Lag er richtig, ertönte der Pfiff, das Zeichen für ihn, dass er seine Aufgabe richtig gemacht hatte und seine Belohnung in Form von Fisch bekam. Danach drehte er sich zur Seite, wartete bis die Folien willkürlich umgesteckt wurden und er wieder andocken konnte (Abb. 3.19, 3.20). Eine Dressurreihe bestand aus ca. 130 Tests. Es wurde ca. 30ig mal an einem Tag mit einem Tier getestet. Die richtige und falsche Wahlentscheidung wurde notiert und am Ende wurde ein prozentuales Ergebnis errechnet. Mit dem Seehundrüden wurden die Testreihen Kontrastsehen und das Farbsehen Blau nicht mehr getestet, da er diese Testreihen schon in der Diplomarbeit durchlaufen hatte (Oppermann, 2009). Die Testreihen begannen bei Fridolin mit der Farbe Grün. Danach wurde Gelb und als letztes Orange getestet.

Das Seehundweibchen Angie wurde bis zum Start der Testreihe ungefähr drei Wochen dressiert. Angie war ein sehr wissbegieriges Tier, das höchste Konzentration aufwies. Lag das Tier bei der Dressurreihe bei 100% konnte mit den Tests angefangen werden. Mit dem Seehundweibchen wurde erst das Kontrastsehen, dann die Farbe Blau, Grün, Gelb und zum Schluss die Farbe Orange getestet. Wie bei Fridolin stellte eine Folie, welche das Dreieck besaß den positiven Reiz, und zwei Folien nur mit Hintergrund stellen den negativen Reiz dar.



Abb. 3.19: Versuchsablauf des Seehundrüdchen Fridolin beim Farbsehen.

Die Apparatur wurde an eine bestimmte Stelle für den Seehundrüdchen Fridolin platziert. Nur an dieser Stelle wurde Fridolin getestet. Die Abbildung zeigt die Folie mit dem positiven Reiz und die zwei Folien mit dem negativen Reiz. Hier trifft Fridolin die richtige Wahl und dockt an das Dreieck an.



Abb. 3.20: Versuchsablauf des Seehundweibchen Angie beim Farbsehen.

Die Apparatur wird an die Futterstelle von Angie gebracht, nur da wird mit ihr getestet. Auf der Abbildung kann man den positiven Reiz und die zwei negativen Reize erkennen. Hier trifft Angie die richtige Wahl

3.5.4. Andressur der Seebären an Dressurfolie

Der Seebärbulle Otti musste nicht mehr andressiert werden, da er schon in der Diplomarbeit im Training (Oppermann, 2009) war und genau wusste was er machen sollte. Die Dressurreihen und Testreihen fanden mit ihm hinter den Kulissen in einem Absperregehege statt. Dort wurden die Testfolien mit S-förmigen Haken an das Gitter gehängt (Abb. 3.10, 3.21). An der gegenüberliegenden Seite wurde das *Target* platziert.

Nach jeder Wahl wurde Otti an dieses *Target* geschickt, damit man ohne Probleme die Folien umhängen konnte (Abb. 3.22).

Das Seebärweibchen Nabi hatte noch nie eine Dressurreihe gesehen und mitgemacht. Mit ihr musste auf der Außenanlage getestet werden, da sie nicht hinter den Kulissen abgesperrt werden konnte. Deshalb musste sie als aller erstes an die Apparatur gewöhnt werden. Diese wurde auf einen Tritt gestellt, damit es für das Tier einfacher war an die Folien zu docken (Abb. 3.11, 3.23). In der Wand gegenüber wurde eine Halterung für das *Target* angebracht. Nabi wurde nach jeder Wahl an das *Target* geschickt, damit man die Folien in Ruhe umstecken konnte (Abb. 3.11).

Seebären sind sehr neugierige und unerschrockene Tiere, was sich als großen Vorteil herausstellte da Nabi schnell die Scheu vor der Apparatur verlor. Als nächstes wurde sie auf das Dreieck konditioniert. Der Vorgang für die Konditionierung von Nabi war der gleiche wie beim Seehundweibchen Angie. Das Dreieck wurde ihr vor die Nase gehalten und sobald sie es „anschnupste“ ertönte der Pfiff und sie bekam ihre Belohnung. Diese Übung wurde so lange trainiert, bis sie mit 100 % Sicherheit an das Dreieck andockte. Danach wurde die zweite Folie, eine der zwei negativen Reize, hinzugenommen. Als sie mit zwei Folien zu 100 % richtig lag, wurden diese in die Apparatur gesteckt und es wurde die dritte Folie hinzugenommen. Ab diesem Moment traten die Probleme auf, da Nabi nicht zu den hoch konzentrierten Tieren gehörte. Das Training auf der Anlage war sehr schwierig, da sie sich von vielen Dingen ablenken ließ und sich nicht auf die Folien konzentrierte.

Es brauchte knapp neun Monate bis Nabi zu 100 % verstand was man von ihr wollte.

3.5.5. Dressur und Tests der Seebären

Lag das Tier bei den Dressurreihen bei 100 %, konnten die Testreihen beginnen. Durch die Diplomarbeit (Oppermann, 2009) braucht der Seebärbulle Otti die Testreihen des Kontrastsehens und des Farbsehens Blau nicht mehr zu durchlaufen (Oppermann, 2009). Er wurde auf das Farbsehen Grün, Gelb und Orange getestet.

Nach den neun Monaten Andressur konnte auch die Testreihe mit dem Seebärweibchen Nabi beginnen. Die Testreihen bestanden aus Kontrastsehen, Farbsehen Blau, Grün, Gelb und Orange.

Auch hier stellt eine Folie einen positiven Reiz und zwei Folien einen negativen Reiz dar. Alle Wahlen wurden aufgelistet und später prozentual ausgewertet.



Abb. 3.21: Otti angedockt am Dreieck.

Hier befand sich Otti in der Testreihe blau. Er traf auf der Abbildung die richtige Wahl.

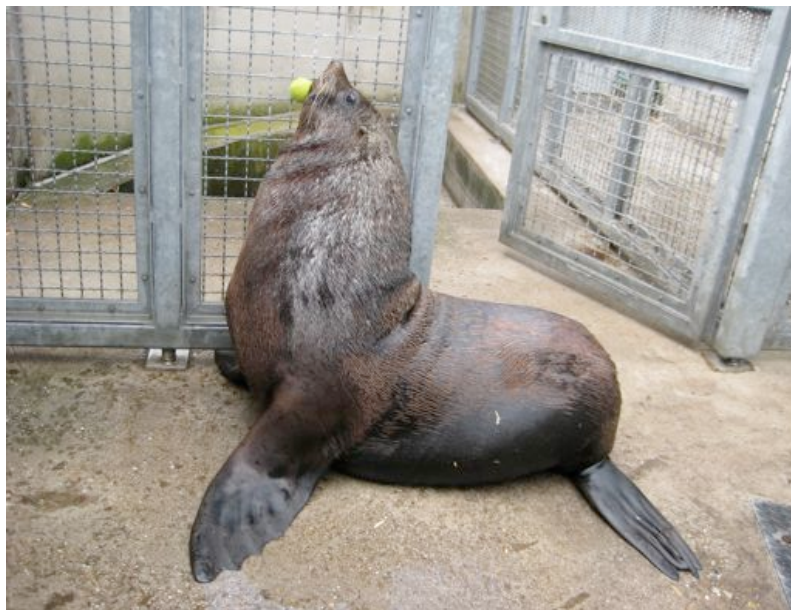


Abb. 3.22: Otti in Ruheposition.

Otti befand sich am Target. Nach jeder Wahl an der Testfolie, die er getroffen hatte, wurde er an das Target geschickt.



Abb. 3.23: Nabi Versuchsreihe.

Nabi befand sich in der Abbildung derzeit in der Farbreihe Orange. Hier traf sie die richtige Wahl.

4. Ergebnisse

4.1. Kontrastsehen

Mit den Robben wurde als erstes das Kontrastsehen getestet. Hier soll festgestellt werden wie gut Seehunde und Seebären Kontraste erkennen können. Während eines Testdurchlaufs wurden den Robben drei Folien präsentiert: eine Folie war der Dressurreiz, auf dem ein graues Dreieck auf einem grauen Hintergrund abgebildet war, die beiden anderen Folien waren homogen grau und standen für den negativen Reiz.

Lag die Richtigkeit der Wahlentscheidung eines Tieres bei einem Test um den Zufallswert von 33 %, dann konnte gefolgert werden, dass der Kontrast nicht mehr wahrgenommen wird.

Insgesamt wurde versucht jede Folie einer Testreihe 130-mal einem Versuchstier zu präsentieren (Tabelle 4.1). Eine Folie wurde jedem Versuchstier zwischen 30 und 40 mal am Tag gezeigt. Die Leuchtdichten der einzelnen Folien wurden an dem Spektralphotometer *Spectro 320* gemessen und der Kontrast (Leuchtdichtekontrast) berechnet. Der Leuchtdichtekontrast ist die Differenz der Leuchtdichte von Dreieck L_D und der Hintergrund L_H bezogen auf die Leuchtdichte des Hintergrundes.

$$(L_D - L_H) / L_H = \Delta L / L_H \text{ (Valberg, 2005)}$$

4.1.1. Versuchsergebnisse der einzelnen Tiere

4.1.1.1. Ergebnisse von Seehund Fridolin

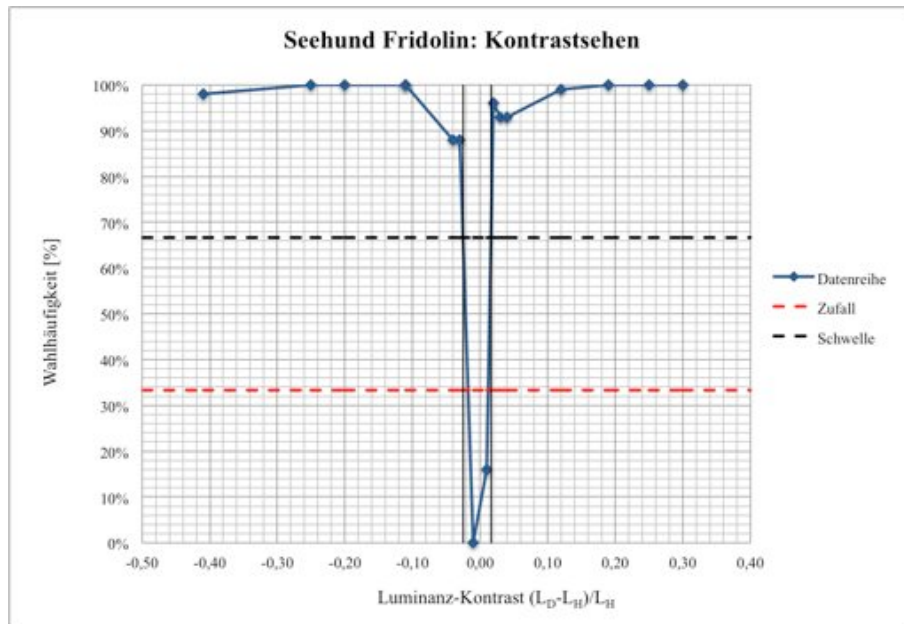
Die Testreihen des Kontrastsehens mit dem Seehundes Fridolin wurden bereits in der Diplomarbeit (Oppermann, 2009) durchgeführt. Bei den Folien 63,35/62,99 und 63,54/64,12 kam es zu keiner Kontrastwahrnehmung (Abb. 4.1) (Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1: Wahlverhalten des Seehundes Fridolin beim Kontrastsehen.

Die Spalte 1 zeigt die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes. Die rot markierten Zeilen zeigen die Fälle in denen das Tier hier nicht mehr den Kontrast sehen kann. Spalte 2 wird der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 listet die Anzahl der Versuchsdurchgänge (n) auf. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz- Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
42,23 / 72,03	-0,41	123	121 (98 %)	2 (2 %)
51,29 / 64,33	-0,20	130	130 (100 %)	0 (0 %)
53,62 / 71,8	-0,25	127	127 (100 %)	(0 %)
57,8 / 65,08	-0,11	160	160 (100 %)	(0 %)
57,65 / 65,13	-0,11	160	160 (100 %)	(0 %)
62,26 / 64,41	-0,03	155	137 (88 %)	18 (12 %)
63,21 / 65,57	-0,04	155	137 (88 %)	18 (12 %)
63,35 / 62,99	0,01	58	9 (16 %)	49 (84 %)
63,54 / 64,12	-0,01	4	0 (0 %)	4 (100 %)
65,72 / 64,18	0,02	125	120 (96 %)	5 (4 %)
67,68 / 65,91	0,03	121	113 (93 %)	8 (7 %)
67,88 / 65,2	0,04	121	113 (93 %)	8 (7 %)
73,26 / 65,65	0,12	113	112 (99 %)	1 (1 %)
78,36 / 66,07	0,19	117	117 (100 %)	0 (0 %)
83,34 / 64,33	0,30	140	140 (100 %)	0 (0 %)
89,33 / 71,73	0,25	151	151 (100 %)	0 (0 %)

a)



b)

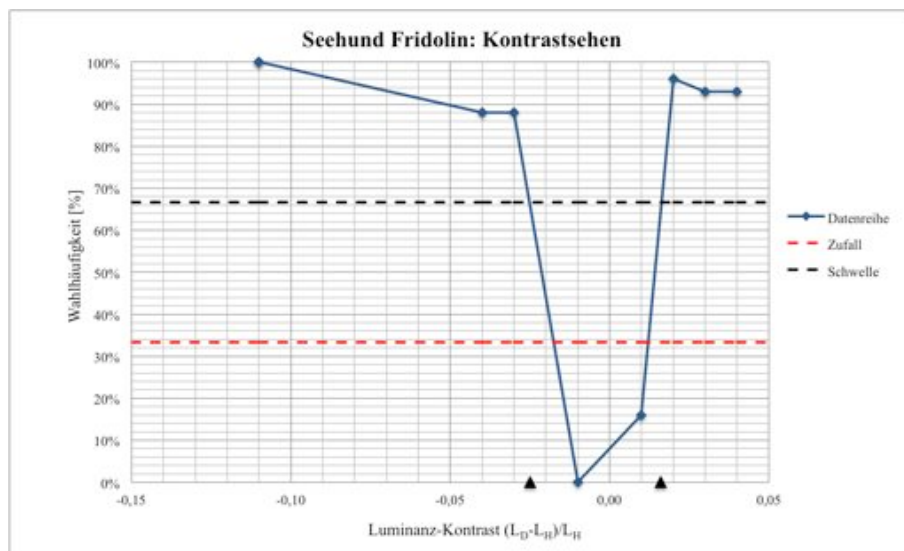


Abb. 4.1: Das Wahlverhalten des Seehundes Fridolin in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D - L_H)/L_H$ zwischen dem grauen Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Abbildung a) zeigt das gesamte Wahlverhalten der Testreihen vom Kontrastsehen. b) ist eine genauere Betrachtung des Bereiches, indem der Seehund Probleme hatte den Kontrast zu erkennen und wo er den Kontrast überhaupt nicht mehr gesehen hat.

Auf der x-Achse ist der Luminanz-Kontrast $(L_D - L_H)/L_H$ aufgetragen- L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks, L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes. Der Wert „0“ bedeutet, dass dort kein Kontrast vorliegt. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, je weiter der Wert in den positiven Bereich verläuft, umso heller wird das Dreieck.

Auf der y-Achse befindet sich die Wahlhäufigkeit in Prozent. Der Schwellenwert von 66,66 % ist erreicht bei -0,025 und 0,016.

4.1.1.2. Ergebnisse des Seehundes Angie

In Tabelle 4.2 ist zu erkennen, dass Angie bei den Folien mit der Leuchtdichte (Dreieck/Hintergrund) 57,51/57,52 und 57,82/56,68 das Dreieck nicht mehr erkennen

konnte. Hier wurden überhaupt keine Wahlentscheidungen getroffen, was daraus resultierte, dass sie gar nicht aus dem Wasser kam. Um ihre Motivation zum Mitmachen nicht zu stören, wurden ihr zwischen durch schon bekannte Folien präsentiert. Bei diesen Folien kam sie an Land und traf eine richtige Wahlentscheidung. Sobald jedoch eine der Folien 57,51/57,52 und 57,82/56,68 gezeigt wurde, robbte sie zurück ins Wasser. Nach 1 ½ Wochen wurden diese Testdurchläufe eingestellt und eine Wahltrefferquote von 0 % notiert. Das Verhalten deutet daraufhin, dass sie den Kontrast nicht erkennen kann.

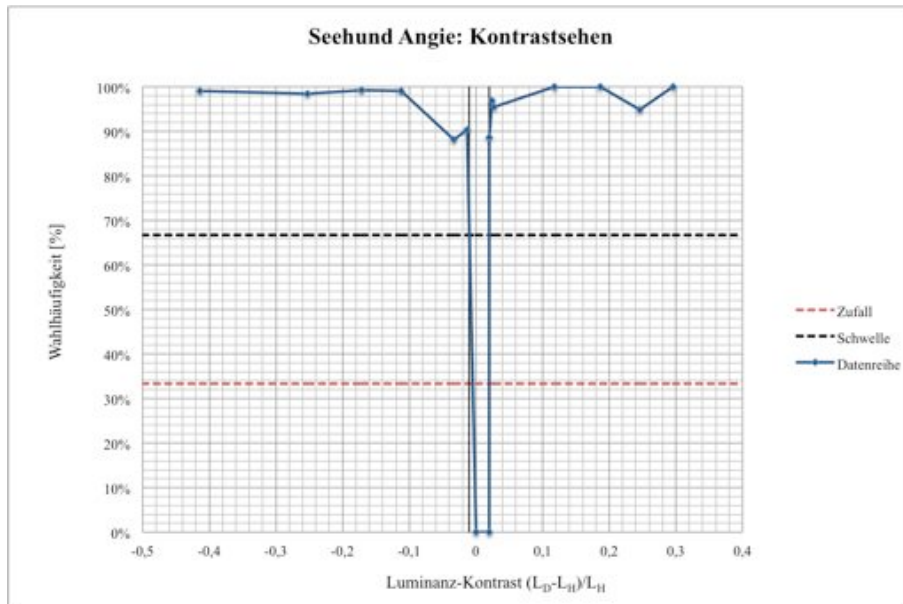
In der Abbildung 4.2 ist die Wahlhäufigkeit als Funktion des Luminanz-Kontrastes $(L_D - L_H)/L_H$ für den Seehund Angie dargestellt. Im Bereich zwischen -0,01 und 0,02 ist eine Unterscheidung nicht mehr möglich.

Tabelle 4.2: Wahlverhalten des Seehundes Angie beim Kontrastsehen.

Spalte 1 zeigt die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes. Die rot markierten Zeilen zeigen die Fälle in denen das Tier hier nicht mehr den Kontrast sehen kann. Spalte 2 wird der Luminanz-Kontrast $(L_D - L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 listet die Anzahl der Versuchsdurchgänge (n) auf. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz-Kontrast $(L_D - L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
42,7/72,89	-0,41	212	209 (99 %)	3 (1 %)
52,68/63,59	-0,17	137	136 (99 %)	1 (1 %)
53,62/71,8	-0,25	125	123 (98 %)	2 (2 %)
57,8/65,08	-0,11	110	109 (99 %)	1 (1 %)
57,51/57,52	0,00	0	0 (0 %)	0 (0%)
57,82/56,68	0,02	0	0 (0 %)	0 (0%)
62,26/64,41	-0,03	144	127 (88 %)	17 (12%)
63,35/62,99	0,01	237	219 (89%)	27 (11 %)
63,68/64,55	-0,01	166	150 (90 %)	16 (10 %)
65,72/64,18	0,02	161	156 (97 %)	5 (3 %)
67,68/65,91	0,03	132	126 (96 %)	6 (4 %)
73,07/65,39	0,12	103	103 (100 %)	0 (0 %)
78,36/66,07	0,19	125	125 (100 %)	0 (0 %)
83,34/64,33	0,30	102	102 (100 %)	0 (0 %)
89,33/71,73	0,25	97	92 (95 %)	5 (5 %)

a)



b)

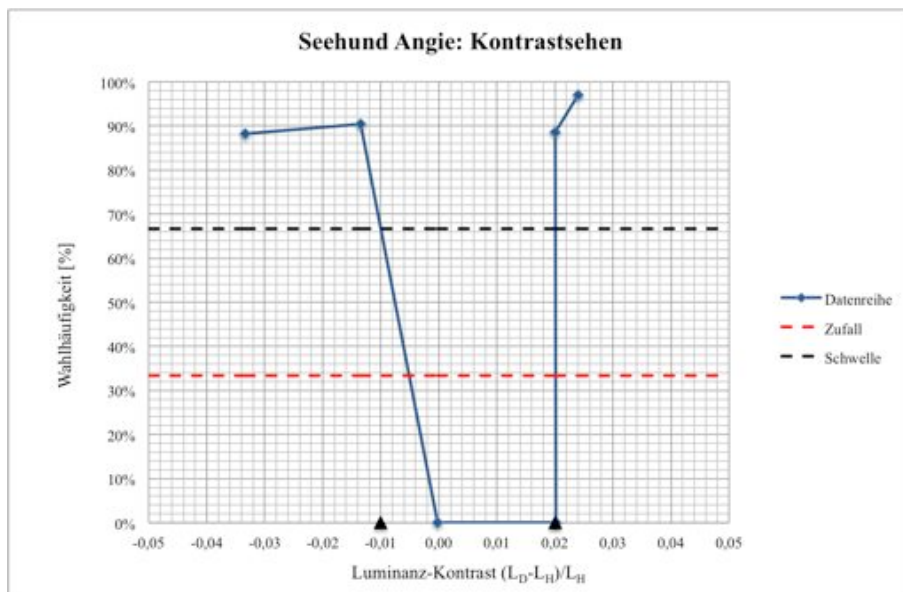


Abb. 4.2: Das Wahlverhalten des Seehundes Angie in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem grauen Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Abbildung a) zeigt das gesamte Wahlverhalten der Testreihen vom Kontrastsehen. b) ist eine genauere Betrachtung des Bereiches, indem der Seehund Probleme hatte den Kontrast zu erkennen und wo er den Kontrast überhaupt nicht mehr gesehen hat.

Auf der x-Achse ist der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ aufgetragen- L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks, L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes. Die beiden Werte „0“ bedeuten, dass dort kein Kontrast vorliegt. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, je weiter der Wert in den positiven Bereich verläuft, umso heller wird das Dreieck.

Auf der y-Achse befindet sich die Wahlhäufigkeit in Prozent. Der Schwellenwert von 66,66 % ist erreicht bei -0,01 und 0,02.

4.1.1.3 Ergebnisse des Seebären Otti

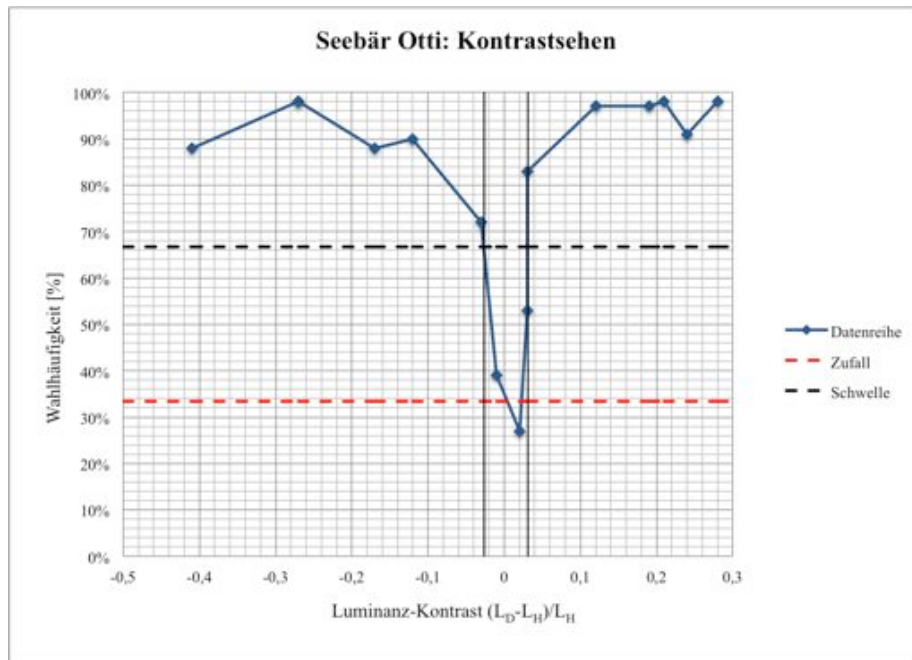
Die Testreihen des Kontrastsehens mit dem Seebären Otti wurden bereits in der Diplomarbeit (Oppermann, 2009) durchgeführt. Bei den Folien 63,68/64,55 und 64,61/63,58 kam es zu keiner Kontrastunterscheidung. Bei der Folie 68,7/66,41 zeigte der Seebär Otti Probleme eine richtige Wahlentscheidung zu treffen (Abb. 4.3) (Tabelle 4.3).

Tabelle 4.3: Wahlverhalten des Seebären Otti beim Kontrastsehen.

In der Spalte 1 ist die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes aufgelistet. Die rot markierten Zeilen zeigen die Fälle in denen das Tier hier nicht mehr den Kontrast sehen kann. Spalte 2 wird der Luminanz- Kontrast (L_D-L_H)/ L_H dargestellt. Spalte 3 zeigt die Anzahl der Versuchsgänge (n). In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz- Kontrast (L_D-L_H)/ L_H	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
42,76 / 72,89	-0,41	133	117 (88 %)	16 (12 %)
52,32 / 72,16	-0,27	124	122 (98 %)	2 (2 %)
52,4 / 72,05	-0,27	124	122 (98 %)	2 (2 %)
52,68 / 63,59	-0,17	133	117 (89 %)	16 (11 %)
57,21 / 65,01	-0,12	136	122 (90 %)	14 (10 %)
63,43 / 65,06	-0,03	139	100 (72 %)	39 (18 %)
63,68 / 64,55	-0,01	57	22 (39 %)	35 (61 %)
64,61 / 63,58	0,02	71	19 (26 %)	52 (74 %)
68,7 / 66,41	0,03	117	62 (53 %)	55 (47 %)
65,97 / 64,31	0,03	155	129 (83 %)	26 (17 %)
73,07 / 65,39	0,12	130	126 (97 %)	4 (3 %)
78,09 / 65,5	0,19	130	126 (97 %)	4 (3 %)
83,25 / 64,99	0,28	131	129 (98 %)	2 (2 %)
87,91 / 72,53	0,21	131	129 (98 %)	2 (2 %)
89,48 / 72,15	0,24	129	118 (91 %)	11 (3%)

a)



b)

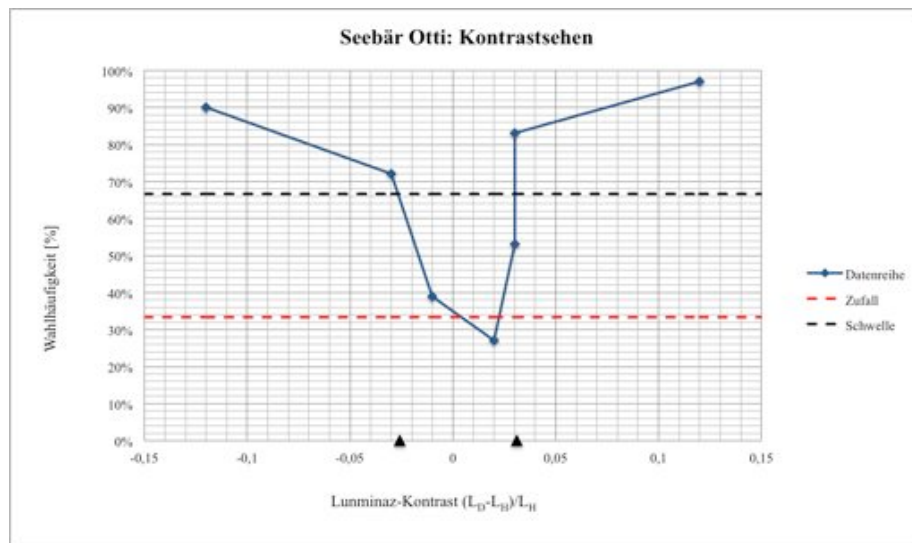


Abb. 4.3: Das Wahlverhalten des Seebären Otti in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem grauen Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Abbildung a) zeigt das gesamte Wahlverhalten der Testreihen vom Kontrastsehen. b) ist eine genauere Betrachtung des Bereiches, indem der Seebär Probleme hatte den Kontrast zu erkennen und wo er den Kontrast überhaupt nicht mehr gesehen hat.

Auf der x-Achse ist der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ aufgetragen- L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks, L_H = Luminanz-Wert des Hintergrunds. Die Werte die sich unter der schwarzen Markierung befinden bedeuten, dass dort kein Kontrast vorliegt. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, je weiter der Wert in den positiven Bereich verläuft, umso heller wird das Dreieck.

Auf der y-Achse befindet sich die Wahlhäufigkeit in Prozent. Der Schwellenwert von 66,66 % ist erreicht bei -0,026 bis 0,031.

4.1.1.4. Ergebnisse des Seebären Nabi

Das Seebärweibchen Nabi erreichte beim Kontrastsehen eine Trefferquote zwischen 20 % und 93 %.

In Tabelle 4.4 wird gezeigt, dass Nabi den Kontrast der Folien 57,21/65,01, 57,51/57,52 und 57,82/56,68 nicht mehr erkennen kann.

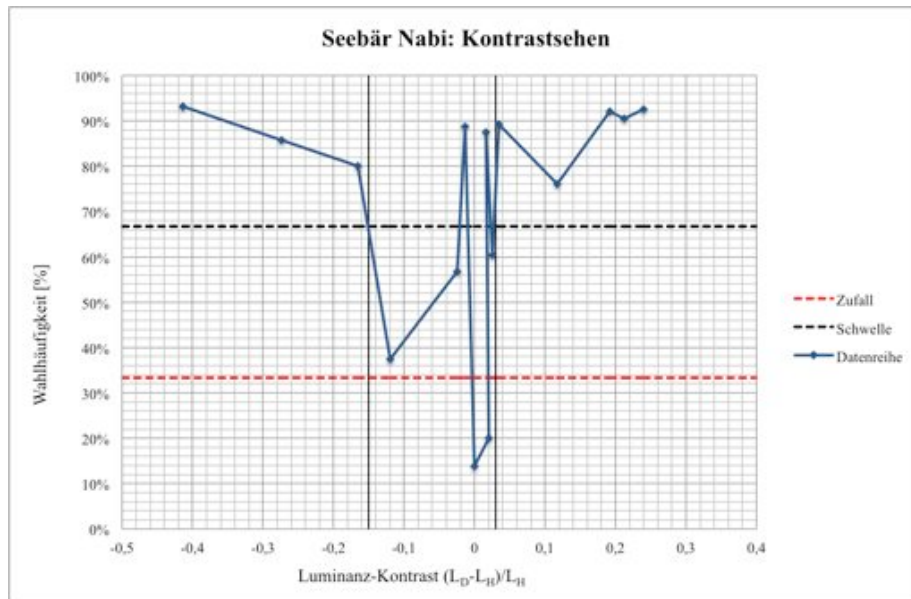
In Abbildung 4.4 ist die Wahlhäufigkeit als Funktion des Luminanz-Kontrastes $(L_D-L_H)/L_H$ für das Seebärweibchen Nabi dargestellt. Im Bereich zwischen -0,15 und 0,03 ist eine Unterscheidung nicht mehr möglich.

Tabelle 4.4: Wahlverhalten des Seebären Nabi beim Kontrastsehen.

Die Spalte 1 ist die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes aufgelistet. Die rot markierten Zeilen zeigen die Fälle in denen das Tier hier nicht mehr den Kontrast sehen kann. Spalte 2 wird der Luminanz- Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 zeigt die Anzahl der Versuchsgänge (n). In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
42,76 / 72,89	-0,41	190	167 (93 %)	13 (7 %)
52,32 / 72,05	-0,27	140	120 (86 %)	20 (14 %)
52,87/63,33	-0,17	125	100 (80 %)	20 (20 %)
57,21/65,01	-0,12	120	45 (38 %)	75 (63 %)
57,51/57,52	0,00	130	18 (14 %)	112 (86 %)
57,82/56,68	0,02	115	23 (20 %)	92 (80 %)
63,43/65,06	-0,03	118	67 (57 %)	51 (43 %)
63,68/64,55	-0,01	124	110 (89 %)	14 (11 %)
64,61/63,58	0,02	128	112 (88 %)	16 (12 %)
65,97/64,31	0,03	106	64 (60 %)	42 (40 %)
68,7/66,41	0,03	121	108 (89 %)	13 (11 %)
73,07/65,39	0,12	217	175 (76 %)	42 (24 %)
78,09/65,5	0,19	125	115 (92 %)	10 (8 %)
87,91/72,53	0,21	158	143 (91 %)	15 (9 %)
89,48/72,15	0,24	134	124 (93 %)	10 (7 %)

a)



b)

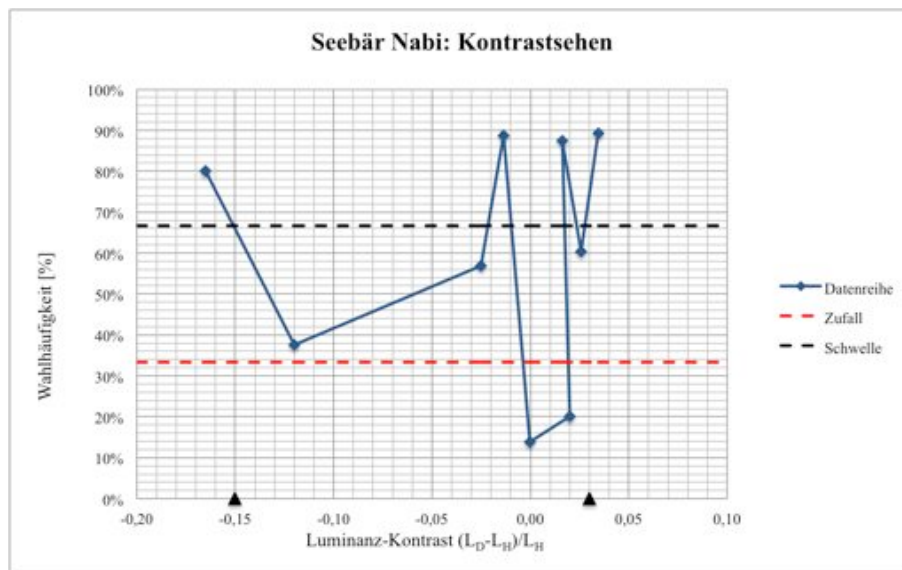


Abb. 4.4: Das Wahlverhalten des Seebären Nabi in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D - L_H) / L_H$ zwischen dem grauen Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Abbildung a) zeigt das gesamte Wahlverhalten der Testreihen vom Kontrastsehen. b) ist eine genauere Betrachtung des Bereiches, indem der Seebär Probleme hatte den Kontrast zu erkennen und wo er den Kontrast überhaupt nicht mehr gesehen hat.

Auf der x-Achse ist der Luminanz-Kontrast $(L_D - L_H) / L_H$ aufgetragen- L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks, L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes. Die Werte die sich unter der schwarzen Markierung befinden bedeuten, dass dort kein Kontrast vorliegt. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, je weiter der Wert in den positiven Bereich verläuft, umso heller wird das Dreieck.

Auf der y-Achse befindet sich die Wahlhäufigkeit in Prozent. Der Schwellenwert von 66,66 % ist erreicht bei -0,15 und 0,03.

4.2. Farbsehen

Zum Nachweis des Farbsehens wurde den Seehunden und Seebären verschiedene Farbfolien gezeigt. Es wurden die Farben Blau, Grün, Gelb und Orange getestet. Den Tieren wurden sowohl ein farbiges Dreieck auf einem grauen Hintergrund, als auch zwei homogen graue Folien vorgelegt. Es existiert somit ein Verhältnis von 1:2 und bei zufälliger Wahl sollte eine Wahlhäufigkeit von 33,3 % zu erwarten sein. In diesem Fall kann die Aussage getroffen werden, dass das Tier die Farbe nicht erkennen kann. Der Schwellenwert eines gerade erkennbaren Unterschieds wurde bei 66,66 % festgesetzt. Mit jedem Tier wurde versucht eine Testreihe 130 bis 140 mal durchzuführen. Die Leuchtdichten der einzelnen Folien wurden von einem Spektralphotometer *Spectro 320* gemessen.

Für die Farben Blau, Grün, Gelb und Orange ist der Leuchtdichtekontrast die Differenz der Leuchtdichte vom Dreieck L_D und der Hintergrund L_H bezogen auf die Leuchtdichte des Hintergrundes

$$(L_D - L_H) / L_H = \Delta L / L_H \text{ (Valberg, 2005)}$$

4.2.1. Testreihe Blau.

4.2.1.1. Ergebnis von Seehund Fridolin.

Die Erkennbarkeit der Farbe Blau wurde mit dem Seehundrüden Fridolin bereits 2009 in der Diplomarbeit getestet (Oppermann, 2009). Die Farbe Blau wurde von dem Seehund Fridolin ohne Problem erkannt (Abb. 4.5) (Tabelle 4.5). Bei einem Luminanzkontrast von 0 wurde eine Wahlhäufigkeit von 100 % erzielt.

Tabelle 4.5: Wahlverhalten des Seehundes Fridolin beim Test auf Blau.

In der Spalte 1 ist die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes aufgelistet. Spalte 2 wird der Luminanz-Kontrast $(L_D - L_H) / L_H$ dargestellt. Spalte 3 zeigt die Anzahl der Entscheidungen (n) an eine Folie. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl in Prozent.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz- Kontrast $(L_D - L_H) / L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
58,44 / 58,58	0,00	157	157 (100 %)	0 (0 %)
62,34 / 64,52	0,03	102	102 (100 %)	0 (0 %)
58,93 / 65,31	0,11	131	129 (98 %)	2 (2 %)

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz- Kontrast $(L_D - L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
58,78 / 65,7	0,12	109	106 (97 %)	3 (3 %)
59,2 / 65,81	0,11	103	103 (100 %)	0 (0 %)
59,11 / 65,85	0,11	96	94 (98 %)	2 (2 %)
59,08 / 65,87	0,11	112	109 (97 %)	3 (3 %)
63,15 / 66,4	0,05	153	153 (100 %)	0 (0 %)
63,42 / 67,8	0,07	115	109 (95 %)	6 (5 %)
60,79 / 68,17	0,12	101	101 (100 %)	0 (0 %)
60,65 / 71,06	0,17	92	92 (100 %)	0 (0 %)

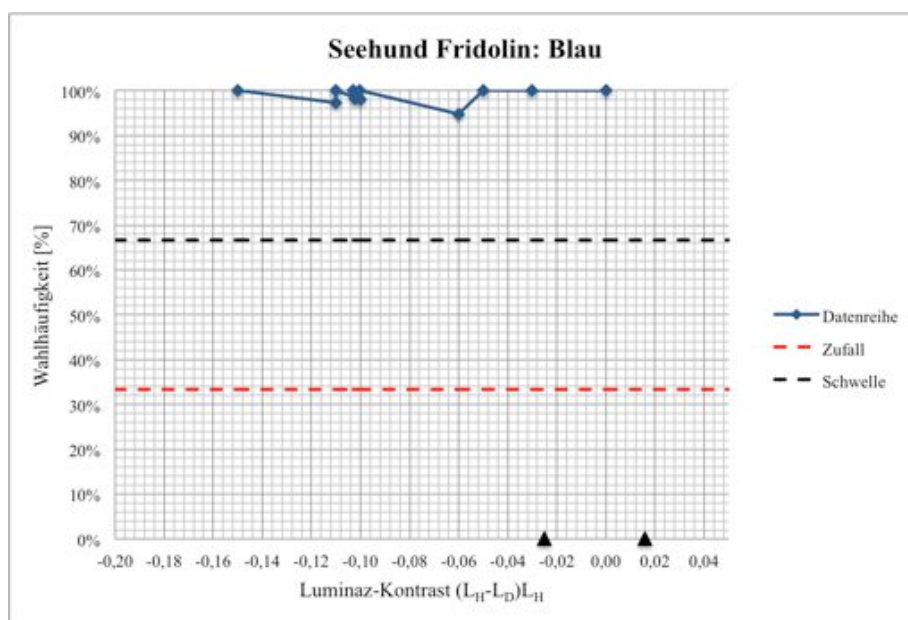


Abb. 4.5: Wahlverhalten des Seehundes Fridolin in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D - L_H)/L_H$ zwischen dem grauen Hintergrund und dem blauen Dreieck.

Auf der x-Achse befindet sich der Luminanz-Kontrast $(L_D - L_H)/L_H$. Die y-Achse gibt die Wahlhäufigkeit in Prozent an. Das schwarze Dreieck zeigt den Bereich an, indem der Kontrast nicht erkannt wurde (Abb.4.1). Das zweite Dreieck liegt außerhalb der x-Achsen Skalierung, deshalb ist es nicht eingezeichnet.

4.2.1.2. Ergebnis vom Seehund Angie

Der Seehund Angie erreichte bei dem blauen Dreieck eine Trefferquote von 99 % bis 100 % (Tabelle 4.6). In Abbildung 4.6 wird die Wahlhäufigkeit als Funktion des Luminanz-Kontrastes $(L_D - L_H)/L_H$ für das Seehundweibchen Angie dargestellt.

Tabelle 4.6: Wahlverhalten des Seehundes Angie beim Test auf Blau.

Die Spalte 1 listet die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes auf. Spalte 2 wird der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 zeigt die Anzahl der Entscheidungen (n) an eine Folie. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl in Prozent.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
58,44 / 58,58	0,00	160	159 (99 %)	1 (1 %)
62,34 / 64,52	0,03	133	132 (99 %)	1 (1 %)
58,93 / 65,31	0,11	115	115 (100 %)	0 (0 %)
58,78 / 65,67	0,12	112	112 (100 %)	0 (0 %)
59,2 / 65,81	0,11	127	127 (100 %)	0 (0 %)
59,11 / 65,85	0,11	116	116 (100 %)	0 (0 %)
63,15 / 65,87	0,04	109	109 (100 %)	0 (0 %)
63,15 / 66,4	0,05	162	162 (100 %)	0 (0 %)
63,42 / 67,8	0,07	175	175 (100 %)	0 (0 %)
60,79 / 68,17	0,12	80	80 (100 %)	0 (0 %)
60,65 / 71,06	0,17	138	138 (100 %)	0 (0 %)

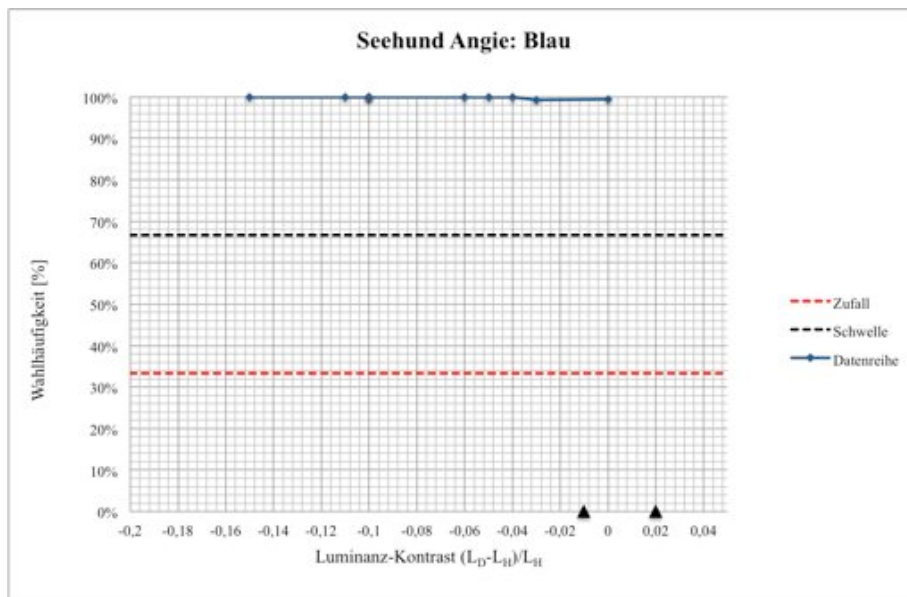


Abb. 4.6: Wahlverhalten des Seehundes Angie in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem grauen Hintergrund und dem blauen Dreieck.

Auf der x-Achse befindet sich der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$. Die y-Achse gibt die Wahlhäufigkeit in Prozent an. Die zwei schwarzen Dreiecke zeigen den Bereich an, indem der Kontrast nicht erkannt wurde. (aus Abb.4.2.)

4.2.1.3. Ergebnis des Seebären Otti

Der Seebär Otti wurde bereits in der Diplomarbeit (Oppermann, 2009) auf die Farbe blau getestet. Otti konnte ohne Problem das blaue Dreieck erkennen (Abb. 4.7) (Tabelle 4.7). Nur bei einem Kontrast von 65,85 / 59,11 hatte der Seebär Schwierigkeiten.

Tabelle 4.7: Wahlverhalten des Seebären Otti beim Test auf Blau.

In der Spalte 1 sind die Leuchtdichte vom Dreieck und Hintergrund aufgelistet. Rot markiert ist die Folie, bei dem das Tier geringe Probleme aufwies. In Spalte 2 wird der Luminanz- Kontrast (L_D-L_H)/ L_H dargestellt. Spalte 3 ist die Anzahl der Entscheidungen (n) aufgelistet. In den beiden letzten Spalten stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl. In Klammern sind die Wahlen prozentual berechnet.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz- Kontrast (L_D-L_H)/ L_H	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
58,64 / 58,39	0,00	117	112 (96 %)	5 (4 %)
62,34 / 64,36	0,03	92	88 (96 %)	2 (4 %)
58,15 / 65,52	0,13	121	97 (80 %)	24 (20 %)
58,75 / 65,59	0,12	152	123 (81 %)	29 (19 %)
62,56 / 65,68	0,05	96	91 (95 %)	5 (5 %)
58,82 / 65,75	0,12	116	95 (82 %)	21 (18 %)
59,2 / 65,81	0,11	122	88 (72 %)	34 (28 %)
59,11 / 65,85	0,11	147	87 (59 %)	60 (41 %)
59,08 / 65,87	0,11	107	74 (69 %)	33 (31 %)
60,23 / 68,15	0,13	109	97 (89 %)	12 (11 %)
63,43 / 68,27	0,08	108	90 (83 %)	18 (17 %)
60,84 / 70,73	0,16	129	124 (96 %)	5 (4 %)

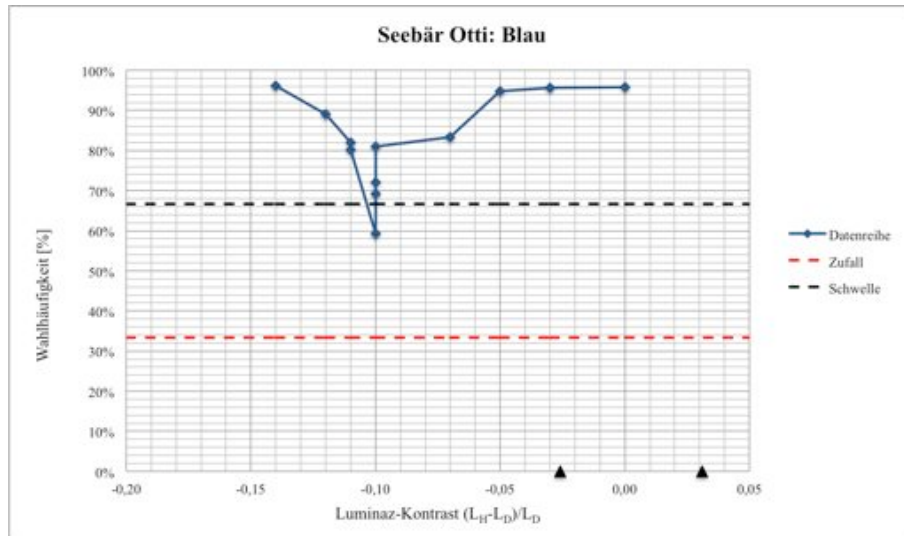


Abb. 4.7: Wahlverhalten des Seebären Otti in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen grauem Hintergrund und blauem Dreieck.

Auf der x-Achse befindet sich der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_D$. L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes und L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks. Die y-Achse gibt die Wahlhäufigkeit in Prozent an.

4.2.1.4. Ergebnis des Seebären Nabi

Bei den Testdurchläufen der Farbe Blau wählte der Seebär die richtige Folie mit dem Dreieck zwischen 71 % und 96 %. Bei den Testfolien mit der Leuchtdichte (Hintergrund/ Dreieck) 68,27 / 63,43 und 68,15 / 60,23 zeigte Nabi einige Schwierigkeiten auf (Tabelle 4.8). In Abbildung 4.8 wird die Wahlhäufigkeit als Funktion des Luminanz-Kontrastes $(L_D-L_H)/L_H$ für das Seebärweibchen Nabi dargestellt.

Tabelle 4.8: Wahlverhalten des Seebären Nabi beim Test auf Blau.

In der Spalte 1 ist die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes aufgelistet. Rot markiert sind die Folien, bei denen das Tier geringe Schwierigkeiten aufwies. Spalte 2 wird der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 listet die Anzahl der Wahlentscheidungen (n) auf. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl in Prozent.

Folien Luminanzwerte Dreieck/ Hintergrund	Luminanz- Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
58,64 / 58,39	0,00	134	112 (84 %)	22 (16 %)
62,34 / 64,36	0,03	184	164 (81 %)	20 (19 %)
62,56 / 65,68	0,05	132	113 (86 %)	19 (14 %)
58,75 / 65,59	0,12	118	96 (82 %)	22 (18 %)
58,78 / 65,67	0,12	124	108 (87 %)	16 (13 %)
58,82 / 65,75	0,12	131	113 (86 %)	18 (14 %)

Folien Luminanzwerte Dreieck/ Hintergrund	Luminanz- Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
59,2 / 65,81	0,11	125	115 (92 %)	10 (8 %)
59,11 / 65,85	0,11	146	127 (87 %)	19 (13 %)
59,08 / 65,87	0,11	128	124 (96 %)	5 (4 %)
60,23 / 68,15	0,13	127	91 (72 %)	36 (28 %)
63,43 / 68,27	0,08	205	146 (71 %)	59 (29 %)
60,84 / 70,73	0,16	219	183 (84 %)	36 (16 %)

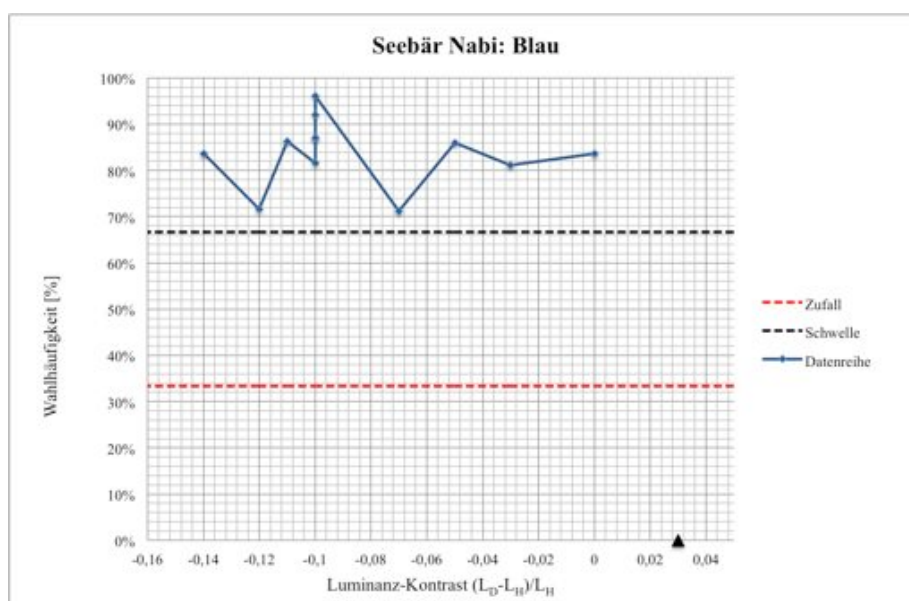


Abb. 4.8: Wahlverhalten des Seebären Nabi in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem grauen Hintergrund und dem blauen Dreieck.

Auf der x-Achse befindet sich der Luminanz-Kontrast $(L_H-L_D)/L_D$. Die y-Achse gibt die Wahlhäufigkeit in Prozent an. Die zwei schwarzen Dreiecke zeigen den Bereich an, indem der Kontrast nicht erkannt wurde.

4.2.2. Testreihe Grün

4.2.3.1. Ergebnis vom Seehund Fridolin

Der Seehund Fridolin erzielte eine Trefferquote zwischen 94 % und 100 % (Tabelle 4.9). Die Wahlhäufigkeit als Funktion des Luminanz-Kontrastes $(L_D-L_H)/L_H$ ist in Abbildung 4.9 dargestellt.

Tabelle 4.9: Das Wahlverhalten des Seehundes Fridolin beim Test auf Grün.

In der Spalte 1 wird die Leuchtdichte des Dreiecks und des Hintergrundes gezeigt. Spalte 2 wird der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 listet die Anzahl der Versuchsdurchgänge (n) auf. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz- Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
45,44/59,13	-0,23	201	201 (100 %)	0 (0 %)
46,77/58,61	-0,20	239	238 (100 %)	1 (0 %)
51,56/58,9	-0,12	130	130 (100 %)	0 (0 %)
52,23/59,11	-0,12	102	102 (100 %)	0 (0 %)
53,98/59,12	-0,09	127	125 (98%)	2 (2 %)
54,72/59,05	-0,06	114	113 (99 %)	1 (1 %)
54,78/58,99	-0,09	108	108 (100 %)	0 (0 %)
54,79/59,13	-0,07	204	204 (100 %)	0 (0 %)
55,37/58,92	-0,06	100	98 (98 %)	2 (2 %)
58,74/59,62	-0,01	114	113 (95 %)	1 (5%)
62,22/58,34	0,07	178	167 (94 %)	11 (6 %)
64,26/58,42	0,10	137	137 (100 %)	0 (0 %)
66,49/58,97	0,13	74	74 (100 %)	0 (0 %)
68,01/59,96	0,13	183	183 (100 %)	0 (0 %)

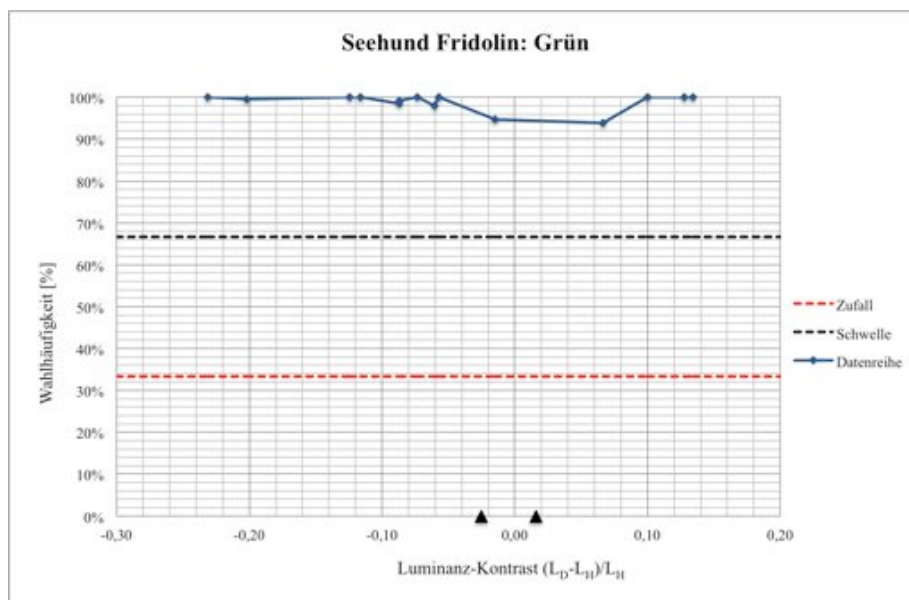


Abb. 4.9: Das Wahlverhalten des Seehundes Fridolin in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem grünen Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Auf der x-Achse ist der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ aufgetragen. L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks, L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, je weiter der Wert in den positiven Bereich reicht, umso heller wird das

Dreieck. Auf der y-Achse befindet sich die Wahlhäufigkeit in Prozent. Die zwei schwarzen Dreiecke zeigen den Bereich an, indem der Kontrast nicht erkannt wurde (aus Abb.4.4).

4.2.2.2. Ergebnis Seehund Angie

Der Seehund Angie erzielte in allen Tests eine Trefferquote von 100 % (Tabelle 4.10). Die Wahlhäufigkeit als Funktion des Luminanz-Kontrastes wird der Abbildung 4.10 $(L_D-L_H)/L_H$ für Angie dargestellt.

Tabelle 4.10: Das Wahlverhalten des Seehundes Angie beim Test auf Grün.

Die Spalte 1 zeigt die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes. Spalte 2 wird der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 listet die Anzahl der Versuchsdurchgänge (n) auf. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz- Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
45,88/59,64	-0,23	171	171 (100 %)	0 (0 %)
49,02/59,46	-0,18	131	131 (100 %)	0 (0 %)
51,56/58,9	-0,14	158	158 (100 %)	0 (0 %)
54,19/59,37	-0,09	237	237 (100 %)	0 (0 %)
54,63/59,49	-0,08	70	70 (100 %)	0 (0 %)
55,37/58,92	-0,06	172	172 (100 %)	0 (0 %)
55,77/59,4	-0,06	134	134 (100 %)	0 (0 %)
56,53/59,43	-0,05	140	140 (100 %)	0 (0 %)
56,57/59,17	-0,04	198	198 (100 %)	0 (0 %)
58,37/59,28	-0,02	128	128 (100 %)	0 (0 %)
62,19/59,34	0,05	180	180 (100 %)	0 (0 %)
64,91/58,8	0,10	139	139 (100 %)	0 (0 %)
65,76/57,46	0,14	166	166 (100 %)	0 (0 %)
67,83/60,21	0,13	261	261 (100 %)	0 (0 %)

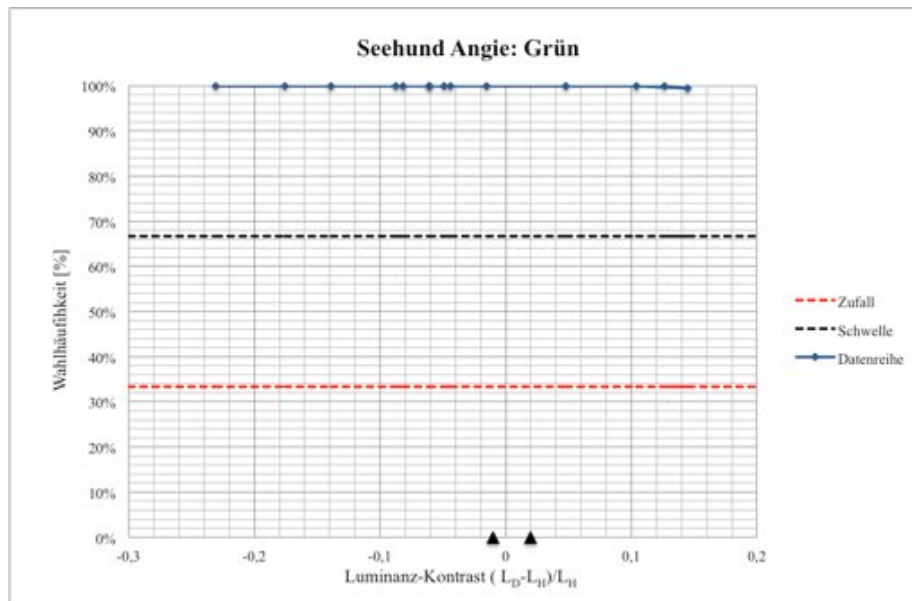


Abb. 4.10: Das Wahlverhalten des Seehundes Angie in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D - L_H) / L_H$ zwischen dem grünen Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Auf der X- Achse ist der Luminanz-Kontrast $(L_D - L_H) / L_H$ aufgetragen. L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks, L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, das Dreieck wird heller umso mehr der Wert in den positiven Bereich geht. Auf der y-Achse befindet sich die Wahlhäufigkeit in Prozent. Die zwei schwarzen Dreiecke zeigen den Bereich an, indem der Kontrast nicht erkannt wurde (aus Abb. 4.2).

4.2.2.3. Ergebnis vom Seebär Otti

Der Seebär Otti erzielte eine Trefferquote zwischen 74 % und 100 % (Tabelle 4.11). Bei der Testfolie mit der Leuchtdichte (Dreieck / Hintergrund) 58,74 / 59,62 wies Otti geringe Probleme auf. In Abbildung 4.11 wird deutlich dargestellt, dass der Seebär nur bei dieser Folie Probleme aufweist und jede andere Folie von ihm gut gesehen wird. Dies ist vermutlich darauf zurück zuführen, dass ihm diese Folie in der Paarungszeit präsentiert wurde und er sehr unkonzentriert war.

In Abbildung 4.11 ist die Wahlhäufigkeit für den Seebär Otti als Funktion des Luminanz-Kontrastes $(L_D - L_H) / L_H$ dargestellt.

Tabelle 4.11: Das Wahlverhalten des Seebären Otti beim Test auf Grün.

Die Spalte 1 zeigt die Leuchtdichte des Dreiecks und des Hintergrundes. Rot markiert ist die Folie, die in der Paarungszeit verwendet wurde. Spalte 2 wird der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 listet die Anzahl der Versuchsdurchgänge (n) auf. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
45,03/59,04	-0,24	130	119 (92 %)	11 (8 %)
49,69/59,33	-0,16	202	202 (100 %)	0 (0 %)
52,6/59,04	-0,11	144	129 (90 %)	15 (10 %)
53,5/59,03	-0,09	126	112 (89 %)	14 (11 %)
54,63/59,49	-0,08	124	118 (95 %)	6 (5 %)
54,96/59,4	-0,07	130	104 (80 %)	26 (20 %)
55,77/59,1	-0,06	137	125 (91 %)	12 (9 %)
56,25/60,11	-0,06	139	116 (83 %)	23 (17 %)
57,2/59,92	-0,05	128	113 (88 %)	15 (12 %)
58,74/59,62	-0,01	176	131 (74 %)	45 (26 %)
61,67/59,2	0,04	143	132 (92 %)	11 (8 %)
64,91/58,8	0,10	187	173 (93 %)	14 (7 %)
65,76/57,46	0,14	123	109 (89 %)	14 (11 %)
68,14/59,99	0,14	283	268 (95 %)	15 (5 %)

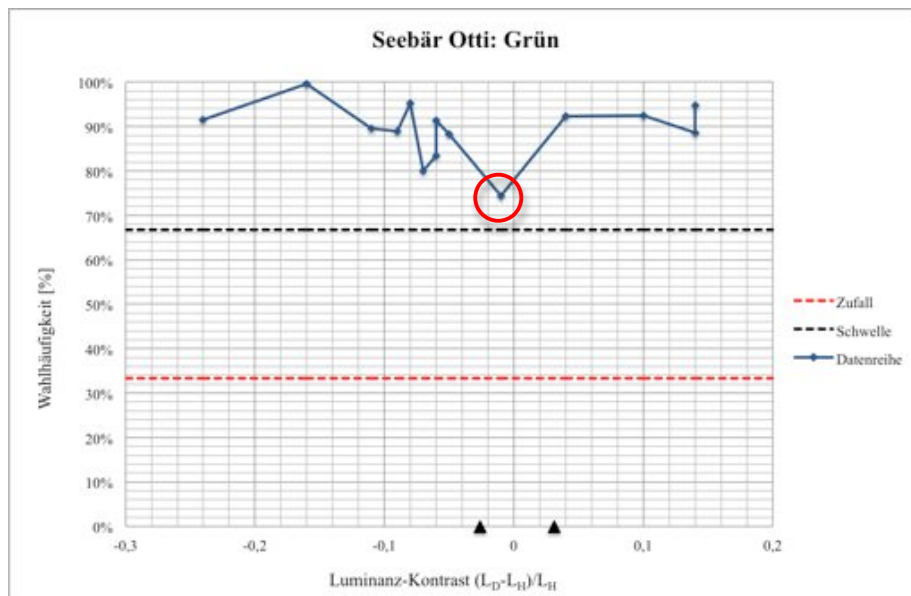


Abb. 4.11: Das Wahlverhalten des Seebären Otti in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem grünen Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Auf der x-Achse ist der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ aufgetragen. L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks, L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes. Der Wert der mit einem roten Kreis umrandet ist, gibt die Folie an, die in der Paarungszeit getestet wurde. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, je mehr der Wert in den positiven Bereich reicht, umso heller wird das Dreieck. Auf der y-Achse befindet sich die Wahlhäufigkeit in Prozent. Die zwei schwarzen Dreiecke zeigen den Bereich an, indem der Kontrast nicht erkannt wurde (aus Abb. 4.3).

4.2.2.4. Ergebnis vom Seebär Nabi

Der Seebär Nabi erzielte eine Trefferquote zwischen 82 % und 97 % (Tabelle 4.12). In Abbildung 4.12 wird die Wahlhäufigkeit für den Seebär Nabi als Funktion des Luminanz-Kontrastes $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt.

Tabelle 4.12: Das Wahlverhalten des Seebären Nabi beim Test auf Grün.

In der Spalte 1 wird die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes gezeigt. Spalte 2 wird der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 listet die Anzahl der Versuchsdurchgänge (n) auf. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
45,03/59,04	-0,24	153	135 (88 %)	18 (12 %)
48,71/59,01	-0,17	126	122 (97 %)	4 (3 %)
52,19/59,66	-0,13	183	165 (90 %)	18 (10 %)
52,23/59,11	-0,12	178	159 (89 %)	19 (11 %)
53,35/58,43	-0,09	107	99 (93 %)	8 (7 %)
54,96/59,01	-0,07	156	136 (87 %)	20 (13 %)
55,77/59,4	-0,06	197	163 (83 %)	34 (17 %)
56,24/60,11	-0,06	140	129 (92 %)	11 (8 %)
57,2/59,92	-0,05	122	114 (93 %)	8 (7 %)
58,37/59,28	-0,02	156	145 (93 %)	11 (7 %)
61,8/58,62	0,05	132	108 (82 %)	24 (18 %)
64,91/58,8	0,10	193	164 (85 %)	29 (15%)
65,84/58,69	0,12	115	109 (95 %)	6 (5 %)
68,01/59,96	0,13	142	119 (84 %)	23 (16 %)

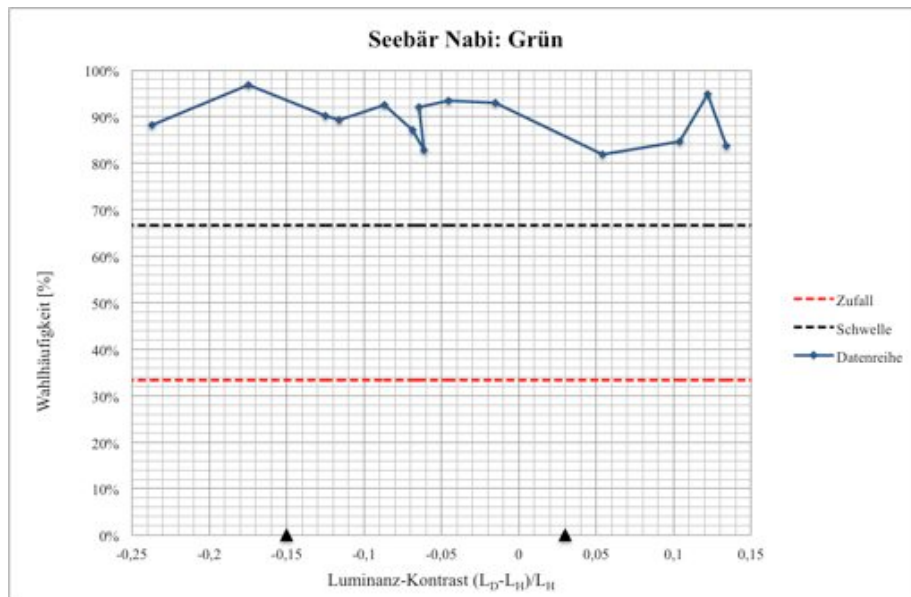


Abb. 4.12: Das Wahlverhalten des Seebären Nabi in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem grünen Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Auf der x-Achse ist der Luminanz-Wert $(L_D-L_H)/L_H$ aufgetragen. L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks, L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, das Dreieck wird heller, je weiter der Wert sich im positiven Bereich befindet. Auf der y-Achse befindet sich die Wahlhäufigkeit in Prozent. Die zwei schwarzen Dreiecke zeigen den Bereich an, indem der Kontrast nicht erkannt wurde (aus Abb. 4.4).

4.2.3. Testreihe Gelb

4.2.3.1. Ergebnis vom Seehund Fridolin

Der Seehund Fridolin erzielte bei der Farbe Gelb eine Trefferquote zwischen 95 % und 100 % (Tabelle 4.13). Während der Testphase der Folien (Dreieck/Hintergrund) 59,35/58,64 wurde Fridolin wegen einer Augenverletzung am linken Augen medizinisch behandelt. Die Wahlhäufigkeit als Funktion des Luminanz-Kontrastes $(L_D-L_H)/L_H$ wird der Abbildung 4.13 für Fridolin dargestellt.

Tabelle 4.13: Das Wahlverhalten des Seehundes Fridolin beim Test auf Gelb.

Spalte 1 zeigt die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes. Spalte 2 wird der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 listet die Anzahl der Versuchsdurchgänge (n) auf. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
51,73/59,15	-0,13	70	70 (100 %)	0 (0 %)
52,98/59,6	-0,11	191	191 (100 %)	0 (0 %)

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz- Kontrast (L_D-L_H)/ L_H	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
54,82/59,89	-0,08	132	131 (99 %)	1 (1 %)
56,8/59,74	-0,05	154	154 (100 %)	0 (0 %)
57,33/59,44	-0,04	217	215 (99 %)	2 (1 %)
58,65/59,48	-0,01	136	136 (100 %)	0 (0 %)
58,8/57,61	0,02	80	80 (100 %)	0 (0 %)
58,97/57,8	0,02	153	153 (100 %)	0 (0 %)
59,2/58,95	0,00	130	130 (100 %)	0 (0 %)
58,97/58,38	0,03	147	147 (100 %)	0 (0 %)
59,25/58,41	0,01	143	143 (100 %)	0 (0 %)
59,29/58,92	0,01	165	159 (96 %)	6 (4 %)
59,35/58,7 (Augenverletzung)	0,01	167	158 (95 %)	9 (5 %)
59,7/58,64	0,02	183	177 (97 %)	6 (3 %)
60,51/58,53	0,03	164	155 (95 %)	9 (5 %)
61,39/58,23	0,05	120	117 (97 %)	3 (3 %)
65,03/58,14	0,12	166	165 (99 %)	1 (1 %)
70,34/58,15	0,21	132	132 (100 %)	0 (0 %)
78,59/57,85	0,36	129	129 (100 %)	0 (0 %)
87,12/58,28	0,49	121	121 (100 %)	0 (0 %)

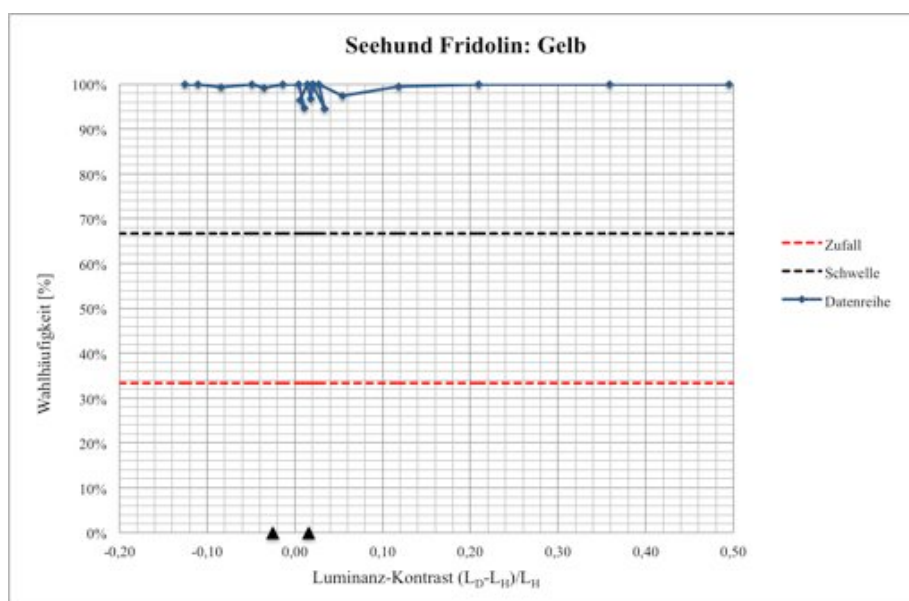


Abb. 4.13: Das Wahlverhalten des Seehundes Fridolin in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem gelben Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Auf der x-Achse ist der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ aufgetragen. L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks, L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, das Dreieck wird heller, je weiter der Wert sich im positiven Bereich befindet. Auf der y-Achse befindet sich die Wahlhäufigkeit in Prozent. Die zwei schwarzen Dreiecke zeigen den Bereich an, indem der Kontrast nicht erkannt wurde.

4.2.3.2. Ergebnis vom Seehund Angie

Bei der Farbe Gelb erzielte der Seehund Angie in allen Tests eine Trefferquote von 100 % (Tabelle 4.14). Die Wahlhäufigkeit als Funktion des Luminanz-Kontrastes $(L_D-L_H)/L_H$ wird der Abbildung 4.14 für Angie dargestellt.

Tabelle 4.14: Das Wahlverhalten des Seehundes Angie beim Test auf Gelb.

Spalte 1 zeigt die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes. Spalte 2 wird der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 listet die Anzahl der Versuchsdurchgänge (n) auf. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
51,73/59,15	-0,13	114	114 (100 %)	0 (0 %)
52,97/59,6	-0,11	123	123 (100 %)	0 (0 %)
54,82/59,89	-0,08	109	109 (100 %)	0 (0 %)
56,8/59,74	-0,05	141	141 (100 %)	0 (0 %)
57,8/59,33	-0,03	219	219 (100 %)	0 (0 %)
58,5/59,04	-0,01	116	116 (100 %)	0 (0 %)
58,93/57,61	0,02	205	205 (100 %)	0 (0 %)
59,25/58,41	0,01	160	160 (100 %)	0 (0 %)
59,29/58,44	0,01	108	108 (100 %)	0 (0 %)
59,31/58,07	0,02	133	133 (100 %)	0 (0 %)
59,36/59,02	0,02	88	88 (100 %)	0 (0 %)
59,35/58,31	0,01	109	109 (100 %)	0 (0 %)
59,7/58,64	0,02	180	180 (100 %)	0 (0 %)
59,86/59,26	0,01	141	141 (100 %)	0 (0 %)
60,51/58,64	0,03	130	130 (100 %)	0 (0 %)
60,71/57,12	0,06	117	117 (100 %)	0 (0 %)
65/57,57	0,13	75	75 (100 %)	0 (0 %)
70,15/57	0,23	142	142 (100 %)	0 (0 %)

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz- Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
78,59/57,85	0,36	137	137 (100 %)	0 (0 %)
87,7/57,88	0,52	138	138 (100 %)	0 (0 %)

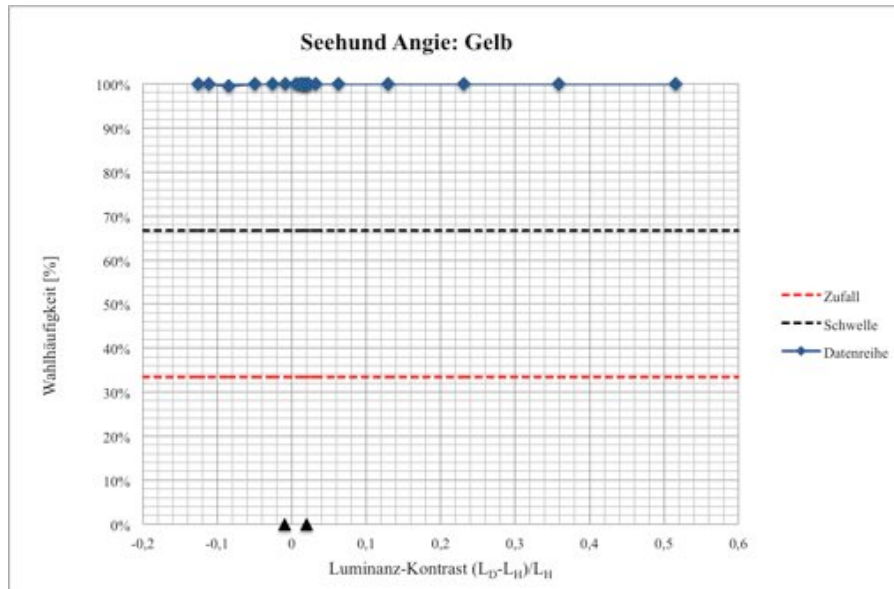


Abb. 4.14: Das Wahlverhalten des Seehundes Angie in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem gelben Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ wird auf der x-Achse aufgetragen. L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks, L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, das Dreieck wird heller, je weiter der Wert sich im positiven Bereich befindet. Auf der y-Achse befindet sich die Wahlhäufigkeit in Prozent. Die zwei schwarzen Dreiecke zeigen den Bereich an, indem der Kontrast nicht erkannt wurde (aus Abb. 4.2).

4.2.3.3. Ergebnis vom Seebär Otti

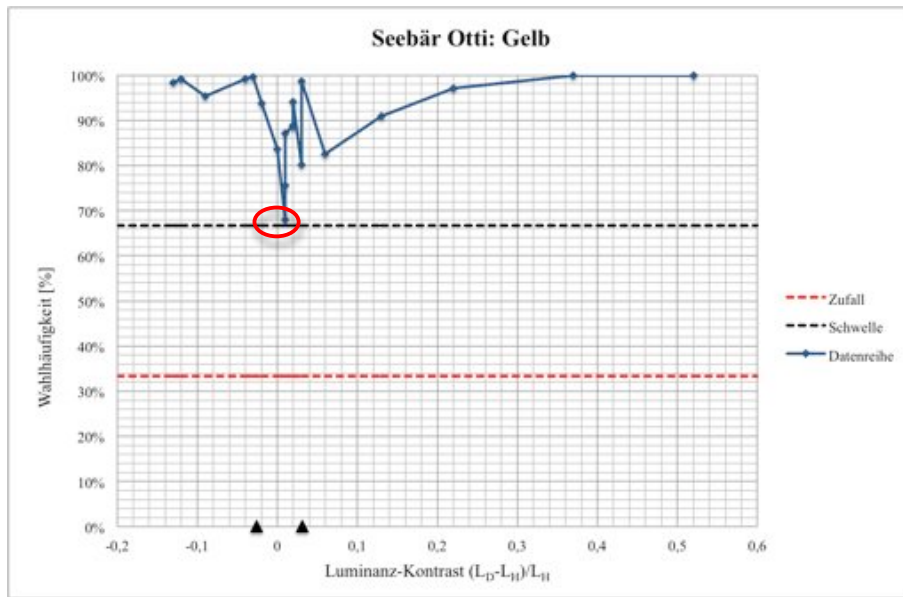
Eine Trefferquote zwischen 68 % und 100 % erzielte der Seebär Otte bei der Farbe Gelb (Tabelle 4.15). Auch hier wurde eine Testfolie (Dreieck/Hintergrund) 59,84/ 59,06 in der Paarungszeit präsentiert, wodurch er durch seine Unkonzentriertheit geringe Probleme aufwies (siehe Otte Farbsehen Grün Seite 77). Die Wahlhäufigkeit als Funktion des Luminanz-Kontrastes $(L_D-L_H)/L_H$ wird in der Abbildung 4.15 für Otte dargestellt.

Tabelle 4.15: Das Wahlverhalten des Seebären Otti beim Test auf Gelb.

Spalte 1 zeigt die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes. Rot markiert ist die Folie, die in der Paarungszeit verwendet wurde und er durch seine Unkonzentriertheit geringe Probleme aufwies. Spalte 2 wird der Luminanz- Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 listet die Anzahl der Versuchsdurchgänge (n) auf. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund (Luminanz- Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
52,16/59,65	-0,13	118	116 (98 %)	2 (2 %)
52,49/59,64	-0,12	111	110 (99 %)	1 (1 %)
54,22/59,56	-0,09	236	225 (95 %)	11 (5 %)
57,14/59,62	-0,04	123	122 (99 %)	1 (1 %)
57,27/58,9	-0,03	174	163 (94 %)	11 (6 %)
58,36/59,32	-0,02	159	149 (94 %)	10 (6 %)
58,73/58,78	0,00	128	107 (84 %)	21 (16 %)
58,97/58,38	0,01	168	127 (76 %)	41 (24 %)
59,15/57,59	0,03	148	146 (99 %)	2 (1 %)
59,23/58,15	0,02	185	164 (89 %)	21 (11 %)
59,25/58,71	0,01	140	122 (87 %)	18 (13 %)
59,31/58,07	0,02	152	135 (89 %)	17 (11 %)
59,84/59,06 Paarungszeit	0,01	125	85 (68 %)	40 (32 %)
59,7/58,64	0,02	253	238 (94 %)	15 (6 %)
60,15/58,53	0,03	141	113 (80 %)	28 (20 %)
61,46/58,09	0,06	120	99 (83 %)	21 (18 %)
64,8/57,57	0,13	166	151 (91 %)	15 (9 %)
70,3/57,69	0,22	140	136 (97 %)	4 (3 %)
78,44/57,42	0,37	129	136 (100 %)	0 (0 %)
87,39/57,56	0,52	134	134 (100 %)	0 (0 %)

a)



b)

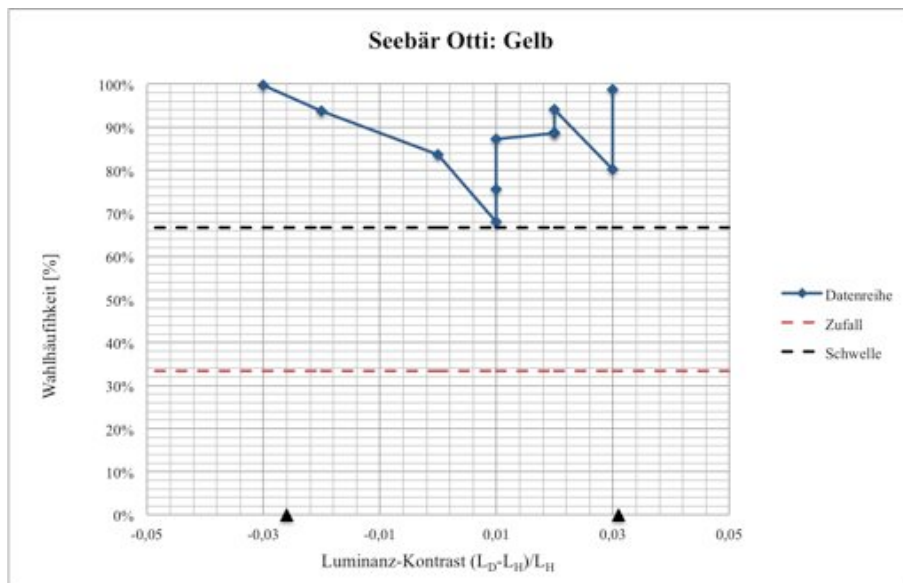


Abb. 4.15: Das Wahlverhalten des Seebären Otti in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem gelben Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Abbildung a) zeigt das gesamte Wahlverfahren der Testreihen vom Kontrastsehen. b) ist eine genauere Betrachtung, des Bereichen, indem der Seebär Probleme hatte den Kontrast zu sehen.

Auf der x-Achse ist der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ aufgetragen. L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks, L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes. Der Wert der mit einem roten Kreis umrandet ist gibt die Folie an, die in der Paarungszeit getestet wurde. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, das Dreieck wird heller, je weiter der Wert sich im positiven Bereich befindet. Auf der y-Achse befindet sich die Wahlhäufigkeit in Prozent. Die zwei schwarzen Dreiecke zeigen den Bereich an, indem der Kontrast nicht erkannt wurde (aus Abb. 4.3).

4.2.3.4. Ergebnis vom Seebär Nabi

Der Seebär Nabi erkannte das gelbe Dreieck auf dem grauen Hintergrund mit einer Häufigkeit von 77 % und 100 %. (Tabelle 4.16). Die Wahlhäufigkeit als Funktion des Luminanz-Kontrastes $(L_D-L_H)/L_H$ wird in der Abbildung 4.16 für Nabi dargestellt.

Tabelle 4.16: Das Wahlverhalten des Seebären Nabi beim Test auf Gelb.

In der Spalte 1 wird die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes gezeigt. Spalte 2 wird der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 listet die Anzahl der Versuchsdurchgänge (n) auf. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz- Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
52,16/59,65	-0,13	115	109 (95 %)	6 (5 %)
52,49/59,64	-0,12	129	114 (88 %)	15 (12 %)
54,22/59,56	-0,09	125	125 (100 %)	0 (0 %)
56,8/59,74	-0,05	119	107 (90 %)	12 (10 %)
57,27/58,9	-0,03	124	113 (91 %)	11 (9 %)
58,36/59,32	-0,02	134	118 (88 %)	16 (12 %)
58,9/57,77	0,02	99	93 (94 %)	6 (6 %)
58,97/58,38	0,01	118	114 (97 %)	4 (3 %)
59,07/58,11	0,02	108	108 (100 %)	0 (0 %)
59,15/57,59	0,03	132	130 (98 %)	2 (2 %)
59,23/58,15	0,02	107	107 (100 %)	0 (0 %)
59,35/59,02	0,01	150	148 (99 %)	2 (1 %)
59,36/58,31	0,02	137	122 (89 %)	15 (11 %)
59,86/59,26	0,01	117	108 (92 %)	9 (8 %)
60,03/57,88	0,04	127	127 (100 %)	0 (0 %)
61,6/58,42	0,05	177	142 (80 %)	35 (20 %)
64,93/57,9	0,12	94	72 (77 %)	22 (23 %)
70,15/57	0,23	165	138 (84 %)	27 (16 %)
78,34/57,87	0,35	105	103 (98 %)	2 (2 %)
87,6/58,26	0,50	135	125 (93 %)	10 (7 %)

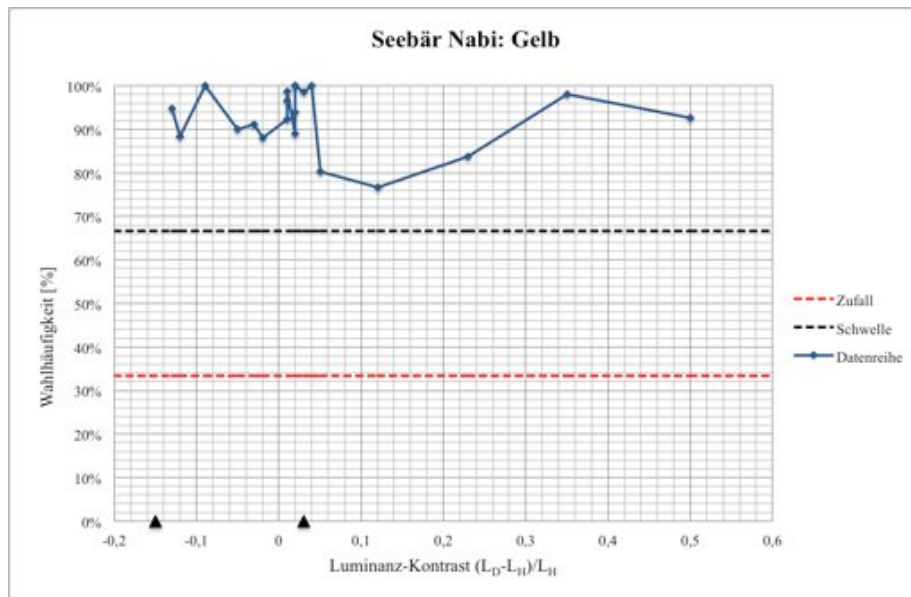


Abb. 4.16: Das Wahlverhalten des Seebären Nabi in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem gelben Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Auf der x-Achse ist der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ aufgetragen. L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks, L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, das Dreieck wird heller, je weiter der Wert sich im positiven Bereich befindet. Auf der y-Achse befindet sich die Wahlhäufigkeit in Prozent. Die zwei schwarzen Dreiecke zeigen den Bereich an, indem der Kontrast nicht erkannt wurde (aus Abb. 4.4).

4.2.4. Testreihe Orange

4.2.4.1. Ergebnis Seehund Fridolin

In den Testreihen der Farbe Orange erzielte der Seehund Fridolin eine Trefferquote von 100 % (Tabelle 4.17). Die Wahlhäufigkeit als Funktion des Luminanz-Kontrastes $(L_D-L_H)/L_H$ wird in der Abbildung 4.17 für Fridolin dargestellt.

Tabelle 4.17: Das Wahlverhalten des Seehundes Fridolin beim Test auf Orange.

Spalte 1 zeigt die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes. Spalte 2 wird der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 listet die Anzahl der Versuchsdurchgänge (n) auf. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminancewerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
44,13/63,55	-0,31	156	156 (100 %)	0 (0 %)
45,57/63,18	-0,28	211	211 (100 %)	0 (0 %)
47,85/63,37	-0,24	127	127 (100 %)	0 (0 %)
49,64/63,57	-0,22	152	152 (100 %)	0 (0 %)
51,67/63,43	-0,19	128	128 (100 %)	0 (0 %)
53,47/63,35	-0,16	89	89 (100 %)	0 (0 %)

Folien Luminancewerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz- Kontrast (L_D-L_H)/ L_H	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
55,07/63,59	-0,13	110	110 (100 %)	0 (0 %)
56,21/63,57	-0,12	182	182 (100 %)	0 (0 %)
57,2/63,56	-0,10	95	95 (100 %)	0 (0 %)
57,55/63,73	-0,10	124	124 (100 %)	0 (0 %)
58,07/63,36	-0,08	115	115 (100 %)	0 (0 %)
58,32/63,83	-0,09	110	110 (100 %)	0 (0 %)
58,35/63,82	-0,09	104	104 (100 %)	0 (0 %)
58,36/63,87	-0,09	109	109 (100 %)	0 (0 %)
58,68/63,62	-0,08	99	99 (100 %)	0 (0 %)
58,78/63,92	-0,08	109	109 (100 %)	0 (0 %)
58,93/63,53	-0,07	112	112 (100 %)	0 (0 %)
59,3/63,44	-0,07	156	156 (100 %)	0 (0 %)
60,46/63,59	-0,05	128	128 (100 %)	0 (0 %)
62,15/63,26	-0,02	132	132 (100 %)	0 (0 %)
63,38/63,8	-0,01	101	101 (100 %)	0 (0 %)
64/63,5	0,01	99	99 (100 %)	0 (0 %)
64,94/63,07	0,03	132	132 (100 %)	0 (0 %)
66,02/63,72	0,04	114	114 (100 %)	0 (0 %)
68,18/63,4	0,08	147	147 (100 %)	0 (0 %)

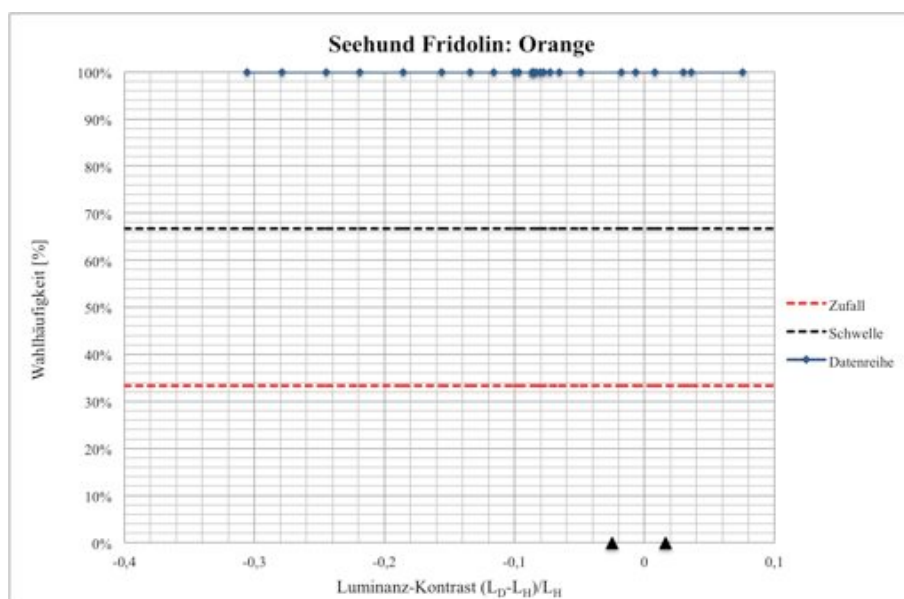


Abb. 4.17: Das Wahlverhalten des Seehundes Fridolin in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast (L_D-L_H)/ L_H zwischen dem orangenen Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Auf der x-Achse ist der Luminanz-Wert (L_D-L_H)/ L_H aufgetragen. L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks,

L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, das Dreieck wird heller, je weiter der Wert sich im positiven Bereich befindet. Auf der y-Achse befindet sich die Wahlhäufigkeit in Prozent. Die zwei schwarzen Dreiecke zeigen den Bereich an, indem der Kontrast nicht erkannt wurde (aus Abb. 4.1)

4.2.4.2. Ergebnis vom Seehund Angie

Der Seehund Angie erzielte eine Trefferquote von 100 % bei allen Tests mit der Farbe Orange (Tabelle 4.18). Abbildung 4.18 zeigt die Wahlhäufigkeit als Funktion des Luminanz-Kontrastes $(L_D-L_H)/L_H$ für Angie.

Tabelle 4.18: Das Wahlverhalten des Seehundes Angie beim Test auf Orange.

In Spalte 1 wird die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes gezeigt. Spalte 2 wird der Luminanz- Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 listet die Anzahl der Versuchsdurchgänge (n) auf. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
44,13/63,55	-0,31	153	153 (100 %)	0 (0 %)
45,64/63,47	-0,28	123	123 (100 %)	0 (0 %)
47,98/63,25	-0,24	137	137 (100 %)	0 (0 %)
49,72/63,4	-0,22	125	125 (100 %)	0 (0 %)
51,8/63,11	-0,19	115	115 (100 %)	0 (0 %)
53,84/63,67	-0,16	134	134 (100 %)	0 (0 %)
55,29/63,57	-0,13	93	93 (100 %)	0 (0 %)
56,45/63,56	-0,12	112	112 (100 %)	0 (0 %)
56,47/63,71	-0,10	122	122 (100 %)	0 (0 %)
56,89/63,8	-0,10	111	111 (100 %)	0 (0 %)
58/63,85	-0,08	94	94 (100 %)	0 (0 %)
58,2/63,72	-0,09	121	121 (100 %)	0 (0 %)
58,37/63,48	-0,09	113	113 (100 %)	0 (0 %)
58,43/63,59	-0,09	128	128 (100 %)	0 (0 %)
58,57/63,48	-0,08	122	122 (100 %)	0 (0 %)
58,77/63,77	-0,08	145	145 (100 %)	0 (0 %)
58,92/63,8	-0,07	252	252 (100 %)	0 (0 %)
59,56/63,36	-0,07	122	122 (100 %)	0 (0 %)
60,46/63,59	-0,05	119	119 (100 %)	0 (0 %)
62,15/63,26	-0,02	121	121 (100 %)	0 (0 %)

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
63,32/63,52	-0,01	136	136 (100 %)	0 (0 %)
64/63,5	0,01	130	130 (100 %)	0 (0 %)
65/63,2	0,03	131	131 (100 %)	0 (0 %)
66,02/63,72	0,04	135	135 (100 %)	0 (0 %)
68,18/63,4	0,08	141	141 (100 %)	0 (0 %)

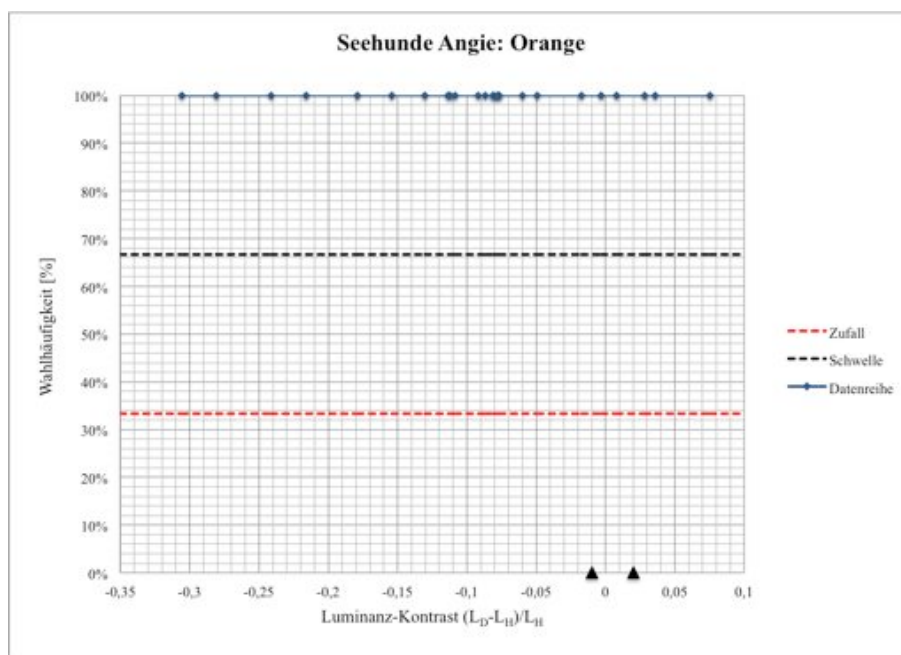


Abb. 4.18: Das Wahlverhalten des Seehundes Angie in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem orangenen Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Auf der x-Achse ist der Luminanz-Wert $(L_D-L_H)/L_H$ aufgetragen. L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks, L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, das Dreieck wird heller, je weiter der Wert sich im positiven Bereich befindet. Auf der y-Achse befindet sich die Wahlhäufigkeit in Prozent. Die zwei schwarzen Dreiecke zeigen den Bereich an, indem der Kontrast nicht erkannt wurde (aus Abb. 4.2).

4.2.4.3. Ergebnis vom Seebär Otti

Der Seebär Otti erzielt eine Trefferquote bei der Farbe Orange zwischen 86 % und 100 % (Tabelle 4.19). Abbildung 4.19 zeigt die Wahlhäufigkeit als Funktion des Luminanz-Kontrastes $(L_D-L_H)/L_H$ für Otti.

Tabelle 4.19: Das Wahlverhalten des Seebären Otti beim Test auf Orange.

Spalte 1 zeigt die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes. Spalte 2 wird der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 listet die Anzahl der Versuchsdurchgänge (n) auf. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz- Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
43,63/62,75	-0,30	146	126 (86 %)	20 (14 %)
45,57/63,18	-0,28	132	126 (95 %)	6 (5 %)
48,23/63,48	-0,24	146	135 (92 %)	11 (8%)
50,18/63,29	-0,21	115	112 (97 %)	3 (3%)
51,86/63,28	-0,18	123	111 (90 %)	12 (10 %)
53,84/63,67	-0,15	118	115 (97 %)	3 (3 %)
55,29/63,57	-0,13	128	120 (94 %)	8 (6 %)
56,80/63,54	-0,11	133	114 (86 %)	19 (14%)
57,2/63,5	-0,10	112	108 (96 %)	4 (4 %)
57,47/63,71	-0,10	129	120 (92 %)	9 (8 %)
58,2/63,72	-0,09	136	131 (96 %)	5 (4 %)
58,25/63,96	-0,09	77	77 (100 %)	0 (0 %)
58,37/63,48	-0,08	141	141 (100%)	0 (0 %)
58,43/63,59	-0,08	114	110 (97 %)	4 (3 %)
58,47/63,48	-0,08	137	130 (94 %)	7 (6 %)
58,78/63,92	-0,08	167	149 (88%)	18 (12 %)
58,99/64,03	-0,08	54	50 (93 %)	4 (7 %)
59,3/63,44	-0,07	132	130 (98 %)	2 (2 %)
60,64/63,4	-0,04	88	87 (99 %)	1 (1 %)
62,32/63,67	-0,02	116	109 (94 %)	7 (6 %)
63,38/63,8	-0,01	123	120 (98 %)	10 (2 %)
63,68/63,53	0,00	106	106 (100 %)	0 (0%)
64,94/63,8	0,02	142	142 (100 %)	0 (0 %)
65,77/63,29	0,04	126	117 (93 %)	9 (7 %)
68,14/63,64	0,07	318	310 (98 %)	8 (3 %)

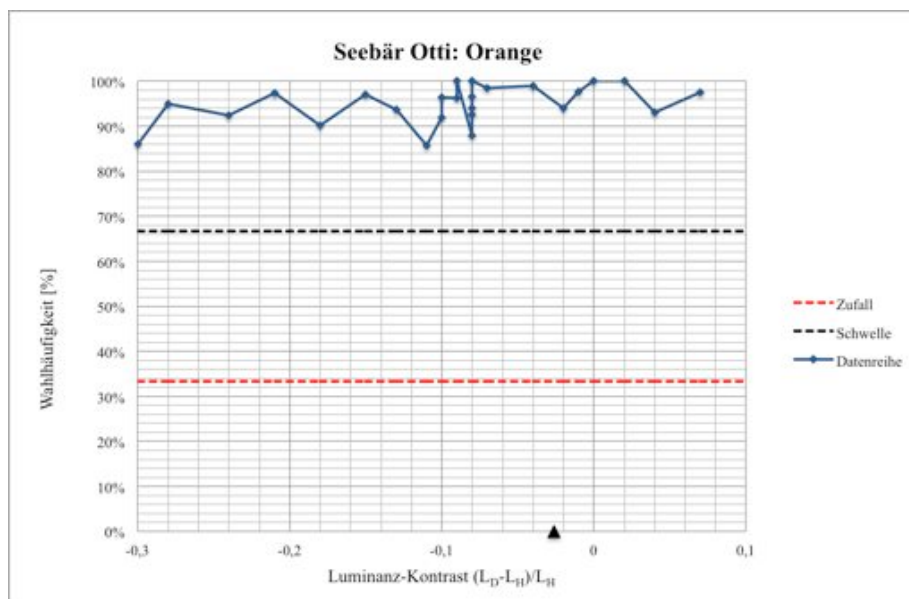


Abb. 4.19: Das Wahlverhalten des Seebären Otti in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem orangenen Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Auf der x-Achse ist der Luminanz-Wert $(L_D-L_H)/L_H$ aufgetragen. L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks, L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, das Dreieck wird heller, je weiter der Wert sich im positiven Bereich befindet. Auf der y-Achse befindet sich die Wahlhäufigkeit in Prozent. Das schwarze Dreieck zeigt den Bereich an, indem der Kontrast nicht erkannt wurde. Das zweite Dreieck liegt außerhalb der x-Achsen Skalierung, deshalb ist es nicht eingezeichnet.

4.2.4.4. Ergebnis vom Seebär Nabi

Bei der Farbe Orange kommt es bei dem Seebär Nabi zu einer Trefferquote zwischen 76 % und 100 % (Tabelle 4.20). Die Wahlhäufigkeit als Funktion des Luminanz-Kontrastes $(L_D-L_H)/L_H$ für Nabi wird in der Abbildung 4.20 dargestellt.

Tabelle 4.20: Das Wahlverhalten des Seebären Nabi beim Test auf Orange.

In Spalte 1 wird die Leuchtdichte des Dreieckes und des Hintergrundes dargestellt. Spalte 2 wird der Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ dargestellt. Spalte 3 listet die Anzahl der Versuchsdurchgänge (n) auf. In Spalte 4 und 5 stehen die absoluten Wahlentscheidungen für die richtige und die falsche Wahl, dabei sind die Wahlen prozentual in den Klammern dargestellt.

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
43,63/62,75	-0,30	126	118 (94 %)	8 (6 %)
45,95/63,5	-0,28	150	136 (91 %)	14 (9 %)
48,32/63,49	-0,24	136	130 (96 %)	6 (4 %)
49,72/63,40	-0,22	102	98 (96 %)	4 (4 %)
52,43/63,62	-0,18	129	122 (95 %)	7 (5 %)
53,31/63,06	-0,15	132	124 (94 %)	8 (6 %)

Folien Luminanzwerte Dreieck / Hintergrund	Luminanz- Kontrast (L_D-L_H)/L_H	n (Anzahl der Versuche)	Positiv	Negativ
55,29/63,57	-0,13	115	115 (100 %)	0 (0 %)
56,45/63,56	-0,11	145	131 (90 %)	14 (10 %)
56,89/63,8	-0,11	89	89 (100 %)	0 (0 %)
57,47/63,70	-0,10	167	155 (93 %)	12 (7 %)
58,2/63,72	-0,09	129	128 (99 %)	1 (1 %)
58,32/63,83	-0,09	139	133 (76 %)	6 (4 %)
58,37/63,48	-0,08	127	124 (98 %)	3 (2 %)
58,43/63,58	-0,08	125	125 (100 %)	0 (0 %)
58,47/63,48	-0,08	141	135 (96 %)	6 (4 %)
58,78/63,92	-0,08	156	144 (92 %)	12 (8 %)
58,99/64,03	-0,08	124	117 (94 %)	7 (6 %)
59,3/63,44	-0,07	104	100 (96 %)	4 (4 %)
60,46/63,59	-0,05	139	124 (89 %)	15 (11 %)
61,9/63,64	-0,03	173	164 (95 %)	9 (5 %)
63,38/63,8	-0,01	132	127 (96 %)	5 (4 %)
63,93/63,5	0,01	131	119 (91 %)	12 (9 %)
65,36/63,74	0,03	127	123 (97 %)	4 (3 %)
66,02/63,72	0,04	143	136 (95 %)	7 (5 %)
68,18/63,4	0,08	130	124 (95 %)	6 (5 %)

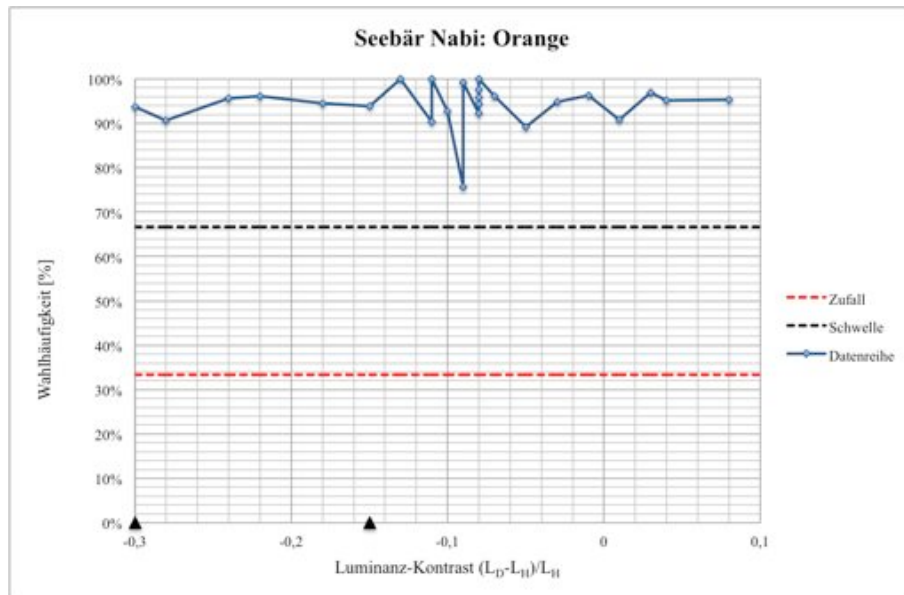


Abb. 4.20: Das Wahlverhalten des Seebären Nabi in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem orangenen Dreieck und dem grauen Hintergrund.

Auf der x-Achse ist der Luminanz-Wert $(L_D-L_H)/L_H$ aufgetragen. L_D = Luminanz-Wert des Dreiecks, L_H = Luminanz-Wert des Hintergrundes. Je weiter der Wert in den negativen Bereich reicht, umso dunkler wird das Dreieck, das Dreieck wird heller, je weiter der Wert sich im positiven Bereich befindet. Auf der y-Achse befindet sich die Wahrscheinlichkeit in Prozent. Die zwei schwarzen Dreiecke zeigen den Bereich an, indem der Kontrast nicht erkannt wurde (aus Abb. 4.4).

5. Diskussion

In der heutigen Zeit besiedeln über dreißig Arten von Robben die unterschiedlichsten Meeresregionen der Erden. In der Evolutionsgeschichte stammen sie ursprünglich von den Landraubtieren ab. Vor Millionen von Jahren passten sie sich durch verschiedene Besonderheiten in Körperbau und Stoffwechsel an ein Leben im Wasser (Zoo Augsburg, n.d.). Das Sehsystem von Robben ist außergewöhnlich, denn sie besitzen auf Grund eines Gendefekts nur einen Zapfentyp. Deshalb gehören sie eigentlich zu den Monochromaten (Crognale et al., 1998; Peichl & Moutairou, 1998). Eine Studie von Peichl *et al* zeigt, dass auch den nicht verwandten marinen Säugetieren der S-Zapfen fehlt. Daraus kann man schließen, dass das Fehlen des S-Zapfen eine konvergente Anpassung ist, die eigentlich ein Selektionsvorteil sein sollte (Peichl et al., 2001). Jedoch kann man keinen Vorteil darin erkennen, dass es zu einem Verlust des S-Zapfen kam. Der S-Zapfen wäre für ein Leben im Wasser am besten geeignet, da dieser auf kurzwelliges Licht reagiert, welches in den Tiefen der Ozeane vorhanden ist (Griebel & Peichl, 2003; Newman & Robinson, 2005). In der Evolutionsgeschichte besiedelten jedoch die Vorfahren der marinen Säuger nur die küstennahen Regionen, wo vorwiegend langwelliges Licht herrscht und der Verlust des S-Zapfen nicht tragend war (Newman & Robinson, 2005). Im Laufe der Zeit eroberten sie auch das offene Meer und es scheint so als könnte dieser Gendefekt nicht mehr behoben werden (Fasick & Robinson, 1998).

Die Zapfen sind für das Sehen am Tage zuständig und ermöglichen das Farbsehen. Die minimale Voraussetzung für das Farbsehen sind zwei Klassen von Photorezeptoren, welche jeweils unterschiedliche Photopigmente beinhalten (Hunt, Carvalho, Cowing, & Davies, 2009). Bei den Robben ist das visuelle System auf nur zwei Rezeptortypen begrenzt, auf Stäbchen und M/L-Zapfen. Das bedeutet, dass Robben eigentlich farbenblind sein müssten (Griebel & Peichl, 2003).

Diese Doktorarbeit baut auf die Diplomarbeit „Dressur -experimente zum Kontrastsehen und Farbsehen mariner Säugetiere“ (Oppermann, 2009) auf und unterstützt die bisherigen Erkenntnisse von Verhaltensuntersuchungen über das Kontrast- und das Farbsehen bei Robben. Da in der Diplomarbeit jeweils nur ein Tier von jeder Art getestet wurde, wurde jetzt die Anzahl der Tiere erhöht, damit die Ergebnisse mehr Aussagekraft erhielten. Es wurden jeweils zwei Tiere von jeder Art genommen. Die Testreihen wurden unter freiem Himmel durchgeführt, das bedeutet,

dass jeden Tag verschiedene Lichtverhältnisse existierten, und dass das Wahlverhalten der Tiere durch Sonne, Regen oder Schnee beeinflusst wurde. Um eine Beeinflussung des Lichtes abschätzen zu können, wurden am Anfang der Versuche eine Zeit lang mit einem Lichtmessgerät *Photo Research Model PR-650* die Lichtverhältnisse gemessen. Als Resultat kam heraus, dass verschiedene Lichtverhältnisse (Sonnen, Regen oder Schnee) keinen Einfluss auf die Wahlentscheidung der Tiere hatten. Da jedem Tier immer drei Folien gleichzeitig gezeigt wurden, einen als Dressurreiz und zwei als negativen Reiz, entstand ein Verhältnis von 1:2 in jeder Testreihe. Das Zufallsniveau lag deshalb bei 33,3%. Bei 66 % wurde die Schwelle festgelegt. Lag das Tier mit den Wahlentscheidungen über dieser Schwelle so wurde geschlossen, dass er das Dreieck erkannt hatte.

5.1. Kontrastsehen

Im ersten Teil dieser Arbeit wurde die Kontrastwahrnehmung von Robben getestet. Es wurden den Tieren drei Folien präsentiert, die erste Folie besaß ein Dreieck in verschiedenen Grautönen auf einem homogenen Hintergrund welches gegen zwei weitere homogen graue Folien gezeigt wurde.

Folgende Tabelle 5.1. zeigt, bei welchem Luminanz-Kontrast die Tiere das Dreieck nicht mehr erkennen konnten.

Tabelle 5.1: Kontrastsehen

Die Tabelle zeigt die Folien und deren Bereiche bei denen die Tiere den Kontrast nicht mehr gesehen haben.

Tiere	Luminanz-Werte der Folien Dreieck / Hintergrund	Luminanz-Kontrast zwischen dem grauen Dreieck und grauen Hintergrund
Fridolin	63,35/62,99 63,54/64,12	-0,025 – 0,016
Angie	57,51/57,52 57,82/56,68	-0,01 – 0,02
Otti	63,68/64,55 64,61/63,58	-0,026 – 0,031
Nabi	57,21/65,01 57,51/57,52 57,82/56,58	-0,15 – 0,03

Durch die Versuchsergebnisse vom Kontrastsehen war nun bekannt in welchen Bereichen die verschiedenen Tiere eine Kontrastunterscheidung nicht mehr treffen können. Dadurch kann man abschätzen, wie sich die Tiere beim Farbsehen verhalten müssten, wenn keine Farbe wahrgenommen wird und die Wahlentscheidung nur auf der Kontrastwahrnehmung beruht.

Es muss berücksichtigt werden, dass die Luminanz-Werte des Spektralphotometers auf das Sehsystem des Menschen bezogen sind. Sie sind mit der V_λ -Funktion, der

Hellempfindlichkeitsfunktion gewichtet. Abb. 5.1 zeigt die V_λ -Funktion des Menschen im Vergleich mit der spektralen Empfindlichkeit des M/L-Zapfens. Beide Funktionen haben ihr Maximum bei 550 bzw. 552 nm. Die Flanken der V_λ -Funktion sind leicht zu längeren Wellenlängen verschoben. Um sicher zu gehen, dass die Detektion des farbigen Dreiecks nicht auf dem Zapfenkontrast oder einem Stäbchenkontrast beruht, wurden im Folgenden die Kontrastwerte für den M/L-Zapfen und für das Stäbchen berechnet.

Das Absorptionsmaximum (λ_{\max}) der Stäbchen von einem Seehund (*Phoca vitulina*) befindet sich bei 496 nm (Griebel et al., 2006; Lavigne & Ronald, 1975a, 1975b) und das der Zapfen bei 552 nm (Levenson et al., 2006).

Studien über die Absorptionsmaxima von Stäbchen und Zapfen eines Südafrikanischen Seebären (*Arctocephalus pusillus*) existieren bis heute nicht. Bei den Untersuchungen der beiden Arten Südafrikanischen Zwergseebär und Seehund kam es jedoch zu keinen großen Unterschieden, weshalb die Absorptionsmaxima des Zapfen und der Stäbchen des Seehundes für den Seebär 1:1 übernommen werden können.

Wenn das Absorptionsmaximum (λ_{\max}) vorhanden ist, kann man das Absorptionsspektrum eines Sehpigment mit einer Formel von Govardovskii et al. (2000) berechnen. Govardovskii hat eine Studie durchgeführt, in der er von Amphibien, Reptilien und Fischen durch mikrospektrophometrische Messungen die Absorptionsspektren von 39 verschiedenen Stäbchen- und Zapfentypen bestimmt hat. Die Absorptionsmaxima (λ_{\max}) liegen zwischen 357 nm und 620 nm. Da alle Spektren auf der gleichen Grundformel basieren kann man jedes beliebige Absorptionsspektrum eines Sehpigments, wenn man dessen Absorptionsmaximum kennt, berechnen (Govardovskii, Fyhrquist, Reuter, Kuzmin, & Donner, 2000).

In dieser Arbeit wurden die Absorptionsspektren der Zapfen und die Stäbchen vom Seehund und vom Seebär mit dieser Formel errechnet und graphisch dargestellt (Abb. 5.1).

$$S(x) = 1/\exp[A(a-x)]+\exp[B(b-x)]+\exp[C(c-x)]+D$$

($x=\lambda_{\max}/\lambda$, $A = 69,7$, $a = 0,88$, $B = 28$, $b = 0,922$, $C = -14,9$, $c = 1,104$, $D = 0,674$
(Govardovskii et al., 2000))

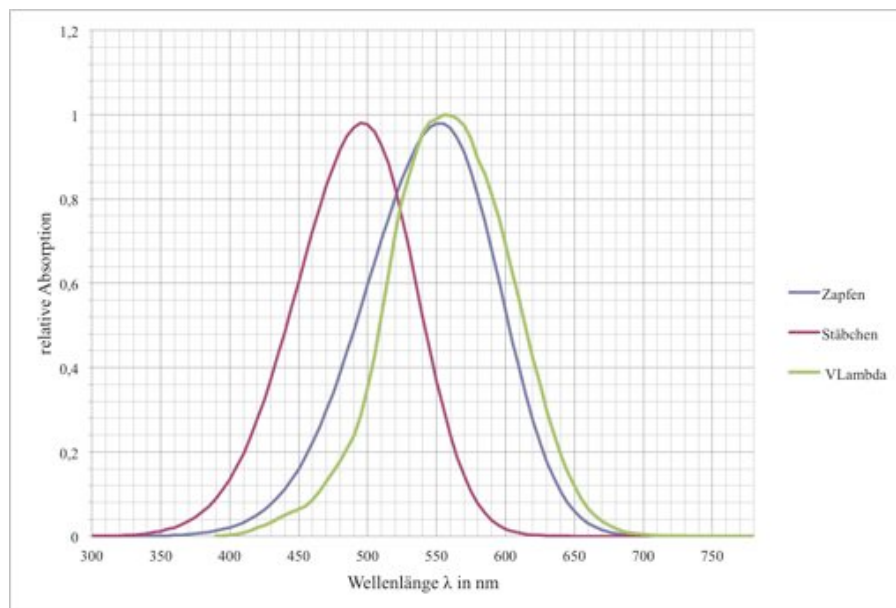


Abb. 5.1: Absorptionsspektrum von Zapfen und Stäbchen von *Phoca vitulina* und *Arctocephalus Pusillus* und V_{Λ} .

Das Absorptionsmaximum des Zapfens liegt bei 552 nm, des Stäbchen bei 496 nm. Auf der x-Achse ist die Wellenlänge λ bei 550 nm angegeben und die y-Achse zeigt die relative Absorption an.

Die dazugehörigen Daten befinden sich in der dieser Arbeit beiliegenden CD („ergänzendes Material“).

5.1.1. Erregungskontraste von Zapfen und Stäbchen

Zur Feststellung, wie stark der Zapfen und das Stäbchen vom Dreieck und Hintergrund erregt werden, müssen die Remissionswerte im Wellenlängenbereich 300 bis 700 nm mit den Absorptionswerten des Zapfen beziehungsweise des Stäbchen multipliziert werden. Die dazugehörigen Daten befinden sich in der dieser Arbeit beiliegenden CD („ergänzendes Material“)

$$E_Z = \int r_z(\lambda) \cdot \beta(\lambda) \, d\lambda$$

$$E_{St} = \int r_{St}(\lambda) \cdot \beta(\lambda) \, d\lambda$$

r_z = die spektrale Empfindlichkeit der Zapfen; r_{St} = die spektrale Empfindlichkeit der Stäbchen

$\beta(\lambda)$ = die spektrale Remission des Papiers

Das Integral wird durch die Summe approximiert und wird für jeden 5 nm berechnet.

Der Kontrast berechnet sich gemäß

$$K = (E_D - E_H) / E_H$$

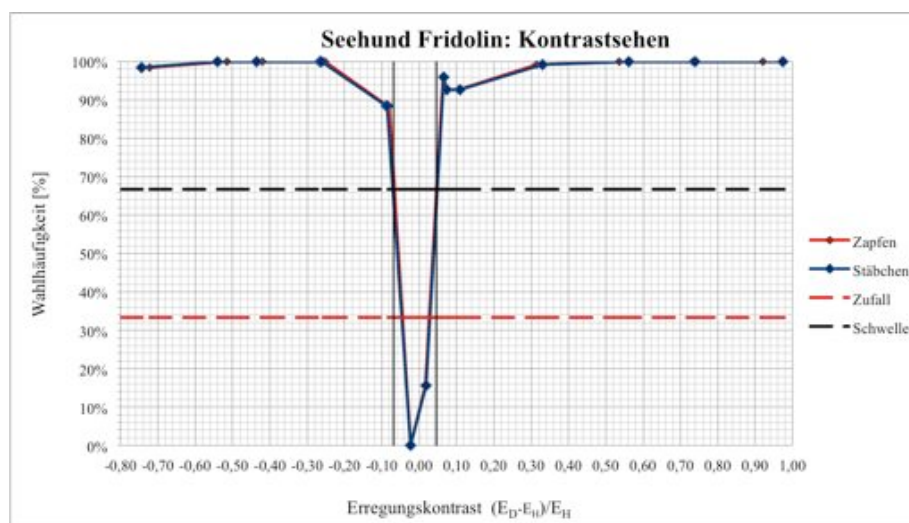
Um sicher zu gehen, dass die Detektion des farbigen Dreiecks nicht lediglich auf einem Erregungskontrast von Zapfen oder Stäbchen beruht, wurde die Werte zunächst für das Kontrastsehen berechnet und in Abb. 5.2 und 5.3 dargestellt.

Erregungskontrast beim Kontrastsehen

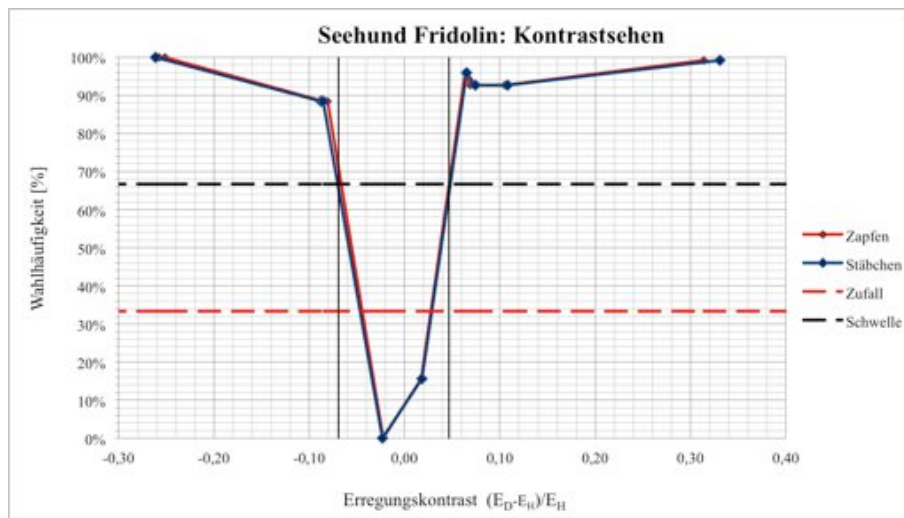
5.1.2. Seehunde

Der Erregungskontrast des Zapfen und der Stäbchen von Fridolin wurden bereits in der Diplomarbeit berechnet (Oppermann, 2009) (Abb. 5.2).

a)



b)



c)

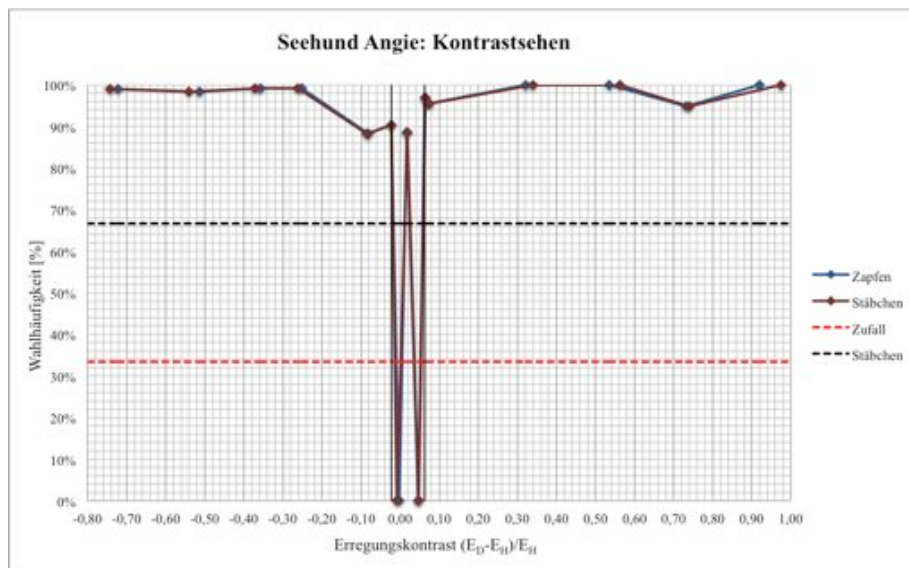


Abb. 5.2: Wahlhäufigkeit als Funktion des Erregungskontrastes $(E_D - E_H)/E_H$ des Seehundes a) & b) Fridolin und c) Angie beim Kontrastsehen (Oppermann,2009).

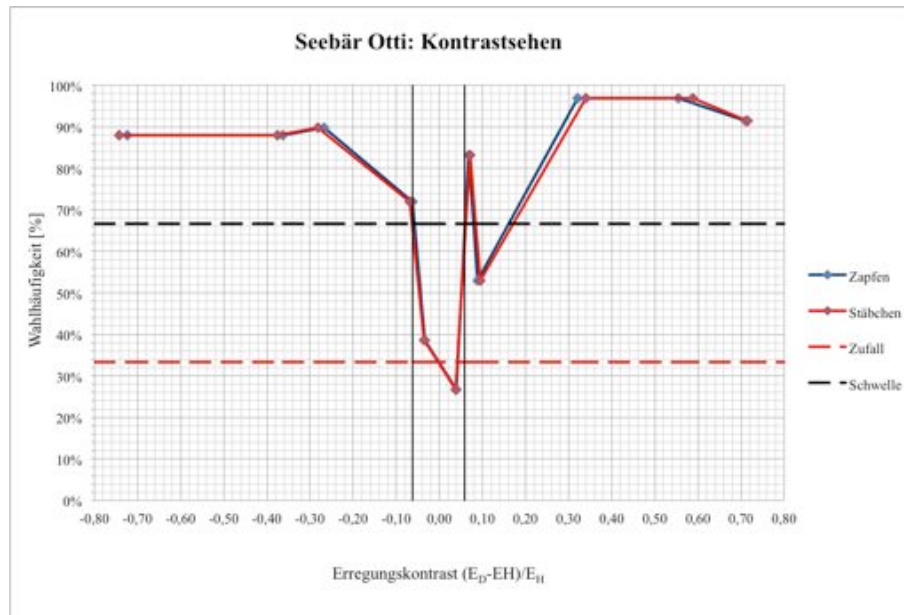
Die x-Achse bestimmt den Erregungskontrast der Zapfen (rot) und der Stäbchen (blau). Mit zwei schwarzen Balken ist der Bereich gekennzeichnet, indem die Wahlhäufigkeit unter die Schwelle von 66 % fällt. b) ist ein Ausschnitt von a).

a) & b) Im Bereich von -0,069 und 0,047 kann der Seehund Fridolin den Kontrast nicht mehr wahrnehmen. c) Im Bereich von -0,02 und 0,06 kann das Seehundweibchen den Kontrast nicht mehr sehen. Die dazugehörigen Daten für den Seehund Fridolin befinden sich im Anhang der Diplomarbeit (Oppermann, 2009) (Tabelle 15), für den Seehund Angie im Anhang (Tabelle 10.5).

5.1.3. Seebären

Der Erregungscontrast des Zapfen und der Stäbchen von dem Seebär Otti wurden bereits in der Diplomarbeit berechnet (Oppermann, 2009) (Abb. 5.4).

a)



b)

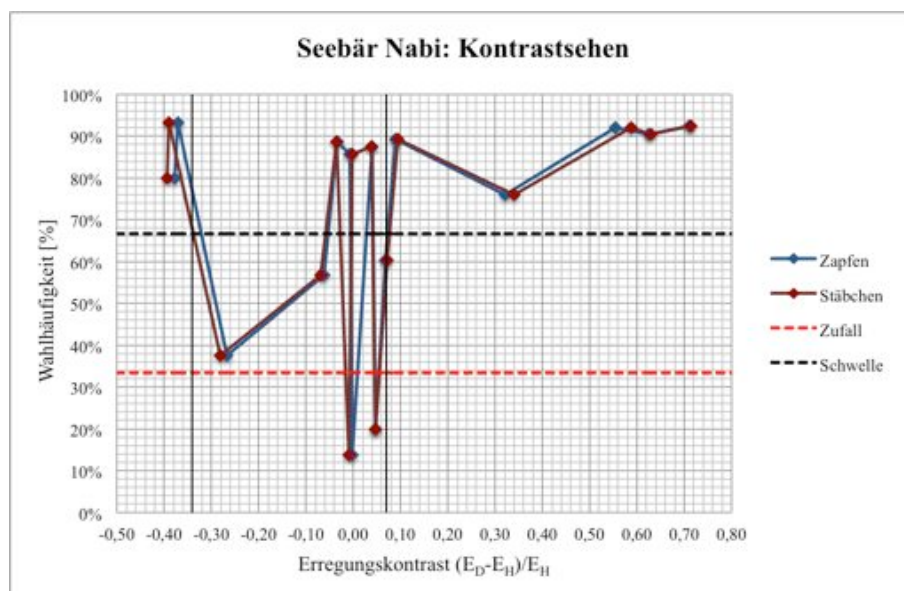


Abb. 5.3: Wahlhäufigkeit als Funktion des Erregungscontrast $(E_D-E_H)/E_H$ des Seebären a) Otti und b) Nabi beim Kontrastsehen (Oppermann, 2009).

Die x-Achse bestimmt den Erregungscontrast der Zapfen (blau) und der Stäbchen (rot). a) Im Bereich -0,062 und 0,059 sind zwei schwarze Balken eingezeichnet, die den Bereich kennzeichnen indem die Wahlhäufigkeit unter die Schwelle von 66 % getreten ist und dort der Seebär den Kontrast nicht mehr sicher wahrnehmen kann. b) Das Seebärweibchen Nabi kann in dem Bereich -0,34 und 0,07 des Kontrast nicht mehr sehen. Die dazugehörigen Daten des Seebären Otti befinden sich in der Diplomarbeit (Oppermann, 2009) im Anhang (Tabelle 13), für den Seebär Nabi, befinden sie sich in der dieser Arbeit beiliegenden CD („ergänzendes Material“).

Für die Detektion der grauen Dreiecke auf grauem Hintergrund lagen die Kontrastwerte an der Schwelle von 66 % zwischen 0,02 und 0,06 (Tabelle 5.2) Stäbchen und Zapfenkontrast unterschieden sich nicht wegen der gleichmäßigen Remission der grauen Papiere.

Tabelle 5.2. Kontrastwerte

Tiere	Kontrastwerte
Fridolin	-0,069 – 0,047
Angie	-0,02 – 0,06
Otti	-0,062 – 0,059
Nabi	-0,34 – 0,07

5.2. Farbensehen

Beim Farbensehen wurden die Farben Blau, Grün, Gelb und Orange getestet. Die Ergebnisse der Farbe Blau und Grün (Abb. 4.5 – 4.20) unterstützen die bisherigen Erkenntnisse von Verhaltensuntersuchungen über das Farbensehen von anderen Studien (Busch & Dücker, 1987; Freischmidt, 2007; Griebel & Schmid, 1992; Oppermann, 2009; Wartzok & McCormick, 1977). Die Ergebnisse zeigen, dass bei allen Farben, auch bei Gelb und Orange eine hohe Wahlhäufigkeit vorliegt, obwohl der Kontrast bei Null liegt.

Für alle Farben wurden die Erregungskontraste für Zapfen und Stäbchen berechnet und alle in Kapitel 4 gezeigten Ergebnisse als Funktion dieser Kontrastwerte noch einmal dargestellt.

5.2.1. Farbe Blau, Seehunde

Der Erregungskontrast des Zapfen und der Stäbchen von Fridolin wurden bereits in der Diplomarbeit berechnet (Oppermann, 2009) (Abb. 5.4).

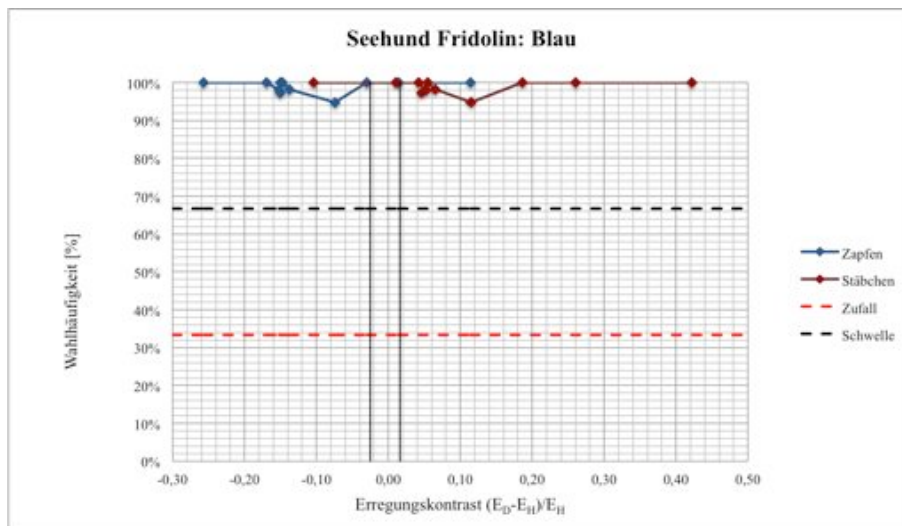


Abb. 5.4: Wahlhäufigkeit als Funktion des Erregungscontrastes $(E_D - E_H)/E_H$ des Seehundes Fridolin bei der Farbe Blau (Oppermann, 2009).

Die x-Achse bestimmt den Erregungscontrast der Zapfen und der Stäbchen. Die Wahlhäufigkeit wird auf der y-Achse aufgetragen. Die zwei Linien über der x-Achse zeigen den Bereich an, indem der Seehund beim Kontrastsehen keine Unterscheidung treffen. Die dazugehörigen Tabellen befinden sich in der Diplomarbeit (Oppermann, 2009) im Anhang (Tabelle 16).

Der Erregungscontrast $(E_D - E_H)/E_H$ des Seehundes Angie für das Farbsehen Blau wird in der Abbildung 5.5 dargestellt.

Die zwei schwarzen Balken im Bereich zwischen -0,02 und 0,06 auf der x-Achse geben den Bereich an, bei dem der Seehund Angie bei den Versuchen zum Kontrastsehen das Dreieck vom Hintergrund nicht mehr unterscheiden konnte. Würde Angie das blaue Dreieck auf dem grauen Hintergrund durch das Kontrastsehen auswählen, so müsste es in diesem Bereich zu einem Einbruch der Wahlhäufigkeit kommen, woraus man dann schließen könnte, dass sie das Dreieck nicht mehr wahrnimmt. Dies ist jedoch nicht der Fall, wie es in der Abbildung 5.5 gezeigt wird. Das deutet darauf hin, dass Angie die Farbe Blau als Farbe erkennt und zwei Rezeptoren (Zapfen und Stäbchen) mitwirken.

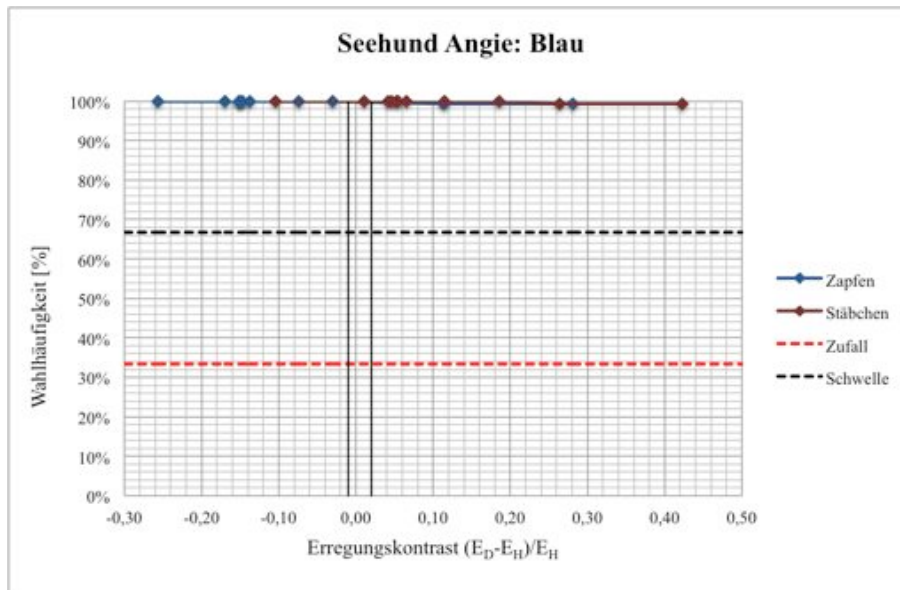


Abb. 5.5: Wahlhäufigkeit als Funktion des Erregungskontrastes $(E_D-E_H)/E_H$ des Seehundes Angie bei der Farbe Blau.

Die x-Achse bestimmt den Erregungskontrast der Zapfen (blau) und der Stäbchen (rot). Die Wahlhäufigkeit wird auf der y-Achse aufgetragen. Die zwei schwarzen Balken geben den Bereich an, indem Angie beim Kontrastsehen keine Unterscheidung mehr machen konnte. Die dazugehörigen Tabellen befinden sich im Anhang (Tabelle 10.6).

5.2.2 Farbe Blau, Seebären

Der Erregungskontrast des Zapfen und der Stäbchen von Otti wurden bereits in der Diplomarbeit berechnet (Oppermann, 2009) (Abb. 5.6).

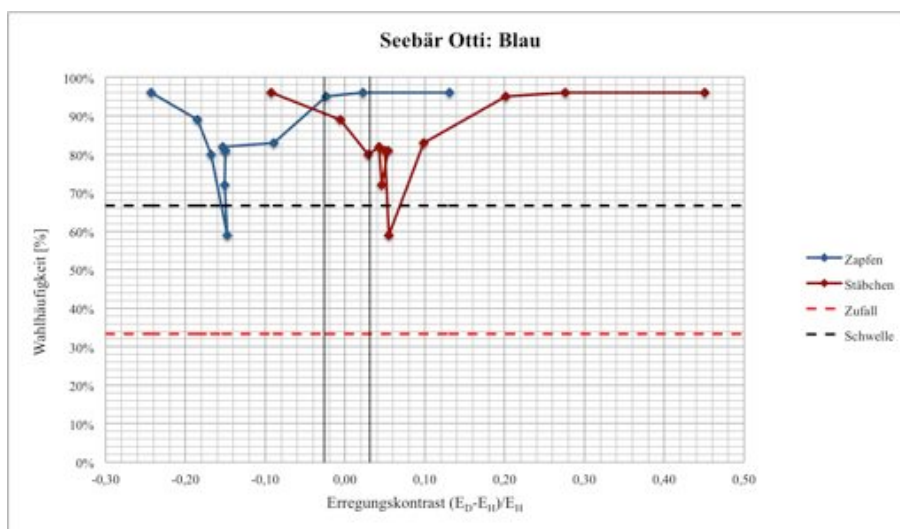


Abb. 5.6: Wahlhäufigkeit als Funktion des Erregungskontrast $(E_D-E_H)/E_H$ des Seebären Otti bei der Farbe Blau (Oppermann, 2009).

Auf der x-Achse ist der Erregungskontrast der Zapfen (blau) und der Stäbchen (rot) des Seebären Otti aufgetragen. Auf der y-Achse ist die Wahlhäufigkeit prozentual dargestellt. Die zwei Rauten auf der x-Achse stellen den Bereich dar, in dem Otti beim Kontrastsehen keinen Kontrast mehr wahrnehmen konnte. Die dazugehörigen Daten befinden sich in der Diplomarbeit (Oppermann, 2009) im Anhang (Tabell 14).

Die Abbildung 5.7 zeigt die Ergebnisse für den Seebär Nabi. Auf der x-Achse im Bereich zwischen -0,34 und 0,07 befinden sich zwei schwarze Linien, die den Bereich angeben, indem Nabi beim Kontrastsehen das Dreieck nicht mehr vom Hintergrund unterscheiden konnte. Es müsste in diesem Bereich zu einem Einbruch der Wahlhäufigkeit kommen, wenn Nabi das blaue Dreieck auf dem grauen Hintergrund nur aufgrund des Helligkeitskontrastes auswählen würde. Da dies nicht der Fall ist, kann man davon ausgehen, dass sie das blaue Dreieck farbig wahrnimmt.

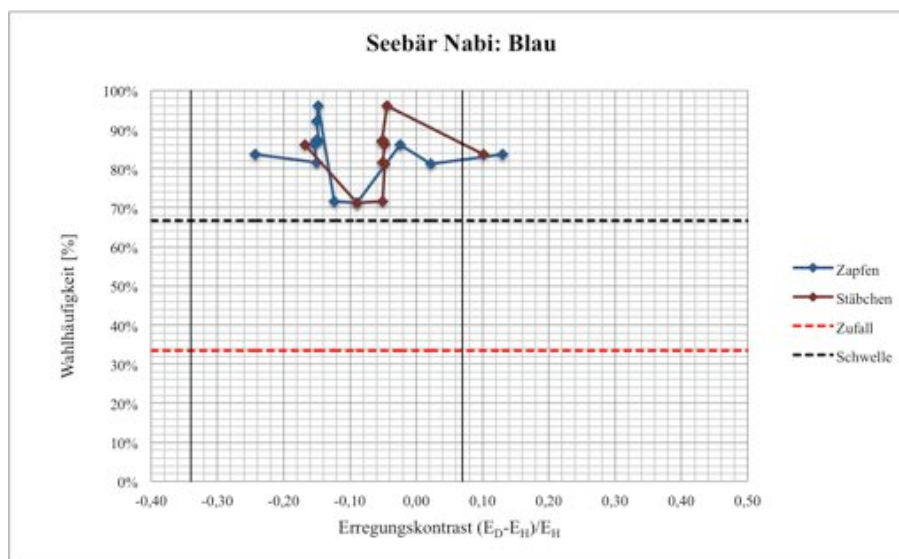


Abb. 5.7: Wahlhäufigkeit als Funktion des Erregungskontrast $(E_D - E_H)/E_H$ des Seebär Nabi bei der Farbe Blau.

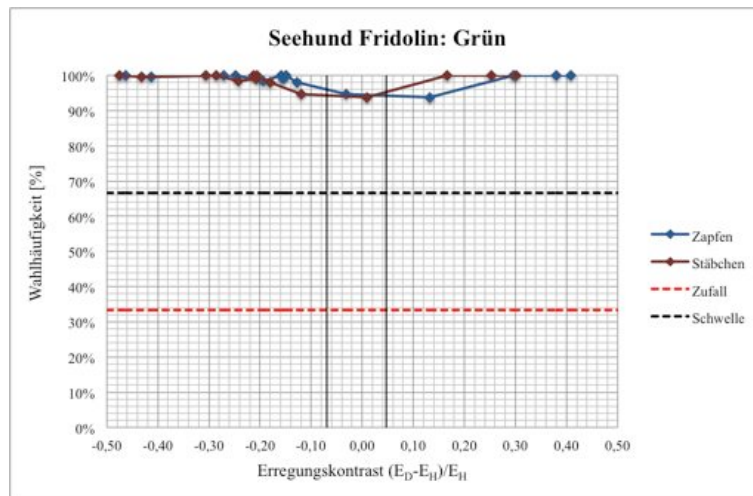
Die x-Achse bestimmt den Erregungskontrast der Zapfen (blau) und der Stäbchen (rot). Die Wahlhäufigkeit wird auf der y-Achse aufgetragen. Die zwei schwarzen Balken geben den Bereich an, indem Angie beim Kontrastsehen keine Kontrastunterscheidung mehr machen konnte. Die dazugehörigen Daten befinden sich in der in der dieser Arbeit beiliegenden CD („ergänzendes Material“).

5.2.3 Farbensehen Grün, Gelb und Orange: Seehunde

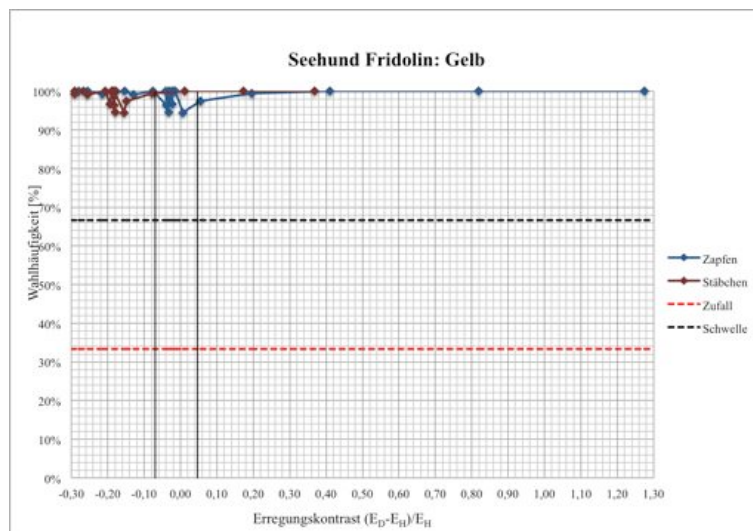
Für den Seehund Fridolin wird das Wahlverhalten als Funktion des Erregungskontrastes $(E_D - E_H)/E_H$ für die Farben Grün, Gelb und Orange in Abbildung 5.8 a, b, c abgebildet.

Fridolin ist in der Lage die Farben Grün und Gelb wahrzunehmen. Würde Fridolin die Farben auf dem grauen Hintergrund durch den Zapfen – oder Stäbchenkontrast auswählen, so müssten es in dem Bereich der schwarzen Balken in Abbildung 5.8 a, b, zu einem Einbruch der Wahlhäufigkeit kommen. Da dies der Bereich ist, in dem Fridolin den Kontrast nicht mehr wahrnehmen konnte. Dies ist jedoch nicht der Fall, was darauf hindeutet, dass Fridolin die Farbe Grün und Gelb als Farbe erkennt. Bei der Farbe Orange kann keine Aussage zum Farbensehen getroffen werden, da das farbige Dreieck immer dunkler als der Hintergrund war.

a)



b)



c)

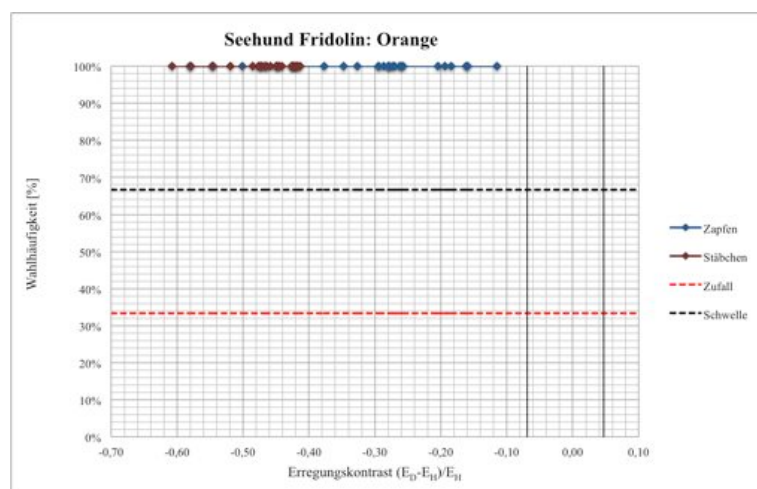


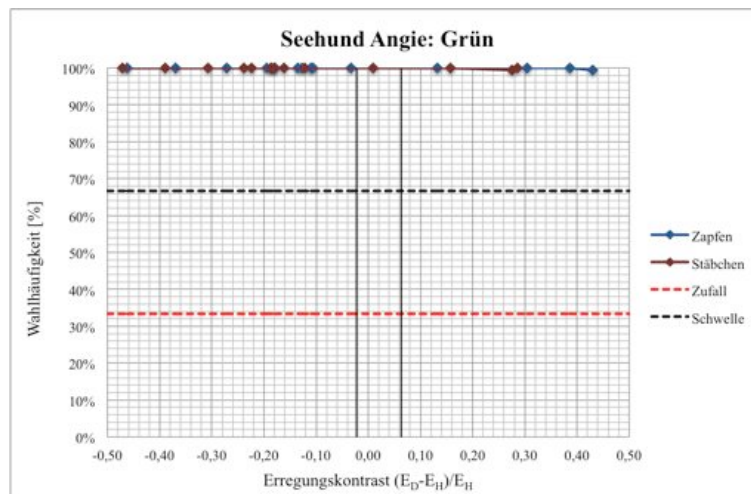
Abb. 5.8: Wahrscheinlichkeit der Funktion des Erregungs-kontrast $(E_D-E_H)/E_H$ des Seehundes Fridolin bei den Farben Grün, Gelb und Orange.
a) bei der Farbe Grün b) bei der Farbe Gelb und c) bei der Farbe Orange.

x-Achse: Erregungscontrast der Zapfen (blau) und der Stäbchen (rot). Die Wahlhäufigkeit ist auf der y-Achse aufgetragen. Die zwei schwarzen Balken geben den Bereich an, indem Fridolin beim Kontrastsehen keine Unterscheidung mehr treffen konnte. Die dazugehörigen Daten befinden sich in der in der dieser Arbeit beiliegenden CD („ergänzendes Material“).

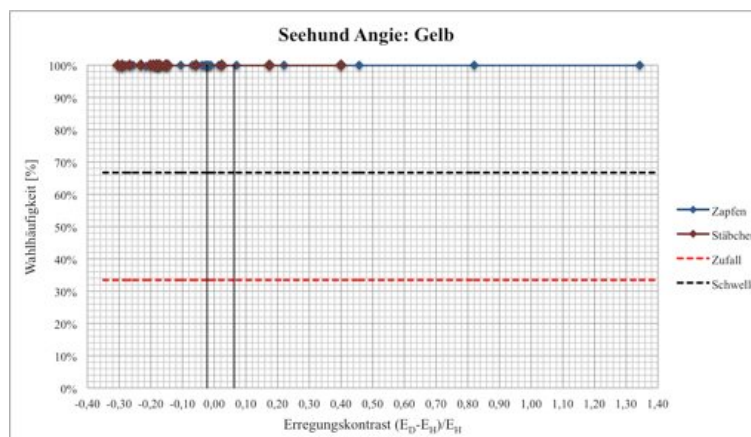
In Abbildung 5.9 a, b, c wird das Wahlverhalten des Seehundes Angie als Funktion des Erregungscontrast ($(E_D - E_H)/E_H$) für die Farbe Grün, Gelb und Orange dargestellt.

Die Farben Grün und Gelb wurden von dem Seehundweibchen Angie als Farbe erkannt. Wäre dies nicht der Fall würde in dem Bereich zwischen -0,02 und 0,06 in den Abbildung 5.9 a, b es zu einem Einbruch der Wahlhäufigkeit kommen. Auch hier ist das orange Dreieck dunkler als der Hintergrund und somit kann keine Aussage zum Farbsehen der Farbe Orange getroffen werden.

a)



b)



c)

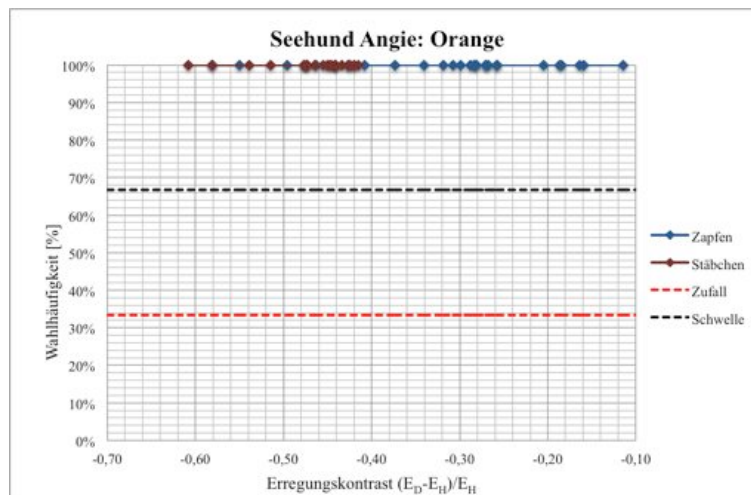


Abb. 5.9: Wahlhäufigkeit der Funktion des Erregungscontrast $(E_D-E_H)/E_H$ des Seehundes Angie bei den Farben Grün, Gelb und Orange.

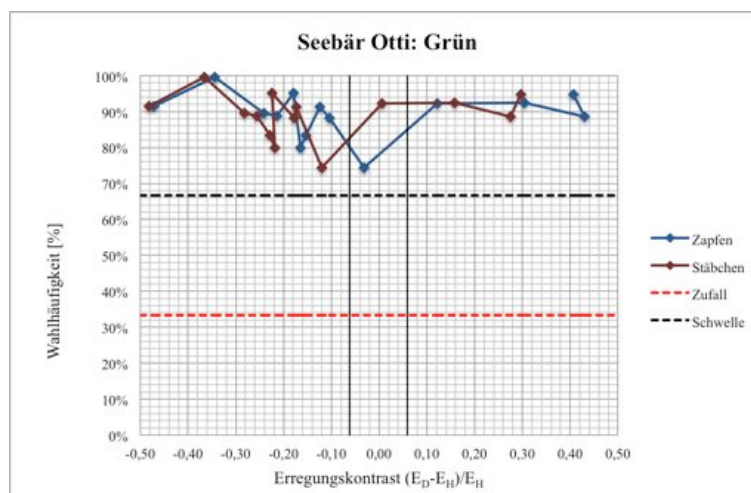
a) bei der Farbe Grün b) bei der Farbe Gelb und c) bei der Farbe Orange. x-Achse: Erregungscontrast der Zapfen (blau) und der Stäbchen (rot). Die Wahlhäufigkeit wird auf der y-Achse aufgetragen. Die zwei schwarzen Linien sind in dieser Abbildung nicht vorhanden, da der Bereich -0,02 bis 0,06 nicht auf der x-Achse existiert. Die dazugehörigen Daten befinden sich im Anhang (Tabelle 10.7; 10.8; 10.9).

5.2.4. Farben Grün, Gelb, Orange: Seebären

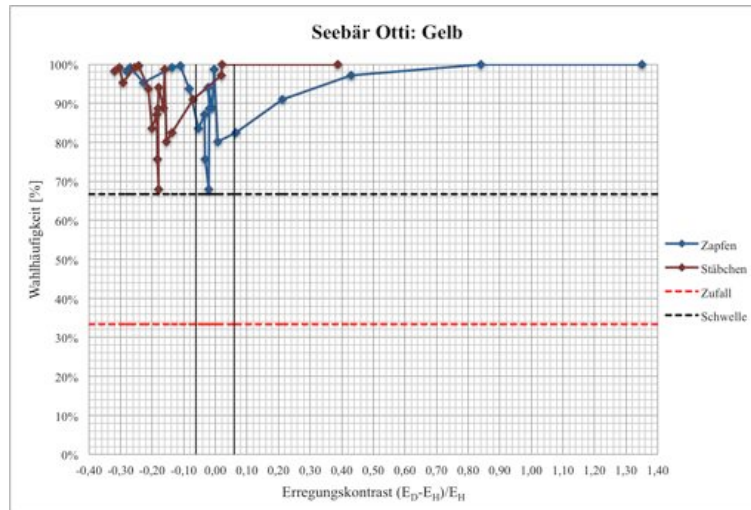
In Abbildung 5.10 a, b, c wird das wahlverhalten als Funktion des Erregungscontrast $(E_D-E_H)/E_H$ des Seebären Otti für die Farben Grün, Gelb und Orange dargestellt.

Im Bereich zwischen -0,024 und 0,031 ist in den Abbildungen 5.10 a, b, c kein Einbruch der Wahlhäufigkeit zu erkennen. Deshalb kann man davon ausgehen, dass Otti das Dreieck als grünes und gelbes Dreieck wahrnimmt. Bei der Farbe Orange kann keine Aussage zum Farbsehen getroffen werden, da das farbige Dreieck immer dunkler als der Hintergrund war.

a)



b)



c)

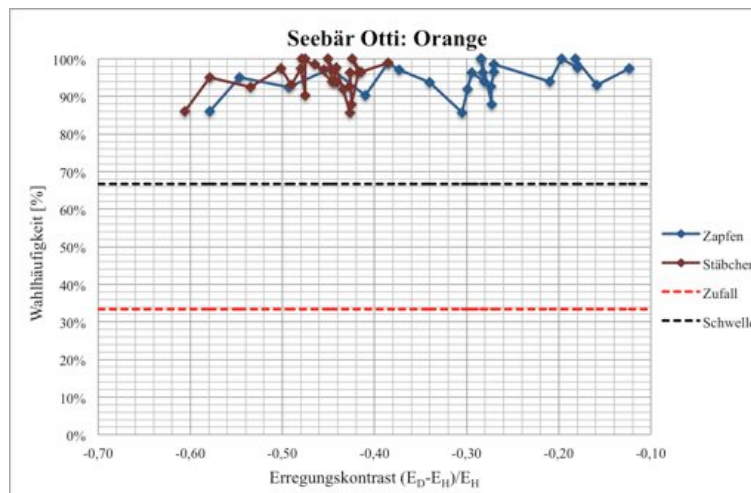


Abb. 5.10: Wahlhäufigkeit der Funktion des Erregungskontrast $(E_D-E_H)/E_H$ des Seebären Otti bei den Farben Grün, Gelb und Orange.

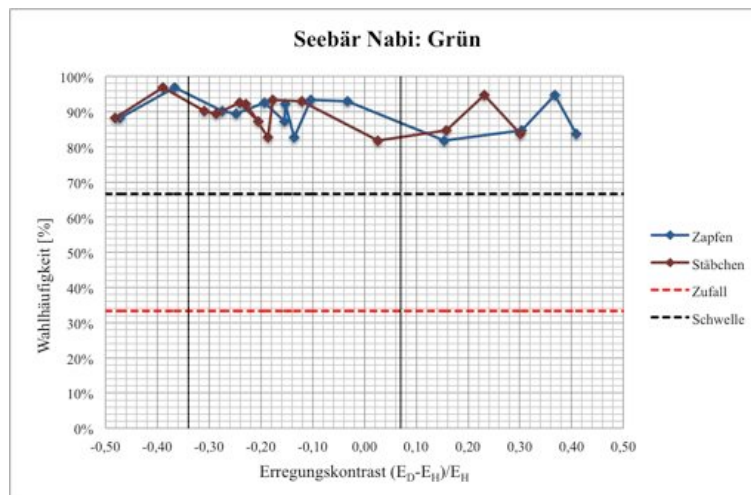
a) bei der Farbe Grün b) bei der Farbe Gelb und c) bei der Farbe Orange.

x-Achse: Erregungskontrast der Zapfen (blau) und der Stäbchen (rot). Die Wahlhäufigkeit wird auf der y-Achse aufgetragen. Die zwei schwarzen Linien sind in dieser Abbildung nicht vorhanden, da der Bereich -0,02 bis 0,06 nicht auf der x-Achse existiert. Die dazugehörigen Daten befinden sich in der in der dieser Arbeit beiliegenden CD („ergänzendes Material“).

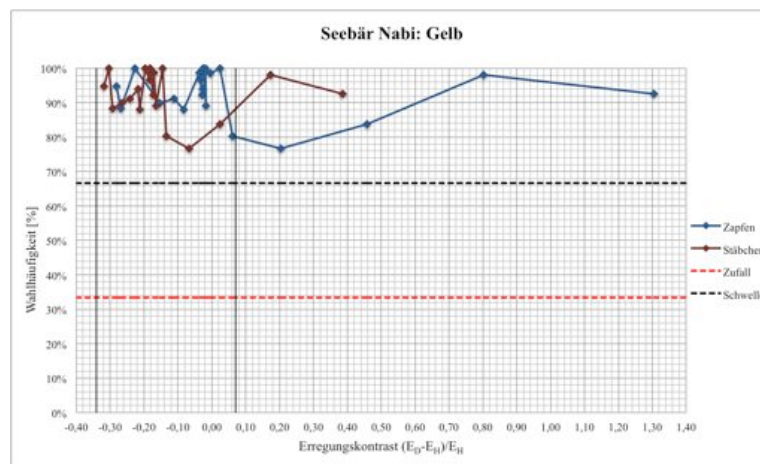
Abbildung 5.11 a, b, c zeigt das Ergebnis für den Seebären Nabi.

Die Farbe Grün und Gelb wurde von dem Seebärweibchen Nabi als Farbe erkannt. Würde dies nicht der Fall würde es in dem Bereich zwischen -0,34 und 0,07, in den Abbildung 5.11 a, b, c zu einem Einbruch der Wahlhäufigkeit kommen. Bei der Farbe Orange kann keine Aussage zum Farbsehen getroffen werden, da das farbige Dreieck immer dunkler als der Hintergrund war.

a)



b)



c)

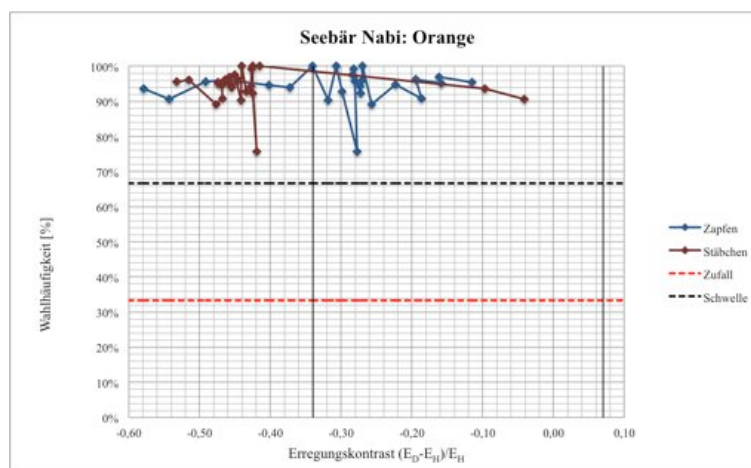


Abb. 5.11: Wahlhäufigkeit der Funktion des Erregungskontrast $(E_D - E_H) / E_H$ des Seebären Nabi bei den Farben Grün, Gelb und Orange.

a) bei der Farbe Grün b) bei der Farbe Gelb und c) bei der Farbe Orange.

x-Achse: Erregungskontrast der Zapfen (blau) und der Stäbchen (rot). Die Wahlhäufigkeit wird auf der y-Achse aufgetragen. Die zwei schwarzen Balken geben den Bereich an, indem Nabi beim Kontrastsehen keine Unterscheidung mehr treffen konnte. Die dazugehörigen Daten befinden sich in der in der dieser Arbeit beiliegenden CD („ergänzendes Material“).

Die Berechnung der Erregungskontraste zeigt, dass bei Erregungskontrasten um 0 hohe Wahlhäufigkeiten auftraten (Abb. 5.4 – 5.11). Das heißt, dass Stäbchen oder Zapfen alleine das Ergebnis nicht erklären können. Im Folgenden wird untersucht, ob möglicherweise die Zapfeninformation mit der Stäbcheninformation verglichen wird. Hierzu wurde das Erregungsverhältnis von Zapfen und Stäbchen berechnet.

Da in allen Fällen bei einem Zapfen- bzw. Stäbchenkontrast von 0 hohe Wahlhäufigkeit erzielt wurde, muss das Wahlverhalten auf einem Farbsehen beruhen.

Voraussetzung für Farbsehen ist das Vorhandensein von mindestens zwei Photorezeptoren mit unterschiedlicher spektraler Empfindlichkeit. Da die marinen Säuger nur einen Zapfentyp und einen Stäbchentyp besitzen, ist es zu vermuten, dass Zapfen- und Stäbcheninformationen verglichen werden. Die wahrgenommene Farbe würde sich dann aus dem Erregungsverhältnis von Stäbchen und Zapfen ergeben.

5.3. Erregungsverhältnis von Stäbchen und Zapfen

Tabelle 5.3: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Blau am Beispiel des Seehundes Angie.

a) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen vom blauen Dreieck. In Spalte 1 sind die Luminanz-Werte des blauen Dreiecks aufgelistet. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und der Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen angegeben.

b) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen für den Hintergrund. In Spalte 1 ist der Luminanz-Wert des Hintergrundes angegeben. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen dargestellt.

a)

blaues Dreieck	Stäbchen blau	Zapfen blau	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
D58,44	8,77	7,23	16,00	0,55:0,45
D60,65	9,19	7,76	16,96	0,54:0,46

b)

Hintergrund	Stäbchen Hintergrund	Zapfen Hintergrund	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
H58,58	6,17	6,49	12,66	0,49:0,51
H71,06	10,26	10,44	20,71	0,50:0,50

Tabelle 5.4: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Grün am Beispiel des Seehundes Angie.

a) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen vom grünen Dreieck. In Spalte 1 sind die Luminanz-Werte des grünen Dreiecks aufgelistet. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und der Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen angegeben.

b) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen für den Hintergrund. In Spalte 1 ist der Luminanz-Wert des Hintergrundes angegeben. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen dargestellt.

a)

grünes Dreieck	Stäbchen Dreieck	Zapfen Dreieck	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
D45,88	3,35	3,61	8,06	0,48:0,52
D67,83	8,7	9,66	18,36	0,47:0,53

b)

Hintergrund	Stäbchen Hintergrund	Zapfen Hintergrund	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
H59,64	6,34	6,72	12,98	0,49:0,51
H60,21	6,77	6,97	13,74	0,49:0,51

Tabelle 5.5: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Gelb am Beispiel des Seehundes Angie.

a) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen vom gelben Dreieck. In Spalte 1 sind die Luminanz-Werte des gelben Dreiecks aufgelistet. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und der Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen angegeben.

b) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen für den Hintergrund. In Spalte 1 ist der Luminanz-Wert des Hintergrundes angegeben. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen dargestellt.

a)

gelbes Dreieck	Stäbchen Dreieck	Zapfen Dreieck	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
D51,73	4,45	4,76	9,22	0,48:0,52
D87,12	8,474	14,50	22,98	0,37:0,63

b)

Hintergrund	Stäbchen Hintergrund	Zapfen Hintergrund	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
H59,15	6,40	6,60	13,01	0,49:0,51
H58,28	6,19	6,375	12,57	0,49:0,51

Tabelle 5.6: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Orange am Beispiel des Seehundes Angie.

a) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen vom orangen Dreieck. In Spalte 1 sind die Luminanz-Werte des orangen Dreieckes aufgelistet. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und der Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen angegeben.

b) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen für den Hintergrund. In Spalte 1 ist der Luminanz-Wert des Hintergrundes angegeben. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen dargestellt.

a)

orangenes Dreieck	Stäbchen Dreieck	Zapfen Dreieck	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
D44,13	3,14	3,34	6,48	0,48:0,52
D68,18	4,26	7,06	11,32	0,38:0,62

b)

Hintergrund	Stäbchen Hintergrund	Zapfen Hintergrund	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
H63,55	8,02	7,97	15,99	0,50:0,50
H63,4	8,10	7,98	16,08	0,50:0,50

5.5 Farbsehen bei Pinnipedia

Die erste Verhaltensuntersuchung zum Farbsehen an Robben fand 1976 an einer Larga-Robbe (*Phoca largha*) statt. In dieser Studie musste die Robbe ein blaues von einem orangen Target unterscheiden. Die Ergebnisse zeigten, dass Robben Farbe als Information wahrnehmen können (Wartzok & McCormick, 1977).

Eine weitere Studie fand im Jahre 1987 mit zwei Südafrikanischen Zwergseebären (*Arctocephalus pusillus*) und drei Südamerikanischen Seebären (*Arctocephalus australis*) statt (Busch & Dücker, 1987). Mit diesen Tieren wurden eine Helligkeitsuntersuchung und eine Untersuchungen zum Farbsehen gemacht. Bei der Helligkeitsuntersuchung wurde geschaut, um welchen Hellbezug sich zwei Graustufen unterscheiden müssen, damit die Tiere sie voneinander unterscheiden können. Ein Tier, von fünf Tieren, unterschied alle gezeigten 28-stufigen Graustufen, jedoch war es von der Beleuchtungsstärke abhängig. War die Beleuchtungsstärke unter 500 Lux, konnte der Zwergseebär alle Graustufen erkennen, wurde die Beleuchtungsstärke über 500 Lux erhöht wurde, wurden die Graustufen von dem Tier nicht mehr wahrgenommen.

Nach den Helligkeitsuntersuchungen wurden den Tieren die Farbe Blau, Rot, Gelb und Grün präsentiert. Die verschiedenen Farben wurden den Tieren gegen eine 28ig-stufige Grauserie gezeigt. Dort kam heraus, dass alle Tiere die Farben Blau und Grün

wahrnehmen konnten, bei den Farben Rot und Gelb kam es jedoch zu keiner Unterscheidung von der Grauserie (Busch & Dücker, 1987).

Eine weitere Untersuchung zur Farbenunterscheidung wurde mit Kalifornischen Seelöwen durchgeführt. Diese wurden darauf trainiert, zwischen zwei Farbstimulus mit zwei Graustufen zu unterscheiden. Jedes Tier war in der Lage die Farbe Blau von Grau zu erkennen. Zwei der jeweiligen Tiere konnten zusätzlich Grün von Grau unterscheiden, jedoch keines der Tiere war in der Lage die Farbe Gelb und die Farbe Rot von Grau zu unterscheiden (Griebel & Schmid, 1992).

Auch in der Studie von Frau Freischmidt wurde analysiert, ob Robben die Farben Blau, Grün, Hellgrün und Gelb im Vergleich zu Grau erkennen können. Die Ergebnisse zeigten, dass eine Farbenerkennung bei Robben stattfand (Freischmidt, 2007).

Für diese Arbeit wurde in der vorausgehenden Diplomarbeit (Oppermann, 2009) ein Grundstein gelegt. Hierbei wurden Seehund und Südafrikanischer Zwergseebär auf Kontrasterkennung und auf Farbsehen getestet. Den Tieren wurden drei Folien präsentiert, wobei auf der einen Folie ein Dreieck auf einem grauen Hintergrund abgebildet war und die zwei anderen Folien homogen grau waren. Beim Kontrastsehen verschwand das Dreieck je nach Schwierigkeitsstufe vor dem Hintergrund, beim Farbsehen wurde auf die Farbe Blau getestet. In dieser Studie kam heraus, dass die zwei Tiere keine Probleme aufwiesen die Farbe Blau zu erkennen (Oppermann, 2009).

Ein Unterschied zu den anderen Studien liegt darin, dass den Tieren drei Folien gleichzeitig gezeigt wurden. Eine der Folien war die Farbfolie, die nicht komplett aus der jeweilige Farbe bestand, sondern sie besaß einen homogenen grauen Hintergrund mit einem farbigen Dreieck. Die zwei weiteren Folien waren homogen grau. Die Aufgabe der Tiere bestand also darin, das Dreieck zu erkennen. Es ging also nicht darum, ein getrenntes Farbfeld von einem anderen zu unterscheiden, sondern es handelte sich um die Aufgabe ein Objekt von einem Hintergrund zu erkennen. Dies ist die Aufgabe, die sich dem Tier auch in der Natur stellt.

In der Testreihe der Farbe Blau erzielte der Seehund Fridolin eine Trefferquote zwischen 95 % und 100 % (Oppermann, 2009) (Tabelle 4.5). Das Seehundweibchen Angie hatte eine Trefferquote zwischen 99 % und 100 % (Tabelle 4.6). Der Seebär Otti erzielte im Farbsehen eine Quote zwischen 59 % und 96 % (Tabelle 4.6). Bei einer Folie lag er mit 59 % unter der Schwelle von 66 %. Ein möglicher Grund hierfür war, dass sich Otti zu diesem Zeitpunkt in der Paarungszeit befand und daher sehr

unkonzentriert war (Oppermann, 2009). Das Seebärweibchen Nabi erzielte eine Trefferquote zwischen 71 % und 96 % (Tabelle 4.7).

In der Farbreihe Grün erzielte der Seehundrüde Fridolin eine Trefferquote zwischen 94 % und 100 % (Tabelle 4.8), das Seehundweibchen Angie von 100 % (Tabelle 4.9). Der Seebär Otti hatte eine Trefferquote zwischen 74 % und 100 % (Tabelle 4.10) und das Seebärweibchen Nabi zwischen 83 % und 97 % (Tabelle 4.11).

Diese Ergebnisse bestätigen die Ergebnisse der anderen Studien (Busch & Dücker, 1987; Griebel & Schmid, 1992) und zeigen, dass Robben in der Lage sind die Farbe Blau und Grün wahrzunehmen.

In der Farbreihe Gelb erzielte der Seehund Fridolin eine Trefferquote zwischen 95 % und 100 % (Tabelle 4.12). Der Seehund Angie ging zu 100 % (Tab.4.13) immer richtig an das gelbe Dreieck. Der Seebär Otti hatte eine Trefferquote zwischen 68 % und 100 % (Tabelle 4.14). Bei einer Folie lag er sehr dicht an der Schwelle von 66 %, da er sich in dieser Testphase in der Paarungszeit befand. Das Seebärweibchen Nabi erzielte eine Trefferquote zwischen 77 % und 100 % (Tabelle 4.15).

Als letzte Farbe wurde Orange getestet, dabei erzielte der Seehundrüde Fridolin 100 % (Tabelle 4.16). Das Seehundweibchen Angie besaß eine Trefferquote ebenfalls von 100 % (Tabelle 4.17). Der Seebär Otti lag zwischen 86 % und 100 % (Tabelle 4.18) immer richtig am Dreieck und das Seebärweibchen Nabi lag zwischen 76 % und 100 % (Tabelle 4.19) richtig an dem Dreieck.

Es wurden zu allen Ergebnissen des Kontrast – und Farbensehens der Erregungskontrast $(E_D - E_H)/E_H$ für den M/L-Zapfen und für die Stäbchen bestimmt. Der Erregungskontrast des Kontrastsehens für das graue Dreieck auf dem grauen Hintergrund wird in Abbildung 4.23 bis 4.26 und für das Farbensehen das jeweilige farbliche Dreieck auf dem grauen Hintergrund in Abbildung 4.27 bis 4.42 dargestellt.

Würden die verschiedenen farbigen Dreiecke nur über den Erregungskontrast des M/L-Zapfens gesehen werden, dann müsste es in den Ergebnissen zu einer Wahlhäufigkeit von 33 % kommen. Dies traf nicht zu. Daraus kann man schließen, dass zu dem einen Zapfen ein zweiter Photorezeptor, wahrscheinlich ein Stäbchen aktiv wurde, und somit beide Photorezeptoren zusammen ein Farbsignal liefern. In Tabelle 4.21 bis 4.36 werden die Erregungsverhältnisse von Zapfen zu Stäbchen aufgelistet. Die Farbe könnte durch das Erregungsverhältnis von Zapfen zu Stäbchen bestimmt werden. Obwohl das Verhältnis nur geringfügig unterschiedlich ist. Das Erregungsverhältnis könnte deutlicher ausfallen wenn inhibitorische Interaktionen zwischen Stäbchen und Zapfen

stattfinden oder wenn eine ungleiche Gewichtung der Signale angenommen wird. Um dies herauszufinden, müssten Messungen der spektralen Empfindlichkeit durchgeführt werden. Der Beitrag der Stäbchen erscheint unwahrscheinlich, denn die Experimente wurden zum Teil bei hellem Sonnenlicht durchgeführt.

Die Retina ist von hoch lichtempfindlichen Stäbchen sehr dicht besiedelt und besitzt nur sehr wenig Zapfen, die lediglich 1 % der Photorezeptoren ausmachen (G.S. Jamieson & Fisher, 1971). Es ist wichtig darauf hinzuweisen, dass Robben die Retinabelichtung durch die pupillare Einengung signifikant limitieren können. Unter Tageslicht sind sie in der Lage ihre Pupille auf einen schmalen Schlitz zu reduzieren wodurch die Lichtmenge um das 135-fache abnimmt (Land & Nilsson, 2002) und die Stäbchen bei der spektralen Empfindlichkeit auch bei Tageslicht Bedingungen mitarbeiten können. Durch diesen Spalt wird die retinale Beleuchtung auf einem niedrigeren Level gehalten, so dass Zapfen und Stäbchen funktionieren könnten (Crognale et al., 1998). Biophysikalische Untersuchungen an Rinder-Rhodopsin haben gezeigt, dass ein Teil des Rhodopsin in Stäbchen auch durch Licht reaktiviert werden kann (Ritter, Elgeti, Hofmann, & Bartl, 2007).

In einer Studie von Christian Garbers & Rainer Hertel wurde mit farbenblinden Menschen das Farbsehen getestet. Die Ergebnisse deuten daraufhin, dass sie ihre Stäbchen zum Farbsehen hinzunehmen (pers. Mitteilung Hertel).

Weitere Studien an anderen Tierarten zeigen, dass ein Zusammenspiel zwischen Zapfen und Stäbchen bestehen kann. So wurde eine Untersuchung mit einem nachtaktiven Affen (*Aotus trivigatus*) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass obwohl dieser ein L-Zapfenmonochromat ist, er die Fähigkeit besaß kurzwelliges Licht von langwelligem Licht zu unterscheiden und somit Farbe wahrzunehmen (Jacobs et al., 1993).

Zusammenfassung: In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass Robben in der Lage sind sehr kleine Kontraste wahrzunehmen und die Farben Blau, Grün und Gelb zu erkennen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass sie die Signale von Zapfen und Stäbchen verarbeiten. Oft ist die Helligkeitsunterscheidung ein viel stärkerer Reiz, als die Farbinformation. Dadurch dass jedoch in dieser vorliegenden Arbeit getestet wurde in welchen Bereichen sie keine Helligkeitsunterscheidung mehr treffen konnten, kann man ausschließen, dass sie das farbliche Dreieck über den Helligkeits-Kontrast wahrnehmen. Dadurch, dass das orangene Dreieck in den Versuchsabläufen immer dunkler war als der dazu gehörige Hintergrund war, kann eine Aussage über das Farbsehen der Farbe Orange nicht getroffen werden.

6. Literaturverzeichnis

- Ahne, W., Liebich, H.-G., Stohrer, M., & Wolf, F. (2000). Das Wirbeltierauge. In *Zoologie* (p. 151 ff). Schattauer.
- Arnason, U., Gullberg, A., Janke, A., Kullberg, M., Lehman, N., Petrov, E. a, & Väinölä, R. (2006). Pinniped phylogeny and a new hypothesis for their origin and dispersal. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *41*(2), 345–54.
doi:10.1016/j.ympev.2006.05.022
- Bach, M., Wesemann, W., Kolling, G., Bühren, J., Krastel, H., & Schiefer, U. (2008). [Photopic contrast sensitivity. Local contrast perception]. *Der Ophthalmologe : Zeitschrift Der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft*, *105*(1), 46–8, 50–9.
doi:10.1007/s00347-007-1605-y
- Berta, A. (2006). *Marine Mammals - Evolutionary Biology* (second edi., pp. 27 – 47). Elsevier.
- Bowmaker, J. K. (2008). Evolution of vertebrate visual pigments. *Vision Research*, *48*(20), 2022–41. doi:10.1016/j.visres.2008.03.025
- Busch, H., & Dücker, G. (1987). Das visuelle Leistungsvermögen der Seebären. *Zoologischer Anzeiger*, 197–224.
- Crognale, M. A., Levenson, D. H., Ponganis, P. J., Deegan, J. F., & Jacobs, G. H. (1998). Cone spectral sensitivity in the harbor seal (*Phoca vitulina*) and implications for color vision. *Canadian Journal of Zoology*, *2118*, 2114–2118.
- Dowling, J. (1987). The Visual System. In *The Retina: An Approachable - Part of the Brain* (p. 5). The Belknap Press of Harvard University Press.
- Duguy, R., & Robineau, D. (1992). Handbuch der Säugetiere Europas. In *Handbuch der Säugetiere Europas*.
- Eckert, R. (2000). Sehen. In *Tierphysiologie* (3. Auflage., p. 274 ff). Georg Thieme Verlag Stuttgart New York.
- Fasick, J. I., & Robinson, P. R. (1998). Accelerated Publications Mechanism of Spectral Tuning in the Dolphin Visual Pigments †, *37*(2).
- Freischmidt, P. (2007). *Verhaltenphysiologische Experimente zum Farbsehen von Phoca vitulina (Seehund) und Arctocephalus pusillus (Zwergseebär).pdf*. Johannes Gutenberg Universität Mainz.
- Govardovskii, V. I., Fyhrquist, N., Reuter, T., Kuzmin, D. G., & Donner, K. (2000). In search of the visual pigment template. *Visual Neuroscience*, *17*(4), 509–28.
Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11016572>
- Griebel, U. (2002). Color Vision in Marine Mammals : A Review, 73–87.
- Griebel, U., König, G., & Schmid, A. (2006). SPECTRAL SENSITIVITY IN TWO SPECIES OF PINNIPEDS (PHOCA VITULINA AND OTARIA FLAVESCENS), *22*(January), 156–166.
- Griebel, U., & Peichl, L. (2003). Colour vision in aquatic mammals—facts and open questions. *Aquatic Mammals*, *29*(1), 18–30. doi:10.1578/016754203101024040
- Griebel, U., & Schmid, A. (1992). Color Vision in the California Sea Lion. *Vision Research*, *32*(3), 477–482.
- Griebel, U., & Schmid, A. (2002). Spectral sensitivity and Color Vision in the Bottlenose Dolphin (*Tursiops Truncatus*). *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, *35*(3), 129–137. doi:10.1080/1023624021000014716
- Hanke, F. (2009). Amphibious vision in harbor seals (*Phoca vitulina*) Amphibisches Sehen bei Seehunden (*Phoca vitulina*), (January).

- Hanke, F. D., Dehnhardt, G., Schaeffel, F., & Hanke, W. (2006). Corneal topography, refractive state, and accommodation in harbor seals (*Phoca vitulina*). *Vision Research*, 46(6-7), 837–47. doi:10.1016/j.visres.2005.09.019
- Hanke, F. D., Hanke, W., Scholtyssek, C., & Dehnhardt, G. (2009). Basic mechanisms in pinniped vision. *Experimental Brain Research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation Cérébrale*, 199(3-4), 299–311. doi:10.1007/s00221-009-1793-6
- Hanke, F. D., Kröger, R. H. H., Siebert, U., & Dehnhardt, G. (2008). Multifocal lenses in a monochromat: the harbour seal. *The Journal of Experimental Biology*, 211(Pt 20), 3315–22. doi:10.1242/jeb.018747
- Hanke, W., & Dehnhardt, G. (2013). Sensory biology of aquatic mammals. *Journal of Comparative Physiology. A, Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 199(6), 417–20. doi:10.1007/s00359-013-0823-9
- Hanke, W., Wieskotten, S., Marshall, C., & Dehnhardt, G. (2013). Hydrodynamic perception in true seals (Phocidae) and eared seals (Otariidae). *Journal of Comparative Physiology. A, Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 199(6), 421–40. doi:10.1007/s00359-012-0778-2
- <http://www.polarwelten.de>. (n.d.). Polarwelten.
- Hunt, D. M., Carvalho, L. S., Cowing, J. a, & Davies, W. L. (2009). Evolution and spectral tuning of visual pigments in birds and mammals. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1531), 2941–55. doi:10.1098/rstb.2009.0044
- Jacobs, G. H., Deegan, J. F., & Crognale, A. (1993). Photopigments and Color Vision in the Nocturnal Monkey, *Aotus*, *Vision Research* 33(13), 1773–1783.
- Jacobs, G. H., & Rowe, M. P. (2004). Evolution of vertebrate colour vision. *Clinical & Experimental Optometry : Journal of the Australian Optometrical Association*, 87(4-5), 206–216.
- Jamieson, G. S. (1971, March). The functional significance of corneal distortion in marine mammals. *Canadian Journal of Zoology*. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5103496>
- Jamieson, G. S., & Fisher, H. D. (1971). The retina of the harbour seal, *Phoca vitulina*. *Canadian Journal of Zoological*, (19), 19–23.
- Jefferson, T. A., Leatherwood, S., & Webber, M. A. (1993). *Marine Mammals of the World*. FAO & UNEP.
- Kelber, A., & Osorio, D. (2010). From spectral information to animal colour vision: experiments and concepts. *Proceedings. Biological Sciences / The Royal Society*, 277(1688), 1617–25. doi:10.1098/rspb.2009.2118
- Kröger, R. (2008). The physics of light in air and water. In *The wissen JGM*.
- Kröger, R. H., Campbell, M. C., Fernald, R. D., & Wagner, H. J. (1999). Multifocal lenses compensate for chromatic defocus in vertebrate eyes. *Journal of Comparative Physiology. A, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 184(4), 361–9. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10377973>
- Kuhn, C., & Frey, E. (2012). Walking like caterpillars, flying like bats—pinniped locomotion. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 92(2), 197–210. doi:10.1007/s12549-012-0077-5
- Land, M., & Nilsson, D. (2002). *Animal eyes* (p. 88). Oxford University Press. Retrieved from <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=g0vfcKInOIIC&oi=fnd&pg=PP2&dq=Animal+Eyes&ots=IRXE2XfG4d&sig=1ISerC0Hxiva1MihWz6FB6ezqkY>
- Landau, D., & Dawson, W. W. (1970). The Histology of Retinas from the Pinnipedia. *Vision Research*, 10, 691–702.

- Lavigne, D. M., & Ronald, K. (1975a). Evidence of duplicity in the retina of the californian sea lion (*Zalophus californianus*). *Comparative Biochemistry and Physiology. A, Comparative Physiology*, 50(1A), 65–70. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/234062>
- Lavigne, D. M., & Ronald, K. (1975b). PINNIPED VISUAL PIGMENTS, 52(June 1974).
- Levenson, D. H., Ponganis, P. J., Crognale, M. a, Deegan, J. F., Dizon, A., & Jacobs, G. H. (2006). Visual pigments of marine carnivores: pinnipeds, polar bear, and sea otter. *Journal of Comparative Physiology. A, Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, 192(8), 833–43. doi:10.1007/s00359-006-0121-x
- Malmström, T., & Kröger, R. H. H. (2006). Pupil shapes and lens optics in the eyes of terrestrial vertebrates. *The Journal of Experimental Biology*, 209(Pt 1), 18–25. doi:10.1242/jeb.01959
- Mass, A. M., & Supin, A. Y. (2007). Adaptive features of aquatic mammals' eye. *Anatomical Record (Hoboken, N.J. : 2007)*, 290(6), 701–15. doi:10.1002/ar.20529
- Mauck, B. (2003). Thermal windows on the trunk of hauled-out seals: hot spots for thermoregulatory evaporation? *Journal of Experimental Biology*, 206(10), 1727–1738. doi:10.1242/jeb.00348
- Müller, F., & Kaupp, U. B. (1998). Signaltransduktion in Sehzellen. *Naturwissenschaft*, 85(2), 48–61.
- Mutschler, E., Schaible, H.-G., & Vaupel, P. (2007). Gesichtssinn. In *Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen* (6. Auflage., p. 743ff). Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart.
- National Geographic. (2009). *Atlas der wilden Tiere* (pp. 262–263).
- Neumeyer, C. (1991). *Evolution of Colour Vision* (Evolution., pp. 284–305). The Macmillan Press, Houndsmills.
- Newman, L. a, & Robinson, P. R. (2005). Cone visual pigments of aquatic mammals. *Visual Neuroscience*, 22(6), 873–879. doi:10.1017/S0952523805226159
- Oppermann, D. (2009). *Dressurexperimente zum Kontrastsehen und Farbsehen mariner Säugetiere*. Johannes Gutenberg Universität Mainz.
- Peichl, L., Behrmann, G., & Kröger, R. H. (2001). For whales and seals the ocean is not blue: a visual pigment loss in marine mammals. *The European Journal of Neuroscience*, 13(8), 1520–8. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11328346>
- Peichl, L., & Moutairou, K. (1998). Absence of short-wavelength sensitive cones in the retinae of seals (Carnivora) and African giant rats (Rodentia). *The European Journal of Neuroscience*, 10(8), 2586–94. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9767389>
- Purves, W. K., Sadava, D., Orians, G. H., & Heller, H. C. (2006). Sensorische Systeme. In J. Markl (Ed.), *Biologie* (7. Auflage., pp. 1086–1097). Spektrum Akademischer Verlag.
- Puschmann, W., Zscheile, D., & Zscheile, K. (2009). Säugetiere. In *Säugetiere - Zootierhaltung*.
- Ritter, E., Elgeti, M., Hofmann, K. P., & Bartl, F. J. (2007). Deactivation and proton transfer in light-induced metarhodopsin II/metarhodopsin III conversion: a time-resolved fourier transform infrared spectroscopic study. *The Journal of Biological Chemistry*, 282(14), 10720–30. doi:10.1074/jbc.M610658200
- Scholtyssek, C., & Dehnhardt, G. (2013). Brightness discrimination in the South African fur seal (*Arctocephalus pusillus*). *Vision Research*, 84, 26–32. doi:10.1016/j.visres.2013.03.003

- Scholtyssek, C., Kelber, A., & Dehnhardt, G. (2008). Brightness discrimination in the harbor seal (*Phoca vitulina*). *Vision Research*, 48(1), 96–103.
doi:10.1016/j.visres.2007.10.012
- Schusterman, R. J., Kastak, D., Levenson, D. H., Reichmuth, C. J., & Southall, B. L. (2000). Why pinnipeds don't echolocate. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107(4), 2256–64. Retrieved from
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10790051>
- Schwartz, S. H. (2004). The Duplex Retina. In *VISUAL PERCEPTION a clinical orientation* (3te editio., p. 25). McGraw-Hill.
- Seal Conservation Society. (2011). Species Information - The Pinnipeds.
<Http://www.pinnipeds.org>.
- Shirihai, H., & Jarrett, B. (2006). *Meeresäuger*.
- Valberg, A. (2005). *Light Vision Color*. *Light Vision Color* (Edition 1., pp. 181–202). John Wiley & Sons.
- Verband deutscher Zoodirektoren. (2012). Robben. <http://www.zoodirektoren.de>.
- Walls, G. (1963). The vertebrate eye and its adaptive radiation. *New York: Hafner Press*. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1943-00068-000>
- Wartzok, D., & McCormick, M. G. (1977). COLOR DISCRIMINATION BY A BERING SEA SPOTTED. *Vision Research*, 18, 781–784.
- Wehner, R., & Gehring, W. (1995). Zoologie. In *Zoologie* (23. Auflag., pp. 418–424). Thieme.
- WWF. (2007). WWF. www.wwf.de.
- Zoo Augsburg. (n.d.). Infotafel. <Http://www.zoo-Augsburg.de/zoo-Erleben/tierinfotafeln/>.

7. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
β	Beta
ca.	Circa
cm	Zentimeter
E	Erregungscontrast
E_D	Erregungscontrast Dreieck
E_H	Erregungscontrast Hintergrund
ERY	Flicker photometrische Electromonography
<i>et al.</i>	Et alterii (und andere)
g/m²	Gramm/Quadratmeter
h	Stunde
kg	Kilogramm
λ	Lamda
L	Luminanz
L_D	Luminanz-Kontrast Dreieck
L_H	Luminanz-Kontrast Hintergrund
μm	Mikrometer
min	Minute
m	Meter
nm	Nanometer
PVC	Polyvinylchlorid
%	Prozent
m²	Quadratmeter
St	Stäbchen
St_D	Stäbchen Dreieck
St_H	Stäbchen Hintergrund
x	-fach/multipliziert
Z	Zapfen
Z_D	Zapfen Dreieck
Z_H	Zapfen Hintergrund
z.B.	zum Beispiel

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Zwei unterschiedliche Theorien zu Verwandtschaftsbeziehung von Robben.	9
Abbildung 2.2: Äußere Erscheinungsbild und Anatomie einer Ohrenrobbe und einer Hundsrobbe	11
Abbildung 2.3: Darstellung der Fortbewegung an Land von Ohren- und Hundsrobben an Land	11
Abbildung 2.4: Fortbewegung eines Seehundes im Wasser	13
Abbildung 2.5: Fortbewegung eines Seebären unter Wasser	14
Abbildung 2.6: Das menschliche Auge	15
Abbildung 2.7: Absorptionsspektrum von Zapfen und Stäbchen	17
Abbildung 2.8: Schematische Abbildung eines Seehundauges	18
Abbildung 2.9.: Schematische Darstellung eines Zapfen (links) und eines Stäbchen (rechts)	22
Abbildung 3.1: Der Seehundrüde Fridolin	25
Abbildung 3.2: Außenanlage der Seehunde mit gekennzeichnetem Testplatz des Seehundrüden Fridolins und des Seehundweibchens Angie	26
Abbildung 3.3: Das Seehundweibchen Angie	26
Abbildung 3.4: Afrikanischer Seebär Otte	27
Abbildung 3.5: Seebärmädchen Nabi	28
Abbildung 3.6: Außenanlage Seehunde	39
Abbildung 3.7: Afrikanisches Seebär Außenbecken	30
Abbildung 3.8: Absperrgehege der Afrikanischen Seebären	31
Abbildung 3.9 a: Apparatur zum Einschieben der drei Testfolien – Frontansicht	32
Abbildung 3.9 b: Apparatur zum Einschieben der drei Testfolien – von Oben	32
Abbildung 3.10: Folienvorrichtung für den Seebär Otte	33
Abbildung 3.11: Apparaturvorrichtung für Seebär Nabi	34
Abbildung 3.12: Exemplarische Darstellung der Versuchsfolien zum Kontrastsehen	35
Abbildung 3.13: Spektralremission des reinen weißen Blattes und laminierten weißen Blattes	36
Abbildung 3.14: Spektrale Remission vom grauem Dreieck und grauem Hintergrund	37
Abbildung 3.15: Spektrale Remission vom blauen Dreieck und grauem Hintergrund	41
Abbildung 3.16: Spektrale Remission vom grünen Dreieck und grauem Hintergrund	43 - 44
Abbildung 3.17: Spektrale Remission vom gelben Dreieck und grauem Hintergrund	46 - 47
Abbildung 3.18: Spektrale Remission orangen Dreieck und grauem Hintergrund	49 - 51

Abbildung 3.19: Versuchsablauf des Seehundrüden Fridolin beim Farbensehen	55
Abbildung 3.20: Versuchsablauf des Seehundweibchen Angie beim Farbensehen	55
Abbildung 3.21: Otti angedockt am Dreieck	57
Abbildung 3.22: Otti in Ruheposition	57
Abbildung 3.23: Nabi Versuchsreihe	58
Abbildung 4.1: Das Wahlverfahren des Seehundes Fridolin in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast (L_D-L_H)/ L_H zwischen dem grauen Dreieck und dem grauen Hintergrund	61
Abbildung 4.2: Das Wahlverfahren des Seehundes Angie in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast (L_D-L_H)/ L_H zwischen dem grauen Dreieck und dem grauen Hintergrund	63
Abbildung 4.3: Das Wahlverfahren des Seebären Otti in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast (L_D-L_H)/ L_H zwischen dem grauen Dreieck und dem grauen Hintergrund	65
Abbildung 4.4: Das Wahlverfahren des Seebären Nabi in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast (L_D-L_H)/ L_H zwischen dem grauen Dreieck und dem grauen Hintergrund	67
Abbildung 4.5: Wahlverfahren des Seehundes Fridolin in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast (L_H-L_D)/ L_D zwischen dem grauen Hintergrund und dem blauen Dreieck	69
Abbildung 4.6: Wahlverfahren des Seehundes Angie in Abhängigkeit vom Luminanz Kontrast (L_H-L_D)/ L_D zwischen dem grauen Hintergrund und dem blauen Dreieck	70
Abbildung 4.7: Wahlverhalten des Seebären Otti in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast (L_H-L_D)/ L_D zwischen dem grauen Hintergrund und dem blauen Dreieck	72
Abbildung 4.8: Wahlverfahren des Seebären Nabi in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast (L_H-L_D)/ L_D zwischen dem grauen Hintergrund und dem blauen Dreieck	73
Abbildung 4.9: Das Wahlverfahren des Seehundes Fridolin in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast (L_D-L_H)/ L_H zwischen dem grünen Dreieck und dem grauen Hintergrund	74
Abbildung 4.10: Das Wahlverfahren des Seehundes Angie in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast (L_D-L_H)/ L_H zwischen dem grünen Dreieck und dem grauen Hintergrund	76
Abbildung 4.11: Das Wahlverfahren des Seebären Otti in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast (L_D-L_H)/ L_H zwischen dem grünen Dreieck und dem grauen Hintergrund	75

Abbildung 4.12: Das Wahlverfahren des Seebären Nabi in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem grünen Dreieck und dem grauen Hintergrund	79
Abbildung 4.13: Das Wahlverfahren des Seehundes Fridolin in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem gelben Dreieck und dem grauen Hintergrund	80
Abbildung 4.14: Das Wahlverfahren des Seehundes Angie in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem gelben Dreieck und dem grauen Hintergrund	82
Abbildung 4.15: Das Wahlverfahren des Seebären Otti in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem gelben Dreieck und dem grauen Hintergrund	84
Abbildung 4.16: Das Wahlverfahren des Seebären Nabi in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem gelben Dreieck und dem grauen Hintergrund	86
Abbildung 4.17: Das Wahlverfahren des Seehundes Fridolin in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem orangenen Dreieck und dem grauen Hintergrund	87
Abbildung 4.18: Das Wahlverfahren des Seehundes Angie in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem orangenen Dreieck und dem grauen Hintergrund	89
Abbildung 4.19 : Das Wahlverfahren des Seebären Otti in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem orangenen Dreieck und dem grauen Hintergrund	91
Abbildung 4.20 : Das Wahlverfahren des Seebären Nabi in Abhängigkeit vom Luminanz-Kontrast $(L_D-L_H)/L_H$ zwischen dem orangenen Dreieck und dem grauen Hintergrund	93
Abbildung 5.1: Absorptionsspektrum von Zapfen und Stäbchen von <i>Phoca vitulina</i> und <i>Arctocephalus Pusillus</i>	97
Abbildung 5.2: Erregungskontrast $(E_D-E_H)/E_H$ des Seehundes Fridolin & Angie beim Kontrastsehen	98 - 99
Abbildung 5.3: Erregungskontrast $(E_D-E_H)/E_H$ des Seebären Otti & Nabi beim Kontrastsehen	100
Abbildung 5.4: Erregungskontrast $(E_D-E_H)/E_H$ des Seehundes Fridolin bei der Farbe: Blau	102
Abbildung 5.5: Erregungskontrast $(E_D-E_H)/E_H$ des Seehundes Angie bei der Farbe: Blau	103
Abbildung 5.6: Erregungskontrast $(E_D-E_H)/E_H$ des Seebären Otti bei der Farbe: Blau	103
Abbildung 5.7: Erregungskontrast $(E_D-E_H)/E_H$ des Seebären Nabi bei der Farbe: Blau	104

Abbildung 5.8: Erregungscontrast (E_D-E_H)/ E_H des Seehundes Fridolin bei der Farbe: Grün, Gelb und Orange	105
Abbildung 5.9: Erregungscontrast (E_D-E_H)/ E_H des Seehundes Angie bei der Farbe: Grün, Gelb und Orange	106-107
Abbildung 5.10: Erregungscontrast (E_D-E_H)/ E_H des Seebären Otti bei der Farbe: Grün, Gelb und Orange	107-108
Abbildung 5.11: Erregungscontrast (E_D-E_H)/ E_H des Seebären Nabi bei der Farbe: Grün, Gelb und Orange	109

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Auflistung der 16 erstellten Folien und die dazugehörigen Daten der Dreiecke für die einzelnen Tiere	39
Tabelle 3.2: Auflistung der 13 erstellten Folien und die dazugehörigen Daten der Dreiecke für die einzelnen Tiere	42
Tabelle 3.3: Auflistung der 14 erstellten Folien und die dazugehörigen Daten der Dreiecke für die einzelnen Tiere	45
Tabelle 3.4: Auflistung der 20 erstellten Folien und die dazugehörigen Daten der Dreiecke für die einzelnen Tiere	48
Tabelle 3.5: Auflistung der 25 erstellten Folien und die dazugehörigen Daten der Dreiecke für die einzelnen Tiere	51 - 52
Tabelle 4.1: Wahlverhalten des Seehundes Fridolin beim Kontrastsehen	60
Tabelle 4.2: Wahlverhalten des Seehundes Angie beim Kontrastsehen.	62
Tabelle 4.3: Wahlverhalten des Seebären Otti beim Kontrastsehen	64
Tabelle 4.4: Wahlverhalten des Seebären Nabi beim Kontrastsehen	66
Tabelle 4.5: Wahlverhalten des Seehundes Fridolin beim Test auf Blau	68 - 69
Tabelle 4.6: Wahlverhalten des Seehundes Angie beim Test auf Blau	70
Tabelle 4.7: Wahlverhalten des Seebären Otti beim Test auf Blau.	71
Tabelle 4.8: Wahlverhalten des Seebären Nabi beim Test auf Blau	72 - 73
Tabelle 4.9: Das Wahlverhalten des Seehundes Fridolin beim Test auf Grün	74
Tabelle 4.10: Das Wahlverhalten des Seehundes Fridolin beim Test auf Grün	75
Tabelle 4.11: Das Wahlverhalten des Seebären Otti beim Test auf Grün	77
Tabelle 4.12: Das Wahlverhalten des Seebären Nabi beim Test auf Grün	78
Tabelle 4.13: Das Wahlverhalten des Seehundes Fridolin beim Test auf Gelb	79 - 80
Tabelle 4.14: Das Wahlverhalten des Seehundes Angie beim Test auf Gelb	81 - 82
Tabelle 4.15: Das Wahlverhalten des Seebären Otti beim Test auf Gelb	83
Tabelle 4.16: Das Wahlverhalten des Seebären Nabi beim Test auf Gelb	85
Tabelle 4.17: Das Wahlverhalten des Seehundes Fridolin beim Test auf Orange	86 - 87
Tabelle 4.18: Das Wahlverhalten des Seehundes Angie beim Test auf Orange	88 - 89
Tabelle 4.19: Das Wahlverhalten des Seebären Otti beim Test auf Orange	90
Tabelle 4.20: Das Wahlverhalten des Seebären Nabi beim Test auf Orange	91 - 92
Tabelle 5.1: Kontrastsehen	95
Tabelle 5.2: Kontrastwerte	101
Tabelle 5.3: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Blau am Beispiel des Seehundes Angie.	110
Tabelle 5.4: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Grün am Beispiel des Seehundes Angie.	111
Tabelle 5.5: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Gelb am Beispiel des Seehundes Angie.	111

Tabelle 5.6: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Orange am Beispiel des Seehundes Angie.	112
Tabelle 10.1: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Blau am Beispiel des Seehundes Angie.	128
Tabelle 10.2: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Grün am Beispiel des Seehundes Angie.	129
Tabelle 10.3: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Gelb am Beispiel des Seehundes Angie.	130 - 131
Tabelle 10.4: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Orange am Beispiel des Seehundes Angie.	131 - 132
Tabelle 10.5: Erregungskontrast $(E_D - E_H)/E_H$ beim Kontrastsehen a) des Zapfens b) des Stäbchens am Beispiel des Seehundes Angie.	133
Tabelle 10.6: Erregungskontrast $(E_D - E_H)/E_H$ beim Farbensehen Blau a) des Zapfens b) des Stäbchens am Beispiel des Seehundes Angie.	134
Tabelle 10.7: Erregungskontrast $(E_D - E_H)/E_H$ beim Farbensehen Grün a) des Zapfens b) des Stäbchens am Beispiel des Seehundes Angie.	135
Tabelle 10.8: Erregungskontrast $(E_D - E_H)/E_H$ beim Farbensehen Gelb a) des Zapfens b) des Stäbchens am Beispiel des Seehundes Angie.	136 - 137
Tabelle 10.9: Erregungskontrast $(E_D - E_H)/E_H$ beim Farbensehen Orange a) des Zapfens b) des Stäbchens am Beispiel des Seehundes Angie.	137 - 138

10. Anhang

Tabelle 10.1: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Blau am Beispiel des Seehundes Angie.

a) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen vom blauen Dreieck. In Spalte 1 sind die Luminanz-Werte des blauen Dreiecks aufgelistet. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und der Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Verhältnis Stäbchen zu Zapfen angegeben.

b) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen für den Hintergrund. In Spalte 1 ist der Luminanz-Wert des Hintergrundes angegeben. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Verhältnis Stäbchen zu Zapfen dargestellt.

a)

blaues Dreieck	Stäbchen blau	Zapfen blau	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
D58,44	8,77	7,23	16,00	0,55:0,45
D62,34	9,90	8,31	18,21	0,54:0,46
D58,93	8,93	7,36	16,29	0,55:0,45
D58,75	9,06	7,37	16,43	0,55:0,45
D59,2	8,92	7,39	16,31	0,55:0,45
D59,11	9,09	7,44	16,54	0,55:0,45
D59,08	9,09	7,44	16,53	0,55:0,45
D63,15	9,95	8,49	18,45	0,54:0,46
D63,42	10,06	8,58	18,64	0,54:0,46
D60,79	9,29	7,82	17,12	0,54:0,46
D60,65	9,19	7,76	16,96	0,54:0,46

b)

Hintergrund	Stäbchen Hintergrund	Zapfen Hintergrund	Summe	Verhältnis Stäbchen : Zapfen
H58,58	6,17	6,49	12,66	0,49:0,51
H64,52	7,83	6,49	14,32	0,55:0,45
H65,31	8,38	8,53	16,91	0,50:0,50
H65,67	8,60	8,69	17,30	0,50:0,50
H65,81	8,55	8,70	17,26	0,50:0,50
H65,85	8,62	8,73	17,35	0,50:0,50
H65,87	8,69	8,76	17,45	0,50:0,50
H66,4	8,39	8,76	17,15	0,49:0,51
H67,8	9,02	9,27	18,30	0,49:0,51
H68,17	9,19	9,42	18,62	0,49:0,51
H71,06	10,26	10,44	20,71	0,50:0,50

Tabelle 10.2: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Grün am Beispiel des Seehundes Angie.

a) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen vom grünen Dreieck. In Spalte 1 sind die Luminanz-Werte des grünen Dreiecks aufgelistet. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und der Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Verhältnis Stäbchen zu Zapfen angegeben.

b) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen für den Hintergrund. In Spalte 1 ist der Luminanz-Wert des Hintergrundes angegeben. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Verhältnis Stäbchen zu Zapfen dargestellt.

a)

grünes Dreieck	Stäbchen Dreieck	Zapfen Dreieck	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
D45,88	3,35	3,61	8,06	0,48:0,52
D49,02	3,85	4,21	9,08	0,47:0,53
D51,56	4,31	4,77	10,27	0,48:0,52
D54,19	4,88	5,39	10,45	0,47:0,53
D54,63	4,94	5,50	10,89	0,47:0,53
D55,37	5,15	5,74	11,00	0,47:0,53
D55,77	5,20	5,79	11,35	0,47:0,53
D56,53	5,37	5,97	11,24	0,47:0,53
D56,57	5,26	5,97	12,14	0,47:0,53
D58,37	5,68	6,46	14,10	0,46:0,54
D62,19	6,51	7,59	15,85	0,46:0,54
D64,91	7,31	8,54	16,73	0,46:0,54
D65,76	7,77	8,96	18,36	0,47:0,53
D67,83	8,70	9,66	18,36	0,47:0,53

b)

Hintergrund	Stäbchen Hintergrund	Zapfen Hintergrund	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
H59,64	6,34	6,72	12,98	0,49:0,51
H59,46	6,31	6,67	12,77	0,49:0,51
H58,9	6,21	6,55	13,10	0,49:0,51
H59,37	6,40	6,69	13,07	0,49:0,51
H59,49	6,37	6,70	12,86	0,49:0,51
H58,92	6,28	6,58	13,10	0,49:0,51
H59,4	6,40	6,70	13,12	0,49:0,51
H59,43	6,40	6,72	13,14	0,49:0,51
H59,17	6,46	6,67	13,15	0,49:0,51
H59,28	6,46	6,68	13,16	0,49:0,51
H59,34	6,45	6,70	12,87	0,49:0,51
H58,8	6,31	6,55	12,36	0,49:0,51
H57,46	6,10	6,26	13,74	0,49:0,51
H60,21	6,77	6,97	13,74	0,49:0,51

Tabelle 10.3: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Gelb am Beispiel des Seehundes Angie.

a) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen vom gelben Dreieck. In Spalte 1 sind die Luminanz-Werte des gelben Dreiecks aufgelistet. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und der Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Verhältnis Stäbchen zu Zapfen angegeben.

b) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen für den Hintergrund. In Spalte 1 ist der Luminanz-Wert des Hintergrundes angegeben. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Verhältnis Stäbchen zu Zapfen dargestellt.

a)

gelbes Dreieck	Stäbchen Dreieck	Zapfen Dreieck	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
D51,73	4,46	4,76	9,22	0,48:0,52
D52,97	4,58	5,00	9,58	0,48:0,52
D54,82	4,63	5,32	9,96	0,47:0,53
D56,8	4,78	5,71	10,50	0,46:0,54
D57,8	4,93	5,94	10,87	0,45:0,55
D58,5	5,05	6,10	11,15	0,45:0,55
D58,93	5,05	6,18	11,22	0,45:0,55
D59,25	5,10	6,26	11,36	0,45:0,55
D59,29	5,16	6,29	11,45	0,45:0,55
D59,31	5,05	6,26	11,31	0,45:0,55
D59,36	5,20	6,32	11,52	0,45:0,55
D59,35	5,28	6,33	11,61	0,45:0,55
D59,7	5,09	6,35	11,44	0,45:0,55
D59,86	5,34	6,45	11,79	0,45:0,55
D60,51	5,36	6,58	11,94	0,45:0,55
D60,71	5,08	6,54	11,62	0,44:0,56
D65	5,73	7,60	13,33	0,43:0,57
D70,15	6,11	8,88	14,98	0,41:0,59
D78,59	7,21	11,44	18,65	0,39:0,61
D87,7	8,57	14,73	23,31	0,37:0,63

b)

Hintergrund	Stäbchen Hintergrund	Zapfen Hintergrund	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
H59,15	6,40344807	4,763189274	11,16663734	0,43:0,57
H59,6	6,468367739	4,995308081	11,46367582	0,44:0,56
H59,89	6,538595337	5,324645325	11,86324066	0,45:0,55
H59,74	6,538595337	5,714101546	12,25269688	0,47:0,53
H59,33	6,41	5,942514519	12,35071563	0,48:0,52
H59,04	6,322289479	6,102755206	12,42504468	0,49:0,51
H57,61	6,089450432	6,176431522	12,26588195	0,5:0,5
H58,41	6,250320992	6,26497686	12,51529785	0,5:0,5
H58,44	6,2293769	6,289854989	12,51923189	0,5:0,5
H58,07	6,151144989	6,260828086	12,41197307	0,5:0,5
H59,02	6,367249867	6,315711896	12,68296176	0,5:0,5

H58,31	6,24202625	6,327913757	12,56994001	0,5:0,5
H58,64	6,312948544	6,345553409	12,65850195	0,5:0,5
H59,26	6,454805921	6,446607455	12,90141338	0,5:0,5
H58,64	6,277916073	6,576928956	12,85484503	0,51:0,49
H57,12	5,974459339	6,536168877	12,51062822	0,52:0,48
H57,57	6,071788893	7,598672015	13,67046091	0,56:0,44
H57	5,964557561	8,876566977	14,84112454	0,6:0,4
H57,85	6,146057865	11,43789946	17,58395733	0,65:0,35
H57,88	6,121001148	14,73073668	20,85173783	0,71:0,29

Tabelle 10.4: Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen der Farbe: Orange am Beispiel des Seehundes Angie.

a) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen vom orangenen Dreieck. In Spalte 1 sind die Luminanz-Werte des orangenen Dreieckes aufgelistet. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und der Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Verhältnis Stäbchen zu Zapfen angegeben.

b) Das Erregungsverhältnis Stäbchen zu Zapfen für den Hintergrund. In Spalte 1 ist der Luminanz-Wert des Hintergrundes angegeben. Spalte 2 und 3 geben jeweils die Erregung der Stäbchen und Zapfen zu den einzelnen Folien an. In Spalte 5 ist das Verhältnis Stäbchen zu Zapfen dargestellt.

a)

orangenes Dreieck	Stäbchen Dreieck	Zapfen Dreieck	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
D44,13	3,14	3,34	6,48	0,48:0,52
D45,57	3,34	3,57	6,92	0,48:0,52
D47,85	3,63	3,95	7,59	0,48:0,52
D49,64	3,86	4,25	8,11	0,48:0,52
D51,67	4,11	4,63	8,74	0,47:0,53
D53,47	4,32	4,94	9,26	0,47:0,53
D55,07	4,43	5,21	9,64	0,46:0,54
D56,21	4,42	5,37	9,80	0,45:0,55
D57,2	4,67	5,62	10,30	0,45:0,55
D57,55	4,64	5,67	10,31	0,45:0,55
D58,07	4,43	5,66	10,10	0,44:0,56
D58,32	4,70	5,82	10,53	0,45:0,55
D58,35	4,65	5,81	10,47	0,44:0,56
D58,36	4,68	5,82	10,50	0,45:0,55
D58,68	4,68	5,91	10,59	0,44:0,56
D58,78	4,67	5,88	10,55	0,44:0,56
D58,93	4,73	5,92	10,65	0,44:0,56
D59,3	4,33	5,82	10,16	0,43:0,57
D60,46	4,26	5,96	10,23	0,42:0,58
D62,15	4,51	6,32	10,84	0,42:0,58
D63,38	4,52	6,52	11,05	0,41:0,59
D64	4,34	6,53	10,87	0,40:0,60
D64,94	4,26	6,62	10,88	0,39:0,61

orangenes Dreieck	Stäbchen Dreieck	Zapfen Dreieck	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
D66,02	4,30	6,78	11,09	0,39:0,61
D68,18	4,26	7,06	11,32	0,38:0,62

b)

Hintergrund	Stäbchen Hintergrund	Zapfen Hintergrund	Summe	Verhältnis Stäbchen:Zapfen
H63,55	8,02	7,97	15,99	0,50:0,50
H63,47	8,01	7,96	15,97	0,50:0,50
H63,25	7,98	7,91	15,89	0,50:0,50
H63,4	8,00	7,94	15,94	0,50:0,50
H63,11	7,91	7,86	15,77	0,50:0,50
H63,67	8,07	8,02	16,09	0,50:0,50
H63,57	8,03	7,99	16,02	0,50:0,50
H63,56	8,06	8,00	16,06	0,50:0,50
H63,71	8,08	8,03	16,11	0,50:0,50
H63,8	8,08	8,04	16,13	0,50:0,50
H63,85	8,13	8,08	16,21	0,50:0,50
H63,72	8,13	8,05	16,18	0,50:0,50
H63,48	8,10	7,99	16,09	0,50:0,50
H63,59	8,03	8,00	16,03	0,50:0,50
H63,48	8,08	7,98	16,07	0,50:0,50
H63,77	8,09	8,05	16,14	0,50:0,50
H63,8	8,09	8,05	16,15	0,50:0,50
H63,36	8,06	7,95	16,02	0,50:0,50
H63,59	8,15	8,03	16,18	0,50:0,50
H63,26	8,08	7,95	16,03	0,50:0,50
H63,52	8,09	7,99	16,08	0,50:0,50
H63,5	8,11	8,00	16,12	0,50:0,50
H63,2	8,04	7,92	15,96	0,50:0,50
H63,72	8,16	8,07	16,24	0,50:0,50
H63,4	8,10	7,98	16,08	0,50:0,50

Tabelle 10.5: Erregungskontrast ($E_D - E_H$)/ E_H beim Kontrastsehen a) des Zapfens b) des Stäbchens am Beispiel des Seehundes Angie.

Z_D = Zapfenerregung beim Dreieck, Z_H = Zapfenerregung beim Hintergrund, St_D = Stäbchenerregung beim Dreieck, St_H = Stäbchenerregung beim Hintergrund

a) Zapfen

Dreieck grau/Hintergrund grau	Z_D	Z_H	$Z_D - Z_H$	Erregungskontrast ($Z_D - Z_H$)/ Z_H
D42,7/H72,89	3,14	11,30	-8,16	
D52,68/H63,59	5,06	7,88	-2,81	-0,36
D53,62/H71,8	5,31	10,92	-5,62	-0,51
D57,51/H57,52	6,20	6,22	-0,02	0,00
D57,8/H65,08	6,25	8,35	-2,10	-0,25
D57,82/H56,68	6,28	6,00	0,28	0,05
D62,26/H64,41	7,48	8,14	-0,66	-0,08
D63,35/H62,99	7,82	7,69	0,13	0,02
D63,54/H64,12	7,86	8,04	-0,18	-0,02
D65,72/H64,18	8,56	8,05	0,51	0,06
D67,68/H65,91	9,19	8,60	0,59	0,07
D73,07/H65,39	11,12	8,42	2,70	0,32
D78,36/H66,07	13,28	8,65	4,63	0,53
D83,34/H64,33	15,54	8,10	7,44	0,92
D89,33/H71,73	18,67	10,78	7,89	0,73

b) Stäbchen

Dreieck grau/Hintergrund grau	St_D	St_H	$St_D - St_H$	Erregungskontrast ($St_D - St_H$)/ St_H
D42,7/H72,89	2,96	11,55	-8,59	-0,74
D52,68/H63,59	4,87	7,75	-2,87	-0,37
D53,62/H71,8	5,19	11,30	-6,11	-0,54
D57,51/H57,52	6,00	6,05	-0,05	-0,01
D57,8/H65,08	6,09	8,24	-2,16	-0,26
D57,82/H56,68	6,10	5,82	0,28	0,05
D62,26/H64,41	7,34	8,03	-0,68	-0,09
D63,35/H62,99	7,71	7,57	0,14	0,02
D63,54/H64,12	7,70	7,88	-0,18	-0,02
D65,72/H64,18	8,44	7,92	0,52	0,07
D67,68/H65,91	9,11	8,48	0,63	0,07
D73,07/H65,39	11,11	8,29	2,82	0,34
D78,36/H66,07	13,35	8,54	4,80	0,56
D83,34/H64,33	15,70	7,95	7,75	0,97
D89,33/H71,73	19,09	10,97	8,12	0,74

Tabelle 10.6: Erregungskontrast $(E_D - E_H)/E_H$ beim Farbsehen Blau a) des Zapfens b) des Stäbchens am Beispiel des Seehundes Angie.

Z_D = Zapfenerregung beim Dreieck, Z_H = Zapfenerregung beim Hintergrund, St_D = Stäbchenenerregung beim Dreieck, St_H = Stäbchenenerregung beim Hintergrund

a) Zapfen

Dreieck blau/Hintergrund grau	Z_D	Z_H	$Z_D - Z_H$	Erregungskontrast $(Z_D - Z_H)/Z_H$
D58,44/H58,58	7,23	6,49	0,74	0,11
D62,34/H64,52	8,32	6,49	1,82	0,28
D58,93/H65,31	7,36	8,54	-1,17	-0,14
D58,75/H65,67	7,38	8,70	-1,32	-0,15
D59,2/H65,81	7,39	8,70	-1,31	-0,15
D59,11/H65,85	7,45	8,74	-1,29	-0,15
D59,08/H65,87	7,45	8,76	-1,32	-0,15
D63,15/H66,4	8,50	8,76	-0,26	-0,03
D63,42/H67,8	8,59	9,27	-0,69	-0,07
D60,79/H68,17	7,83	9,43	-1,60	-0,17
D60,65/H71,06	7,77	10,45	-2,68	-0,26

b) Stäbchen

Dreieck blau/Hintergrund grau	St_D	St_H	$St_D - St_H$	Erregungskontrast $(St_D - St_H)/St_H$
D58,44/H58,58	8,78	6,17	2,61	0,42
D62,34/H64,52	9,90	7,83	2,07	0,26
D58,93/H65,31	8,93	8,38	0,55	0,07
D58,75/H65,67	9,06	8,61	0,45	0,05
D59,2/H65,81	8,92	8,56	0,36	0,04
D59,11/H65,85	9,10	8,62	0,47	0,06
D59,08/H65,87	9,09	8,69	0,40	0,05
D63,15/H66,4	9,95	8,39	1,56	0,19
D63,42/H67,8	10,06	9,03	1,04	0,11
D60,79/H68,17	9,29	9,20	0,10	0,01
D60,65/H71,06	9,20	10,27	-1,07	-0,10

Tabelle 10.7: Erregungskontrast $(E_D - E_H)/E_H$ beim Farbsehen Grün a) des Zapfens b) des Stäbchens am Beispiel des Seehundes Angie.

Z_D = Zapfenerregung beim Dreieck, Z_H = Zapfenerregung beim Hintergrund, St_D = Stäbchenerregung beim Dreieck, St_H = Stäbchenerregung beim Hintergrund

a) Zapfen

Dreieck grün/Hintergrund grau	Z_D	Z_H	$Z_D - Z_H$	Erregungskontrast $(Z_D - Z_H)/Z_H$
D45,88/H59,64	3,62	6,72	-3,10	-0,46
D49,02/H59,46	4,21	6,67	-2,46	-0,37
D51,56/H58,9	4,77	6,55	-1,78	-0,27
D54,19/H59,37	5,39	6,70	-1,30	-0,19
D54,63/H59,49	5,50	6,70	-1,20	-0,18
D55,37/H58,92	5,74	6,58	-0,84	-0,13
D55,77/H59,4	5,80	6,71	-0,91	-0,14
D56,53/H59,43	5,98	6,72	-0,74	-0,11
D56,57/H59,17	5,98	6,68	-0,70	-0,11
D58,37/H59,28	6,47	6,69	-0,22	-0,03
D62,19/H59,34	7,59	6,71	0,89	0,13
D64,91/H58,8	8,55	6,56	1,99	0,30
D65,76/H57,46	8,96	6,26	2,70	0,43
D67,83/H60,21	9,66	6,97	2,69	0,39

b) Stäbchen

Dreieck grün/Hintergrund grau	St_D	St_H	$St_D - St_H$	Erregungskontrast $(St_D - St_H)/St_H$
D45,88/H59,64	3,36	6,35	-2,99	-0,47
D49,02/H59,46	3,86	6,32	-2,46	-0,39
D51,56/H58,9	4,31	6,22	-1,91	-0,31
D54,19/H59,37	4,88	6,41	-1,52	-0,24
D54,63/H59,49	4,95	6,37	-1,43	-0,22
D55,37/H58,92	5,15	6,29	-1,13	-0,18
D55,77/H59,4	5,21	6,40	-1,19	-0,19
D56,53/H59,43	5,38	6,41	-1,03	-0,16
D56,57/H59,17	5,27	6,46	-1,20	-0,19
D58,37/H59,28	5,68	6,47	-0,78	-0,12
D62,19/H59,34	6,51	6,45	0,06	0,01
D64,91/H58,8	7,31	6,31	1,00	0,16
D65,76/H57,46	7,78	6,10	1,68	0,28
D67,83/H60,21	8,71	6,77	1,93	0,29

Tabelle 10.8: Erregungskontrast $(E_D - E_H)/E_H$ beim Farbsehen Gelb a) des Zapfens b) des Stäbchens am Beispiel des Seehundes Angie.

Z_D = Zapfenerregung beim Dreieck, Z_H = Zapfenerregung beim Hintergrund, St_D = Stäbchenerregung beim Dreieck, St_H = Stäbchenerregung beim Hintergrund

a) Zapfen

Dreieck gelb/Hintergrund grau	Z_D	Z_H	$Z_D - Z_H$	Erregungskontrast $(Z_D - Z_H)/Z_H$
D51,73/H59,15	4,76	6,61	-1,84	-0,28
D52,97/H59,6	5,00	6,71	-1,71	-0,26
D54,82/H59,89	5,32	6,79	-1,46	-0,22
D56,8/H59,74	5,71	6,75	-1,04	-0,15
D57,8/H59,33	5,94	6,64	-0,69	-0,10
D58,5/H59,04	6,10	6,55	-0,44	-0,07
D58,93/H57,61	6,18	6,23	-0,06	-0,01
D59,25/H58,41	6,26	6,42	-0,16	-0,02
D59,29/H58,44	6,29	6,42	-0,13	-0,02
D59,31/H58,07	6,26	6,33	-0,07	-0,01
D59,36/H59,02	6,32	6,57	-0,25	-0,04
D59,35/H58,31	6,33	6,40	-0,08	-0,01
D59,7/H58,64	6,35	6,49	-0,14	-0,02
D59,86/H59,26	6,45	6,64	-0,19	-0,03
D60,51/H58,64	6,58	6,48	0,10	0,02
D60,71/H57,12	6,54	6,11	0,43	0,07
D65/H57,57	7,60	6,23	1,37	0,22
D70,15/H57	8,88	6,09	2,79	0,46
D78,59/H57,85	11,44	6,29	5,15	0,82
D87,7/H57,88	14,73	6,29	8,44	1,34

b) Stäbchen

Dreieck gelb/Hintergrund grau	St_D	St_H	$St_D - St_H$	Erregungskontrast $(St_D - St_H)/St_H$
D51,73/H59,15	4,46	6,40	-1,95	-0,30
D52,97/H59,6	4,58	6,47	-1,89	-0,29
D54,82/H59,89	4,63	6,54	-1,91	-0,29
D56,8/H59,74	4,78	6,51	-1,73	-0,27
D57,8/H59,33	4,93	6,41	-1,48	-0,23
D58,5/H59,04	5,05	6,32	-1,27	-0,20
D58,93/H57,61	5,05	6,09	-1,04	-0,17
D59,25/H58,41	5,10	6,25	-1,15	-0,18
D59,29/H58,44	5,16	6,23	-1,07	-0,17
D59,31/H58,07	5,05	6,15	-1,11	-0,18

D59,36/H59,02	5,20	6,37	-1,16	-0,18
D59,35/H58,31	5,28	6,24	-0,96	-0,15
D59,7/H58,64	5,09	6,31	-1,22	-0,19
D59,86/H59,26	5,34	6,45	-1,11	-0,17
D60,51/H58,64	5,36	6,28	-0,92	-0,15
D60,71/H57,12	5,08	5,97	-0,89	-0,15
D65/H57,57	5,73	6,07	-0,34	-0,06
D70,15/H57	6,11	5,96	0,14	0,02
D78,59/H57,85	7,21	6,15	1,07	0,17
D87,7/H57,88	8,57	6,12	2,45	0,40

Tabelle 10.9: Erregungskontrast $(E_D - E_H)/E_H$ beim Farbsehen Orange a) des Zapfens b) des Stäbchens am Beispiel des Seehundes Angie.

Z_D = Zapfenerregung beim Dreiecks, Z_H = Zapfenerregung beim Hintergrund, St_D = Stäbchenenerregung beim Dreieck, St_H = Stäbchenenerregung beim Hintergrund

a) Zapfen

Dreieck orange/Hintergrund grau	Z_D	Z_H	$Z_D - Z_H$	Erregungskontrast $(Z_D - Z_H)/Z_H$
D44,13/H63,55	3,34	7,98	-4,64	-0,58
D45,64/H63,47	3,59	7,97	-4,38	-0,55
D47,98/H63,25	3,99	7,91	-3,92	-0,50
D49,72/H63,4	4,27	7,94	-3,68	-0,46
D51,8/H63,11	4,66	7,86	-3,21	-0,41
D53,84/H63,67	5,03	8,02	-3,00	-0,37
D55,29/H63,57	5,27	7,99	-2,72	-0,34
D56,45/H63,56	5,45	8,00	-2,55	-0,32
D56,47/H63,71	5,64	8,04	-2,40	-0,30
D56,89/H63,8	5,58	8,05	-2,47	-0,31
D58/H63,85	5,76	8,09	-2,33	-0,29
D58,2/H63,72	5,78	8,06	-2,28	-0,28
D58,37/H63,48	5,72	7,99	-2,27	-0,28
D58,43/H63,59	5,84	8,00	-2,16	-0,27
D58,47/H63,48	5,75	7,99	-2,24	-0,28
D58,77/H63,77	5,88	8,05	-2,17	-0,27
D58,92/H63,8	5,91	8,06	-2,15	-0,27
D59,56/H63,36	5,91	7,96	-2,05	-0,26
D60,46/H63,59	5,97	8,03	-2,07	-0,26
D62,15/H63,26	6,33	7,95	-1,63	-0,20
D63,32/H63,52	6,51	8,00	-1,49	-0,19
D64/H63,5	6,53	8,01	-1,47	-0,18
D65/H63,2	6,62	7,92	-1,30	-0,16
D66,02/H63,72	6,79	8,07	-1,28	-0,16
D68,18/H63,4	7,06	7,98	-0,92	-0,11

b) Stäbchen

Dreieck orange/Hintergrund grau	St_D	St_H	$St_D - St_H$	Erregungscontrast ($St_D - St_H$)/ St_H
D44,13/H63,55	3,14	8,02	-4,88	-0,61
D45,64/H63,47	3,36	8,01	-4,65	-0,58
D47,98/H63,25	3,68	7,99	-4,31	-0,54
D49,72/H63,4	3,88	8,00	-4,12	-0,51
D51,8/H63,11	4,14	7,91	-3,77	-0,48
D53,84/H63,67	4,40	8,07	-3,67	-0,46
D55,29/H63,57	4,49	8,03	-3,54	-0,44
D56,45/H63,56	4,50	8,06	-3,56	-0,44
D56,47/H63,71	4,58	8,08	-3,51	-0,43
D56,89/H63,8	4,65	8,08	-3,43	-0,42
D58/H63,85	4,67	8,13	-3,46	-0,43
D58,2/H63,72	4,66	8,13	-3,47	-0,43
D58,37/H63,48	4,45	8,10	-3,65	-0,45
D58,43/H63,59	4,70	8,04	-3,33	-0,41
D58,47/H63,48	4,48	8,09	-3,60	-0,45
D58,77/H63,77	4,69	8,09	-3,40	-0,42
D58,92/H63,8	4,70	8,10	-3,40	-0,42
D59,56/H63,36	4,45	8,06	-3,61	-0,45
D60,46/H63,59	4,27	8,15	-3,88	-0,48
D62,15/H63,26	4,52	8,08	-3,56	-0,44
D63,32/H63,52	4,52	8,09	-3,57	-0,44
D64/H63,5	4,35	8,11	-3,77	-0,46
D65/H63,2	4,24	8,05	-3,80	-0,47
D66,02/H63,72	4,30	8,17	-3,87	-0,47
D68,18/H63,4	4,26	8,10	-3,84	-0,47

11. Schriftliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Biologie der Johannes Gutenberg-Universität Mainz zur Promotionsprüfung eingereichten Dissertation mit dem Titel

Dressurexperimente zum Kontrast- und Farbsehen von *Phoca vitulina* und *Arctocephalus pusillus*

im Frankfurter Zoo unter Betreuung und Anleitung von XXX mit Unterstützung durch XXX und XXX ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die der Dissertationen angeführten Hilfsmittel benutzt habe. Darüber hinaus versichere ich, nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsvermittlung in Anspruch genommen zu haben.

Ich habe bisher an keiner in- oder ausländischen Universität ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht. Die vorliegende Arbeit wurde bisher nicht als Dissertation eingereicht.

(Ort, Datum)

(Unterschrift)