

3 Ergebnisse

Für die Versuchsplanung war es wichtig, eine eventuelle Vorerfahrung (Vordressur) mit einem der Farbreize bzw. eine Präferenz für oder gegen einen bestimmten Farbreiz (siehe Buchenauer & Fritsch, 1980) festzustellen. Da die Grafikkarten im Computer auf das menschliche Sehvermögen in grober Näherung abgestimmt sind, kann nicht davon ausgegangen werden, dass gleichgroße Farbreizintensitäten, berechnet als Summe $R + B + G$ der zugehörigen RGB - Werte, von den Tieren als „gleichhell“ beurteilt werden (siehe **Abb. 3b**). Zur Veranschaulichung dieses Zusammenhangs wurde ein Tier exemplarisch ausgewählt (Werte des jeweiligen Tieres sind fett markiert), dessen RGB - Werte gleichheller Farbreize dann in den folgenden zusätzlichen Tests verwendet wurden.

3.1 Spontantests

3.1.1 Spontantests mit weiblichen Zwergziegen (Gruppe A)

Nachdem die Tiere (Gruppe A) in ihre neue Umgebung gebracht und mit der Apparatur nach wenigen Stunden vertraut waren, begannen die Experimente zum Farbwahrnehmungsvermögen der Zwergziegen.

Um eine eventuell durch Vorerfahrung (Bias) oder genetisch bedingte Präferenz für bestimmte Farbreize auszuschließen, wurde als erstes ein unbelohnter Test (Tränkung morgens und abends mit dem Eimer) über einen Tag durchgeführt. Dabei wurden die Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ als Kreise (Durchmesser: 12 cm) auf schwarzem Hintergrund pseudorandomisiert gegen „Schwarz“ vom Monitor der Apparatur (**Abb. 5**) präsentiert. Der Kreis wurde deshalb als Symbol gewählt, um zu gewährleisten, dass das Licht

für alle Augenbewegungen gleich sichtbar ist, da die Retina konzentrisch um die Hauptblickrichtung organisiert ist (*Area centralis*, Hughes & Whitteridge, 1973, siehe oben). Wenn eine bestimmte Bevorzugungs- oder Vermeidungsreaktion für einen farbigen Stimulus vorläge, müsste diese bei der Dressur durch systematische bzw. pseudorandomisierte Gegendressur über einen Zeitraum von 1-2 Wochen gezielt berücksichtigt werden.

Insgesamt wurden von 10 Tieren 72 Wahlen von Monitor-Farbreizen registriert (Summe aus Wahlen Farbreiz und Wahlen „Schwarz“ ergibt für die Stichprobe 72 Wahlen, **Tab. 6**). Die Anzahl der Wahlen je Farbreiz bei maximaler Intensität stellt **Tab. 6** als Stichprobe dar. Die Farbreize wurden insgesamt 31 mal gewählt, „Schwarz“ 41 mal. Dabei entfielen auf jeden Farbreiz 10 („Rot“ und „Blau“) bzw. 11 („Grün“) Wahlen. Der Erwartungswert für 72 Wahlen insgesamt liegt für „Schwarz“ und je Farbreiz bei 36 Wahlen, wobei bei Gleichverteilung je 8 mal der Farbreiz gewählt werden würde. Gleichzeitig zeigt sie die Unabhängigkeit der Wahlen (ermitteltes $\chi^2 < \text{berechnetes } \chi^2$, s. u.). Die Berechnung der χ^2 -Werte erfolgte gemäß **Fig. 1** und des Erwartungswertes gemäß **Fig. 2**.

	„Rot“ RGB(255,0,0)	„Grün“ RGB(0,255,0)	„Blau“ RGB(0,0,255)	Wahlen: Farbreiz	Wahlen: Schwarz
Stichprobe	10	11	10	31	41
Erwartungswert	8	8	8	36	36
Differenz	2	3	2	5	5
χ^2	0.5	1.1	0.5	0.7	0.7

Tab. 6 Darstellung der Verteilung der Wahlanzahlen auf die Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ bzw. Farbe und „Schwarz“ der **Gruppe A** (Stichprobe), χ^2 -Test auf Unabhängigkeit der Anzahl Wahlen im Spontanstest pro präsentiertem Farbstimulus zeigt, dass die Wahlen signifikant unabhängig für die drei Farbreize und „Schwarz“ getätigt wurden.

Der χ^2 -Wert für die Unabhängigkeit der Wahlen je Farbstimulus hat zwei Freiheitsgrade, da drei Klassen („Rot“, „Grün“ und „Blau“) vorliegen (siehe **Kap. 2.1.5**) und bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ laut Tabelle den Wert 5.9915 (Sachs, 1976b). Der berechnete χ^2 -Wert = $0.5 + 1.1 + 0.5 = 2.1 < \chi_{2; 0,05} = 5.9915$, d. h. mit über 95 % Wahrscheinlichkeit ist die Stichprobe (Anzahl Wahlen pro Farbstimulus) gleichverteilt und die Farbstimuli wurden unabhängig voneinander gewählt. Somit bestand kein signifikanter Unterschied in der Anzahl der Wahlen für die Farbstimuli „Rot“, „Grün“ und „Blau“.

Aufgrund der Unabhängigkeit der Spontan-Wahlen je Farbreiz, dürfen diese zusammengefasst werden. Dabei wurde 31 mal der Farbstimulus und 41 mal die „schwarze“ Monitorseite gewählt (**Tab. 6**). χ^2 hat 1 Freiheitsgrad, da zwei Klassen (Wahlen: chromatischer Farbreiz und „Schwarz“) vorliegen (siehe **Kap. 2.1.5**). Laut Tabelle (Sachs, 1976b) findet sich bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ der Wert 3.8415. Der berechnete χ^2 -Wert = $0,7 + 0,7 = 1,4$ ist $< \chi_{1; 0,05} = 3,8415$, d. h. die gemessenen Spontan-Wahlen für die drei chromatischen Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ gegen den „schwarzen“ Farbreiz sind mit über 95% Wahrscheinlichkeit gleichverteilt. Dieses Ergebnis zeigt eindeutig, dass die getesteten Zwergziegen keine Spontanpräferenz für einen der in den weiteren Experimenten verwendeten Farbreize besitzen. Die Farbreizdressuren konnten deshalb ohne Komplikationen gemäß dem oben dargestellten einfachen Dressurprogramm durchgeführt werden.

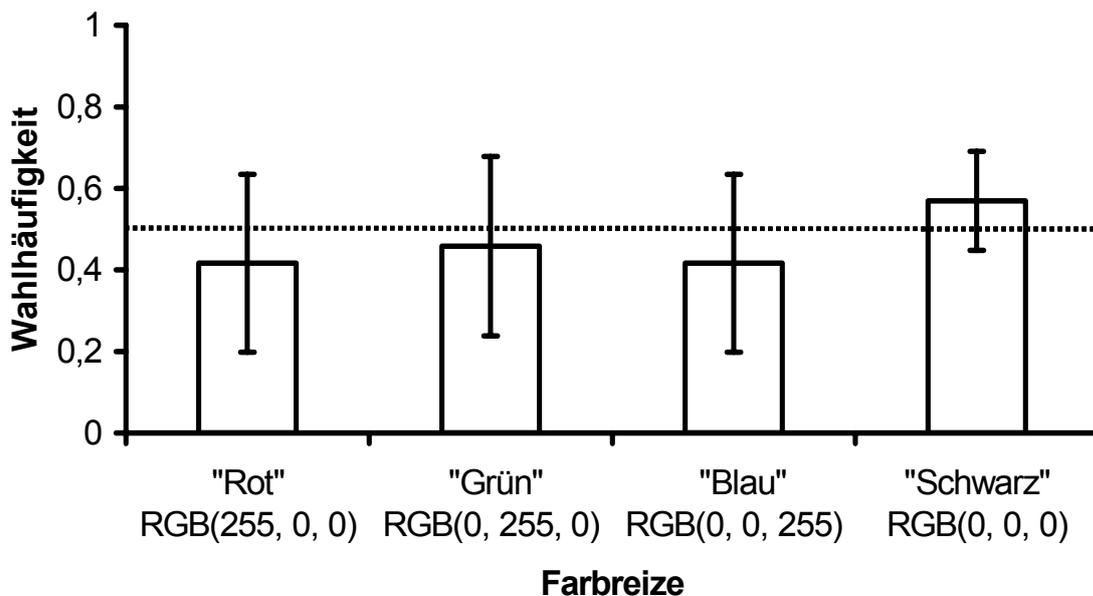


Abb. 10: Darstellung der Wahlhäufigkeiten für die drei Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ mit jeweils maximaler Intensität gegen „Schwarz“; Fehlerbalken geben 95% VB an.

Zusammenfassung und Diskussion: Keiner der vier getesteten Farbreize löste eine signifikante spontane Bevorzugungs- oder Abweisungsreaktion bei einem der Tiere aus (siehe **Tab. 6**). Die in der Arbeit von Buchenauer und Fritsch (1980) aufgetretene Ablehnung eines „blauen“ Stimulus trat bei unseren Zwergziegen nicht auf. In der folgenden Farbreizdressur musste daher nicht gegen einen „Bias“, z. B. wegen Vorerfahrung, dressiert werden. Die

Lernkurven zeigten für alle Tiere einen stetigen Anstieg der Richtigwahlen während der 200 bis 400 Wahlakte (siehe **Anhang C**).

3.1.2 Spontantests mit männlichen Zwergziegen

Da die **Gruppe A** (weibliche Tiere) zwischenzeitlich wegen Ablammens und erneuter Bedeckung nicht zur Verfügung stand (s. o.), fanden während dieser Zeitspanne Tests mit einer Gruppe von 9 Böcken (**Gruppe B**) statt. Die Tests mit den Böcken wurden in der gleichen Box und mit derselben Versuchsapparatur wie die der **Gruppe A** durchgeführt.

Zuerst wurden mit **Gruppe B** Spontantests durchgeführt, die unbelohnt waren und über einen Tag gingen. Die Tränkung fand wiederum morgens und abends mit dem Eimer statt. Diesmal waren auch Zwischenfarbreize (Mischlichter aus „Rot“ -, „Grün“ - und „Blau“ - Licht, s. o.) im Test, um ggf. auch eine Präferenz für oder gegen diese zusätzlichen Farbreize herauszufinden. Da in den Spontantests mit den weiblichen Tieren bereits sehr häufig „Schwarz“ präsentiert wurde, sollten diesmal nur die farbigen Lichter gegeneinander getestet werden. Die präsentierten Farbreize wurden als zwei farbige Kreise (Durchmesser: 12 cm) gleicher Intensität (R + G + B), je einer auf einer Monitorhälfte mit schwarzem Hintergrund, dargestellt. Die präsentierten Farbstimuli waren diesmal „Rot“: RGB(255, 0, 0), „Grün“: RGB(0, 255, 0), „Blau“: RGB(0, 0, 255), „Gelb“: RGB(255, 255, 0), „Türkis“: RGB(0, 255, 255) und „Violett“: RGB(255, 0, 255), und wurden nacheinander in dieser Reihenfolge präsentiert. Damit die Tiere die Farbstimuli beachtetten und nicht nur wahllos an den Knöpfen spielten, wurde jeweils zwischen diesen Reizen für 4 Sekunden der Monitor dunkel.

Insgesamt wurden von den 9 Tieren 60 Aktionen bzw. Wahlen am Monitor vom Computer aufgezeichnet. Davon entfielen 18 „Wahlen“ auf die jeweils zwischengeschaltete „schwarze“ Monitormattscheibe. Da „Schwarz“ dieses Mal nicht als Farbreiz präsentiert wurde - kurze Präsentationszeit (4 Sekunden) und 6 mal so häufige Darstellung wie jeder gültige Farbreiz - gingen diese „Schwarz“ - Wahlen nicht in die Betrachtung ein. Auf die verschiedenen Farbreize fielen also 42 Wahlen, die sich wie folgt (siehe **Abb. 11**) verteilten:

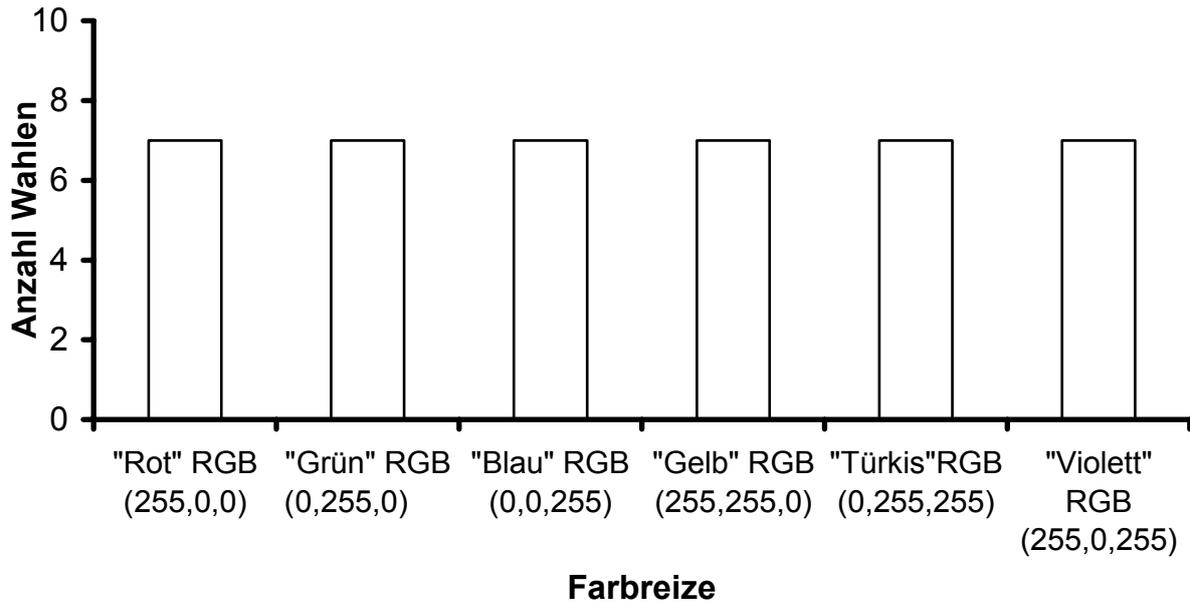


Abb. 11 Verteilung der absoluten Wahlanzahlen für die verschiedenen Farbreize im Spontantest zusammen für alle Tiere. Da alle Farbreize absolut gleichhäufig gewählt wurden entfallen Unabhängigkeitstest und Fehlerbalken.

Für alle präsentierten Farbreize verteilen sich die Wahlen absolut gleich, d.h. es fand keinerlei Bevorzugung oder Abweisung eines Farbstimulus statt.

Zusammenfassung und Diskussion: Da bereits in den Versuchen mit den weiblichen Tieren (**Gruppe A**) gezeigt wurde, dass chromatische Farbreize gegenüber „Schwarz“ nicht signifikant bevorzugt oder gemieden wurde, sollten diese Tests mit **Gruppe B** nun zeigen, ob eventuell eine der Zwischenfarbreize eine Bevorzugungs- oder Ablehnungsreaktion hervorrufen könnte. Aufgrund der Gleichverteilung der Wahlen auf alle Farbreize, konnte davon ausgegangen werden, dass auch bei den Zwischenfarbreizen keine Bevorzugung oder Ablehnung bei der Dressur auftreten würde (siehe Lernkurven **Anhang C**).

3.2 Bestimmung des Akquisitionsverlaufs

Zur Bestimmung des Akquisitionsverlaufs (Lernkurven) sollten die Tiere der **Gruppe A** zunächst auf die „schwarze“ Monitorseite dressiert werden, während auf der jeweils anderen Seite ein „grüner“ Kreis maximaler Intensität (RGB(0, 255, 0)) auf „schwarzem“ Hintergrund angeboten wurde. Alle Tiere hatten nach etwa einer Woche (ca. 500 – 600 Wahlen) ein Richtigwahlniveau von > 75 % erreicht und wurden für die weiteren Tests zugelassen. Nachdem die Tiere diese Aufgabe erlernt hatten (belohnte „schwarze“

Monitorseite gegen „grünen“ Kreis), wurde mit den eigentlichen Tests zur Bestimmung der Lernkurven begonnen (siehe **Anhang C**).

3.2.1 Versuche mit Gruppe A

Gegen den positiven Farbreiz „Schwarz“ wurden in folgender Reihenfolge die Alternativstimuli „Grün“, „Rot“, „Blau“, „Gelb“, „Türkis“, „Violett“ und „Weiß“ mit maximaler Lichtintensität (R+G+B) für je ca. eine Woche angeboten. In der folgenden Tabelle (**Tab.7**) sind die Akquisitionsniveaus der Tiere dargestellt.

Schwarz“ RGB(0, 0, 0) gegen	„Grün“ RGB(0, 255, 0)	„Rot“ RGB(255, 0, 0)	„Blau“ RGB(0, 0, 255)	„Gelb“ RGB(255, 255, 0)	„Türkis“ RGB(0, 255, 255)	„Violett“ RGB(255, 0, 255)	„Weiß“ RGB(255, 255, 255)
Tier- Nummern							
Nr.1 =216	98.2	97.3	98.6	100	100	100	- a)
Nr.2 =217	95.1	95.1	100	100	100	100	98.4
Nr.3 =220	96.6	99.0	99.3	100	100	99.2	100
Nr.4 =226	100	100	98.4	100	100	92.1	96.6
Nr.5 =232	97.5	97.3	95.3	98.8	100	95.4	100
Nr.6 =237	95.2	100	95.9	98.9	100	100	98.6
Nr.7 =241	100	95.2	99.2	98.5	100	99.3	95.6
Nr.8 =246	98.3	92.6	94.6	100	100	- b)	- b)
Nr.9 =249	100	97.1	93.4	97.0	100	100	94.4
Nr10=254	95.5	95.6	98.0	100	100	96.7	97.9

Tab. 7 Akquisitionsniveaus in Wahlprozenten % des Dressurfarbreizes für die Tiere der Gruppe A; a) keine Wahlen, weil dieses Tier die Reste der anderen trank ; b) keine Wahlen, weil das Tier an Diarrhö erkrankte und dann leider starb.

Aus **Tab.7** geht eindeutig hervor, dass alle 10 Tiere ein hohes Akquisitionsniveau (Tier Nr.4 lieferte mit einer Wahlhäufigkeit von 92.1% für „Violett“ den tiefsten Wert) unabhängig vom Alternativfarbreiz zeigten. Bei allen Tieren war die Dressur auf die „schwarze“ Monitorseite gelungen. Die Zusammenfassung der Richtigwahlen aller Tiere

(Gruppenmittelwert) hinsichtlich der verschiedenen Farbreize ist aufgrund des χ^2 -Unabhängigkeitstests zulässig. Die Ergebnisse zeigt **Tab. 8**.

Farbreiz RGB(R, G, B)	Akquisitionsniveau
„Rot“ RGB(255, 0, 0)	96.9 %
„Grün“ RGB(0, 255, 0)	98.7 %
„Blau“ RGB(0, 0, 255)	95.1 %
„Gelb“ RGB(255, 255, 0)	99.5 %
„Türkis“ RGB(0, 255, 255)	98.3 %
„Violett“ RGB(255, 0, 255)	98.1 %
„Weiß“ RGB(255, 255, 255)	98.9 %

Tab. 8 Akquisitionsniveaus (Gruppenmittelwerte) je Farbreiz für Gruppe A.

Für alle Farbreize konnten Akquisitionsniveaus von ≥ 95.1 % (Gruppenmittelwert) erreicht werden. Dabei unterschieden sich die Akquisitionsniveaus der verschiedenen Farbstimuli nur geringfügig (Min. = 95.1 % bei „Blau“, Max. = 99.5 % bei „Gelb“).

Zusammenfassung und Diskussion: Nachdem die Dressur auf die „schwarze“ Monitorseite für alle Zwergziegen gelungen war, konnte für keinen der Farbreize ein signifikanter Unterschied im Akquisitionsniveau festgestellt werden. Dies ist ein weiterer Beweis dafür, dass die Tiere keinen der präsentierten Farbreize bevorzugen oder ablehnen. Dies gibt selbstverständlich noch keine Auskunft darüber, ob die Tiere die Farbreize aufgrund ihres Wellenlängenunterschieds oder nur aufgrund ihrer unterschiedlichen Helligkeit voneinander unterscheiden. Die Bestimmung der absoluten Sichtbarkeitsschwellen für die Farbreize und der Intensitätskurven sollen in den folgenden Tests hierüber weitere Klarheit geben.

3.2.2 Versuche mit Gruppe B (Böcke)

Die Versuche mit den 9 Böcken konnten nur über einen beschränkten Zeitraum durchgeführt werden. So wurden Tests zur Bestimmung der Akquisitionsniveaus für den Farbreiz „Grün“ durchgeführt und für „Weiß“ - Licht. Die Akquisitionsniveaus der Farbreize „Rot“ und „Blau“ konnten deshalb nur indirekt ermittelt werden, d. h. die

Richtigwahlhäufigkeit wurde jeweils bei maximaler Intensität dieser Farbreize gegen „Schwarz“ aus der Wahlhäufigkeitskurve (s. u.) abgelesen. Zunächst wurde mit der Präsentation von „Schwarz“ gegen „Grün“ RGB(0, 255, 0) über 10 Tage begonnen. Belohnt war der „schwarze“ Farbreiz, da dieser für die folgenden Tests gleichblieb, um eine Umdressur zu erübrigen. An die Präsentation des „grünen“ Alternativstimulus, schlossen sich die Farbreize „Weiß“, „Rot“ und „Blau“ in dieser Reihenfolge an. Dabei wurde das Akquisitionsniveau für die letztgenannten Reize aus den Versuchen von „Schwarz“ gegen verschiedene Intensitätsintervalle (**Kap. 3.4.3**) bei maximaler Intensität (R+G+B) des jeweiligen Farbreizes, bzw. RGB(128, 128, 128) für „Weiß“, nachträglich (Ablesen der Richtigwahlhäufigkeit bei max. RGB - Wert des Alternativstimulus) bestimmt. **Tab. 9** gibt einen Überblick über die erreichten (**fett**) und abgelesenen Akquisitionsniveaus der Einzeltiere.

„Schwarz“ RGB(0, 0, 0) gegen	„Grün“ RGB(0, 255, 0)	„Weiß“ RGB(128, 128, 128)	„Rot“ RGB(255, 0, 0)	„Blau“ RGB(0, 0, 255)
Tier- Nummern				
Nr.1 = 319	95.2	92.5	100	95.8
Nr.2 = 321	89.7	95.6	96.7	96.8
Nr.3 = 330	100	95.8	96.5	95.2
Nr.4 = 320	100	83.3	83.7	95.8
Nr.5 = 342	95.1	93.6	97.9	95.8
Nr.6 = 360	82.6	100	95.5	96.2
Nr.7 = 340	97.1	75.2	79.0	89.4
Nr.8 = 334	98.4	98.0	98.9	88.5
Nr.9 = 341	98.6	95.9	92.7	94.2

Tab. 9 Akquisitionsniveaus in Wahlprozenten für die Gruppe B (Böcke).

Aus **Tab. 9** geht hervor, dass alle 9 Tiere ein Akquisitionsniveau von mindestens 75% unabhängig vom Alternativfarbreiz zeigten. Das Tier mit der Nummer 7 liegt für die drei nach „Grün“ getesteten Alternativstimuli im Akquisitionsniveau zwar nahe, aber noch oberhalb der untersten gesetzten Grenze von 75% Richtigwahlen, und ist damit für die folgenden Tests

qualifiziert. Die Richtigwahlfrequenzen für die Alternativstimuli „Weiß“, „Rot“ und „Blau“ sind nur bedingt als Akquisitionsniveau zu werten, da „Schwarz“ zwar belohnt war, der Alternativstimulus jedoch ständig seinen RGB - Wert änderte (siehe oben). Es fand keine Dressur auf den jeweiligen Farbstimulus statt. Nachdem das Lernniveau für „Schwarz“ vs. „Grün“ in maximaler Intensität erreicht war, wurden die anderen Farbreize ohne neuere Dressur gegen „Schwarz“ präsentiert. Die Akquisitionsniveaus für den „roten“, „blauen“ und „weißen“ Alternativstimulus wurden aus den Richtigwahlen pro Gesamtwahlen für die RGB - Werte jeweils maximaler Intensität (R+B+G) berechnet (**Kap. 3.4.3**) bzw. abgelesen und nicht in alleiniger Dressur eines Alternativstimulus gegen „Schwarz“ über wenigstens 4 Tage (siehe weibliche Tiere) ermittelt. Aus diesem Grund liefert **Tab. 9** die „wirklichen“ Akquisitionsniveaus nur für den Alternativfarbreiz „Grün“, da hier über 10 Tage der Alternativstimulus gleich blieb. Bei allen Tieren war die Dressur auf die „schwarze“ Monitorseite gegen „Grün“ gelungen.

Zusammenfassung und Diskussion: Alle Böcke zeigten ein hohes Akquisitionsniveau von (> 82 %) nach ca. 10 Tagen für „Schwarz“ gegen den Alternativstimulus „Grün“. Der Zeitraum von 10 Tagen kam zustande, weil die **Gruppe B** erstens sehr aktiv war (z. B. Überspringen von Zäunen zur Gruppe der weiblichen Tiere) und mehrmals Teile der Apparatur zerstörte, wodurch die Versuche immer wieder unterbrochen werden mussten und zweitens war diese Gruppe sehr inhomogen, was das Lernverhalten anging (Lernkurven **Anhang C**). Es gab einige Tiere, die die Aufgabe sehr schnell erlernten, während andere viele Wahlen und Belohnungen mehr benötigten. Dennoch erlernten alle schließlich die Aufgabe und erreichten ein Richtigwahlniveau von mindestens 75% für die Alternativstimuli „Weiß“, „Rot“ und „Blau“ bei maximalen RGB - Werten.

Die Verkürzung der Versuche mit **Gruppe B** war aufgrund des kurzen Zeitraumes, in dem die Tiere zur Verfügung standen und des langsamen Lernerfolges zu Beginn der Experimente notwendig. Da bei den Ziegen der **Gruppe A** kein signifikanter Unterschied im Akquisitionsniveau für einen der Farbreize gefunden wurde, konnte davon ausgegangen werden, dass die Richtigwahl nicht vom Alternativfarbreiz abhängig ist. Deshalb wurden die Versuche mit den Böcken (**Gruppe B**) zur Bestimmung der RGB - Werte gleichheller Farbreize gegen „Weiß“ - Licht und gegen die Alternativfarbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ mittels **Methode II (Kap. 3.4.1)** direkt an die Dressur von „Schwarz“ gegen „Grün“ angehängt.

3.3 Absolute Sichtbarkeitsschwellen

Die bei der Dressur verwendeten Reize maximaler Intensität wurden in den folgenden Tests jeweils stufenweise in der Intensität reduziert und gegen „Schwarz“ präsentiert. Während dieser Tests wurde immer die „schwarze“ Monitorseite belohnt, da so gewährleistet werden konnte, dass der dressierte, belohnte Farbreiz gleich blieb. Außerdem wurden nach jeder Reizpräsentation, die bei Richtigwahl belohnt war, neutrale Reize (vorangegangener unbelohnter Stimulus gleichzeitig auf beiden Monitorseiten), als Zwischenschritte im Reizprogramm (s. o.), über ca. 4 Sekunden präsentiert. Während dieser Zwischenschritte erfolgte keine Belohnung (**Kap. 2.5**). Die folgenden Tests fanden nur für die weiblichen Tiere (**Gruppe A**) in dieser Form statt.

Die Farbreize wurden in der Reihenfolge „Grün“ RGB(0, 255, 0), „Rot“ RGB(255, 0, 0) und „Blau“ RGB(0, 0, 255) für jeweils acht Tage gegen „Schwarz“ angeboten (Akquisitionsniveaus siehe **Kap. 2.1.3**). An die Experimente mit dem Farbreiz „Blau“ schloss sich nach 10 Tagen eine Variation der Intensität (Veränderung des R+G+B - Wertes) des Farbreizes „Blau“, nach zwei unterschiedlichen Methoden an: **1)** Bei der Auf- und Ab-Methode (**Methode I, Kap. 2.1.4**) wurden die RGB - Werte bei Richtigwahl auf die Hälfte reduziert, bei Falschwahl wieder verdoppelt. Hierbei ergibt sich ein Maximum von Wahlen bei derjenigen Intensität (R+G+B), an der sich die absolute Sichtbarkeitsschwelle befindet. Dies führt in diesem Bereich zu kleinen Fehlerbalken und außerdem zu einem schnellen Ergebnis. Jedoch sind die Fehlerbalken für die restlichen präsentierten Intensitäten relativ groß. **2)** In **Methode II** wurden die unterschiedlichen Intensitätsvariationen gleichhäufig gegen „Schwarz“ präsentiert, was zur Folge hat, dass alle Fehlerbalken ungefähr gleich groß sind. So konnten die ermittelten Richtigwahlfrequenzen über den Intensitäten (R+G+B) als Kurve dargestellt werden, aus der dann RGB - Werte gleichheller Farbreize (gleichhäufig gewählt) ablesbar sind.

Nachdem kein Unterschied im Akquisitionsniveau in Abhängigkeit vom Farbstimulus für „Rot“, „Grün“ und „Blau“ auftrat (**Kap. 3.2**), wurde die Zeit vor der Reduktion der Intensität für die folgenden Farbstimuli auf vier Tage verkürzt. Zur Sicherung des Akquisitionsniveaus wurden die Farbreize „Gelb“, „Türkis“, „Violett“ und „Weiß“ über 4 Tage mit maximaler Intensität gegen „Schwarz“ (belohnter Stimulus) angeboten. Diesen folgten jeweils 8 Tage der Intensitätsvariation (je 4 Tage pro Methode). Während der Präsentation von „Türkis“ mussten 2 Tiere aus dem Versuch genommen werden. Eines

erkrankte und verendete schließlich an Diarrhö (Tier-Nr.8: 246) und das andere (Tier-Nr.1: 216) entwickelte die Strategie, die Reste der anderen Tiere zu saufen, anstatt einen der beiden Knöpfe zu betätigen (s. o.). Bei den verschiedenen Farbstimuli treten deshalb unterschiedliche Tieranzahlen auf. An die Intensitätsvariation von „Weiß“ –Licht schloss sich die gleiche Abfolge für „Rot“ –Licht und schließlich für „Grün“ -Licht an.

Für die Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ wurden folgende acht Intervalle (Beispiel: Rot) angeboten: RGB(255, 0, 0), RGB(128, 0, 0), RGB(64, 0, 0), RGB(32, 0, 0), RGB(16, 0, 0), RGB(8, 0, 0), RGB(4, 0, 0) und RGB(3, 0, 0). Diese Intervalle wurden für „Grün“ (RGB(0, G, 0)) und „Blau“ (RGB(0, 0, B)) entsprechend verwendet. Die Zwischenfarbstimuli für „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ ergeben sich durch Mischung der Farbstimuli für „Rot“ und „Grün“ („Gelb“ RGB(R, G, 0)) bzw. „Grün“ und „Blau“ („Türkis“ RGB(0, G, B)) bzw. „Blau“ und „Rot“ („Violett“ RGB(R, 0, B)) und sind deshalb mit doppelter maximaler Intensität (R+B+G) erzeugbar. Für „Gelb“ wurden folgende acht Intervalle angeboten: RGB(255, 255, 0), RGB(128, 128, 0), RGB(64, 64, 0), RGB(32, 32, 0), RGB(16, 16, 0), RGB(8, 8, 0), RGB(4, 4, 0) und RGB(2, 2, 0). Da „Weiß“ –Licht, RGB(255, 255, 255) sich durch Mischung aller drei Wellenlängenbereiche für „Rot“ -, „Grün“ - und „Blau“ - Licht ergibt, kann es in dreifacher Intensität ($R+B+G = 3 \times 255$) dargestellt werden, wodurch sich die Anzahl der Intervalle auf zehn erhöht. So wurden die Werte RGB(255, 255, 255), RGB(128, 128, 128), RGB(64, 64, 64), RGB(32, 32, 32), RGB(16, 16, 16), RGB(8, 8, 8), RGB(4, 4, 4), RGB(3, 3, 3), RGB(2, 2, 2) und RGB(1, 1, 1) angeboten. Für „Weiß“ wurden wegen der größeren Intervallanzahl zunächst nur die Intervalle der höheren Intensitäten angeboten (Test W1). Die Wahlhäufigkeiten wurden dann zusätzlich in einem zweiten Test (W2) in gleicher Weise ermittelt.

Experimente nach beiden **Methoden (I und II)** schlossen sich für jeweils 4 Tage an die Dressur von „Schwarz“ (RGB(0, 0, 0)) gegen den jeweiligen Farbstimulus mit max. RGB - Wert in der Reihenfolge „Gelb“, „Türkis“, „Violett“, „Weiß“, „Rot“ und „Grün“ an.

Zwischen den einzelnen 30 Reizpräsentationen, die bei Richtigwahl belohnt wurden, wurden 30 Zwischenschritte mit neutralen Reizen eingefügt (**Kap. 2.1.3**), bei denen die Tiere nicht belohnt wurden. In dieser Zeit (4 Sekunden) wurde immer die vorangegangene Intensitätsstufe in zwei Kreisen gleichzeitig rechts und links präsentiert, um den Tieren zu zeigen, dass dies der unbelohnte Stimulus ist.

3.3.1 Messmethode I: Auf- und Ab- Methode

Belohnter Reiz war die „schwarze“ Monitorseite, die gegen einen Alternativfarbreiz (Beispiel: „Grün“) in den verschiedenen Intensitätsstufen (s. o.) angeboten wurde. Es lag ein Versuchsplan mit insgesamt 60 Schritten, bzw. 30 Wahlen (Reizpräsentationen) und 30 Zwischenschritten (Neutralpräsentationen), zugrunde. Dabei wird mit einem Kreis maximaler Intensität begonnen ($R, G, B = 0, 255, 0$, $R+B+G = 255$), die sich mit jeder Richtigwahl auf die Hälfte reduziert, bis zu einem RGB - Wert von $R, G, B = 0, 3, 0$ mit der Intensität $R+B+G = 3$, und die bei Falschwahl eine Verdopplung der vorangegangenen Intensität ($R+G+B$) bewirkt. Der Kreis wechselt pseudorandomisiert zwischen der rechten und linken Seite. Diese Tabelle lässt wiederum höchstens drei Mal hintereinander die gleiche Seite als die belohnte zu, um einer eventuell auftretenden Seitenstetigkeit vorzubeugen (s. o.). Da sich beim Verwechseln von der „schwarzen“ Seite mit dem farbigen Kreis die Intensität bis um den Schwellenwert reduziert und sich bei diesem Intensitätswert die Messung einpendelt, kann die Intensität der absoluten Sichtbarkeitsschwelle als interpoliertes Minimum der Intensitätskurve ermittelt werden (**Kap. 2.1.5**). Der Intensitätswert, der zu 50% von „Schwarz“ unterschieden werden kann, liegt beim 2-fachWahlexperiment bei 75% Richtigwahlen, da hierbei die Zählung so erfolgt, dass 50% Richtigwahlen Identität bedeuten.

Um allen Tieren die Chance zu geben auch höhere Intensitäten zu wählen, folgte auf den letzten Schritt mit dem geringsten Intensitätsintervall ($RGB(0, 3, 0)$), unabhängig von der Korrektheit der Wahl wiederum die maximale Intensität. Dieser letzte Schritt war notwendig, um einer Abdressur vorzubeugen, durch eine dauernde Nachdressur mit gut vom Dressurfarbreiz „Schwarz“ unterscheidbaren Alternativen. Dies gewährleistete zudem, dass jede Ziege ihren täglichen Wasserbedarf während des Experiments decken konnte.

Jede Ziege steuerte somit durch ihre Wahlen die Intervallhalbierung. Bei Unterscheidung von „Schwarz“ vom Alternativfarbreiz und Richtigwahl erfolgte eine Belohnung und eine Intensitätsreduktion, bei Falschwahl wiederum die Präsentation des vorherigen Alternativfarbreizes, der unterscheidbar war, also eine Intensitätserhöhung. Die maximale Darbietungszeit für den einzelnen Reiz war 3 Stunden, d.h. dass bei Nichtwahl nach dieser Zeit automatisch der nächste Schritt (Reizpräsentation) aufgerufen wurde.

Die Ergebnisse dieser Versuche sind als relative Häufigkeiten über der relativen Intensität des Alternativfarbreizes aufgetragen (**Abb. 12**). Das Maximum der Kurve die mit **Methode I** ermittelt wurde, ergibt interpoliert die absolute Sichtbarkeitsschwelle des Farbreizes.

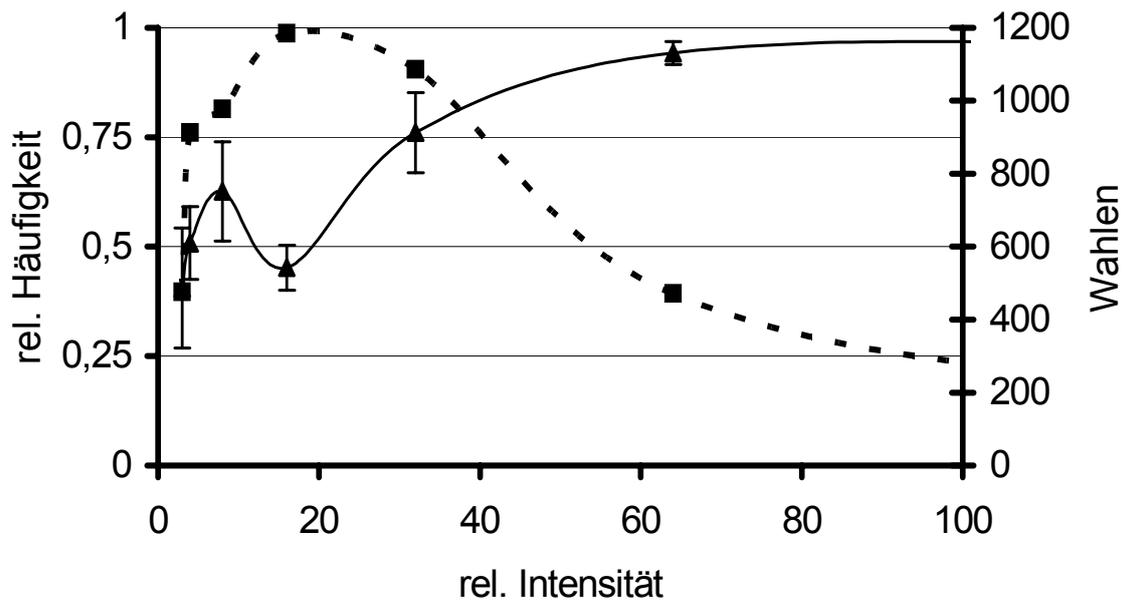


Abb. 12 Ergebnisse der Experimente mit **Methode I**. Die relative Häufigkeit für „Schwarz“ ist gegen die relative Intensität (R+B+G) für den Alternativreiz „Rot“ aufgetragen; Fehlerbalken: Standardfehler; Dreiecke: gewogene Mittelwerte der relativen Richtigwahlhäufigkeiten; Quadrate: Wahlhäufigkeit (rechte Ordinate); rel. Häufigkeit: rel. Richtigwahlhäufigkeit (linke Ordinate); **Gruppe A**: 8 Zwergziegen.

Denjenigen RGB - Wert, bei dem sich die Wahlen häufen, können die Tiere gerade noch bzw. gerade nicht mehr den Testfarbreiz dieser Intensität vom belohnten Farbreiz „Schwarz“ unterscheiden. Diese Maxima der Wahlhäufigkeiten liegen erwartungsgemäß für alle getesteten Farbreize bei unterschiedlichen Intensitäten. Trägt man die Wahlhäufigkeit für „Schwarz“ gegen jeden getesteten RGB - Wert (rel. Intensität) graphisch auf, entstehen Intensitätskurven, die zwar einen ähnlichen Verlauf, jedoch unterschiedliche Steigungen zeigen (**Abb.13** und **Abb.14**; **Anhang E**: **Abb. E1-44**).

Wie man z. B. aus dem Test von „Rot“ gegen „Schwarz“ (**Abb. 12**) erkennen kann, findet sich das Maximum (1183 Wahlen) der Gesamtanzahl aller getätigten Wahlen (Quadrate, gestrichelte Linie) aller Tiere der **Gruppe A** bei dem relativen Intensitätswert $R+B+G = 16$, RGB(16, 0, 0). An diesem zeigen die rel. Richtigwahlhäufigkeiten (Dreiecke, durchgezogene Linie) ein Minimum. Die gewogenen Mittelwerte (**Kap. 2.1.5**) der rel. Richtigwahlhäufigkeiten berücksichtigen die Wahlen aller 8 Tiere. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes (**Kap. 2.1.5**) dar. Die Überlappung der Fehlerbalken der Wahlhäufigkeiten bei rel. Intensitäten, die kleiner als 16 sind, zeigt, dass das Nebenmaximum der Wahlhäufigkeiten (0.636) bei 8, RGB(8, 0, 0), nicht signifikant (Irrtumswahrscheinlichkeit $\geq 0,05$) ist.

Die Richtigwahlhäufigkeit von 0.76 bei einem rel. Intensitätswert von $R+B+G = 32$, (RGB(32, 0, 0)) ist eindeutig von 0.5 verschieden. Bei einem relativen Intensitätswert von 16, RGB(16, 0, 0) ist die Richtigwahlhäufigkeit 0.5 (0.4523, gerundet). Die absolute Sichtbarkeitsschwelle für den „roten“ Stimulus liegt also zwischen den relativen Intensitätswerten 16, RGB(16, 0, 0) und 32, RGB(32, 0, 0), wobei RGB(32, 0, 0) sehr nahe an der 75% Schwelle liegt.

Die Betrachtung der Wahlhäufigkeiten (Quadrate, gestrichelte Linie) der Einzeltiere (**Abb. 13** und **14**, restliche Tiere siehe **Anhang E: Abb. E1-44**) zeigt eine Häufung der Anzahl Wahlen bei 5 (Tier Nr.2, 4, 5, 6, 9) der 8 Tiere bei einer rel. Intensität von 16, RGB - Wert(16, 0, 0). Die maximalen Wahlhäufigkeiten schwanken zwischen 128 (Tier Nr. 2) und 192 (Tier Nr. 6) bei dieser Intensität. Tier Nr. 7 und 10 zeigen beide eine Anhäufung von Wahlen bei den rel. Intensitäten 16 und 32 der Farbreize RGB(16, 0, 0) und RGB(32, 0, 0). Die Anzahl der Wahlen beträgt bei den rel. Intensitäten 16 und 32 für Tier Nr. 7, 129 und 128 bzw. 131 und 132 für Tier Nr. 10. Als einziges Tier zeigt Tier Nr. 3 ein Maximum einer Wahlhäufigkeit von 175 bei einem Intensitätswert von 4, RGB(4, 0, 0).

Die rel. Richtigwahlhäufigkeiten (Dreiecke, durchgezogene Linie) sind gewogene Mittelwerte und die Fehlerbalken stellen die Standardfehler des Mittelwertes dar. Bei allen Tieren tritt ein Nebenmaximum der Wahlhäufigkeiten auf, das bei Tier Nr. 2 bei einer Intensität von 4, RGB(4, 0, 0) und bei den restlichen 7 Tieren (Nr. 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10) bei einem Intensitätswert von 8, RGB(8, 0, 0) liegt. Für 6 (Tier Nr. 3, 4, 5, 6, 9, 10) der 8 Tiere ist die rel. Richtigwahlhäufigkeit bei einer Intensität von 32, RGB(32, 0, 0) > 0.5 . Tier Nr.2 und 7 zeigen bei einem rel. Intensitätswert von 64 (RGB(64, 0, 0)) eine Richtigwahlhäufigkeit von 0,92, die $> 0,5$ ist. Die absolute Sichtbarkeitsschwelle liegt also bei diesen beiden Tieren zwischen einer relativen Intensität von 32 und 64. Nach Interpolation und Ablesen des 75% Richtigwahlenwertes ergeben sich folgende absolute Schwellen für die Licht – Intensitäten, der Einzeltiere (**Tab. 10**).

Tier Nr.	Relative Intensität bei 75% Richtigwahlen	Entsprechender RGB-Wert
2 = 217	45	RGB(45, 0, 0)
3 = 220	26	RGB(26, 0, 0)
4 = 226	28	RGB(28, 0, 0)
5 = 232	32	RGB(32, 0, 0)
6 = 237	28	RGB(28, 0, 0)
7 = 241	40	RGB(40, 0, 0)
9 = 249	32	RGB(32, 0, 0)
10 = 254	32	RGB(32, 0, 0)

Tab. 10 Übersicht der Intensitäten an der absoluten Sichtbarkeitsschwelle für die Einzeltiere (**Gruppe A**).

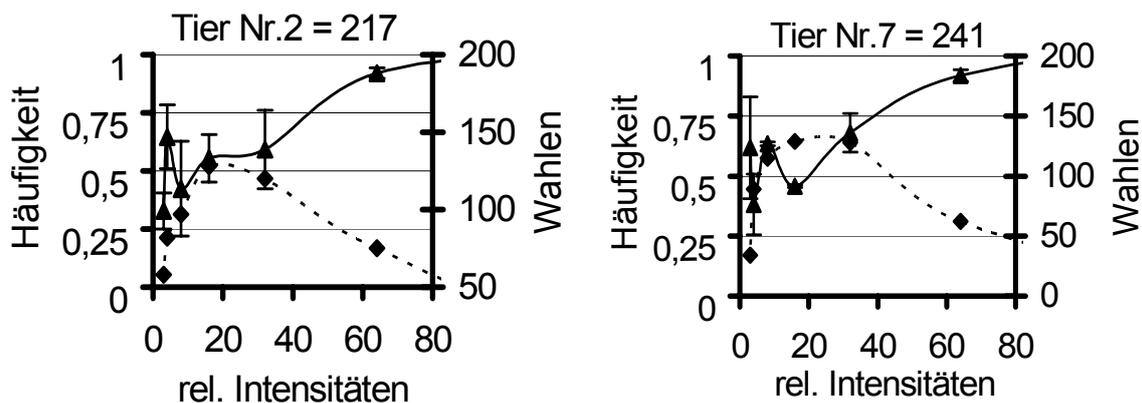


Abb. 13 und 14 Ergebnisse der Experimente mit **Methode I**. „Schwarz“ vs. „Rot“; rel. Intensitäten (R+B+G); Fehlerbalken: Standardfehler; rel. Häufigkeit: rel. Richtigwahlfrequenz (Wahrscheinlichkeit p); Dreiecke: Mittelwerte der rel. Richtigwahlfrequenz; Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB - Wert; **Tier 2** und **7** aus **Gruppe A** (8 Zwergziegen); (weitere Tiere siehe **Anhang E: Abb. E1-44**).

Bei einigen Tieren (Nr. 3, 5, 6, 7, 9) trat zunächst Seitenstetigkeit auf, die dann jedoch ohne Gegendressur wieder aufgegeben wurde. Sie dauerte bei Tier Nr. 3 und 9 ca. 2 Tage und bei Tier Nr. 5, 6 und 7 ca. 1 Tag. Der Test von „Grün“ gegen „Schwarz“ (**Abb. 15**) zeigt eine Häufung der Wahlen (Quadrate, gestrichelte Linie) von 2058 bei einer Intensität (rel. Intensität: R+B+G = 8) von RGB(0, 8, 0). Die Kurve der gewogenen Mittelwerte der rel. Richtigwahlfrequenzen (Dreiecke, durchgezogene Linie) stellt die Werte von 8 Tieren (Nr. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10) dar, die diesen Test je zweimal absolviert haben (Einzeltierdarstellungen siehe **Abb. 16 und 17** bzw. **Anhang E: Abb. E7-12**). Fehlerbalken sind in **Abb. 15** jeweils der Standardfehler (**Kap. 2.1.5**). Die Fehlerbalken der rel. Intensitäten 3 und 4 (RGB(0, 3, 0)

und RGB(0, 4, 0)) zeigen, dass die rel. Wahlhäufigkeit bei diesen Intensitäten noch 50 % beträgt. Diese Intensitäten von „Grün“ werden also noch mit „Schwarz“ (belohnter Stimulus) verwechselt. Die absolute Wahrnehmungsschwelle (75% Richtigwahlen) liegt nach Interpolation und Ablesen des dazugehörigen Intensitätswertes bei RGB(0, 10, 0).

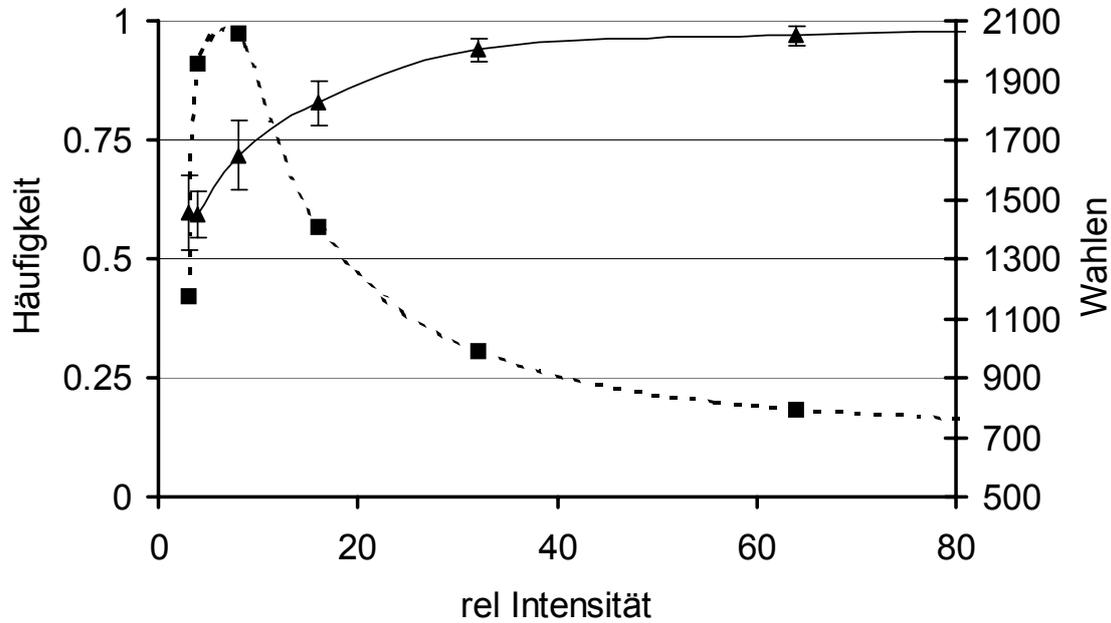


Abb. 15 Mittelwerte rel. Wahlhäufigkeiten der **Gruppe A** (8 Zwergziegen) zur Bestimmung der absoluten Wahrnehmungsschwelle für „Grün“ vs. „Schwarz“ mit **Methode I**. Dreiecke, durchgezogene Linie: gewogene Mittelwerte der rel. Richtigwahlhäufigkeiten für „Schwarz“ (belohnter Farbreiz: RGB(0, 0, 0)) vs. „Grün“ aufgetragen über die rel. Intensitäten von „Grün“, Fehlerbalken: Standardfehler; Quadrate, gestrichelte Linie: Anzahl Wahlen pro RGB - Wert.

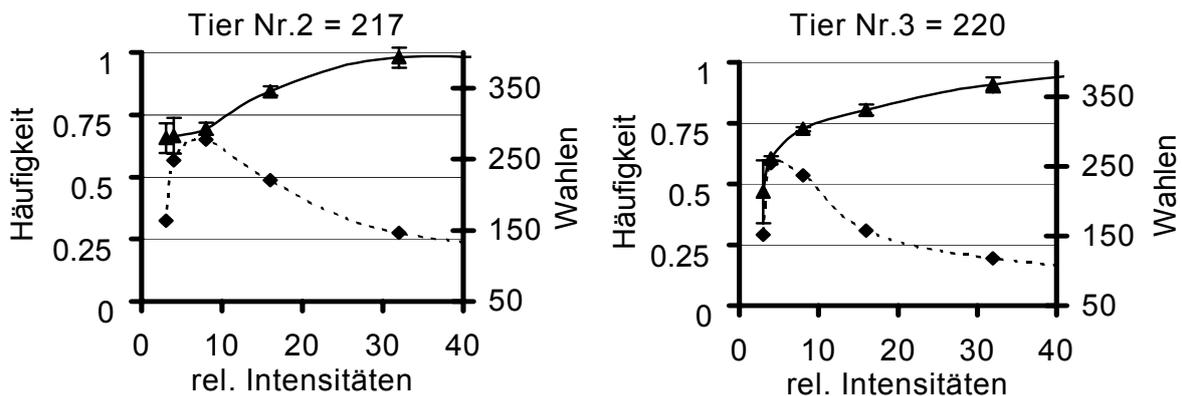


Abb. 16 und 17 Ergebnisse der Experimente mit **Methode I** „Schwarz“ vs. „Grün“; rel. Intensitäten: Zahlen aus RGB-Wert; Fehlerbalken sind Standardfehler (Kap.2.7); Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit (p); Dreiecke: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB-Wert; **Tier 2** und **3** aus **Gruppe A** (8 Zwergziegen); (weitere Tiere siehe **Anhang E: Abb. E7-12**).

Die Wahlen (Quadrate, gestrichelte Linie) der Einzeltiere (**Abb. 16** und **17** und **Anhang E: Abb. E 7-12**) zeigen für 5 (Tier Nr. 2, 4, 7, 9, 10) der 8 Tiere eine Häufung bei

einer Intensität von $R+B+G = 8$, was dem RGB - Wert $RGB(0, 8, 0)$ entspricht. Bei den Tieren Nr. 3, 5 und 6 liegt das Maximum der Wahlen bei $RGB(0, 4, 0)$ (siehe **Tab. 11**).

Die folgende **Tab. 11** gibt die Intensitäten an der absoluten 75%-Sichtbarkeitsschwelle für die Einzeltiere sowie die Intensität am Maximum der Wahlhäufigkeiten an:

Tier Nr.	RGB-Wert bei 0.75 Häufigkeit	Maximum der Wahlanzahlen	RGB-Wert bei kumuliertem Maximum
2	$RGB(0, 11, 0)$	277	$RGB(0, 8, 0)$
3	$RGB(0, 10, 0)$	255	$RGB(0, 4, 0)$
4	$RGB(0, 9, 0)$	245	$RGB(0, 8, 0)$
5	$RGB(0, 7, 0)$	349	$RGB(0, 4, 0)$
6	$RGB(0, 7, 0)$	223	$RGB(0, 4, 0)$
7	$RGB(0, 14, 0)$	234	$RGB(0, 8, 0)$
9	$RGB(0, 9, 0)$	227	$RGB(0, 8, 0)$
10	$RGB(0, 11, 0)$	293	$RGB(0, 8, 0)$

Tab. 11 Übersicht der RGB - Werte für „Grün“ bei 0.75 rel. Häufigkeit und am kumulierten Maximum der Wahlhäufigkeiten.

Die absolute Sichtbarkeitsschwelle (rel. Häufigkeit = 0.75) liegt zwischen einer rel. Intensität von 7 (Tier Nr. 5 und 6) und 14 (Tier Nr. 7). Sie wurde aus den interpolierten Mittelwerten der Richtigwahlhäufigkeit aus den Graphen abgelesen (**Tab. 11**).

Den Test von „Blau“ gegen „Schwarz“ (**Abb. 18**) absolvierten alle 10 Tiere. Dieser Test fand im Anschluss an die 10-tägige Dressur von „Schwarz“ (belohnter Stimulus) gegen „Blau“ mit maximaler Intensität ($RGB(0, 0, 255)$) statt. **Abb. 18** zeigt eine Häufung von Wahlen (Quadrate, gestrichelte Linie), 880 Wahlen, bei einem RGB - Wert von $RGB(0, 0, 8)$ (rel. Intensität: $R+B+G=8$). Die Kurve der gewogenen Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeiten (Dreiecke, durchgezogene Linie) berücksichtigt alle 10 Tiere, wobei Tier Nr. 2 (Ohrnummer 217) Seitenstetigkeit zeigte und nur geringe Wahlanzahlen (**Abb. 19** und **20**, **Anhang E: Abb. E13-20**) hatte. Die Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar. Sie zeigen, dass bis zu einem rel. Intensitätswert von 8 (RGB - Werte: $RGB(0, 0, 3)$, $RGB(0, 0, 4)$ und $RGB(0, 0, 8)$) eine Verwechslung (50 % Richtigwahlen) des belohnten „schwarzen“ Stimulus ($RGB(0, 0, 0)$) mit den oben genannten RGB - Werten stattfand. Einen signifikanten Unterschied von 50% Richtigwahlen zeigt der Fehlerbalken für

den RGB - Wert von 16 (rel. Wahlhäufigkeit = 0.76) an. Die absolute Wahrnehmungsschwelle mit 75% Richtigwahlen liegt nach Interpolation bei einem Intensitätswert von RGB(0, 0, 14).

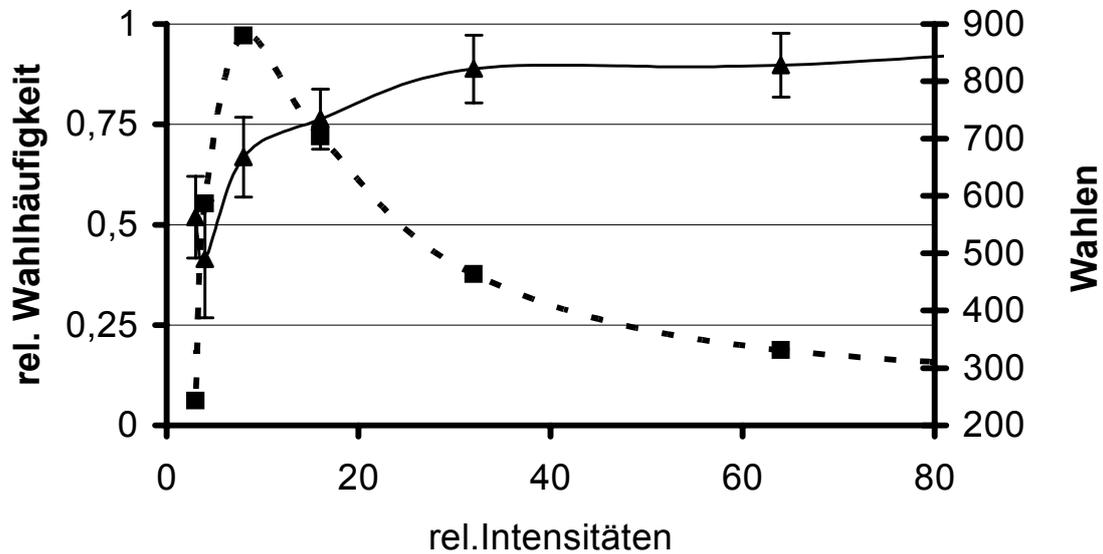


Abb. 18 Ergebnisse der Experimente mit **Methode I**. Wahlhäufigkeit für „Schwarz“ vs. „Blau“, rel. Intensitäten: $R+B+G$ für „Blau“, rel. Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit für „Schwarz“; Fehlerbalken: Standardfehler; Dreiecke: gewogene Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeiten, durchgezogene Linie: Interpolation der Richtigwahlhäufigkeiten; Quadrate: Anzahl Wahlen von „Schwarz“ (belohnt) bei den verschiedenen RGB - Werten für „Blau“; **Gruppe A** (10 Zwergziegen).

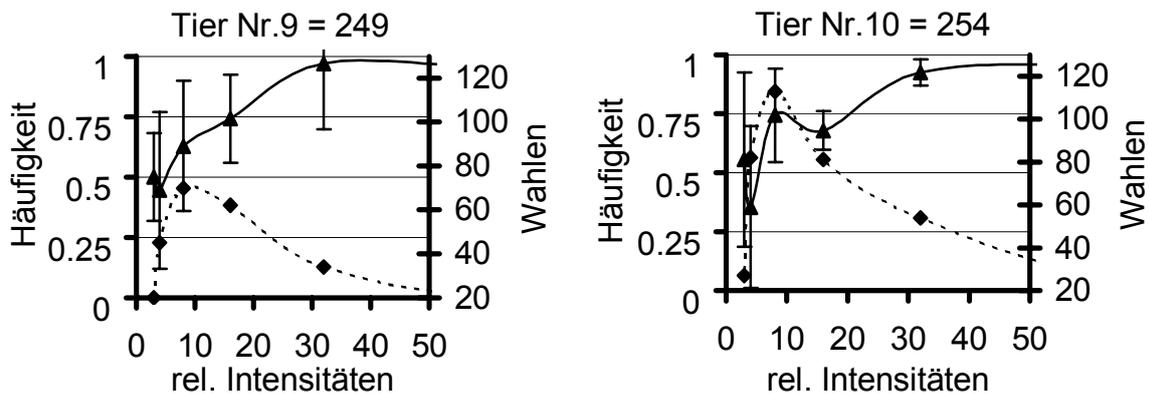


Abb. 19 und 20 Methode I „Schwarz“ vs „Blau“; rel. Intensitäten sind Zahlen aus RGB - Wert; Fehlerbalken sind die Standardfehler; rel. Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit für „Schwarz“; Dreiecke: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate stellen die Anzahl der Wahlen pro RGB - Wert dar; Tiere 9 + 10 aus **Gruppe A** (10 Zwergziegen).

Die Wahlanzahlen (Quadrate, gestrichelte Linie) der Einzeltiere (**Abb. 19** und **20**, **Anhang E: Abb. E 13-20**) zeigen für alle 10 Tiere eine Kumulation bei einem RGB - Wert RGB(0, 0, 8) (rel. Intensität = 8). Die Wahlanzahlen der Einzeltiere für „Schwarz“ gegen

RGB(0, 0, 8) sind **Tab. 12** zu entnehmen. Die Häufigkeiten (Dreiecke, durchgezogene Linie) stellen die gewogenen Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeiten dar. Als Fehlerbalken ist der doppelte Standardfehler eingezeichnet.

Die absolute Sichtbarkeitsschwelle (**Tab. 12**: 75% Richtigwahlen) für den „blauen“ Stimulus liegt zwischen einer rel. Intensität von 7 (Tier Nr. 3) und 20 (Tier Nr. 8 u. 10).

Tier Nr.	RGB - Wert bei 75% Richtigwahlhäufigkeit	Maximum der Wahlanzahlen bei RGB(0, 0, 8)
1	RGB(0, 0, 11)	51
2	RGB(0, 0, 11)	58
3	RGB(0, 0, 7)	123
4	RGB(0, 0, 16)	72
5	RGB(0, 0, 19)	83
6	RGB(0, 0, 10)	88
7	RGB(0, 0, 18)	127
8	RGB(0, 0, 20)	97
9	RGB(0, 0, 17)	70
10	RGB(0, 0, 20)	113

Tab. 12 Übersicht der RGB - Werte für „Blau“ bei 75% rel. Wahlhäufigkeit und einem Wahlhäufigkeitsmaximum bei RGB(0, 0, 8).

Die RGB - Werte des achromatischen Stimulus („Grau“), die gegen „Schwarz“ (RGB(0, 0, 0)) angeboten wurden, sind RGB(255, 255, 255), RGB(128, 128, 128), RGB(64, 64, 64), RGB(32, 32, 32), RGB(16, 16, 16), RGB(8, 8, 8), RGB(4, 4, 4) und RGB(2, 2, 2). Da die RGB - Stufen für den achromatischen Stimulus im unteren Intensitätsbereich nicht ausreichend waren, wurden die drei untersten Stufen, also RGB(2, 2, 2), RGB(4, 4, 4) und RGB(8, 8, 8) um RGB(1, 1, 1) ergänzt und mit derselben Methode (**Methode I**) wiederholt. Die Anzahlen und Richtigwahlen für den ersten Test sind mit „W1“ gekennzeichnet, die zusätzlich gewonnenen Daten mit „W2“.

Der Test des achromatischen Stimulus („Weiß“ bzw. „Grau“) gegen „Schwarz“ mittels **Methode I** wurde von 8 Tieren absolviert. Es gingen 6 Tage Dressur von „Schwarz“ gegen „Weiß“ (RGB(255, 255, 255)) für den ersten Test (W1) voraus. Der zusätzliche Test

(W2) von „Schwarz“ (belohnter Stimulus) gegen „Weiß“ folgte auf die Dressur von „Schwarz“, das gegen RGB(0, 255, 0), also „Grün“ über 9 Tage präsentiert worden war.

Die **Abb. 21** W1 und **Abb. 22** W2 zeigen eine Kumulation von Wahlen (Quadrate, gestrichelte Linie) in Höhe von 867 im ersten Test (W1) und von 1749 im zweiten Test (W2) jeweils bei einem RGB - Wert von RGB(4, 4, 4), mit der relativen Intensität $R+B+G = 12$ des RGB - Wertes. Die Kurve der gewogenen Mittelwerte (**Kap. 2.1.5**) der rel. Richtigwahlhäufigkeiten (Dreiecke, durchgezogene Linie) stellt in beiden Abbildungen die Werte der Tiere 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 und 10 dar (Wahlhäufigkeiten und Wahlanzahlen der Einzeltiere siehe **Abb. 23-38**).

Die Fehlerbalken zeigen den Standardfehler. Sie sind im zweiten Test (W2) größer als im ersten (W1), obwohl die Anzahl der getätigten Wahlen pro RGB - Wert höher liegt. Nach Interpolation der Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeiten wurde die relative Intensität an der absoluten Sichtbarkeitsschwelle bei 75% Richtigwahlhäufigkeit abgelesen. Die absolute Sichtbarkeitsschwelle im ersten Test (W1) liegt bei einer Intensität von 15, was einem RGB - Wert von RGB(5, 5, 5) entspricht. Im zweiten Test (W2) liegt die interpolierte 0.75 rel. Richtigwahlhäufigkeit bei RGB(7, 7, 7) bzw. bei einem rel. Intensitätswert von 20. Da im RGB - System die Einzelwerte für R, G und B ganze Zahlen sind, und diese außerdem für „Weiß“ bzw. „Grau“ gleichgroß sind, wurde der zugehörige RGB - Wert dem abgelesenen relativen Intensitätswert angenähert (**Tab. 13**). Z. B. kann ein relativer Intensitätswert von 20 nicht mit gleichgroßen ganzen Zahlen für R, G und B angegeben werden. Um mit drei gleichgroßen ganzen Zahlen der relativen Intensität von 20 bestmöglich nahe zu kommen, wurde der RGB - Wert von RGB(7, 7, 7) genommen.

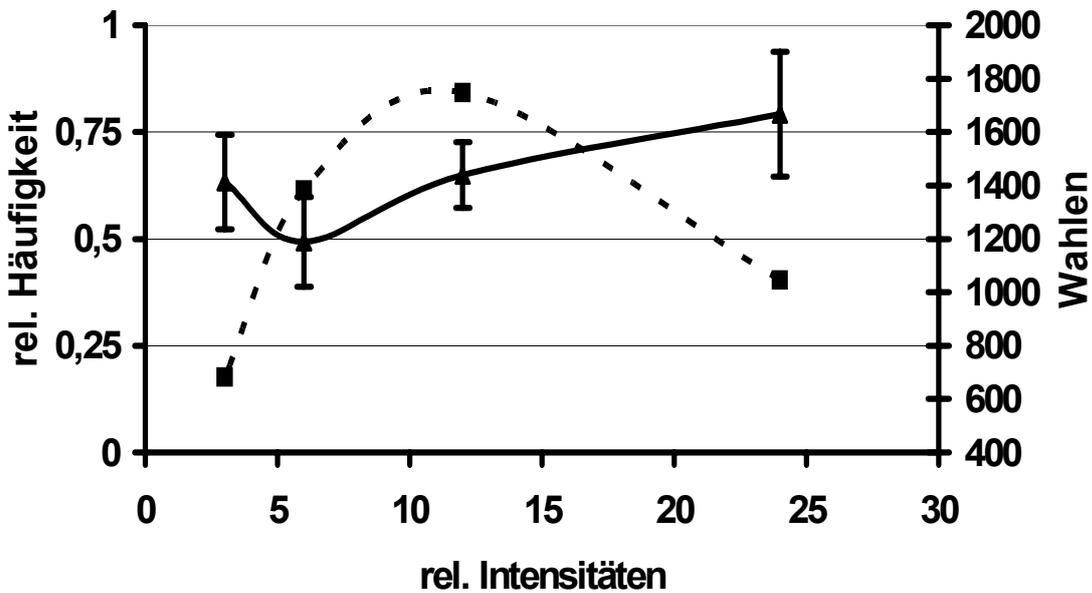
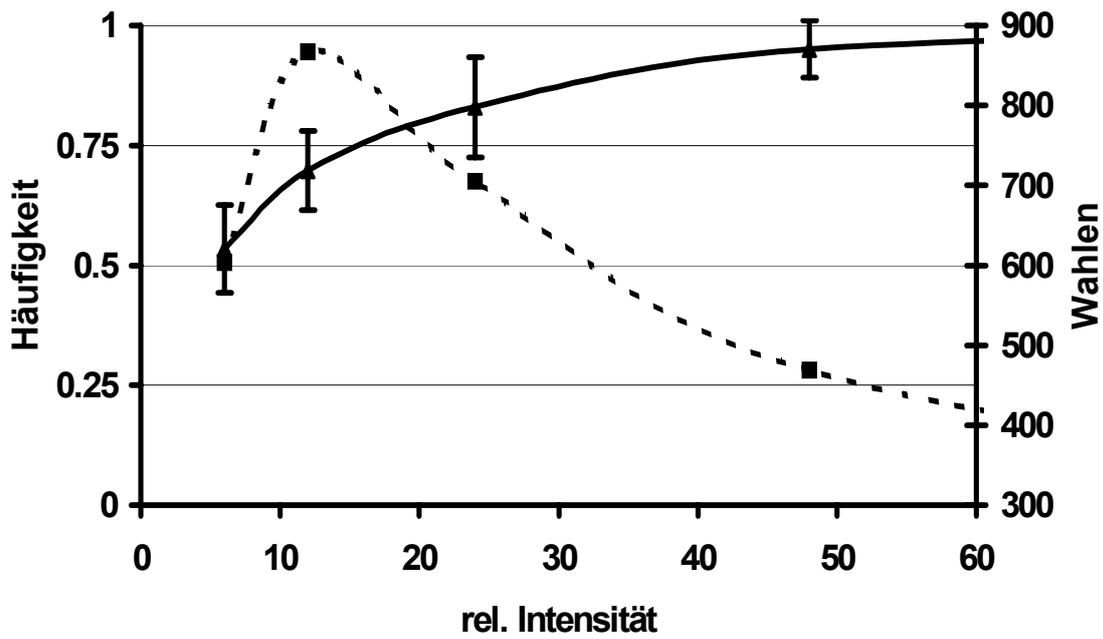


Abb. 21, W1 (oben) und Abb. 22, W2 (unten) Ergebnisse der Experimente mit Methode I. Wahlhäufigkeiten für „Schwarz“ vs. „Weiß“, rel. Intensitäten: $R+B+G$ für den achromatischen („weißen“) Stimulus, Fehlerbalken: Standardfehler; Dreiecke: gewogene Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeiten; durchgezogene Linie: Interpolation; Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB-Wert, der gegen „Schwarz“ ($RGB(0, 0, 0)$ = belohnter Stimulus) präsentiert wurde; **Gruppe A** (8 Zwergziegen).

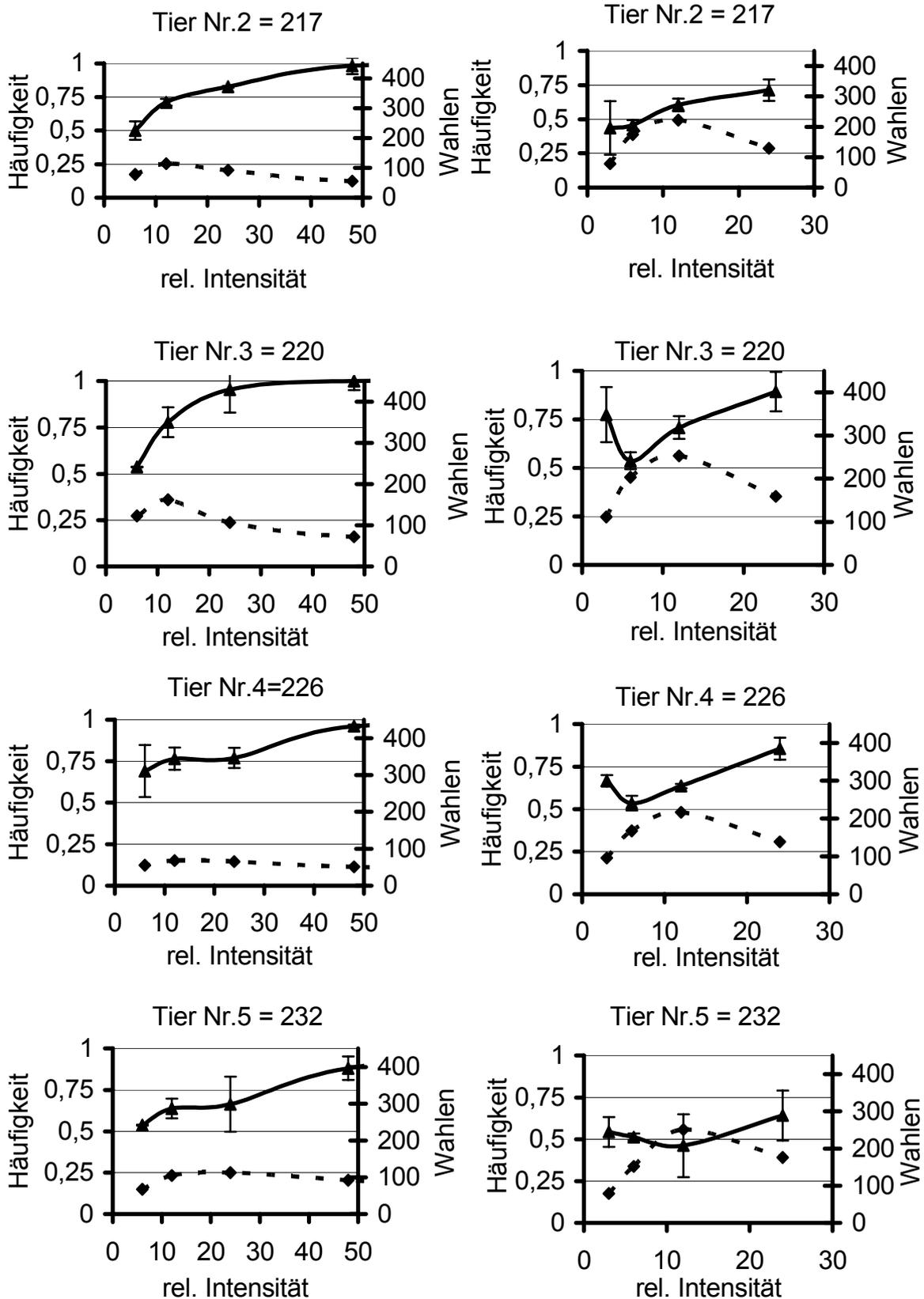


Abb. 23-30 Methode I „Schwarz“ vs „Weiß“ - Licht, rel. Intensität: Zahlensumme aus RGB – Wert, Fehlerbalken: Standardabweichung, Häufigkeit meint Richtigwahlhäufigkeit, Dreiecke: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit, Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB – Wert, links: Wahlen für RGB – Werte aus 1.Versuchsteil (W1), rechts: Wahlen aus 2.Versuchsteil (W2), Gruppe A.

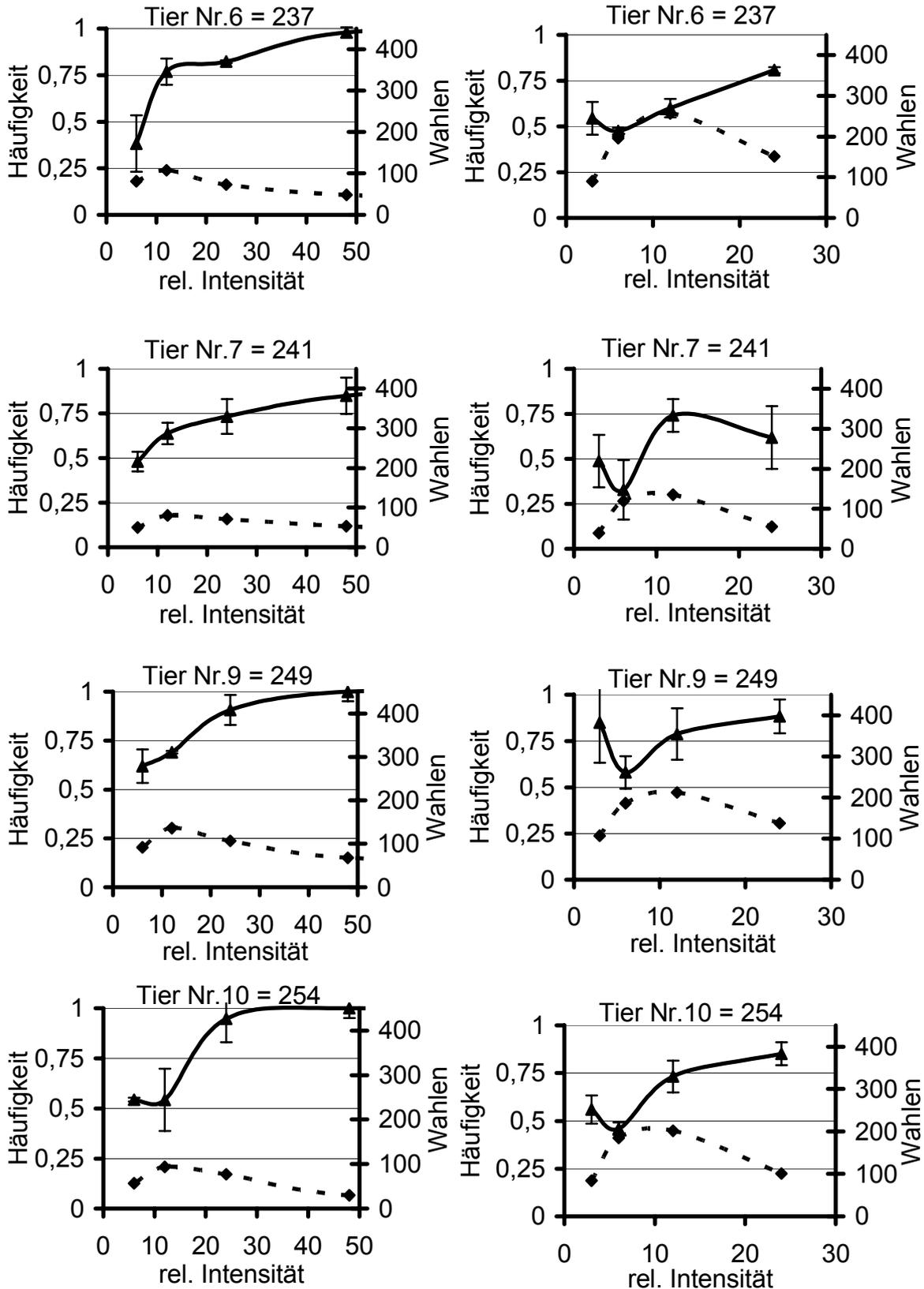


Abb. 31-38 Methode I „Schwarz“ vs „Weiß“ - Licht, rel. Intensität: Zahlensumme aus RGB – Wert, Fehlerbalken: Standardabweichung, Häufigkeit meint Richtigwahlhäufigkeit, Dreiecke: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit, Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB – Wert, links: Wahlen für RGB – Werte aus 1. Versuchsteil (W1), rechts: Wahlen aus 2. Versuchsteil (W2), Gruppe A.

Die absolute Sichtbarkeitsschwelle (75% rel. Häufigkeit) im ersten Test (W1) von „Schwarz“ gegen „Weiß“ bzw. „Grau“ liegt zwischen einer relativen Intensität von 10 (Tier Nr. 4) und 27 (Tier Nr. 7), die den RGB - Werten von RGB(3, 3, 3) und RGB(9, 9, 9) genähert (s. o.) wurden. Im zweiten Test (W2) von „Schwarz“ gegen „Weiß“ bzw. „Grau“ liegt die absolute Sichtbarkeitsschwelle zwischen 11 (Tier Nr. 9) und 21 (Tier Nr. 6). Die genäherten RGB - Werte sind in diesem Fall RGB(4, 4, 4) und RGB(7, 7, 7). Die Tiere Nr. 2 und 5 erreichten im zweiten Test (W2) das 75% -Richtigwahlkriterium nicht.

Für alle 8 Tiere (**Gruppe A**) liegt das Maximum der Wahlhäufigkeit in beiden Tests (W1 und W2) bei einer relativen Intensität von 12, was einem RGB - Wert von RGB(4, 4, 4) entspricht. **Tabelle 13** gibt die relativen Intensitäten bei einer Richtigwahlhäufigkeit von 0.75, den angenäherten RGB - Wert, sowie das Maximum der Wahlhäufigkeit bei RGB(4, 4, 4) an.

Tiernummer	Rel. Intensität und RGB - Wert bei 75% Richtigwahlhäufigkeit im 1. Test (W1)	Maximum der Wahlanzahlen im 1. Test (W1) bei RGB(4, 4, 4)	Rel. Intensität und RGB - Wert bei 75% Richtigwahlhäufigkeit im 2. Test (W2)	Maximum der Wahlanzahlen im 2. Test (W2) bei RGB(4, 4, 4)
2	15; RGB(5, 5, 5)	114	-	222
3	11; RGB(4, 4, 4)	162	14; RGB(5, 5, 5)	253
4	10-21; RGB(3, 3, 3)- RGB(7, 7, 7)	68	17; RGB(6, 6, 6)	217
5	32; RGB(11,11,11)	105	-	251
6	11; RGB(4, 4, 4)	108	21; RGB(7, 7, 7)	257
7	27; RGB(9, 9, 9)	80	14; RGB(5, 5, 5)	135
9	15; RGB(5, 5, 5)	136	11; RGB(4, 4, 4)	212
10	17; RGB(6, 6, 6)	94	13; RGB(4, 4, 4)	202

Tab. 13 Übersicht der relativen Intensitäten mit angenähertem RGB - Wert für „Schwarz“ gegen „Weiß“ bei 75% Wahlhäufigkeit und kumuliertes Wahlhäufigkeitsmaximum bei RGB(4, 4, 4).

Für die Farbreize „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ sind die gewählten Intervalle, aufgrund der größeren Intensitätsspanne, etwas größer als für die Farbreize „Rot“, „Grün“ und

„Blau“. Diese Farbstimuli können aufgrund ihrer doppelten Intensität nur mit einer geringeren chromatischen Reinheit realisiert werden, d. h. mit einem größeren „Weiß“ - Lichtanteil. Die Intervallgröße für die geringeren Intensitäten weicht nur geringfügig von denen für „Rot“, „Grün“ und „Blau“ ab, sodass zwar eine Vergleichbarkeit im Rahmen der Intensitäten gegeben ist, nicht jedoch für die chromatischen Reinheiten der Zwischenfarbreize im gleichen Intensitätsbereich.

Ergebnisse nach Methode I für die Reize für „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“: Beim Test der „gelben“ Reize gegen „Schwarz“ waren alle 10 Tiere im Versuch ($A=10$). Während bzw. nach der Versuchsreihe der „türkisen“ Farbreize schieden zwei Tiere aus. Das Tier mit der Ohrnummer 246 wählte bei „Türkis“ gegen „Schwarz“ zu selten. Es musste wegen Krankheit (Diarrhö) einige Tage vor Ende dieser Versuchsreihe aus der Gruppe genommen werden und verendete später (s. o.). Eine andere Ziege (Tier Nr. 1: 216) wählte mit Beginn der Versuchsreihe von „Violett“ gegen „Schwarz“ nicht mehr, sondern trank die im Schälchen verbliebenen Wasserreste ihrer Kameraden (s. o.). Für die Versuchsreihe mit dem „violetten“ Stimulus standen also noch 8 Tiere zur Verfügung. Allen drei Versuchsreihen gingen je 4 Tage voraus, in denen die Farbreize jeweils in maximaler Intensität, z. B. RGB(255, 255, 0) für „Gelb“ gegen „Schwarz“ (belohnter Stimulus) erzeugt wurden. Nach Erreichen des jeweiligen Akquisitionsniveaus (**Kap. 3.2.1**), wurden die Intervalle, hier beispielhaft für den „gelben“ Farbreiz, RGB(255, 255, 0), RGB(128, 128, 0), RGB(64, 64, 0), RGB(32, 32, 0), RGB(16, 16, 0), RGB(8, 8, 0), RGB(4, 4, 0) und RGB(2, 2, 0) gegen „Schwarz“ nach **Methode I** angeboten. Die relativen Intensitäten zu den drei Zwischenfarbreizen waren 510, 256, 128, 64, 32, 16, 8 und 4.

Der Test von „Gelb“ gegen „Schwarz“ (**Abb. 39**) zeigt eine Kumulation der Wahlhäufigkeiten (Quadrate, gestrichelte Linie) bei einer relativen Intensität von 16 (RGB(8, 8, 0)) in Höhe von 675 Wahlen. Die relative Intensität gibt den Zahlenwert ($R+B+G$) der einzelnen RGB - Werte an. Die interpolierte Kurve der gewogenen Mittelwerte (**Kap. 2.1.5**) der Richtigwahlhäufigkeiten (Dreiecke, durchgezogene Linie) liefert den Intensitätswert an der absoluten Sichtbarkeitsschwelle. Eine 75% Richtigwahlhäufigkeit liegt bei einem relativen Intensitätswert von 10, also bei RGB(5, 5, 0). Die Fehlerbalken zeigen die Standardfehler.

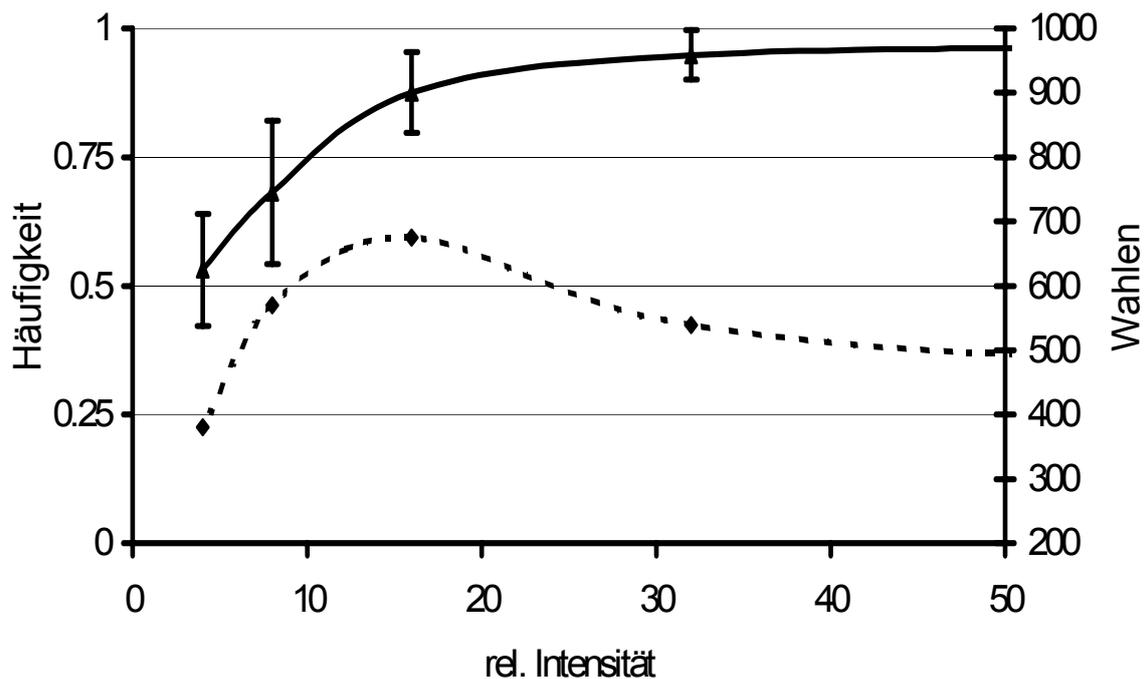


Abb. 39 Ergebnisse der Experimente mit **Methode I** rel. Wahlhäufigkeiten und Wahlen für „Schwarz“ vs „Gelb“, rel. Intensität: R+B+G, Fehlerbalken: Standardfehler; Dreiecke: gewogene Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeiten; durchgezogene Linie: Interpolation; Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB - Wert, der gegen „Schwarz“ (belohnter Stimulus) präsentiert wurde; **Gruppe A** (10 Zwergziegen).

Die Fehlerbalken für die Richtigwahlhäufigkeit bei einer relativen Intensität von 16 (RGB(8, 8, 0)) zeigen einen signifikanten Unterschied vom Verwechlungs niveau (50% Richtigwahlhäufigkeit) an.

Die Betrachtung der Einzeltiere (**Abb. 40** und **41** und **Anhang E: Abb. E21-28**) liefert eine Kumulation der Wahlhäufigkeiten (Quadrate, gestrichelte Linie) für 9 Tiere bei einem RGB - Wert von RGB(8, 8, 0). Bei Tier Nr. 3 (Ohrnummer 220) liegt das kumulierte Maximum der Wahlen bei einer relativen Intensität von 8, also bei RGB(4, 4, 0). Die Maxima der Wahlhäufigkeiten bei RGB(8, 8, 0) bzw. RGB(4, 4, 0) sind **Tab. 14** zu entnehmen.

Die Kurven der Richtigwahlhäufigkeiten (Dreiecke, durchgezogenen Linie) stellen die Interpolation der gewogenen Mittelwerte (siehe **Kap. 2.1.5**) dar. Als Fehlerbalken ist der Standardfehler eingezeichnet.

Die absolute Sichtbarkeitsschwelle (Häufigkeit = 0.75) für den „gelben“ Stimulus liegt zwischen einem RGB - Wert von RGB(3, 3, 0) (Tier Nr. 6) und RGB(9, 9, 0) (Tier Nr.1). Die relativen Intensitäten bzw. genäherten RGB - Werte bei 75% Richtigwahlhäufigkeit stellt **Tab. 14** dar.

Tier Nr.	Rel. Intensität bei 75% Richtigwahlhäufigkeit angenäherter RGB-Wert	Maximum der Wahlanzahlen bei RGB(8, 8, 0)
1	17 bzw. RGB(9, 9, 0)	105
2	15 bzw. RGB(8, 8, 0)	92
3	7 bzw. RGB(4, 4, 0)	65 (RGB(4, 4, 0))
4	7 bzw. RGB(4, 4, 0)	67
5	11 bzw. RGB(6, 6, 0)	57
6	7 bzw. RGB(4, 4, 0)	55
7	15 bzw. RGB(8, 8, 0)	67
8	11 bzw. RGB(6, 6, 0)	44
9	6 bzw. RGB(3, 3, 0)	53
10	9 bzw. RGB(5, 5, 0)	56

Tab. 14 Übersicht der relativen Intensitäten bzw. RGB - Werte für „Gelb“ bei 75% Richtigwahlen und Wahlhäufigkeitsmaximum bei RGB(8, 8, 0).

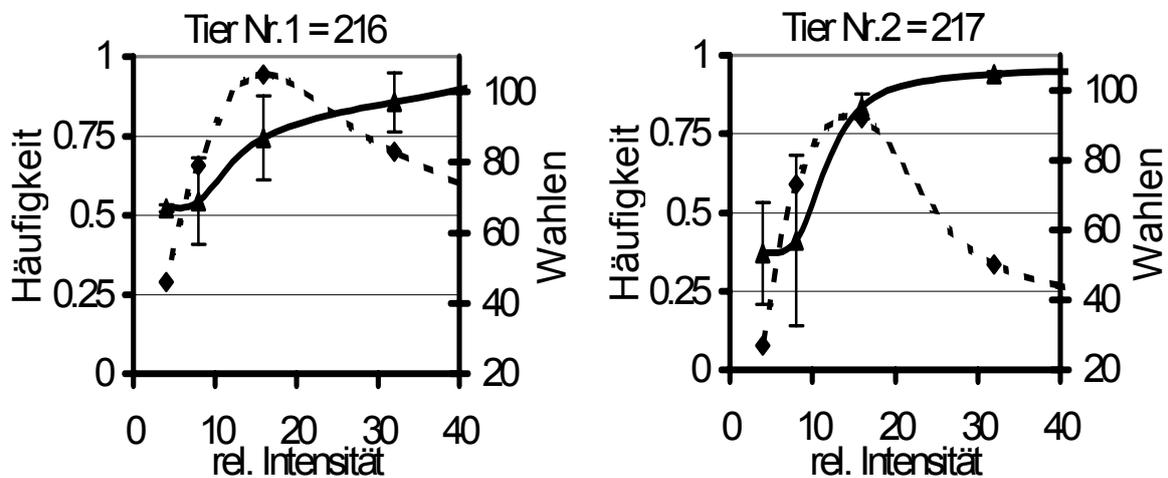


Abb. 40 und **41** Ergebnisse der Experimente mit **Methode I** „Schwarz“ vs. „Gelb“; rel. Intensität: R+B+G; Fehlerbalken: einfache Standardfehler; Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit für „Schwarz“; Dreiecke: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate: Anzahl der Wahlen pro RGB - Wert; 2 Tiere aus **Gruppe A** (10 Zwergziegen).

Während der Versuchsreihe der „türkisen“ Intensitätsintervalle gegen „Schwarz“, wählte ein Tier (Tier Nr. 8) aufgrund einer Erkrankung (s. o.) weniger oft.

Abb. 42 zeigt die gewogenen Mittelwerte der rel. Richtigwahlfrequenzen und Wahlfrequenzen aller 10 Tiere. Eine Kumulation von Wahlen (Quadrate, gestrichelte Linie) in Höhe von 746 Wahlen zeigt sich bei einer relativen Intensität von 8 (RGB(0, 4, 4)). Die absolute Sichtbarkeitsschwelle (75 % Richtigwahlfrequenz) für „Türkis“ lässt sich bei einer relativen Intensität von 11 bzw. RGB(0, 6, 6) (angenähert) ablesen.

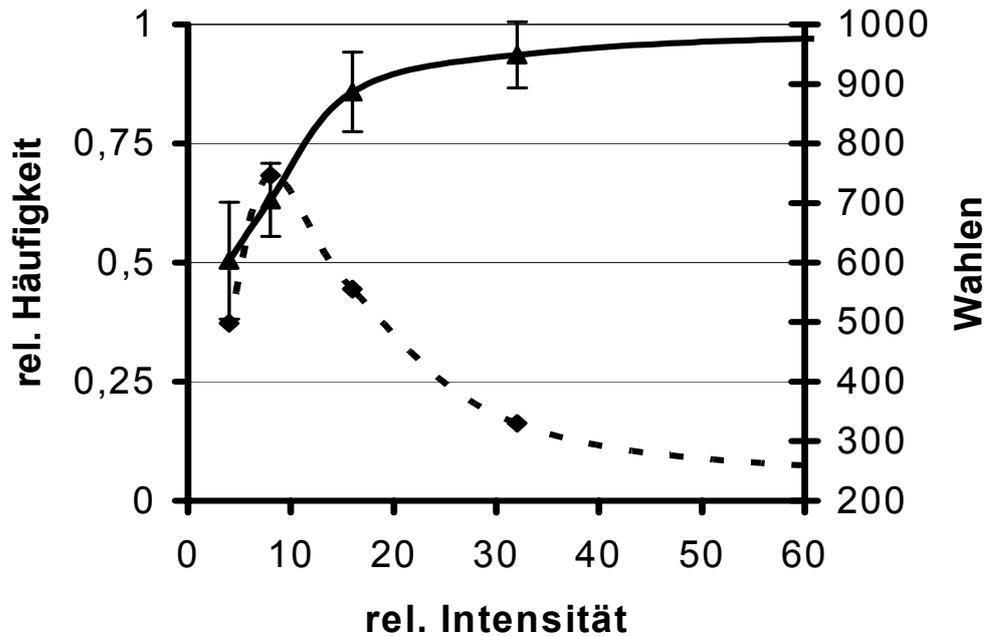


Abb. 42 Ergebnisse der Experimente mit **Methode I** rel. Wahlfrequenz und Wahlen für „Türkis“ vs „Schwarz“, rel. Intensität: R+B+G, Fehlerbalken: Standardfehler; Dreiecke: gewogene Mittelwerte der Richtigwahlfrequenzen und ihre Interpolation (durchgezogene Linie); Quadrate: Wahlen für „Schwarz“ (belohnt) gegen die RGB - Werte für „Türkis“; **Gruppe A** (10 Zwergziegen).

Die Betrachtung der Einzeltiere (**Abb. 43** und **44** und **Anhang E: Abb. E29-36**) zeigt für alle Tiere ein Kumulationsmaximum der Wahlen bei einem RGB - Wert von RGB(0, 4, 4). Das Tier mit der Nr. 8 (Ohrnummer 246) tätigte aufgrund der kürzeren Versuchsdauer die geringste Anzahl an Wahlen. Alle Fehlerbalken in den Einzeltiergraphen stellen die Standardfehler dar. Die Mittelwerte der Richtigwahlfrequenzen sind als Dreiecke, die Wahlanzahlen pro RGB - Wert als Quadrate eingetragen.

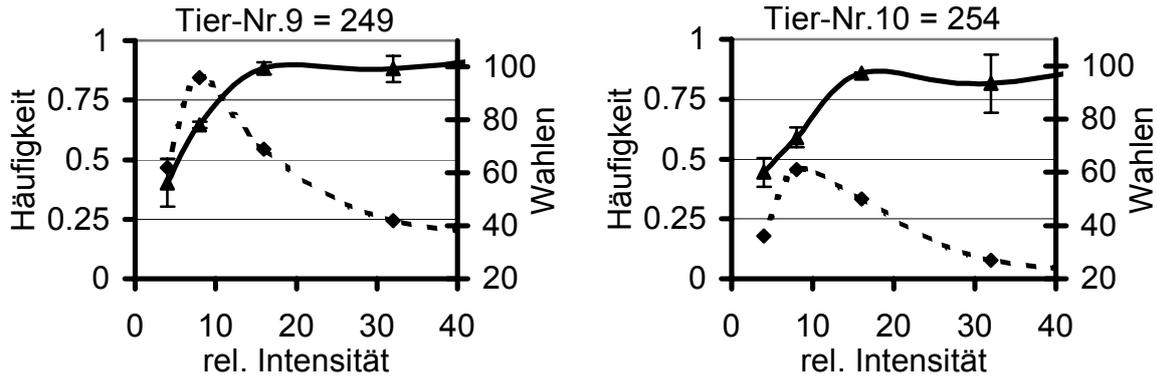


Abb. 43 und 44 Ergebnisse der Experimente mit **Methode I** rel. Wahlhäufigkeit und Wahlen für „Türkis“ vs. „Schwarz“, rel. Intensität: R+G+B, Fehlerbalken: Standardfehler; Dreiecke: gewogene Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeiten und ihre Interpolation (durchgezogene Linie); Quadrate: Wahlen für „Schwarz“ (belohnt) gegen die RGB - Werte für „Türkis“; Tier Nr. 9 und 10 aus **Gruppe A** (10 Zwergziegen). Restliche 8 Tiere siehe **Anhang E: Abb. E29-36**.

Die relativen Intensitätswerte von „Türkis“ bei einer rel. Richtigwahlhäufigkeit von 0.75 (absolute Sichtbarkeitsschwelle) sind **Tab. 15** zu entnehmen. Sie gibt außerdem die Anzahl Wahlen (Maximum bei RGB(0, 4, 4)) an.

Tier Nr.	Rel. Intensität bzw. angenäherter RGB - Wert bei 75% Richtigwahlhäufigkeit	Kumuliertes Maximum der Wahlanzahlen bei RGB(0, 4, 4)
1	9 bzw. RGB(0, 5, 5)	57
2	14 bzw. RGB(0, 7, 7)	103
3	9 bzw. RGB(0, 5, 5)	85
4	8 bzw. RGB(0, 4, 4)	81
5	7 bzw. RGB(0, 4, 4)	68
6	12 bzw. RGB(0, 6, 6)	61
7	14 bzw. RGB(0, 7, 7)	99
8	13 bzw. RGB(0, 7, 7)	35
9	10 bzw. RGB(0, 5, 5)	96
10	11 bzw. RGB(0, 6, 6)	61

Tab. 15 Übersicht der relativen Intensität für die „türkisen“ Farbreize bzw. der angenähernten RGB - Werte bei 0.75 rel. Richtigwahlhäufigkeit und die maximalen Wahlanzahlen für RGB(0, 4, 4).

Für den Test von „violetten“ Intensitätsintervallen standen 8 Tiere zur Verfügung. Das Tier mit der Nr. 8 war in der Zwischenzeit leider verendet und Tier Nr. 1 entzog sich dem

Wählen, indem es sich mit den Wasserresten der anderen Tiere begnügte. Es wurde später dann ebenfalls aus der Gruppe entfernt (s. o.).

Ein Maximum der Wahlen (Quadrate, gestrichelte Linie) in Höhe von 937 für den „violetten“ Stimulus (**Abb. 45**) ist bei einem Intensitätswert 16 bzw. bei RGB(8, 0, 8) gemessen worden. Die absolute Sichtbarkeitsschwelle bei 75% rel. Richtigwahlen (Dreiecke, durchgezogene Linie) liegt für die getesteten Tiere im Mittel bei einer Intensität von 18, also RGB(9, 0, 9). Die eingezeichneten Fehlerbalken geben die Standardfehler an.

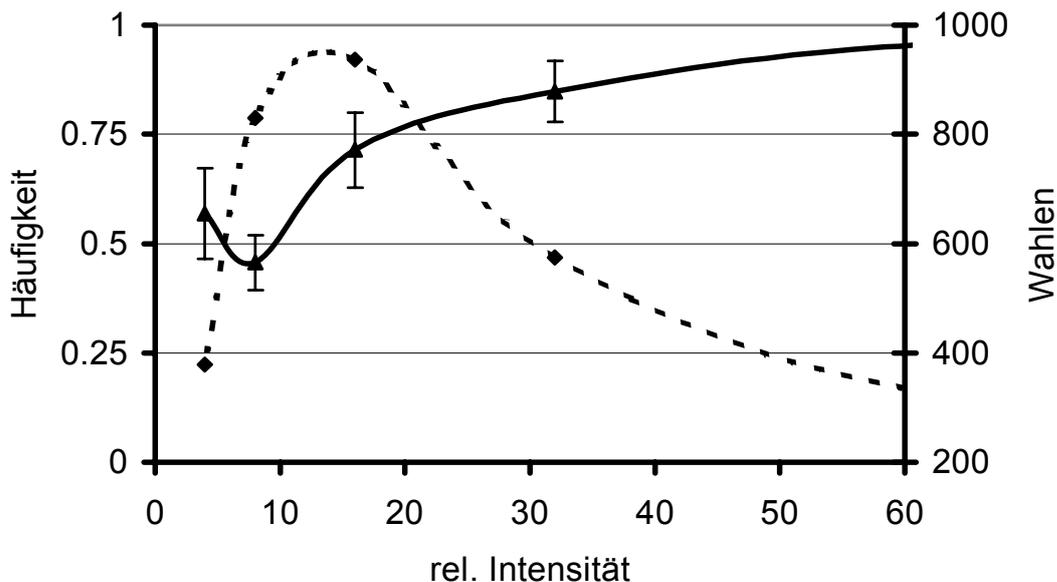


Abb. 45 Ergebnisse der Experimente mit **Methode I** rel. Wahlhäufigkeiten (Dreiecke, durchgezogene Linie) und Wahlen (Quadrate, gestrichelte Linie) für „Schwarz“ vs. „Violett“, Fehlerbalken: Standardfehler; rel. Intensität: für „Violett“; rel. Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit für „Schwarz“; Wahlen: Wahlenhäufigkeit pro RGB - Wert, der gegen „Schwarz“ angeboten wurde; **Gruppe A** (8 Zwergziegen).

Abb. 46-49 (siehe auch **Anhang E: Abb. E37-44**) zeigen die rel. Wahlhäufigkeiten (Häufigkeit; Dreiecke, durchgezogene Linie) und die kumulierten Wahlhäufigkeitsmaxima (Wahlen; Quadrate, gestrichelte Linie) für „Schwarz“ gegen die verschiedenen „violetten“ Intensitäten bzw. RGB - Werte. Die Maxima der Wahlhäufigkeiten liegen bei 6 Tieren (Tier Nr. 2, 5, 6, 7, 8, 9 und 10) bei einer relativen Intensität von 16 (RGB(8, 0, 8)). Bei Tier Nr. 3 und 4 sind die Anzahl der Wahlen bei RGB(8, 0, 8) und RGB(4, 0, 4) nahezu gleich, d. h. das Maximum liegt dazwischen. Die relativen Intensitäten an der absoluten Sichtbarkeitsschwelle bei 75%- Richtigwahlen liegen zwischen 13 (Tier Nr. 3) und 28 (Tier Nr. 10). Die Fehlerbalken stellen die Standardfehler dar.

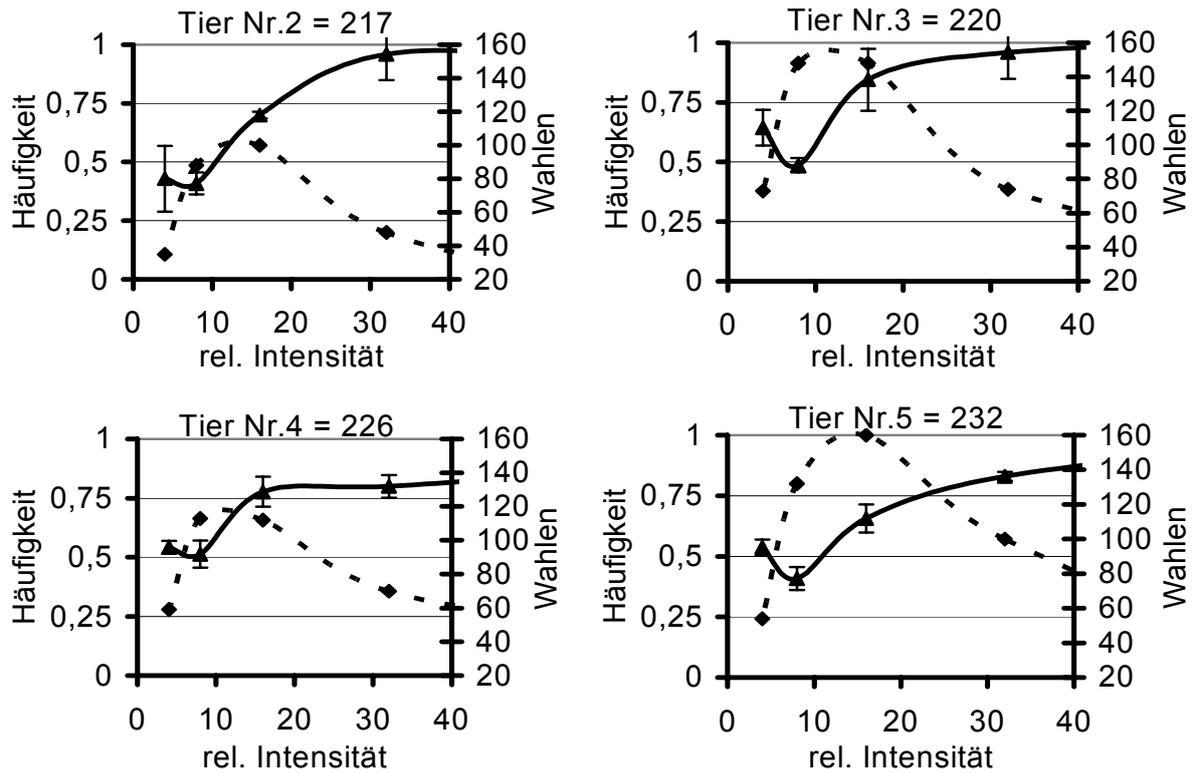


Abb. 46-49: Methode I „Schwarz“ vs „Violett“, rel. Intensität: Summe aus R+G+B; Fehlerbalken: einfache Standardfehler; Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Dreiecke: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate: Wahlanzahlen pro RGB - Wert; Tiere 2,3,4 und 5 aus **Gruppe A** (8 Zwergziegen); restliche Tiere siehe **Anhang E**.

Tier Nr.	Relative Intensität bzw. angenäherter RGB - Wert bei 0.75 Richtigwahhäufigkeit	Maximum der Wahlanzahlen bei RGB(8, 0, 8)
2	18 bzw. RGB(9, 0, 9)	100
3	13 bzw. RGB(7, 0, 7)	148 – 1.Max.bei RGB(4, 0, 4) 148 – 2.Max bei RGB(8, 0, 8)
4	14 bzw. RGB(7, 0, 7)	113 – 1.Max.bei RGB(4, 0, 4) 112 – 2.Max bei RGB(8, 0, 8)
5	22 bzw. RGB(11, 0, 11)	160
6	23 bzw. RGB(12, 0, 12)	126
7	26 bzw. RGB(13, 0, 13)	84
9	14 bzw. RGB(7, 0, 7)	101
10	26-28 bzw. RGB(13, 0, 13) – RGB(14, 0, 14)	106

Tab. 16 Übersicht der relativen Intensitätswerte bzw. RGB - Werte für den „violetten“ Stimulus an der absoluten Sichtbarkeitsschwelle sowie die Anzahl der maximalen Wahlen bei RGB(8, 0, 8).

Zusammenfassung und Diskussion: Anhand der oben beschriebenen Auf- und Ab- Methode (**Methode I**) konnten für die Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ sowie für den achromatischen Stimulus „Weiß“ unterschiedliche relative Intensitätswerte für die absolute Sichtbarkeitsschwelle (0.75- Richtigwahlen) ermittelt werden. Sie liegen für „Rot“ bei RGB(31, 0, 0), für „Grün“ bei RGB(0, 10, 0) und für „Blau“ bei RGB(0, 0, 14). Für „Weiß“ liegt die absolute Sichtbarkeitsschwelle bei einer relativen Intensität von 15 (entspricht RGB(5, 5, 5)) im ersten Test (W1) bzw. bei 20 (genähert RGB(7, 7, 7)) im zweiten Test (W2).

Für die Zwischenfarbreize, also den „gelben“, „türkisen“ und „violetten“ Farbreiz, wurde für „Gelb“ eine relative Intensität von 10 (entspricht RGB(5, 5, 0)), für „Türkis“ ein Wert von 11 (genähert RGB(0, 6, 6)) und für den „violetten“ Farbreiz ein Intensitätswert von 18 (entspricht RGB(9, 0, 9)) ermittelt.

Die Maxima der Wahlhäufigkeiten liegen für „Rot“ bei RGB(16, 0, 0) mit einem Maximum von 1183 Wahlen, für „Grün“ bei RGB(0, 8, 0) und 2058 Wahlen, für „Blau“ bei RGB(0, 0, 8) mit einem Maximum von 880 Wahlen. Für die Zwischenfarbreize lagen die Maxima für „Gelb“ in Höhe von 675 bei RGB(8, 8, 0), für „Türkis“ in Höhe von 746 Wahlen bei RGB(0, 4, 4) und für „Violett“ erreichten sie ein Maximum von 937 Wahlen bei RGB(8, 0, 8). Für den achromatischen Farbreiz „Weiß“ kumulierten die Wahlen in beiden Tests (W1 und W2) bei einem RGB - Wert von RGB(4, 4, 4) in Höhe von 867 Wahlen im ersten Test (W1) und 1749 im zweiten Test (W2).

Eine bei „Rot“ und „Blau“ spontan aufgetretene Seitenstetigkeit (**Kap. 1.4.1**) einiger Tiere („Rot“: Tiere Nr. 3, 5, 6, 7 und 9 über 1-2 Tage; „Blau“: Tier Nr. 2 über ca. 1 Tag) wurde von diesen Tieren ohne Gegendressur wieder aufgegeben.

3.4 Bestimmung gleichheller Farbreize aus Lichtintensitätskurven

Die absolute Sichtbarkeitsschwelle beschreibt denjenigen Intensitätswert eines Farbreizes, der zu 50% von „Schwarz“ unterschieden werden kann, d.h. im Zweifach-Wahlexperiment ist es der rel. 75%-Richtigwahlhäufigkeitswert, da bei 50% Richtigwahlen noch eine Verwechslung mit „Schwarz“ besteht. Die inkrementelle Sichtbarkeitsschwelle ist der 75%- Unterschied (gemessen als Wahlhäufigkeit) eines Farbreizes fester Intensität zu diesem Farbreiz anderer Intensität. Man spricht auch von einer inkrementellen Sichtbarkeitsschwelle in Bezug auf den Anteil achromatischen Lichts, wenn subjektiv als

gleichhell bewertete Farbreize zu 75% von dem gleichhellen Farbreiz „Grau“ unterschieden werden. Dabei ist es notwendig, zunächst die Intensitäten der Farbreize zu finden, die für die Tiere „gleichhell“ erscheinen. Diese können durch gleichen Abstand zu „Schwarz“ (gleiche absolute Intensitätsschwelle) über gleiche Wahlhäufigkeiten bestimmt werden.

Die Bestimmung der absoluten Sichtbarkeitsschwelle durch die Auf- und Ab - Methode (**Methode I**) zeigt die geringsten statistischen Schwankungen an dem Punkt, an dem sich die Anzahl der Wahlen häufen, während die restlichen Intervalle relativ große Fehlerbalken aufweisen. Um die gesamte Kurve mit etwa gleich großen Fehlern zu erhalten, muss jede Farbreizintensität gleich häufig gewählt werden können, ohne dass eine Abhängigkeit der Wahlen voneinander besteht. Dies wurde durch die im Folgenden beschriebene Mess-**Methode II** realisiert.

3.4.1 Mess - Methode II

Bei der Mess-**Methode II** wird die „schwarze“ Monitorseite belohnt, während Kreise der verschiedenen oben genannten Intensitätsstufen der verschiedenen Farbreize (**Kap. 3.3**) pseudorandomisiert einmal auf der rechten, einmal auf der linken Monitorseite angeboten wurden (Gruppe A: weibliche Zwergziegen), jedoch nicht häufiger als dreimal hintereinander auf einer Seite, zur Vermeidung der Andressur einer Seitenstetigkeit. Für Gruppe A (weibliche Zwergziegen) handelte es sich in diesem Test wiederum um einen Versuchsplan mit 60 Schritten bzw. 30 Wahlschritten und 30 Zwischenschritten, wobei die Intervalle jedoch pseudorandomisiert (siehe oben) und jeweils für eine Zeit von höchstens drei Stunden präsentiert wurden. Die Richtig- oder Falschwahl hatte keinen Einfluss auf die Anzahl der Wahlen. Ebenso wie in den Tests zur Bestimmung der absoluten Sichtbarkeitsschwelle, erfolgte ein Nachtrag zu „Weiß“, da auch hier weniger Intervalle getestet waren. Die „roten“ und „grünen“ Stimuli wurden zusätzlich wiederholt, da die Tiere das 50 %-Niveau nicht erreicht hatten und der Kurvenverlauf nochmals statistisch abgesichert werden sollte.

Die Farbreize wurden in der gleichen Reihenfolge wie in **Kap. 3.3** durchgeführt. Jeder Farbreiz wurde zur Sicherung der Akquisitionsniveaus zunächst für 4 Tage in maximaler Intensität gegen „Schwarz“ präsentiert. Diesem folgte über 4 Tage ein Test mit **Methode I**, an den sich **Methode II** für weitere 4 Tage anschloss. Die Tiere mit den Ohrnummern 246 und 216 mussten am 26.06. bzw. 08.07.1998 aus Gruppe A genommen werden (s. o.). Somit konnten beim Farbstimulus „Türkis“ 9 Tiere, bei „Violett“ und „Weiß“ bzw. den zusätzlichen Intensitäten von „Weiß“ 8 Tiere berücksichtigt werden. Die Intervalle von „Rot“ und „Grün“

bzw. deren Wiederholungen wählten insgesamt 9 weibliche Tiere. Das Tier mit der Ohrnummer 216 war im Nachtest irrtümlich anstelle von Nr. 241 in die Gruppe gelangt und hatte gewählt (keine Reste-saufen-Strategie mehr).

Für Gruppe B (9 männliche Zwergziegen) wurden zunächst Lernkurven erstellt (**Anhang C**). Nach einer Anlernphase von 10 Tagen für „Schwarz“ (belohnter Stimulus) gegen „Grün“ maximaler Intensität, waren alle 9 Tiere auf einem Lernniveau von mindestens 90% Richtigwahlen. Die Farbstimuli wurden jeweils über 5 Tage in folgender Reihenfolge absolviert: „Schwarz“ gegen „Grün“, „Weiß“, „Rot“ und „Blau“. Um einer eventuell auftretenden Seitenstetigkeit vorzubeugen, lag in den ersten beiden Tagen je ein Versuchsplan mit 60 Schritten (30 Wahlschritte und 30 Zwischenschritte) zugrunde, wobei die Farbintervalle pseudorandomisiert mal auf der rechten, mal auf der linken Monitorseite präsentiert wurden. Jedes Farbintervall wurde für einen Zeitraum von höchstens 3 Stunden angeboten. An diese ersten 2 Tage schloss sich über weitere 3 Tage je ein Versuchsplan mit 180 Schritten bzw. 90 Wahlschritten und 90 Zwischenschritten an, in dem die Farbintervalle (belohnt), die gegen „Schwarz“ (unbelohnter Stimulus) präsentiert wurden, randomisiert die Monitorseite wechselten. Es konnten auch hier Intensitätskurven erstellt werden.

Die mit **Methode II** ermittelten Richtigwahlhäufigkeiten sollten der Feststellung „gleichheller“ Farbreize für beide Gruppen auf einem Niveau von 90 %-Richtigwahlen dienen. Die Kurven (**Abb. 50-53**) entstanden jeweils durch Interpolation der Gruppenmittelwerte, nachdem zuvor für jeden Farbreiz ein Mehrfelder- χ^2 -Test auf Unabhängigkeit durchgeführt wurde. Nur wenn das berechnete χ^2 kleiner als das tabellarische $\chi^2_{v;0.05}$ mit den Freiheitsgraden v ($v=[\text{Zeilenanzahl}-1]*[\text{Spaltenanzahl}-1]$) auf dem 5 % - Niveau war, wurden die Wahlhäufigkeiten der Einzeltiere zum Gruppenmittelwert zusammengefasst.

3.4.2 Ergebnisse: Gruppe A (weibliche Zwergziegen)

Die Kurven der **Abb. 50** und **Abb. 51** sind die interpolierten Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeiten der Gruppe A (weibliche Zwergziegen) für den achromatischen Stimulus (belohnt), der gegen die verschiedenen RGB - Werte (siehe **Kap. 3.3**) angeboten wurde. Die relative Intensität ist in beiden Abbildungen (**Abb. 50** und **Abb. 51**) als Zahlenwert (für „Rot“, „Grün“ und „Blau“) der zugehörigen RGB - Werte bzw. als Summe (für „Weiß“, „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“) der zugehörigen RGB - Werte angegeben. Die

Häufigkeit beschreibt in beiden **Abb. 50** und **Abb. 51** jeweils die Richtigwahlfrequenz für den entsprechenden RGB - Wert, der gegen den „schwarzen“ Stimulus präsentiert wurde. Die eingezeichneten Fehlerbalken geben ein Vertrauensintervall von 95% an (**Kap. 2.1.5**).

Alle Intensitätskurven (**Abb. 50** und **Abb. 51**) zeigen einen ähnlichen Verlauf, sind jedoch in ihrer Steigung recht unterschiedlich. Die Steigung der Kurven für die Stimuli „Rot“, „Grün“ und „Blau“ zeigt im Vergleich zu „Weiß“ bzw. zum achromatischen Stimulus (**Abb. 50**) für den „blauen“ Stimulus die stärkste Annäherung an „Weiß“. Die Kurve steigt für „Grün“ doppelt so steil an (Steigung: ca. 40%) wie für „Rot“. Hier ist die Steigung ca. 20%. Die Stimuli „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ werden mit der doppelten Intensität und damit mit höherem „Weiß“ - Lichtanteil vom Monitor dargestellt (**Anhang A**). Die höchste Angleichung des Kurvenverlaufs (**Abb. 51**) bzw. der Steigung zu „Weiß“ ist für den „türkisen“ Stimulus zu sehen. Insgesamt zeigt **Abb. 51** eine stärkere Annäherung dieser Farbreize an „Weiß“ als die Wahlfrequenzkurven der „roten“ und „grünen“ Farbreize.

Der Vergleich der Kurven für die Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ (siehe **Abb. 50**) und die Farbreize „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ mit „Weiß“ (siehe **Abb. 51**) zeigt, dass der „grüne“ Stimulus bis zu sehr niedrigen Intensitätsbereichen sichtbar ist. Die rel. 90%-Richtigwahlfrequenz liegt für „Grün“ bei einer Intensität von RGB(0, 12, 0) und für den „gelben“ Stimulus bei RGB(9, 9, 0). Der achromatische Stimulus benötigt eine relative Intensität von 27, was RGB(9, 9, 9) entspricht, um zu 90% richtig gewählt zu werden. Die relative Intensität bei einer rel. Wahlfrequenz von 0.9 der Stimuli „Blau“, „Türkis“ und „Violett“ liegt bei 34, d. h. für „Blau“ bei RGB(0, 0, 34), für „Türkis“ bei RGB(0, 17, 17) und für „Violett“ bei RGB(17, 0, 17). Der „rote“ Stimulus benötigt eine relative Intensität von 62, also RGB(62, 0, 0), um mit 90% rel. Richtigwahlfrequenz erkannt zu werden.

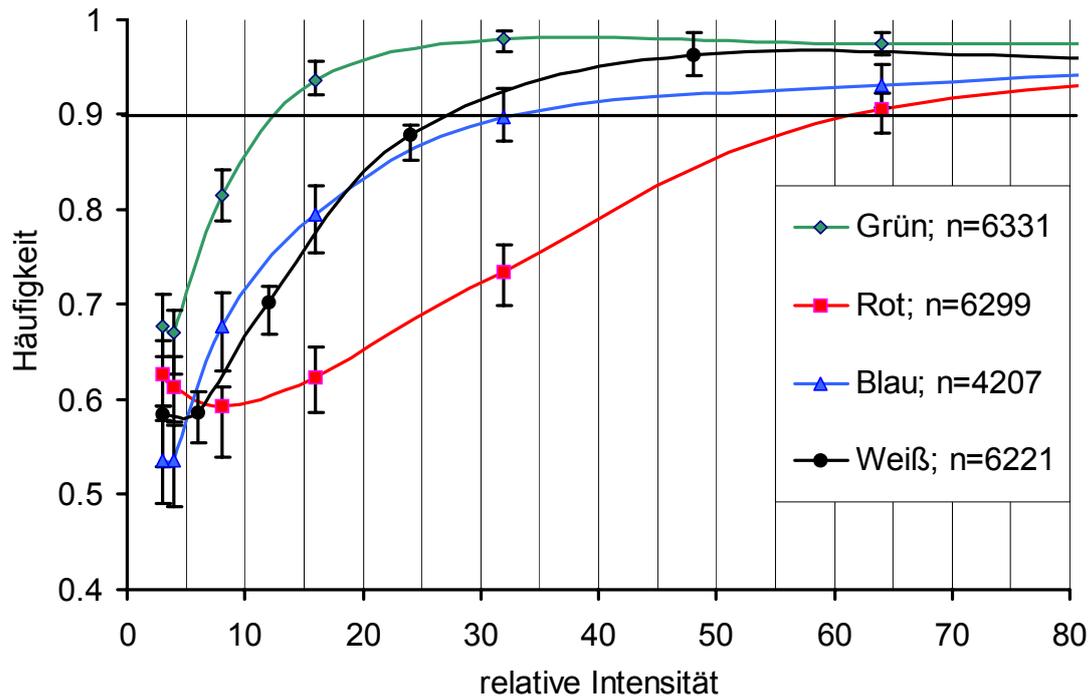
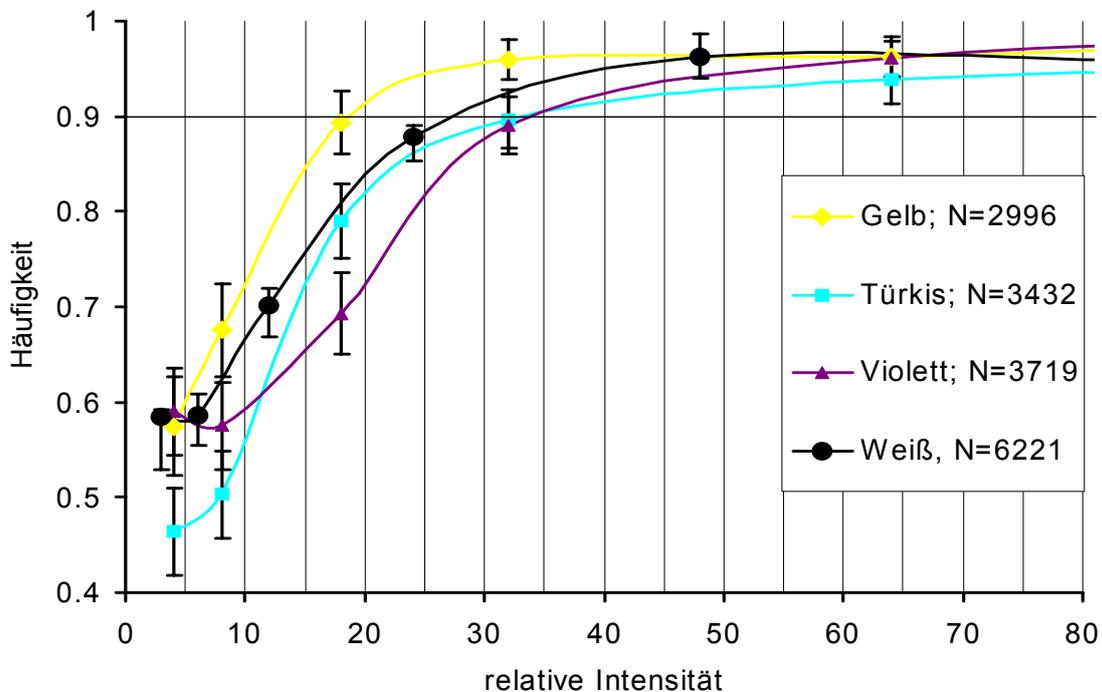


Abb. 50 (oben) und Abb. 51 (unten) Intensitätskurven aus den gewogenen Mittelwerten der Richtigwahlfrequenzen (Häufigkeit) aller Tiere (**Gruppe A**) für „Schwarz“ vs. „Rot“, „Grün“, „Blau“ und „Weiß“ (**Abb. 50 (oben)**) und für „Schwarz“ vs. „Gelb“, „Türkis“, „Violett“ und „Weiß“ (**Abb. 51 (unten)**); relative Intensität: Zahlenwert bzw. Summe aus Einzel – RGB - Werten; n: Anzahl Wahlen aller Tiere für alle Farbintervalle eines Farbreizes; Fehlerbalken: 95% Vertrauensbereich.



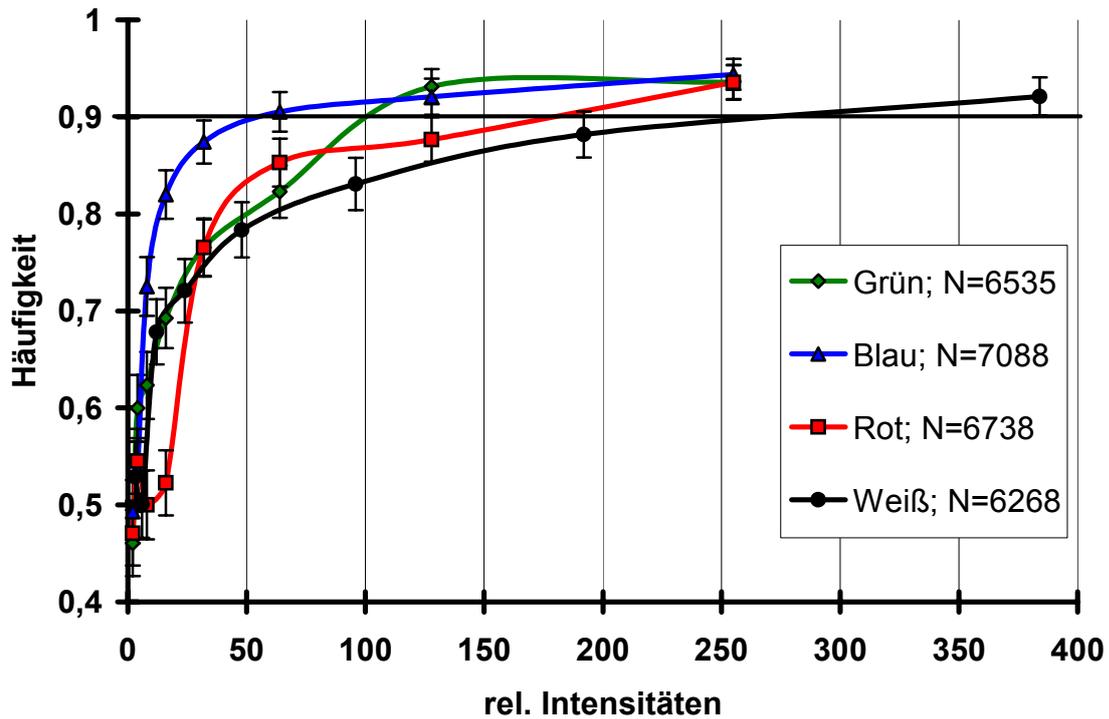
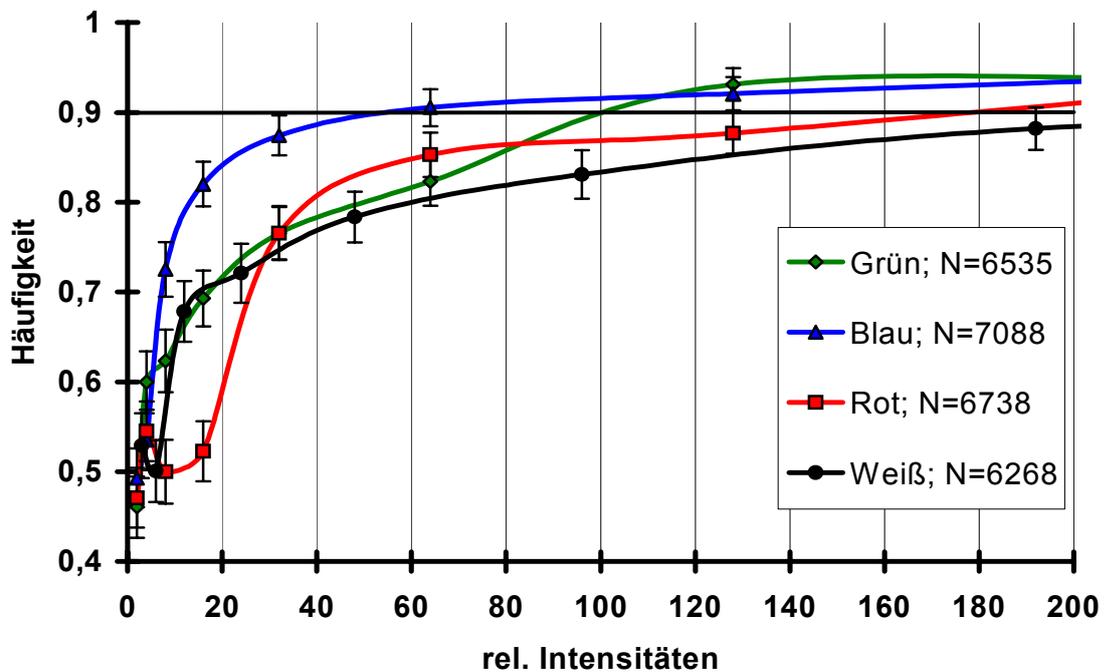


Abb. 52 (oben) und Abb. 53 (unten: x-Achse von 0-200) Intensitätskurven aus den gewogenen Mittelwerten der Richtigwahlfrequenzen (Häufigkeit) aller Tiere (**Gruppe B**) für „Schwarz“ vs. „Rot“, „Grün“, „Blau“ und „Weiß“; relative Intensität: Zahlenwert bzw. Summe aus Einzel – RGB – Werten; N: Anzahl Wahlen aller Tiere für alle Farbreizintervalle eines Farbreizes; Fehlerbalken: 95% Vertrauensbereich.



Die Kurven (interpoliert, **Kap. 2.1.5**) für die Wahlhäufigkeiten (Dreiecke, durchgezogene Linie) von „Schwarz“ vs „Rot“ -, „Grün“ -, „Blau“ - und „Weiß“ -Intervalle der Einzeltiere sind in **Abb. 54-69** (siehe **Anhang E: Abb. E45-116**) bzw. vs. „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ in **Abb. 70-75** (siehe **Anhang E: Abb. E117-172**) dargestellt. Die durch die gestrichelte Linie verbundenen Quadrate stellen in allen Abbildungen die Anzahl der Wahlen dar, die jedes Tier pro Intervall getätigt hat. Als relative Intensitäten ist bei „Rot“, „Grün“ und „Blau“ und bei „Weiß“, „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ die Summe der RGB - Werte angegeben. Zur besseren Übersicht sind jeweils zwei Grafiken (x-Achse: relative Intensität von 0-100 und 0-255) pro Tier dargestellt. Für „Schwarz“ vs. „Weiß“ (**Abb. 66-69, Anhang E: Abb. E95-116**) ergeben sich aufgrund der nachgetesteten Intensitäten 3 Grafiken je Tier (x-Achse: relative Intensität 0-100 bzw. 0-765 (W1), 0-30 (W2)).

Da die Intensitäten von „Schwarz“ gegen „Rot“ und „Grün“ nachgetestet wurden, sind in den entsprechenden Grafiken (**Abb. 54-61, Anhang E: Abb. E45-74**) die Wahlhäufigkeiten (sekundäre Y-Achse) zur besseren Übersicht in einem Intervall von 50-300 eingezeichnet. Für „Schwarz“ vs. „Weiß“ sind im ersten Test (W1) die Wahlhäufigkeiten (sekundäre Y-Achse) von 20-100, im zweiten Test (W2) von 40-240 dargestellt. Die Wahlhäufigkeiten für „Blau“, „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ liegen in einem Intervall von 20-120 Wahlen je Intensität. Die Fehlerbalken stellen den einfachen Standardfehler dar.

Tab. 17 gibt die relativen Intensitäten bei 90% Richtigwahlen aus den Grafiken (interpolierte Wahlhäufigkeiten) der Einzeltiere in Abhängigkeit vom Farbreiz wieder.

Tier Nr.	„Rot“	„Grün“	„Blau“	„Weiß“	„Gelb“	„Türkis“	„Violett“
1 = 216	n. e.	20	33	n. g.	20	68	n.g.
2 = 217	65	9	42	38	22	25	46
3 = 220	50	9	10	18	22	14	18
4 = 226	52	10	48	30	11	26	42
5 = 232	76	17	n.e.	26	17	18	37
6 = 237	55	12	30	33	24	24	28
7 = 241	52	19	26	34	22	66	40
8 = 246	n.g.	n.g.	26	n.g.	17	18	n.g.
9 = 249	40	11	94	25	12	18	32
10 = 254	64	19	14	26	18	26	36

Tab. 17 n. e.: 90% Richtigwahlen nicht erreicht; n. g.: Tier hat nicht gewählt.

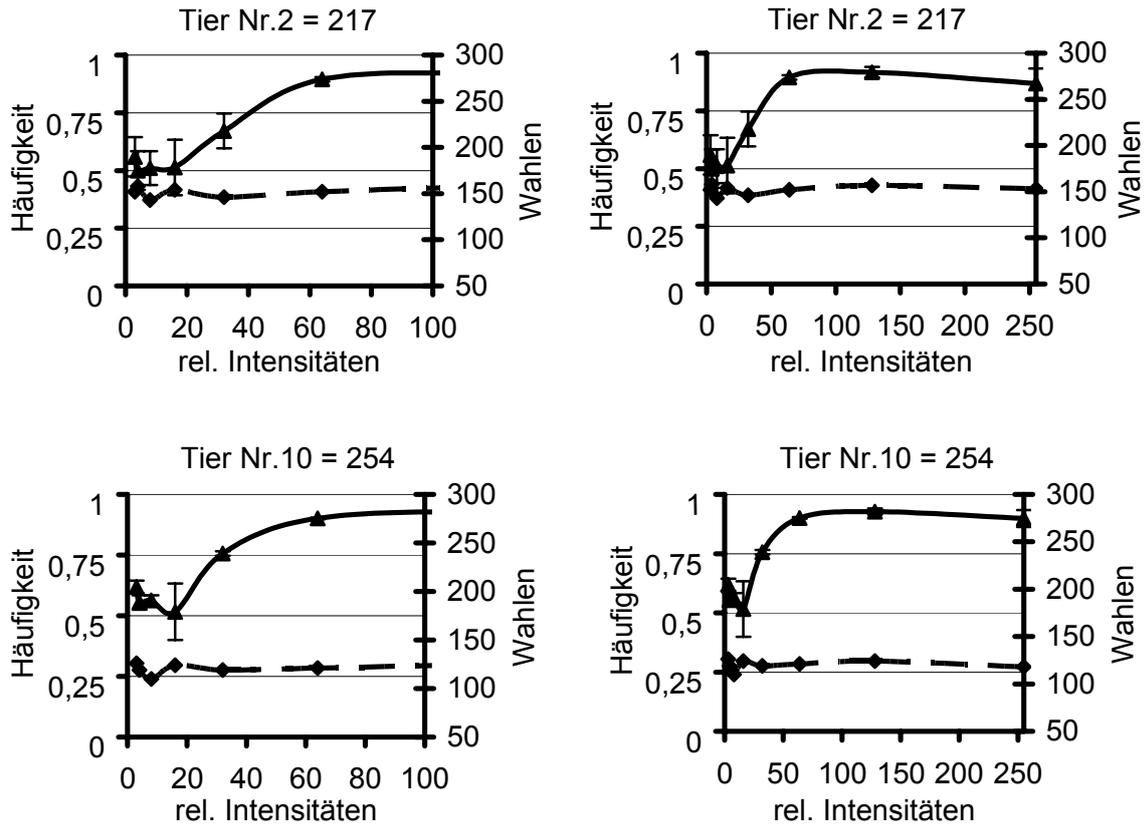


Abb. 54-57 Ergebnisse der Experimente mit **Methode II**. „Schwarz“ vs „Rot“; rel. Intensitäten: R+B+G; Fehlerbalken: Standardfehler; rel. Häufigkeit: rel. Richtigwahlhäufigkeit; Dreiecke: Mittelwerte der rel. Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB - Wert; Tier Nr.2 und 10 aus **Gruppe A** (9 Zwergziegen); links: x-Achse 0-100, rechts: x-Achse 0-255.

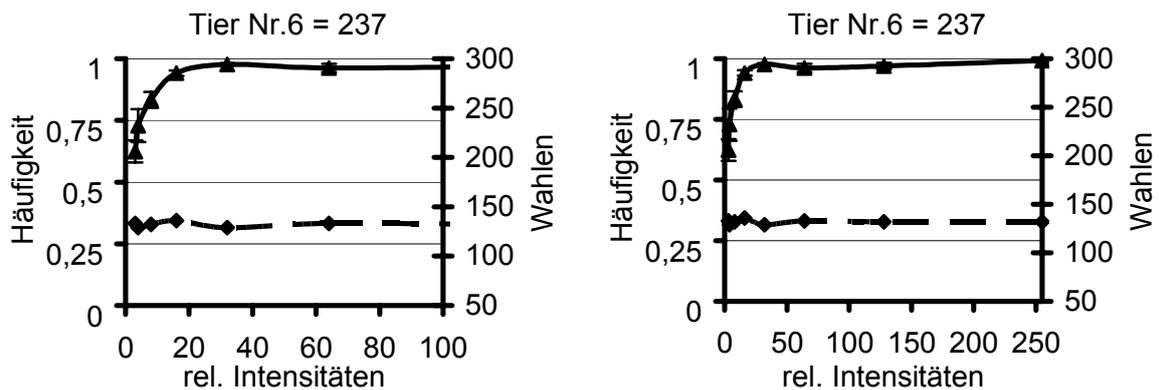


Abb. 58 und 59 Ergebnisse von Experimenten mit **Methode II**. „Schwarz“ vs „Grün“; rel. Intensitäten: R+B+G; Fehlerbalken: Standardfehler; rel. Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Dreiecke: Mittelwerte der rel. Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB - Wert; Tier Nr. 6 aus **Gruppe A** (9 Zwergziegen); links: x-Achse 0-100, rechts: x-Achse 0-255.

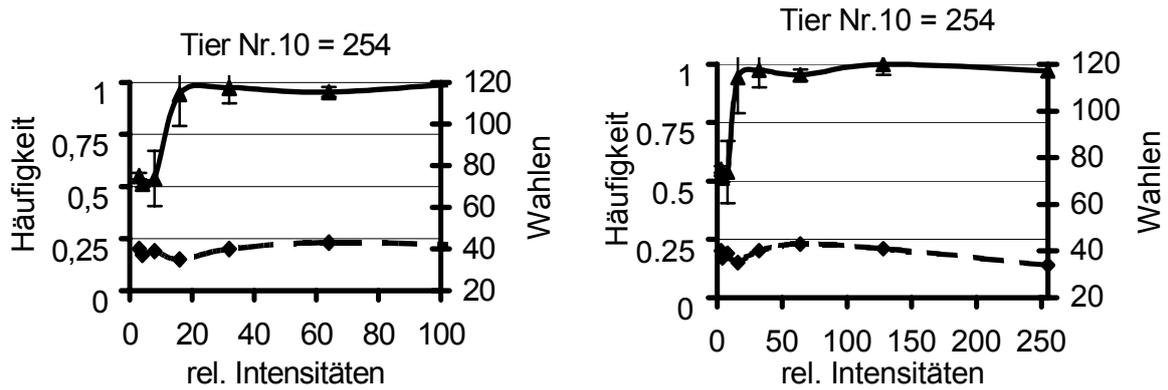


Abb. 60 und 61 Ergebnisse von Experimenten mit **Methode II.** „Schwarz“ vs. „Grün“; rel. Intensitäten: R+B+G; Fehlerbalken: Standardfehler; rel. Häufigkeit: rel. Richtigwahlhäufigkeit; Dreiecke: Mittelwerte der rel. Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB - Wert; Tier Nr.10 aus Gruppe A (9 Zwergziegen); links: x-Achse 0-100, rechts: x-Achse 0-255.

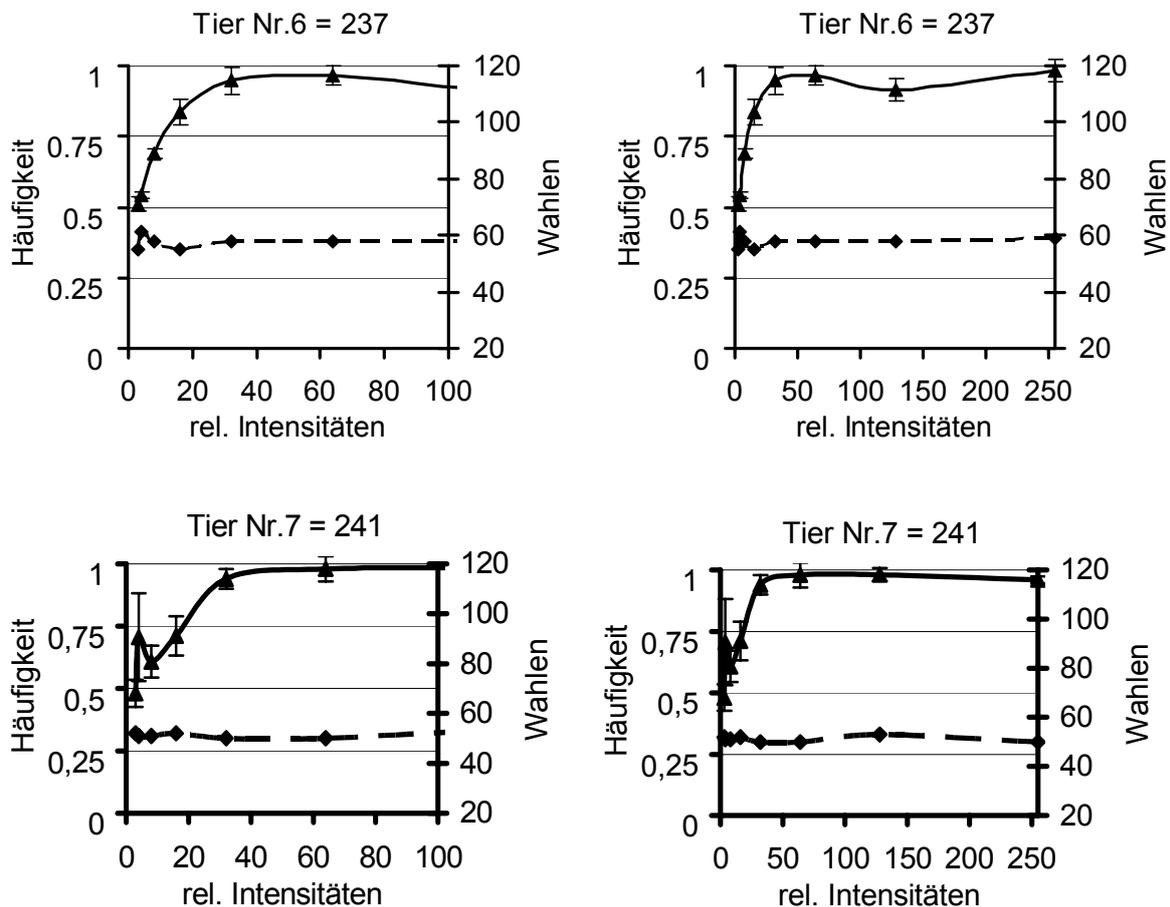


Abb. 62-65 Ergebnisse der Experimente mit **Methode II.** „Schwarz“ vs. „Blau“; rel. Intensitäten: R+B+G; Fehlerbalken: Standardfehler; rel. Häufigkeit: rel. Richtigwahlhäufigkeit; Dreiecke: Mittelwerte der rel. Richtigwahlhäufigkeiten; Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB - Wert; Tier Nr.6 und 7 aus **Gruppe A** (9 Zwergziegen); links: x-Achse 0-100, rechts: x-Achse 0-255.

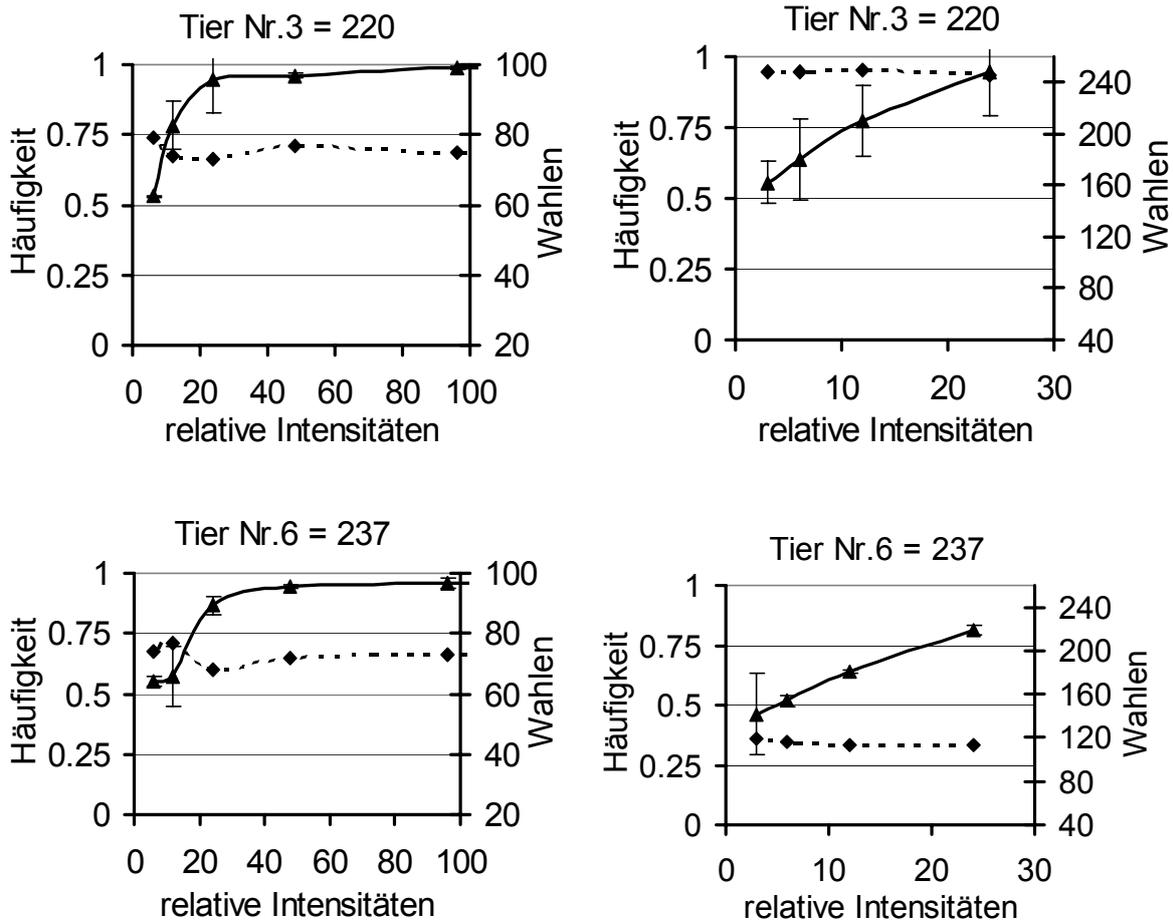


Abb. 66-69 Ergebnisse der Experimente mit **Methode II** „Schwarz“ vs. „Weiß“; rel. Intensitäten: R+B+G; Fehlerbalken: Standardfehler; rel. Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Dreiecke: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate: rel. Anzahl Wahlen pro RGB - Wert; Tier Nr. 3 und 6 aus **Gruppe A** (9 Zwergziegen); links: x-Achse 0-100, rechts: x-Achse 0-30.

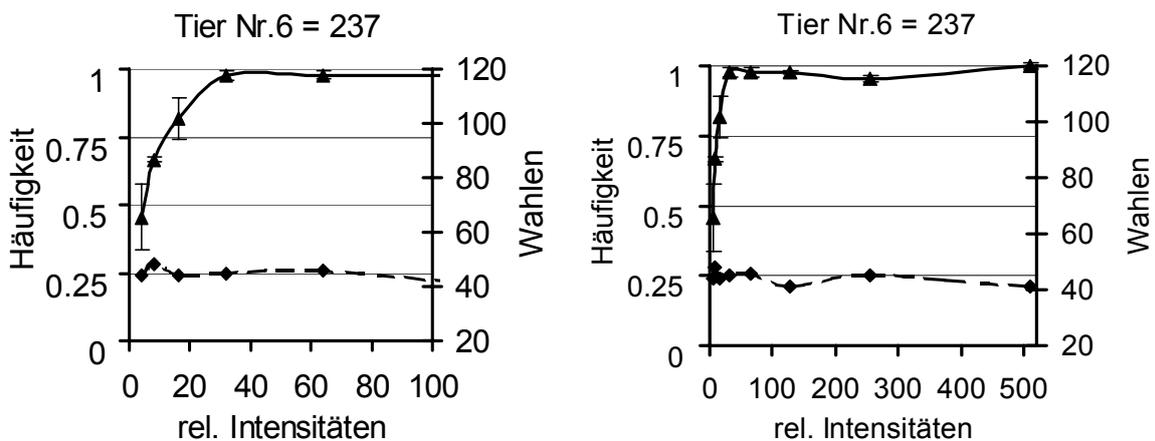


Abb. 70-71 Methode II „Schwarz“ vs „Gelb“; rel. Intensitäten: Summe aus RGB - Wert; Fehlerbalken: Standardfehler; Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Dreiecke: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB - Wert; Tier Nr. 6 aus **Gruppe A** (9 Zwergziegen); links: X-Achse 0-100, rechts: X-Achse 0-510.

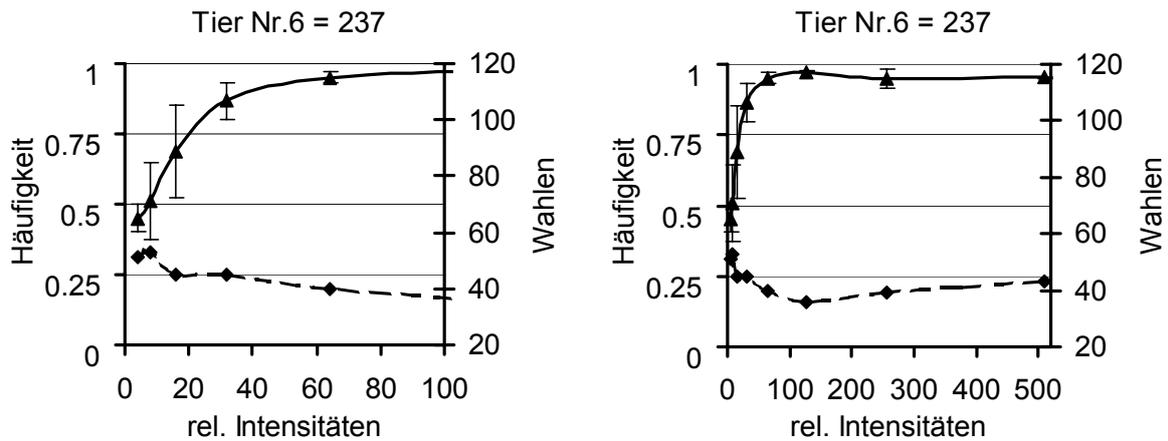


Abb. 72-73 Methode II „Schwarz“ vs „Türkis“; rel. Intensitäten: Summe aus RGB - Wert; Fehlerbalken: Standardfehler; Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Dreiecke: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB - Wert; Tier Nr. 6 aus **Gruppe A** (9 Zwergziegen); links: X-Achse 0-100, rechts: X-Achse 0-510.

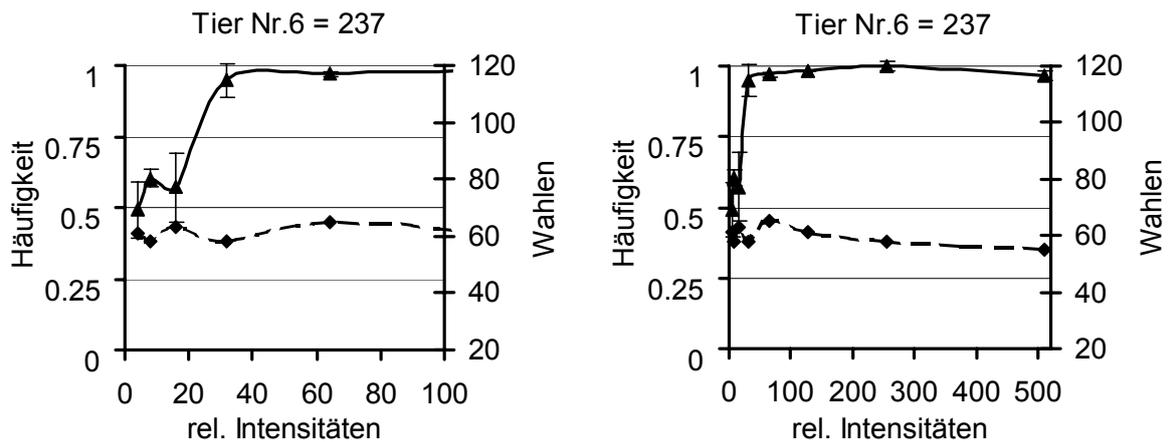


Abb. 74-75 Methode II „Schwarz“ vs „Violett“; rel. Intensitäten: Summe aus RGB - Wert; Fehlerbalken: Standardfehler; Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Dreiecke: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB - Wert; Tier Nr.6 aus **Gruppe A** (9 Zwergziegen); links: X-Achse 0-100, rechts: X-Achse 0-510.

3.4.3 Ergebnisse: Gruppe B (männliche Zwergziegen)

Abb. 52 bzw. **Abb. 53** stellt die interpolierten Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeiten aller 9 Tiere der Gruppe B für „Schwarz“ (belohnt) gegen die Intensitätsintervalle von „Rot“ -, „Grün“ -, „Blau“ - und „Weiß“ -Licht dar. Die relativen Intensitäten sind in beiden Abbildungen als Summe des RGB - Wertes ($R + G + B$) angegeben. Die Wahlhäufigkeit wird in beiden Graphen von 0.5 bis 1 dargestellt. Die Häufigkeit ist die Richtigwahlhäufigkeit, mit der „Schwarz“ gegen den entsprechenden RGB -

Wert des zu testenden Stimulus gewählt wurde. Die Fehlerbalken zeigen ein 95% Vertrauensintervall an. Mit „N“ ist die Gesamtanzahl an Wahlen aller Tiere innerhalb einer Versuchreihe, also für jeden Farbreiz, der gegen „Schwarz“ angeboten wurde, angegeben.

Die **Abb. 52** und **Abb. 53** zeigen unterschiedliche Steigungen. Am steilsten verläuft die Wahlhäufigkeitskurve für „Blau“ -Lichtintensitäten, das schon in einer rel. Intensität von 9 von „Schwarz“ zu 75% (absolute Sichtbarkeitsschwelle) unterschieden werden konnte. Die Kurve für den „roten“ Farbreiz zeigt einen flacheren Verlauf als die für den „blauen“. Die absolute Sichtbarkeitsschwelle (75% Richtigwahlen) liegt für „Rot“ - Lichtintensitäten bei ca. RGB(30, 0, 0). Im Verlauf recht ähnlich stellen sich die Kurven für „Grün“ - und „Weiß“ - Lichtintensitäten dar. Die Wahlhäufigkeit für „Grün“ -Licht steigt im Bereich der relativen Intensität von 3-8 steil an und verläuft ab einem RGB - Wert von (0, 8, 0) flacher (ca. 62% Steigung). Die Wahlhäufigkeitskurve für „Weiß“ -Licht hat den steilsten Anstieg im Bereich einer relativen Intensität von 6-12. Ab einer relativen Intensität von 12 wird auch sie, wie die Kurve für den „grünen“ Stimulus, flacher (ca. 25% Steigung).

Die 90% rel. Richtigwahlhäufigkeit wird für „Blau“ bei einem RGB - Wert von RGB(0, 0, 55), für „Grün“ bei RGB(0, 100, 0), für „Rot“ bei RGB(180, 0, 0) und für „Weiß“ bei einer relativen Intensität von 264, also bei RGB(88, 88, 88), im Gruppenmittel erreicht.

Die Abbildungen **76a** bis **79b** (**Anhang E: Abb. E173-242**) stellen die interpolierten Wahlhäufigkeitskurven (Dreiecke, durchgezogene Linie) von „Schwarz“ gegen „Rot“ -, „Grün“ -, „Blau“ - und „Weiß“ - Lichtintensitäten für die Einzeltiere dar. Die durch die gestrichelte Linie verbundenen Quadrate geben die Anzahl der Wahlen (sekundäre y-Achse: 50 – 300 Wahlen), die jedes Tier pro Intervall bzw. pro relativer Intensität getätigt hat, wieder. Die Buchstaben a und b zeigen jeweils die Wahlhäufigkeiten des gleichen Tieres, jedoch mit unterschiedlichen Skalen in der x-Achse. Der linke Graph (**a**) stellt die Wahlhäufigkeiten in Abhängigkeit von der Intensität in einem Bereich von einer relativen Intensität von 0-100 dar, der rechte (**b**) den Bereich von 0-255 für „Rot“, „Grün“ und „Blau“ bzw. von 0-384 für „Weiß“.

Die aus den Graphen in **Abb. 76a-79a** (**Anhang E: Abb. E173-242**) abgelesene Intensität bei 90% Richtigwahlen für die Einzeltiere gibt **Tab. 18** wieder.

Tier Nr.	„Rot“	„Grün“	„Blau“	„Weiß“
1 = 319	76	96	28	230
2 = 320	n.e.	196	208	n.e.
3 = 321	33	60	18	46
4 = 330	32	38	16	36
5 = 334	66	65	72	125
6 = 340	n.e.	255	112	n.e.
7 = 341	72	96	14	100
8 = 342	34	36	50	225
9 = 360	38	86	10	18

Tab. 18 Übersicht der relativen Intensitäten bei 90% Richtigwahlfrequenz; „n. e.“: Tier hat das 90% Richtigwahlniveau nicht erreicht; Intensitätswerte von Tier Nr.4 (fett) waren die Grundlage für die weiteren Tests mit dieser Gruppe.

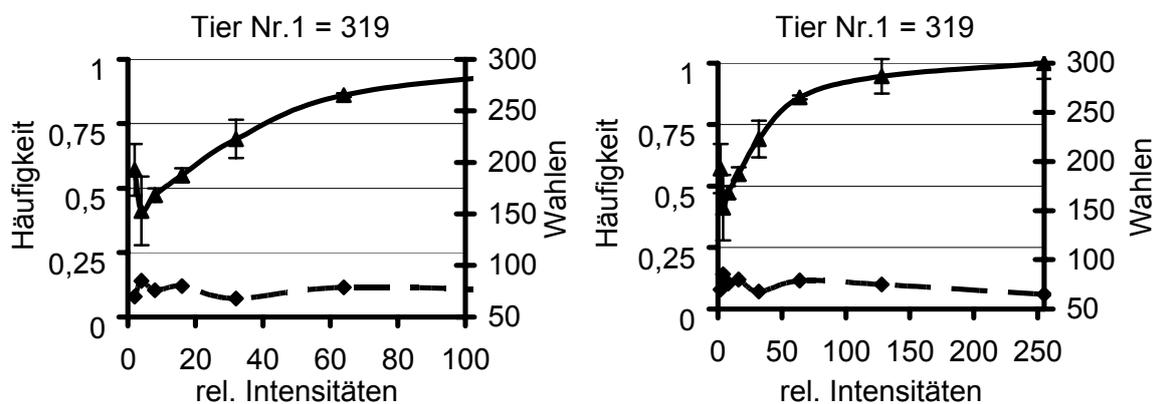


Abb. 76a und 76b Methode II „Schwarz“ vs „Rot“; rel. Intensitäten: R+G+B; Fehlerbalken: einfache Standardfehler; Häufigkeit: Richtigwahlfrequenz; Dreiecke: Mittelwerte der Richtigwahlfrequenz; Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB- Wert: **Gruppe B** (9 Zwergziegenböcke); links: X-Achse 0-100: rechts: X-Achse 0-255.

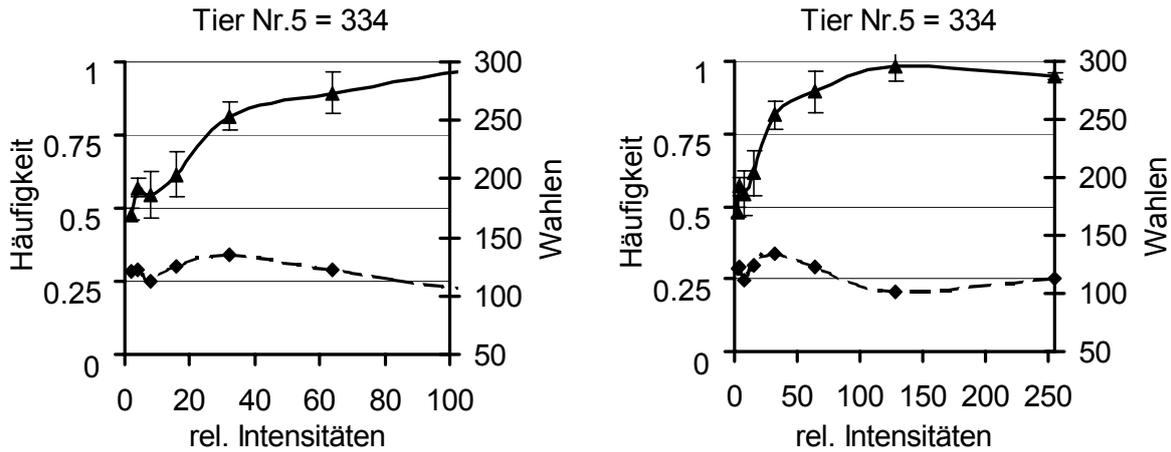


Abb. 77a-77b Methode II „Schwarz“ vs. „Grün“; rel. Intensitäten: Zahlenwert aus RGB-Wert; Fehlerbalken: Standardfehler; Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Dreiecke: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB-Wert; Tier Nr. 5 aus **Gruppe B** (9 Zwergziegenböcke); links: X-Achse 0-100, rechts: X-Achse 0-255 (**Anhang E: Abb. E189-204**).

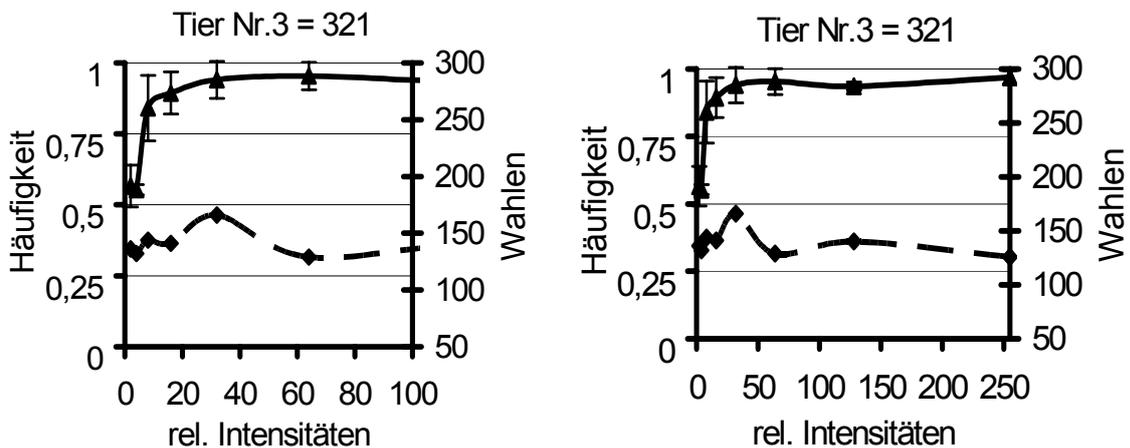


Abb. 78a-78b Methode II „Schwarz“ vs „Blau“; rel. Intensitäten: Zahlenwert aus RGB - Wert; Fehlerbalken: Standardfehler; Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Dreiecke: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB - Wert; Tier Nr. 3 aus **Gruppe B** (9 Zwergziegenböcke); links: X-Achse 0-100, rechts: X-Achse 0-255 (**Anhang E: Abb. E211-226**).

Zusammenfassung und Diskussion: Gruppe A und B: Aufgrund der pseudorandomisierten Reihenfolge des belohnten Farbreizes auf den beiden Monitorhälften, liegen die Wahlhäufigkeiten etwas über 50 % im Mittel für die nicht von „Schwarz“ unterscheidbaren Intensitäten (**Methode I**).

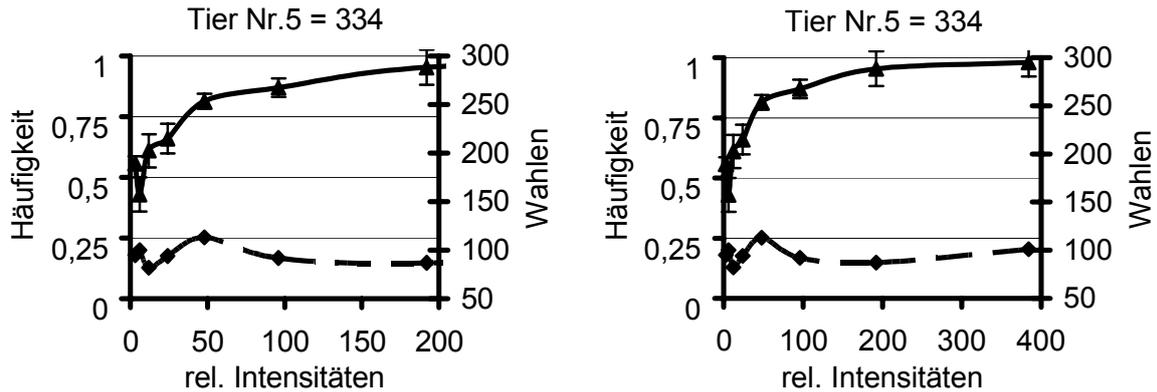


Abb. 79a-79b Methode II „Schwarz“ vs „Weiß“; rel. Intensitäten: R+G+B; Fehlerbalken: Standardfehler; Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Dreiecke: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate: Anzahl Wahlen pro RGB - Wert; Tier Nr. 5 aus **Gruppe B** (9 Zwergziegenböcke); links: X-Achse 0-200, rechts: X-Achse 0-400 (siehe **Anhang E: Abb. E227-242**).

Der unterschiedliche Kurvenverlauf **Abb. 50 (Gruppe A)** für die drei Farbstimuli „Rot“, „Grün“ und „Blau“ gibt erste Hinweise auf ein Vorhandensein von verschiedenen Komponenten der Farbreizunterscheidung für diese drei Farbreize. Die Wahlhäufigkeit für „Grün“ (**Gruppe A**) zeigt, dass „Grün“ - Licht die geringste relative Intensität von RGB(0, 13, 0) benötigt, um zu 90% Richtigwahlen zu führen. Für den „roten“ Stimulus wird eine relative Intensität von ca. 62 (Gruppenmittelwert) benötigt, um eine Wahlhäufigkeit von 0,9 zu erreichen. Die Kurve der interpolierten Mittelwerte (**Abb. 50**) der Wahlhäufigkeiten für den „blauen“ Stimulus liefert bei 90% Richtigwahlen einen relativen Intensitätswert von 33. Eine relative Intensität von 27 (**Abb. 50-51**) ist für den achromatischen Stimulus („Weiß“ bzw. „Grau“) nötig, um eine Wahlhäufigkeit von 0,9 hervorzurufen. Die größte Annäherung an „Weiß“ im Kurvenverlauf (**Abb. 51, Gruppe A**) zeigt der Test des „türkisen“ Stimulus (rel. Intensität ca. 34 bei 90% Richtigwahlen) gegen „Schwarz“, während die Intensitätskurven aller anderen Stimuli eine andere Steigung und damit unterschiedlichen Verlauf zeigen.

Für **Gruppe B** zeigen die interpolierten Wahlhäufigkeitskurven (**Abb. 52-53**) für „Grün“ die größte Annäherung an „Weiß“. In diesem Test benötigt der „blaue“ Stimulus die geringste Intensität (RGB(0, 0, 55)), gefolgt von „Grün“ (RGB(0, 100, 0)) und „Rot“ (RGB(180, 0, 0)), um von „Schwarz“ mit einer Wahlhäufigkeit von 0,9 unterschieden werden zu können.

Der unterschiedliche Verlauf der Kurven für **Gruppe A** und **B** (**Abb. 50** und **52**) für „Weiß“, „Grün“ und „Blau“ ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass in **Gruppe B** bei mehreren Tieren (außer Tier Nr.1, 7) über 1 Tag beim Test von „Schwarz“ gegen „Grün“

(Tier Nr. 2, 6, 9), gegen „Weiß“ (Tier Nr. 2, 8) und für „Schwarz“ gegen „Rot“ (Tier Nr. 3, 5, 8), über 2 Tage bei „Schwarz“ gegen „Grün“ (Tier Nr. 4, 5), gegen „Rot“ (Tier Nr. 2) und gegen „Weiß“ (Tier Nr. 5), über 3 Tage beim Test von „Schwarz“ gegen „Rot“ (Tier Nr. 4), gegen „Weiß“ (Tier Nr. 6) und über 4 Tage bei „Schwarz“ gegen „Rot“ (Tier Nr. 6) und gegen „Weiß“ (Tier Nr. 4) spontane Seitenstetigkeit (**Kap. 1.4.1**) auftrat, die ohne Gegendressur wieder aufgegeben wurde. Lediglich beim Test von „Schwarz“ gegen die „Blau“-Intensitäten trat bei keinem Tier eine Seitenstetigkeit auf. In **Gruppe A** trat insgesamt bei 4 Tieren (Tier Nr. 1, 2, 5, 9) eine Seitenstetigkeit über 1 Tag für „Schwarz“ gegen „Rot“ (Tier Nr. 1, 2, 9) und gegen „Blau“ (Tier Nr. 5, 9) auf. Über 2 Tage zeigte Tier Nr. 2 im Test von „Schwarz“ gegen „Blau“ eine Seitenstetigkeit, die ohne Gegendressur wieder aufgegeben wurde.

Die Betrachtung der Wahlhäufigkeiten der Einzeltiere (**Abb. 54** bis **Abb. 79b** und **Anhang E: Abb. E45-242**) bzw. derjenigen relativen Intensitäten, die 90% Richtigwahlen hervorrufen (siehe **Tab. 17** und **Tab. 18**), zeigt eine signifikant höhere Inhomogenität innerhalb der **Gruppe B** im Vergleich zu **Gruppe A**. Obwohl alle Tiere beider Gruppen vor Versuchsbeginn ein Akquisitionsniveau von >90% Richtigwahlen besaßen, erreichte in **Gruppe A** ein Tier (Tier Nr. 1) im Test von „Schwarz“ gegen die „roten“ Intensitätsintervalle nicht 90% Richtigwahlen. In **Gruppe B** erreichten Tier Nr. 2 und 6 in den Tests von „Schwarz“ gegen „Rot“ - und gegen „Weiß“ - Intensitäten jeweils nicht 90% Richtigwahlen. Ursache für diese Unterschiede ist vermutlich, dass in **Gruppe B** über 2 Tage die getesteten Farbintervalle pseudorandomisiert angeboten wurden, in **Gruppe A** über die gesamten 4 Tage. Aufgrund der in **Gruppe B** 3 Tage langen Präsentation einer randomisierten Abfolge jedes Testfarbreizes, versuchten die Tiere dieser Gruppe andere Strategien, um ohne Wahlen ihre tägliche Wasserration zu erhalten.

Die Farbreize „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ werden mit der doppelten Intensität und damit vermutlich mit höherem „Weiß“-Lichtanteil der Farbreize vom Monitor dargestellt (siehe **Anhang A**). Aus diesem Grund liegen die Kurven dieser Zwischenfarbreize (**Abb. 51**) dichter zusammen als die Kurvenverläufe für „Rot“, „Grün“ und „Blau“ (**Abb. 50**).

Aus den erstellten Intensitätskurven (subjektive Diagramme) der Einzeltiere konnten bei 90 % Richtigwahlen diejenigen Intensitätswerte (siehe **Tab. 17**) abgelesen werden, die für die Tiere gleichhell erschienen, also gleichen Farbreizabstand zu „Schwarz“ besitzen.

Da die Wahlhäufigkeiten innerhalb der Gruppe schwankten, dienten jeweils die ermittelten gleichhellen Intensitäten eines ausgewählten Tieres aus jeder Gruppe (**Gruppe A** Tier Nr. 6 bzw. 237, Gruppe B: Tier Nr. 4 bzw. 330) als Basis für die weitere Dressur.

3.5 Unterscheidbarkeit gleichheller Farbreize von einem achromatischen Farbreiz

Die Ergebnisse aus den Experimenten, die mit **Methode II** durchgeführt wurden, dienten als Grundlage für die Bestimmung der für die Ziegen (**Gruppe A**) als gleichhell im Wahlverhalten bewerteten Lichtintensitäten (**Kap. 3.4**). Dazu wird ein Richtigwahlniveau von 90 % zugrunde gelegt. Da innerhalb der Gruppe eine gewisse Schwankung auftrat, wurde ein Tier (**Gruppe A**: Tier Nr. 6 = 237) ausgewählt, das die Grundlage für diesen Test bildete. Die graphisch gegen die Farbreizintensitätsstufen aufgetragenen Wahlhäufigkeiten wurden interpoliert und der Intensitätswert bei 90 % Richtigwahlen für jeden getesteten Farbreiz abgelesen (siehe **Tab. 17**). Diese Intensitätswerte der verschiedenen Farbreize wurden dann gegen die entsprechende „Weiß“ – Licht - Intensität getestet.

Da die Tiere im Vorexperiment auf die „schwarze“ Monitorseite (belohnt) dressiert waren (Kreis unbelohnt und unbelohnter Zwischenschritt: zwei Kreise), musste für die Hauptversuche¹ eine Umdressur erfolgen. **1)** Hierbei wurden jeweils zwei Kreise auf „schwarzem“ Hintergrund (RGB(0, 0, 0)) präsentiert, wovon die Ziegen den „grauen“ (belohnter Stimulus) („Weiß“ -Lichtintensitätsstufe bei 90 % Richtigwahlen des Tieres Nr. 6) von gleichhellen Alternativfarbreizen (unbelohnt) unterscheiden mussten. In den Zwischenpräsentationen (Versuchsplan mit 60 Schritten) ist der Bildschirm jedoch völlig „Schwarz“. **2)** Zuerst wurden die Farbstimuli „Rot“ (RGB(55, 0, 0)), „Grün“ (RGB(0, 12, 0)) und „Blau“ (RGB(0, 0, 30)) gegen „Grau“ (RGB(11, 11, 11)) getestet. Der Plan für diese Tests ging über eine Zeitspanne von 10 Tagen.

2a) In den ersten vier Tagen wurden die Farbreize in der Reihenfolge „Rot“, „Grün“, „Blau“ immer nacheinander angeboten, dabei wechselte der belohnte „graue“ Kreis pseudorandomisiert die rechte und linke Seite des Monitors. Der Plan hierfür umfasste 100 Schritte, wobei jeder zweite Schritt als Zwischenschritt mit „schwarzem“ Bildschirm eingefügt war.

2b) In den folgenden sechs Tagen wurden sowohl die Farbreize als auch der Ort des belohnten Kreises randomisiert angeboten. Dazu wurde ein Plan von 180 Schritten (90 Wahlschritte und 90 Zwischenschritte) erstellt, dem eine erstellte Tabelle (EXCEL 8.0,

¹ Diese Experimente wurden erst nach Ende der Decksaison, in der die Ziegen in kleineren Gruppen untergebracht waren, begonnen. Dabei ist irrtümlicherweise das Tier mit der Ohrnummer 216, das die Strategie entwickelt hatte, die Reste der anderen zu saufen, wieder mit in den Versuch gelangt, während das Tier mit der Ohrnummer 241 nicht an diesem Test teilgenommen hat.

Microsoft) mit gleichverteilten Zufallszahlen zugrunde gelegt wurde. Dies verhinderte ein Erlernen der Farbreize nach der Reihenfolge oder den Belohnungsorten. Die erstellten Pläne wechselten täglich, sodass nach 6 Tagen alle Farbreize gleichhäufig dargeboten worden waren. Die Ergebnisse dieses Testes von gleichhellen Farbstimuli gegen einen gleichhellen achromatischen Farbreiz (belohnt), werden für jedes Tier in Form eines Säulendiagramms (Abb. 80-81) dargestellt.

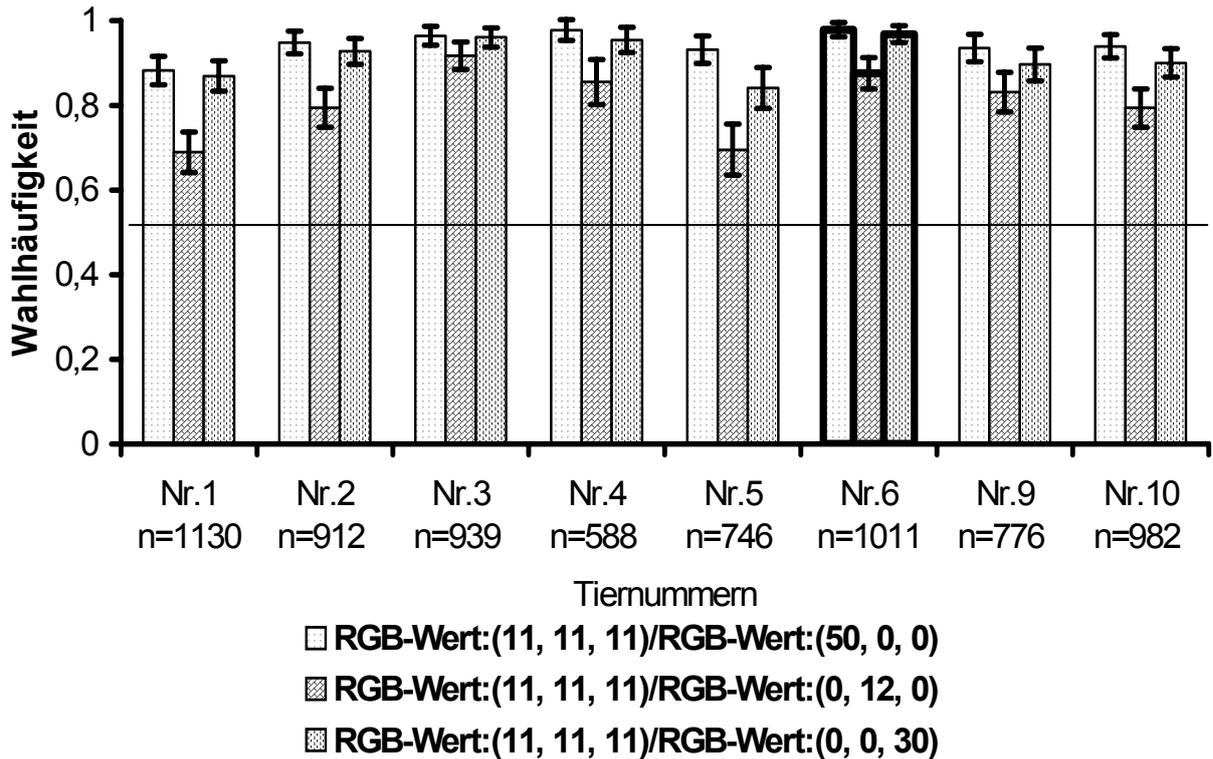


Abb. 80 Wahlhäufigkeiten der gleichhellen Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ vs. gleichhellen achromatischem Farbreiz (belohnt); „n“ bezeichnet die Anzahl Wahlen je Tier; Fehlerbalken: 95% Vertrauensbereich; die linke Säule gibt jeweils die Wahlhäufigkeit für den achromatischen Farbreiz vs. „Rot“, die mittlere vs. „Grün“ und die rechte vs. „Blau“. Alle Farbreize waren gleichhell für Tier Nr. 6 = 237.

Für die Farbreize „Gelb“, „Violett“ und „Türkis“ wurden die bereits erstellten Versuchspläne von „Rot“, „Grün“ und „Blau“ entsprechend umgeschrieben². Auch hier wurde vier Tage lang die Farbreizpräsentation pseudorandomisiert begonnen, um einer eventuell auftretenden Seitenstetigkeit vorzubeugen.

Abb. 81 zeigt die Wahlhäufigkeiten von 8 Tieren (s. o.) für den achromatischen Farbreiz (belohnt) vs. RGB(11, 11, 0), vs. „Gelb“, vs. RGB(0, 12, 12), „Türkis“ bzw. vs.

² Da die Ziegen inzwischen hochtragend waren, wurden die Versuche hier unterbrochen und nach der Ablampperiode mit anschließender Decksaison weitergeführt.

RGB(14, 0, 14), „Violett“ im Säulendiagramm. Die linke Säule (leer) gibt die Wahlhäufigkeit für „Gelb“ an, die mittlere (gepunktet) für „Türkis“ und die rechte Säule (gestrichelt) für „Violett“.

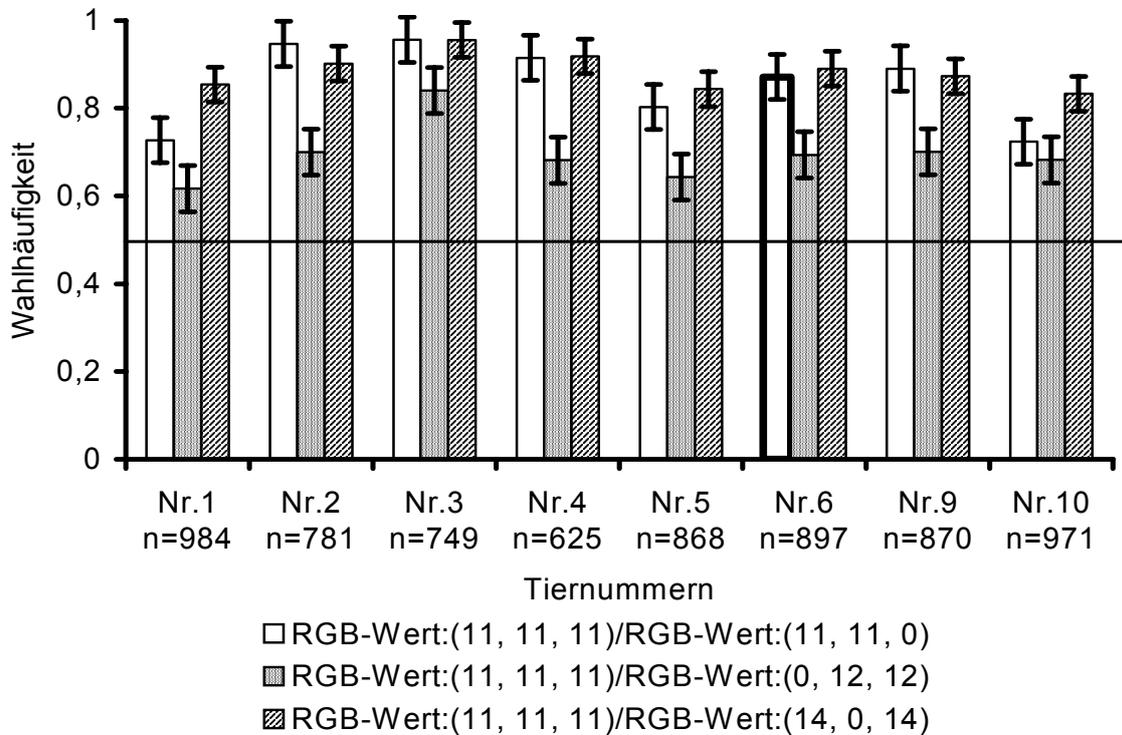


Abb. 81 Wahlhäufigkeiten von „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ vs. gleichhellem achromatischen Stimulus; „n“: Anzahl Wahlen je Tier; Fehlerbalken: 95% Vertrauensbereich; linke Säule (leer) zeigt Wahlhäufigkeit des achromatischen Stimulus vs. (vs) „Gelb“, mittlere Säule (gepunktet) vs. „Türkis“ und rechte Säule (gestrichelt) vs. „Violett“ an (alle Farbreize waren **gleichhell für Tier Nr. 6 bzw. 237**);

Alle Tiere sind in der Lage die als gleichhell (Tier Nr. 6 bzw. Nr. 237) ermittelten Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ von einem subjektiv gleichhellen achromatischen Stimulus mit mindestens 68 % Richtigwahlhäufigkeit („Grün“, Tier Nr. 5 bzw. Nr. 232) signifikant zu unterscheiden. Tier Nr. 6 bzw. Nr. 237, für das die Farbreize exakt gleich hell waren, konnte den achromatischen Stimulus sogar mit mindestens 85% Richtigwahlen vs. „Grün“ signifikant auswählen.

Für die Zwischenfarbreize „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“, die ebenfalls gegen den gleichhellen achromatischen („grauen“) Farbreiz (belohnt) getestet wurden, lagen die Wahlhäufigkeiten niedriger. Auch diese Farbstimuli wurden von allen getesteten Tieren noch mit über 60 % Richtigwahlen signifikant vom „grauen“ Stimulus unterschieden. Die niedrigste Wahlhäufigkeit (siehe **Abb. 81**) zeigten die Tiere bei „Türkis“, während „Violett“ und „Gelb“ annähernd gleichhäufig gewählt wurden. Insgesamt liegt die

Farbreizunterscheidung für „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ vs. „Grau“ unterhalb der für „Rot“, „Grün“ und „Blau“ vs. „Grau“.

Zusammenfassung und Diskussion: Alle Tiere³ waren in der Lage die gleichhellen farbigen Stimuli von einem achromatischen gleichhellen Stimulus zu unterscheiden. Diese gleichhellen Stimuli waren für das Tier mit der Ohrnummer 237 bzw. aus dessen Intensitätskurven für die einzelnen Stimuli abgelesen worden. Wie man anhand der Grafiken (siehe **Abb. 80-81**) sieht, ist die Wahlhäufigkeit innerhalb der Gruppe einigen Schwankungen (98% Richtigwahlen bei Tier Nr. 4 für „Rot“ bis 68% Richtigwahlen bei Tier Nr. 1 für „Türkis“) unterworfen. Alle Tiere konnten den achromatischen Stimulus vom Farbstimulus jedoch signifikant unterscheiden.

Die geringeren Wahlhäufigkeiten für die Farbreize „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ im Vergleich zu „Rot“, „Grün“ und „Blau“ erklären sich aus dem höheren „Weiß“-Lichtanteil, mit dem diese Farbreize auf dem Monitor dargestellt werden (siehe **Anhang A**).

Wegen der interindividuellen Schwankungen (Populationsgenetik) können die Farbreize nur für ein Tier exakt gleichhell sein. Man könnte behaupten, dass ein Tier zufällig alle Farbstimuli vom achromatischen Stimulus unterscheidet, da diese nicht exakt gleichhell für dieses Tier waren (ungleicher Farbreizabstand zu „Schwarz“). Die anderen Tiere der Gruppe hätten die Farbstimuli vom achromatischen Stimulus aufgrund von „geringsten“ Helligkeitsdifferenzen unterschieden. Wäre dies tatsächlich der Fall gewesen, hätten die Tiere jedoch beim „grünen“ Stimulus, der eine geringere Intensität als der achromatische Stimulus hatte, nicht > 70% Richtigwahlen gezeigt. Bei der Unterscheidung des achromatischen Stimulus vom Farbstimulus aufgrund von Helligkeitsdifferenzen, hätten die Tiere größere Unterschiede im Wahlverhalten gezeigt. Für den menschlichen Betrachter waren die Farbstimuli heller oder dunkler als der achromatische Stimulus. Die Farbreize wurden alle in der gleichen Form (gleichgroßer Kreis auf schwarzem Hintergrund) dargestellt und unterschieden sich nur durch ihre RGB - Werte. Bei einer Dressur auf Helligkeitsunterschiede hätten die Tiere bei wenigstens einem Farbstimulus versagt (50 % Richtigwahlen). Die Tiere hatten offensichtlich nur die Möglichkeit die Farbreize nur aufgrund mindestens eines weiteren Photorezeptors vom „grauen“, achromatischen Farbreiz zu unterscheiden, d.h. sie sind auf Grund dieser Ergebnisse mindestens Dichromaten.

³ Obwohl das Tier mit der Ohrnummer 216 wieder im Versuch war, stellte sich keine Wiederholung seiner „Strategie des Reste-Saufens“ ein. Dieses Tier wählte so gut und häufig wie die anderen.

3.6 Minimale Farbreizabstände zu „Weiß“ - Licht bzw. „Grau“ - Licht

Nachdem alle Zwergziegen die chromatischen Farbreize vom gleichhellen achromatischen Stimulus („Grau“) unterscheiden konnten, wurden minimale Farbreizabstände zu „Grau“ gemessen. Nach einer Versuchspause von ca. 2 Monaten wurden den Tieren der Versuchsgruppe A die ersten hohen Intensitätsstufen (siehe unten) der Stimuli „Rot“, „Grün“ und „Blau“ 4 Tage lang pseudorandomisiert und 3 Tage lang randomisiert gegen den „grauen“, achromatischen Stimulus (belohnt) angeboten. Nachdem alle Tiere wieder ihr Akquisitionsniveau erreicht hatten, folgte die Durchführung der Versuche nach folgenden Plänen.

3.6.1 Abstand von „Grau“ zu „Rot“ -, „Grün“ - und „Blau“ - Lichtintensitäten

Die Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ wurden auf ihren minimalen Unterschied zum achromatischen Stimulus („Grau“) getestet. Es waren 9 Tiere (**Gruppe A**) im Versuch.

Um eine Umdressur zu vermeiden, wurde der achromatische Stimulus auch in diesem Test belohnt. Dieser Versuchreihe liegen Pläne mit 60 Schritten (30 Wahlschritte, 30 Zwischenschritte) zugrunde, in denen der belohnte Stimulus („Grau“, RGB(11, 11, 11), rel. Intensität 33) pseudorandomisiert (Gellermann, 1933) die Seite wechselt. Für die Intensitäten der Farbstimuli „Rot“, „Grün“ und „Blau“ wurden jeweils entsprechende Intensitäten (siehe unten) über 4 Tage in pseudorandomisierter Reihenfolge getestet. Danach folgte einen Tag lang eine randomisierte Abfolge der Stimuli (nach gleichverteilten Zufallstabellen aus EXCEL.8.0, Microsoft) in 180 Schritten (90 Wahlschritte, 90 Zwischenschritte). Die in dieser Versuchreihe getesteten Intensitätsstufen wurden anhand ihrer signifikanten Unterschiede (95 % Vertrauensbereich) in den entsprechenden Intensitätskurven ausgewählt.

Für den Farbreiz „Rot“ wurden folgende Intensitäten ausgewählt: RGB(70, 0, 0), RGB(55, 0, 0), RGB(46, 0, 0), RGB(37, 0, 0), RGB(22, 0, 0) und RGB(10, 0, 0). Da hier noch nicht alle Tiere ein Minimum gezeigt hatten, wurde für 3 Tage ein Experiment-Plan mit pseudorandomisierter Reihenfolge der Reize (60 Schritte, Gellermann-Tabelle) und für einen Tag ein randomisierter (Gleichverteilung nach EXCEL Zufallstabelle) Plan mit 180 Schritten für die Intensität RGB(5, 0, 0) fortgeführt. Die ausgewählten Intensitäten für „Grün“ waren: RGB(0, 32, 0), RGB(0, 18, 0), RGB(0, 12, 0), RGB(0, 8, 0), RGB(0, 4, 0) und RGB(0, 2, 0). Für „Blau“ waren es folgende: RGB(0, 0, 70), RGB(0, 0, 30), RGB(0, 0, 22), RGB(0, 0, 14),

RGB(0, 0, 9) und RGB(0, 0, 5). Es wurden jeweils für 5 Tage (4 Tage pseudo- und 1 Tag randomisierter Wechsel der Monitorseite des belohnten Stimulus) immer die Intensitäten der Stimuli „Rot“, „Grün“ und „Blau“ in einem Durchgang getestet, die in der Reihenfolge ihrer Größe nach 5 Tagen abnahmen. Die folgende Tabelle (**Tab. 19**) zeigt, welche Farbreiz-Intensitäten jeweils gegen „Grau“ über welchen Zeitraum angeboten wurden.

Anzahl Tage = Pseudor. + random. T.	Relative Intensität für „Rot“	Relative Intensität für „Grün“	Relative Intensität für „Blau“
7 = 4 + 3	70	32	70
5 = 4 + 1	55	18	30
5 = 4 + 1	46	12	22
5 = 4 + 1	37	8	14
5 = 4 + 1	22	4	9
5 = 4 + 1	10	2	5
4 = 3 + 1	5	-	-

Tab. 19 Übersicht über Dauer und Kombinationen der Farbreiz-Intensitäten, die gegen „Grau“ (rel. Intensität 33 bzw. RGB(11, 11, 11)) angeboten wurden.

Alle Tiere zeigten für jeden der drei Stimuli „Rot“, „Grün“ und „Blau“ ein Minimum in der Wahlhäufigkeit (**Abb. 82-87** und **Anhang E: Abb. E243-269**). Die Werte der maximalen dargebotenen Intensitäten sind aus den letzten drei Tagen mit randomisierter Reihenfolge des belohnten Farbreizes, da zu diesem Zeitpunkt alle Tiere ihr maximales Akquisitionsniveau erreicht hatten. Für das Tier mit der Nummer 241 gingen deshalb für „Rot“ nur die zwei letzten Tage randomisierter Reihenfolge in die berechneten Wahlhäufigkeiten (leerer Kreis, siehe **Anhang E: Abb. E249**) ein.

Wie aus den **Abb. 82** bis **Abb. 87** (und **Anhang E: Abb. E243-269**) hervorgeht, sind für jedes Tier Minima in den Wahlhäufigkeiten vorhanden. Der Schwankungsbereich der relativen Intensitäten für „Rot“ variiert innerhalb der Tiergruppe zwischen RGB(70, 0, 0) bei Tier Nr. 10 (siehe **Anhang E: Abb. E250**) und RGB(10, 0, 0) bei den Tieren Nr. 2 und 3 (siehe **Abb. 82** bzw. **Anhang E: Abb. E243-250**). Die Wahlhäufigkeiten für den achromatischen Farbreiz gegen „Rot“ liegen durchschnittlich (Wahlhäufigkeit > 0,9 bei allen Tieren und Intensitäten, Ausnahme: Tier Nr. 7) höher als gegen „Grün“ und „Blau“. Die Minima sind flacher als bei allen anderen getesteten Farbstimuli.

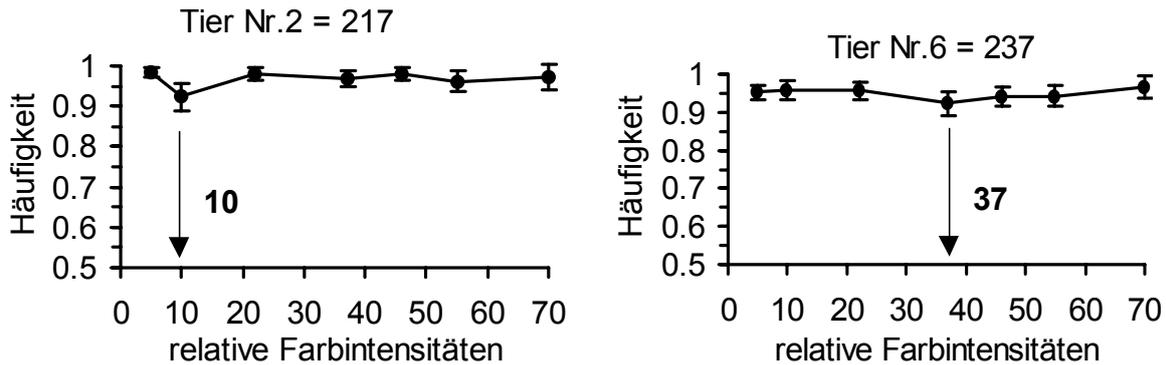


Abb. 82-83 „Grau“ gegen „Rot“ unterschiedlicher Farbreiz-Intensitäten; relative Intensitäten: R+B+G; Fehlerbalken: Vertrauensintervall von 95%; Häufigkeit: Richtigwahlfrequenz; der Pfeil zeigt den Intensitätswert an, bei dem die Richtigwahlfrequenzen minimal sind; Kreise: Mittelwerte der Richtigwahlfrequenz; Tier - Nr. 2 und Nr. 6 aus **Gruppe A** (9 weibl. Zwergziegen); weitere Kurven der Einzeltiere siehe **Anhang E: Abb. E243-250**.

Abb. 84-85, sowie die Abbildungen in **Anhang E: Abb. E243-250** zeigen signifikante Minima für das Tier Nr. 1, 2, 5, 6, 7, 9 und 10 in den Wahlfrequenzen für den „grauen“ Stimulus gegen „Grün“. Der Schwankungsbereich der Intensitäten der entsprechenden Wahlfrequenzminima reicht von RGB(0, 12, 0) bei zwei Tieren (**Abb. 85**, Tier Nr. 7 und Nr. 9, **Anhang E: Abb. E259**) bis RGB(0, 4, 0) bei einem Tier (Tier Nr. 3, **Anhang E: Abb. E254**). Alle anderen Tiere der Gruppe A (Tier Nr. 1, 2, 4, 5, 6 und 10) zeigen ein Wahlfrequenzminimum (siehe **Abb. 84** bzw. **Abb. E252-260** im **Anhang E**) bei einer Intensität von RGB(0, 8, 0).

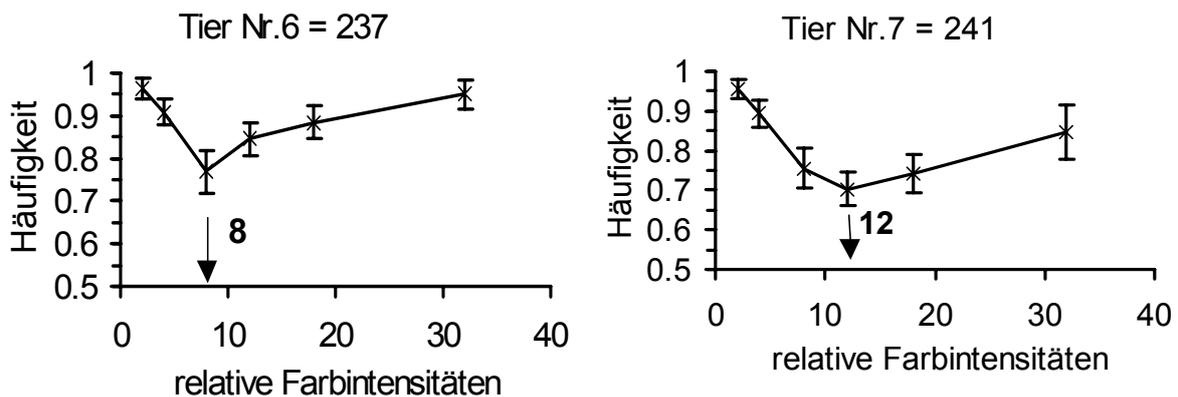


Abb. 84-85: „Grau“ gegen „Grün“ -Farbreiz-Intensitäten; relative Intensitäten: R+G+B; Fehlerbalken: Vertrauensintervall von 95%; Häufigkeit: Richtigwahlfrequenz; Pfeil zeigt Intensitätswert an, bei dem die Richtigwahlfrequenzen minimal sind; Kreuze: Mittelwerte der Richtigwahlfrequenz; Tier-Nr. 6 und 7 aus **Gruppe A** (9 weibl. Zwergziegen); weitere Kurven der Einzeltiere siehe **Anhang E: Abb. E252-260**.

Die **Abb. 86 und 87** sowie **Anhang E: Abb. E261-269** zeigen die Wahlhäufigkeiten für den achromatischen vs. den „blauen“ Stimulus. In allen Kurven (siehe **Abb. 86, 87** und **Anhang E: Abb.E261-269**) sind Minima vorhanden.

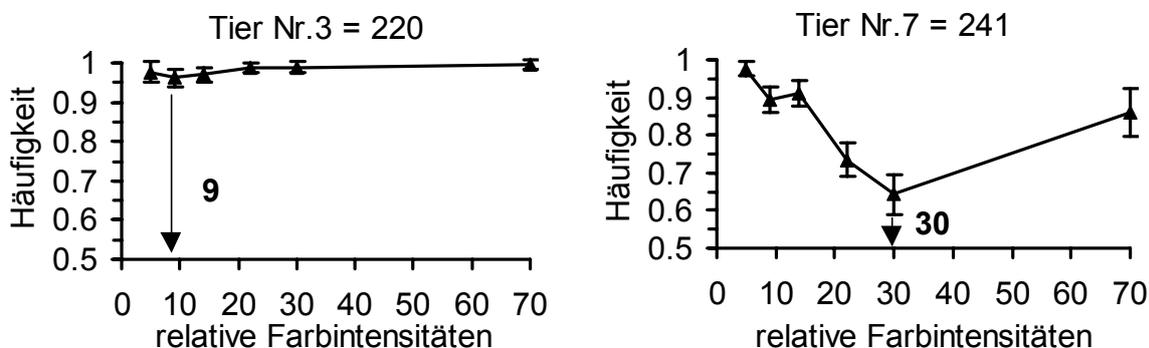


Abb. 86-87: „Grau“ gegen „Blau“ - Farbreiz-Intensitäten; relative Intensitäten: R+G+B; Fehlerbalken: Vertrauensintervall von 95%; Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Pfeil zeigt Intensitätswert an, bei dem die Richtigwahlhäufigkeiten minimal sind; Dreiecke: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Tier-Nr.3 und 7 aus **Gruppe A** (9 weibl. Zwergziegen); weitere Kurven der Einzeltiere siehe **Anhang E: Abb. E261-269**.

Die relativen Intensitätswerte der entsprechenden Wahlhäufigkeitsminima schwanken für „Grau“ gegen „Blau“ zwischen RGB(0, 0, 30) bei einem Tier (**Abb.87**, Tier Nr.7) und RGB(0, 0, 9) bei Tier Nr.3 (siehe **Abb. 86**). Das Tier Nr.4, 5, und 6 (siehe **Anhang E: Abb. E264-266**) zeigen ein Minimum bei einer relativen Intensität von 14 und Tier Nr.1, 9 und 10 (siehe **Anhang E: Abb. E261, 266, 269**) haben ihr Wahlhäufigkeitsminimum bei einer Intensität von 22 (RGB(0, 0, 22)).

Die Wahlhäufigkeitsminima für die „Rot“ - Intensitäten schwanken innerhalb der Gruppe zwischen einer relativen Intensität von 10 und 70, für die „Blau“ - Intensitäten zwischen 9 und 30 und für die „Grün“ - Intensitäten liegen sie zwischen einer relativen Intensität von 4 und 12.

Zusammenfassung: Die gegen den achromatischen Stimulus getesteten Intensitätsstufen für „Rot“, „Grün“ und „Blau“ konnten von allen Tieren sämtlich von diesem signifikant ($p < 0,05$) unterschieden werden. Beim Test des „roten“ Stimulus sind die meisten Richtigwahlen zu verzeichnen und die Minima am flachsten. Außerdem treten hier die größten Schwankungen der minimalen Wahlhäufigkeit in Abhängigkeit von der Intensität zwischen den Einzeltieren auf. Die minimalen Wahlhäufigkeiten bewegen sich zwischen 0.72 (Tier Nr. 7 = 241; rel. Intensität = 55) und 0.97 (Tier Nr.3 = 220; rel. Intensität = 10). Allen Tieren gemeinsam ist, dass keines der Tiere bei einer der getesteten Intensitätsstufen auf 50 %

Richtigwahlen absinkt, d. h. alle Tiere können die getesteten Intensitäten des „roten“ Stimulus von einem achromatischen Stimulus unterscheiden.

Der Test des „grünen“ Stimulus zeigt bei allen Tieren ein eindeutiges Minimum in der Wahlhäufigkeit sowie eine geringe Schwankungsbreite der zugehörigen Intensitätsstufen (siehe **Abb. 84, 85** und **Anhang E: Abb. E252-260**). Die minimalen Wahlhäufigkeiten liegen hier zwischen 0.72 (Tier Nr.7 = 241; rel. Intensität = 12) und 0.95 (Tier Nr.3 = 220; rel. Intensität = 4). Da keines der Tiere eine Wahlhäufigkeit unter 0.72 zeigte, wird keine der getesteten Intensitätsstufen von „Grün“ mit „Grau“ verwechselt.

Für die getesteten Intensitätsstufen der „blauen“ Stimuli liegen ebenfalls für alle Tiere Minima in ihrer Wahlhäufigkeit vor (siehe **Abb. 86-87** und **Anhang E: Abb. E261-269**). Dabei ist zu bemerken, dass das Tier mit der Nr. 7 = 241 eine geringe minimale Wahlhäufigkeit von 0.64 bei einer relativen Intensität von RGB(0, 0, 30) zeigt. Diese Intensität stellt gleichzeitig auch den maximalen Minimalwert der Gruppe dar. Für alle anderen Ziegen liegt das Richtigwahlminimum über 0.82. Es ist für alle Tiere eindeutig und schwankt abgesehen von Tier Nr. 7 = 241 zwischen relativen Intensitäten von RGB(0, 0, 22) bis RGB(0, 0, 9).

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass alle Tiere die verschiedenen Intensitätsstufen der drei Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ von einem achromatischen Stimulus unterscheiden können. Die minimalen Wahlhäufigkeiten bei verschiedenen Intensitäten können als minimale Unterschiede zu „Grau“ interpretiert werden. Die getesteten Lichtintensitäten liegen dicht beieinander (siehe Wahlhäufigkeiten), sodass man davon ausgehen kann, dass das jeweilige Tier die entsprechenden Intensitätsstufen aufgrund einer mindestens zweidimensionalen internen Repräsentation differenziert.

Eine Dressur auf Helligkeitsdifferenzen kann ausgeschlossen werden, da die jeweils getesteten Intensitätsstufen „heller“ bzw. „dunkler“ (ermittelte Intensität auf Basis der Intensitätskurven, siehe oben) als die präsentierte Intensität des achromatischen Reizes waren. Wäre dies trotz größter Sorgfalt der Fall gewesen, würde man mit einem 50% Richtigwahlniveau in wenigstens einem Farbreizbereich bzw. sogar darunter rechnen müssen. Bei gleicher Helligkeit käme eine Verwechslung der beiden präsentierten Stimuli vor (Richtigwahlhäufigkeit bei 50%). Bei reiner Helligkeitsdressur würde zudem eine wiederholte Umdressur zwischen dem „farbigen“ (dann „dunkleren“ bzw. „helleren“) und achromatischen Stimulus erfolgen und so zu Richtigwahlen unter 50 % führen. Dies ist jedoch bei keiner getesteten Intensität vorgekommen, sodass man davon ausgehen muss, dass die Tiere die verschiedenen Farbstimuli aufgrund mehrdimensionaler Farbreizunterschiede und nicht

aufgrund von Intensitätsunterschieden allein vom achromatischen Farbstimulus unterschieden haben.

Nur bei der Ziege mit der Nummer 241 wäre eine Schwäche im „Blau“-Bereich möglich, da hier die Wahlhäufigkeit bis 64 % Richtigwahlen bei einer Intensitätsstufe zurückging. Da auch dieses Tier jedoch noch keine Verwechslung der beiden Stimuli zeigte, ist das Vermögen, auch die „blauen“ Farbreize wahrzunehmen, auf jeden Fall vorhanden.

3.6.2 Abstand von „Grau“ zu Farbreizen unterschiedlicher Lichtintensitäten

Nachdem alle Zwergziegen der **Gruppe A** die Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ signifikant vom achromatischen Stimulus unterschieden hatten, wurden die minimalen Farbreizabstände der Zwischenfarbreize „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ bestimmt⁵. Da der belohnte Stimulus (achromatisch) beibehalten wurde, konnte dieser Test direkt im Anschluss durchgeführt werden.

Bei dieser Versuchsreihe sind Pläne mit pseudorandomisierter Reihenfolge des belohnten Stimulus („Grau“) gegen verschiedene Intensitätsstufen von „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ angeboten worden. Diese Pläne umfassen 60 Schritte mit 30 Wahlschritten und 30 Zwischenschritten („schwarzer“ Bildschirm) und wurden über 4 Tage je Intensitätsstufe für die drei Farbreize „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ den Ziegen präsentiert.

Für den „gelben“ Stimulus wurden folgende Intensitäten gegen „Grau“ (RGB(11, 11, 11)) angeboten: RGB(16, 16, 0) (rel. Intensität = 32), RGB(11, 11, 0), RGB(7, 7, 0), RGB(4, 4, 0) und RGB(2, 2, 0). Der „türkise“ Farbreiz wurde als RGB(0, 32, 32), RGB(0, 19, 19), RGB(0, 13, 13), RGB(0, 9, 9), RGB(0, 5, 5) und RGB(0, 2, 2) angeboten. Dabei wurde (wie für den „roten“ Stimulus (siehe **Kap. 3.6.1**)) der letzte Intensitätswert in einem drei Tage dauernden Test in pseudorandomisierter Reihenfolge (60 Schritte) einzeln ergänzt. Für den „violetten“ Stimulus waren es die Intensitäten RGB(20, 0, 20), RGB(14, 0, 14), RGB(12, 0, 12), RGB(10, 0, 10) und RGB(7, 0, 7). Diese Intensitätsstufen sind aus den ermittelten zugehörigen Intensitätskurven als signifikant ($p < 0,05$) verschieden abgelesen worden.

Die gegen den achromatischen Stimulus getesteten Intensitäten von „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ sind insgesamt höher als die für die Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“, da der Monitor die Zwischenfarbreize in doppelter Intensität, aber mit einem höheren „Weiß“-

⁵ Diese Messungen fanden jedoch nicht direkt im Anschluss an diesen statt, sondern zwischenzeitlich waren die Ziegen in den „Weiß“-Licht-Mischungstest über 12 Tage eingebunden.

Lichtanteil, also mit höherer chromatischer Reinheit darstellt (siehe **Anhang A**). So ist zu erwarten, dass die minimalen Abstände zu „Grau“, d. h. die Minima in den Wahlhäufigkeiten, dichter bei 50 % Richtigwahlen liegen. Bei der graphischen Darstellung werden die relativen Intensitäten als Summe der Einzelkomponenten (R + G + B) aufgeführt.

Alle Tiere zeigen eindeutige Minima in ihren Wahlhäufigkeiten für alle präsentierten „farbigen“ Stimuli. Die Minima sind für die verschiedenen Tiere bei unterschiedlichen Intensitätsstufen gemessen worden. Für jedes Tier zeigt sich ein signifikant von 50% verschiedenes Richtigwahlniveau.

Die minimalen zugehörigen Richtigwahlhäufigkeiten bewegen sich zwischen 0.77 (Tier Nr. 241 und 216) und 0.95 (Tier Nr. 220). Pro Tier ist jeweils ein Minimum in den Kurven vorhanden. Das Minimum in der Wahlhäufigkeit liegt für „Gelb“ zwischen relativen Intensitäten von 22 und 14 (entspricht RGB(11, 11, 0) und RGB(7, 7, 0)). Dabei sind die individuellen Minima offensichtlich (siehe **Anhang E: Abb. E270-278**).

Abb. 88 zeigt die gewogenen Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeiten aller getesteten Tiere zusammenfassend für alle getesteten Intensitäten. Für jeden Farbstimulus gab es 1 Minimum in der Richtigwahlhäufigkeit.

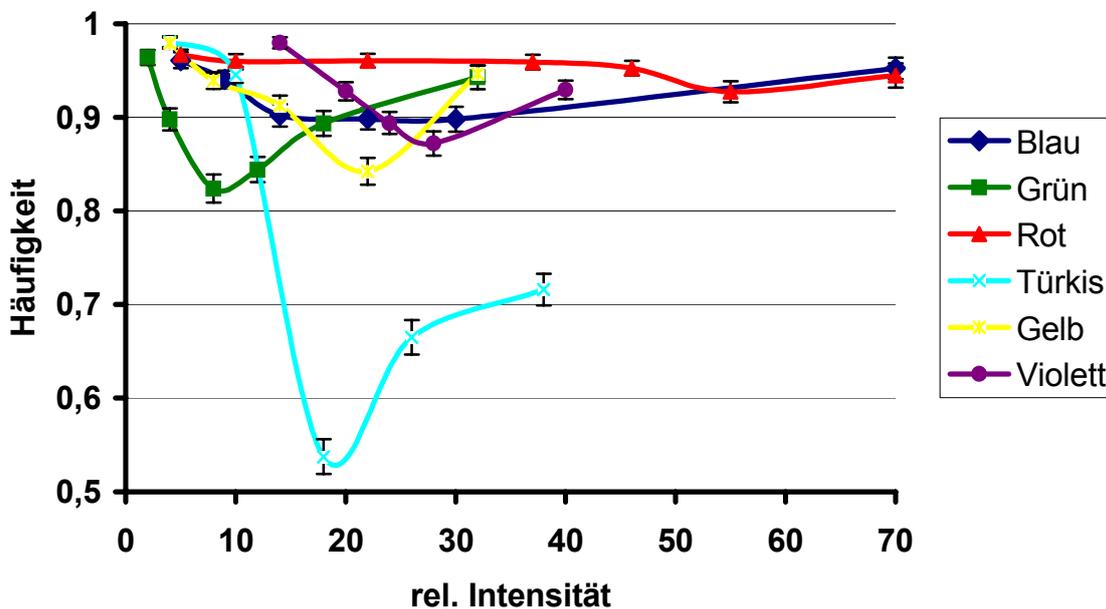


Abb. 88 Übersicht der Richtigwahlhäufigkeiten (Häufigkeit) für den achromatischen Stimulus gegen „Blau“ (Quadrat auf Spitze stehend), „Grün“ (Quadrat liegend), „Rot“ (Dreieck), „Türkis“ („x“), „Gelb“ (Kreuzchen) und „Violett“ (Kreis)- Farbreiz-Intensitäten; Fehlerbalken: 95% VB.

Die Minima für die Kurven der „Rot“ (Dreieck)-, „Grün“ (Quadrat, liegend)-, „Blau“ (Quadrat auf Spitze stehend)-, „Gelb“ (Kreuz)- und „Violett“ (Kreis)- Intensitäten liegen

signifikant bei 80% Richtigwahlen. Das Minimum der Richtigwahlhäufigkeiten für die „Türkis“ („x“-)Intensitäten liegt bei einer Richtigwahlhäufigkeit von 53%. Die Fehlerbalken geben den 95% Vertrauensbereich an.

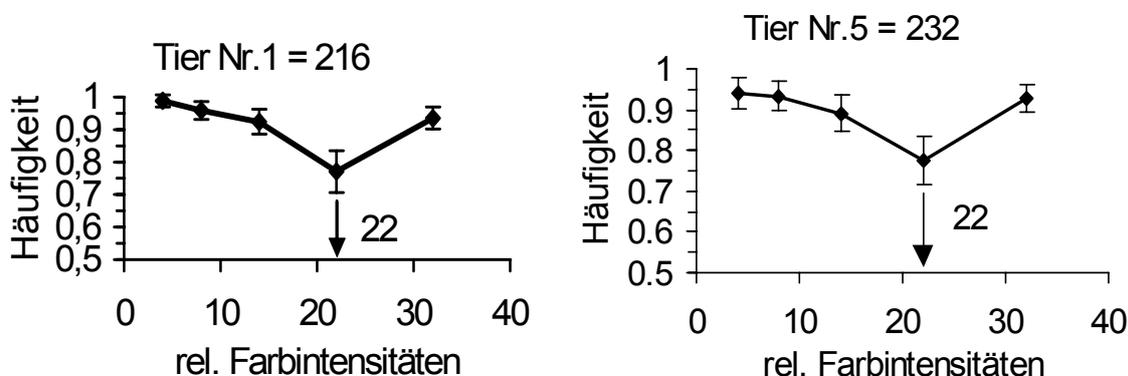


Abb. 89-90 „Grau“ gegen „Gelb“ - Intensitäten; relative Intensitäten: R+G+B; Fehlerbalken: Vertrauensintervall von 95%; Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Pfeil zeigt Intensitätswert an, bei dem die Richtigwahlhäufigkeiten minimal sind; Quadrate auf Spitze stehend: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Tier-Nr.1 und 5 aus **Gruppe A** (9 weibl. Zwergziegen); weitere Kurven der Einzeltiere siehe **Anhang E: Abb. E270-278**.

Bei „Türkis“ sind die ermittelten Wahlhäufigkeitsminima nicht signifikant von 50 % Richtigwahlen verschieden. Jedoch liegen mehr als die Hälfte (6 von 9 Tieren) der getesteten Ziegen oberhalb des 50%-Richtigwahlniveaus. Eine signifikante Reduktion der Richtigwahlen beginnt bei einer relativen Intensität von 38 (RGB(0, 19, 19)) und erreicht ihren Minimalwert für alle Tiere bei einer rel. Intensität von 18 (RGB(0, 9, 9)). Bei dem Farbreiz „Türkis“ ist das Wahlverhalten innerhalb der Gruppe insgesamt sehr einheitlich (siehe **Abb. 91-92, Anhang E: Abb. E279-287**).

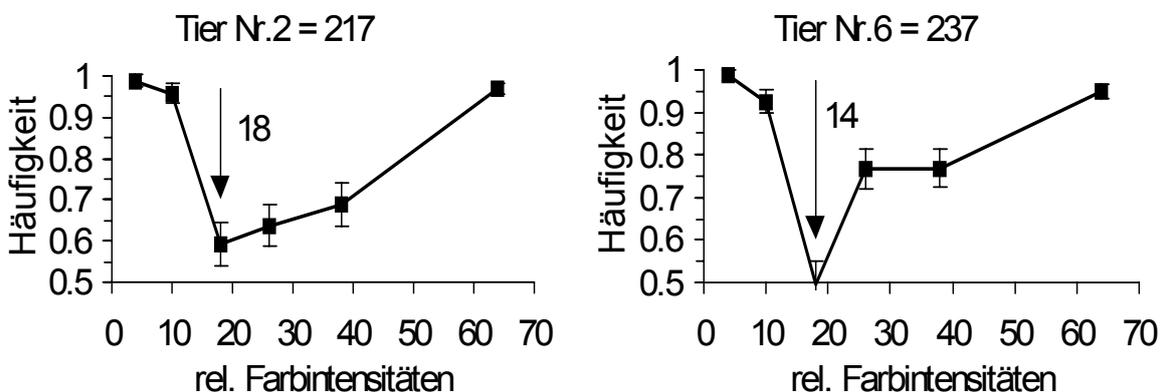


Abb. 91-92: „Grau“ gegen „Türkis“ - Intensitäten; relative Intensitäten: R+G+B; Fehlerbalken: Vertrauensintervall von 95%; Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Pfeil zeigt Intensitätswert an, bei dem die Richtigwahlhäufigkeiten minimal sind; Quadrate: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Tier-Nr.2 und 6 aus **Gruppe A** (9 weibl. Zwergziegen); weitere Kurven der Einzeltiere siehe **Anhang E: Abb. E279-287**.

Die Minima für den achromatischen Stimulus gegen „Violett“ sind bei unterschiedlichen Intensitäten anzutreffen. Die Schwankungsbreite der Intensitätsstufen mit Wahlhäufigkeitsminimum reicht von einer relativen Intensität = 40 (RGB(20, 0, 20), Tier - Nr. 254) bis zu zur rel. Intensität = 24 (RGB(12, 0, 12)) bei Tier - Nr. 216 und 220. Dabei variieren die zugehörigen minimalen Wahlhäufigkeiten der entsprechenden Intensitäten in einem Bereich von 0.94 (Tier Nr. 220) bis 0.82 (Tier Nr. 226). Alle Wahlhäufigkeitsminima für den „violett“ Stimulus sind signifikant von 50% Richtigwahlen verschieden. Bei 8 von 9 Zwergziegen (Ausnahme: Tier Nr. 220) sind die Minimalwerte signifikant (siehe **Abb. 93-94, Anhang E: Abb. E288-296**).

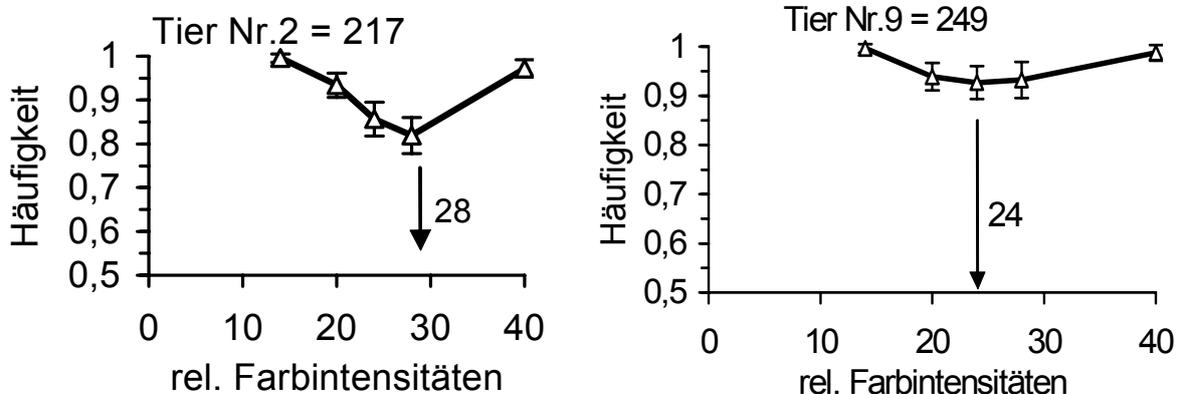


Abb. 93-94 „Grau“ gegen „Violett“ - Intensitäten; relative Intensitäten: Zahlenwert-Summe aus RGB - Wert; Fehlerbalken: Vertrauensintervall von 95%; Häufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Pfeil zeigt Intensitätswert an, bei dem die Richtigwahlhäufigkeiten minimal sind; Dreiecke (leer): Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Tier-Nr.2 und 9 aus **Gruppe A** (9 weibl. Zwergziegen); weitere Kurven der Einzeltiere siehe **Anhang E: Abb. E288-296**.

Zusammenfassung: Der Test des achromatischen Stimulus (90% Richtigwahlen) gegen verschiedene Intensitäten der Farbstimuli „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ zeigte eindeutige minimale Wahlhäufigkeiten bei entsprechenden Intensitäten (rel. Intensität: 14 bis 40) der verschiedenen Farbreize für jedes Tier (siehe **Abb. 88-94, Anhang E: Abb. E270-296**). Bei den getesteten Stimuli „Gelb“ und „Violett“ gingen die minimalen Wahlhäufigkeiten höchstens bis auf 0.77 bei „Gelb“ (Tier Nr. 241 und 216) und 0.82 bei „Violett“ (siehe oben) zurück. Das Wahlhäufigkeitsminimum liegt für „Türkis“ bei einer relativen Intensität von 18 (RGB(0, 9, 9)). Eine spontane Reduzierung der Richtigwahlen setzte bei diesem Stimulus bei einer relativen Intensität von 38 ein.

Da der Wellenlängenbereich, der dem Farbreiz „Türkis“ entspricht, keinen eigenen Rezeptor im Auge (zumindest beim Menschen) besitzt, sondern nur durch gleichzeitige

Reizung des „Grün“ - und „Blau“ - Rezeptors erreicht wird, müsste für einen weiteren Farbstimulus („Rot“) eine Verwechslung mit dem achromatischen Stimulus auftreten. Dies konnte jedoch in keinem Fall nachgewiesen werden.

Die minimalen Wahlhäufigkeiten von nahe 0.5 bei „Türkis“ (siehe **Abb. 92**) sind also nicht auf eine Farbsehschwäche zurückzuführen, sondern vermutlich auf die generelle „Schwäche“ eines Monitors, diese Reize genauso chromatisch rein darzustellen wie die Stimuli „Rot“, „Grün“ und „Blau“ (siehe **Anhang A**).

Die eindeutigen Minima der Einzeltiere für die Farbreize „Gelb“ und „Violett“ (siehe **Abb. 89-90** und **Abb. 93-94**, sowie **Anhang E: Abb. E270-278** bzw. **Abb. E288-296**) zeigen, dass es einen Unterschied zum achromatischen Stimulus („Grau“, RGB(11, 11, 11)) gibt und dass diese Minima gewissen Einzeltier-spezifischen Schwankungen unterworfen sind.

Die Feststellung, dass keiner der präsentierten Farbreize (Ausnahme „Türkis“) mit dem achromatischen Reiz verwechselt wurde, ist ein eindeutiger Hinweis dafür, dass die Zwergziegen mindestens Trichromaten sind, also drei Typen von Photorezeptoren besitzen, die essentiell am Farbreizdiskriminationsverhalten beteiligt sind.

Welchen Unterschied die gleichhellen chromatischen Farbreize zu achromatischen Farbreizen für die Ziegen aufweisen, zeigen die folgenden Experimente. Dabei dient wiederum die Wahlhäufigkeit als Maß für den Unterschied des jeweiligen Farb-Stimulus zum achromatischen Stimulus.

3.7 Variation des „Weiß -Licht“ -Anteils von „Rot“ -, „Grün“ - und „Blau“ - Licht

Der dritte Experimenttyp zur Bestimmung der Dimensionalität des Farbsehvermögens der Zwergziegen war die Variation des „Weiß“ - Licht-Anteils von „Rot“, „Grün“ und „Blau“. Dadurch wurde bestimmt, welche Unterschiede der Farbreize zu achromatischem Licht für die Tiere in verschiedenen Richtungen der „Weißlicht“ -Mischungsgeraden bestehen.

Dazu wurden die Intensitäten bestimmt, die minimale Abstände zum achromatischen Reiz (90% Richtigwahlen) besitzen, um dann eine interpolierende anteilige Lichtmischung (Mischungsgerade) aus dem RGB - Wert für „Grau“ (RGB(11, 11, 11) für **Gruppe A** und RGB(12, 12, 12) für **Gruppe B**) und dem RGB - Wert des entsprechenden Farbreizes zu berechnen. Da diese minimalen Abstände zu „Grau“ bei unterschiedlichen Intensitäten für

jedes Tier liegen, wurde aus jeder Gruppe ein Tier ausgewählt, dessen minimale Abstände bzw. die entsprechenden RGB - Werte die Basis für diesen Versuch bilden.

In diesem Experiment sind aus beiden Gruppen je 9 Tiere getestet worden. **Gruppe A** bestand aus weiblichen Zwergziegen mit den Ohrnummern 216, 217, 220, 226, 232, 237, 241, 249 und 254 und **Gruppe B** waren Böcke mit den Ohrnummern 319, 320, 321, 330, 334, 340, 341, 342 und 360.

In beiden **Gruppen (A und B)** wurden die acht verschiedenen „Weiß“ - Lichtmischungen zunächst über 2 Tage in pseudorandomisierter Reihenfolge mit 60 Schritten (30 Wahlschritte, 30 Zwischenschritte mit „schwarzem“ Bildschirm) und über die folgenden 2 Tage in randomisierter Reihenfolge nach gleichverteilten Zufallstabellen angeboten.

Gruppe A: Um eine Umdressur zu vermeiden, wurde der achromatische Reiz (RGB(11, 11, 11)) als belohnter Stimulus eingesetzt. Die Intensitäten der Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“, die für das Tier Nr. 216 ein Minimum aufwiesen, bildeten die Grundlage für die Stimuli, denen dann in entsprechender Prozentzahl „Weiß“ -Licht beigemischt wurde (siehe **Kap. 2.1.5**). Dabei änderte sich die Gesamtintensität (R+B+G) nicht.

Die berechneten Intensitäten für die unterschiedlichen „Weiß“ - Lichtanteile von 0%, 20%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% und 90% Zumischung zum entsprechenden RGB - Wert sind für „Rot“: RGB(46, 0, 0), RGB(39, 2, 2), RGB(32, 4, 4), RGB(29, 6, 6), RGB(25, 7, 7), RGB(22, 8, 8), RGB(18, 9, 9) und RGB(15, 10, 10). Für „Grün“ wurden folgende RGB - Werte berechnet: RGB(0, 8, 0), RGB(2, 9, 2), RGB(4, 9, 4), RGB(6, 10, 6), RGB(7, 10, 7), RGB(8, 10, 8), RGB(9, 10, 9) und RGB(10, 11, 10). Die für den „blauen“ Farbreiz berechneten Werte lauten: RGB(0, 0, 22), RGB(2, 2, 20), RGB(4, 4, 18), RGB(6, 6, 17), RGB(7, 7, 15), RGB(8, 8, 14), RGB(9, 9, 13) und RGB(10, 10, 12).

Die Farbreize mit den „Weiß“ -Lichtbeimischungen wurden für „Rot“, „Grün“ und „Blau“ jeweils über 4 Tage in der Reihenfolge „Blau“ – „Weiß“ - Lichtmischungen, „Grün“ – „Weiß“ -Lichtmischungen und schließlich „Rot“ – „Weiß“ - Lichtmischungen getestet.

Gruppe B: Die Grundlage für die Stimuli, denen dann in entsprechender Prozentzahl (0, 20, 40, 50, 60, 70, 80 und 90%) „Weiß“ - Licht beigemischt wurde, bildeten die „gleichhellen“ Intensitäten der Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ des Tieres mit der Ohrnummer 321. Dabei änderte sich ebenfalls die Gesamtintensität nicht.

Da die Tiere irrtümlicherweise beim farbigen gleichhellen Stimulus belohnt wurden, musste nach jedem Farbreiz eine neue Andressur erfolgen, um die Tiere auf ihr Akquisitionsniveau zu bringen. Begonnen wurde mit den „Weiß“ – „Grün“ - Lichtmischungen bei belohntem „grünen“ Kreis. Die präsentierten „Weiß“ – „Grün“ -

Lichtmischungen waren: RGB(0, 38, 0), RGB(2, 33, 2), RGB(5, 28, 5), RGB(6, 25, 6), RGB(7, 22, 7), RGB(8, 20, 8), RGB(10, 17, 10) und RGB(11, 15, 11), die gegen RGB(12, 12, 12) angeboten wurden.

Als nächstes folgten 5 Tage mit Plänen in pseudorandomisierter Reihenfolge und jeweils 100 Schritten (50 Wahlschritte, 50 Zwischenschritte), um die Tiere auf „Rot“ zu dressieren. Nachdem die Mehrzahl der Tiere das Akquisitionsniveau auch hier erreicht hatte, konnten die „Rot“ – „Weiß“ - Lichtmischungen nach obiger Beschreibung durchgeführt werden. Die gegen RGB(12, 12, 12) präsentierten Intervalle waren diesmal RGB(32, 0, 0), RGB(28, 2, 2), RGB(24, 5, 5), RGB(22, 6, 6), RGB(20, 7, 7), RGB(18, 8, 8), RGB(16, 10, 10) und RGB(14, 11, 11).

Nach ebenfalls 5 tägiger Umdressur erfolgte nun der Test mit „Blau“ – „Weiß“ - Lichtmischungen, die ebenfalls in berechneten %-Intervallen (siehe **Kap. 2.1.5**) angeboten wurden. Sie lauten: RGB(0, 0, 16), RGB(2, 2, 15), RGB(7, 7, 14), RGB(6, 6, 14), RGB(5, 5, 14), RGB(10, 10, 13), RGB(8, 8, 13) und RGB(11, 11, 13).

Ergebnisse (Gruppe A): Aufgrund des χ^2 -Unabhängigkeitstests können die Wahlen aller Tiere, für die jeweils getesteten Farbstimuli „Rot“, „Grün“ und „Blau“, als unabhängige Aktionen voneinander betrachtet und somit in einer Kurve zusammengefasst werden (siehe **Abb. 95**). Die gewogenen Mittelwerte der einzelnen „Weiß“ - Lichtmischungen sind interpoliert, da auch die Berechnung der einzelnen Intervalle geradlinig erfolgte (siehe **Kap. 2.1.5**).

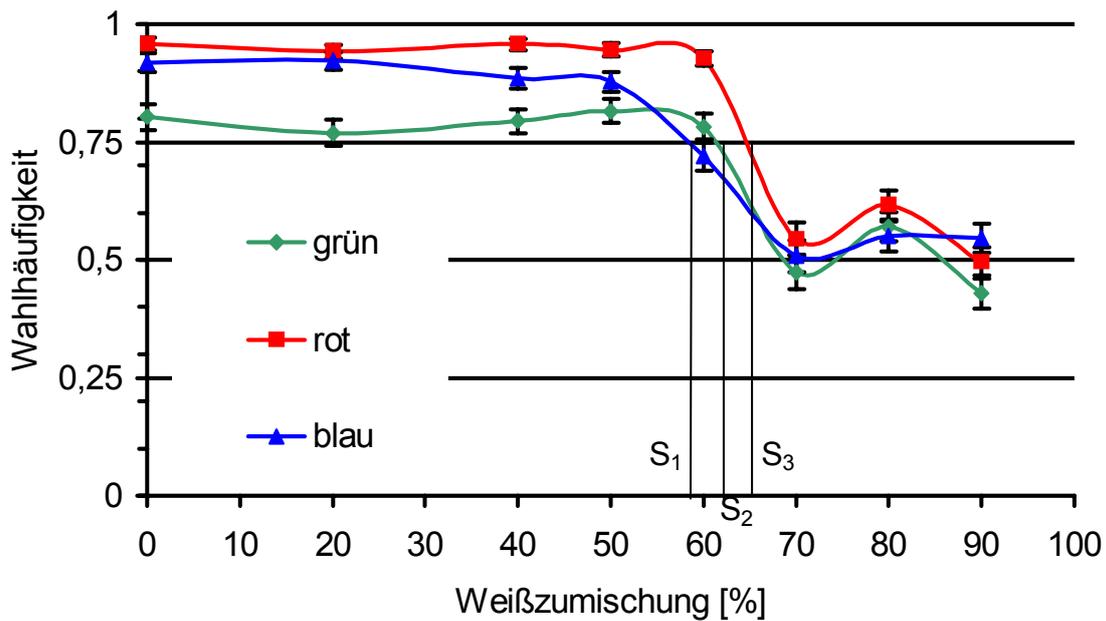


Abb. 95 Darstellung der Wahlhäufigkeiten (**Gruppe A**) für den achromatischen Stimulus gegen „Rot“ (Quadrat liegend), „Grün“ (Quadrat auf Spitze stehend) und „Blau“ (Dreieck) mit prozentualer „Weiß“ - Lichtbeimischung (**Kap. 2**); Fehlerbalken: 95% Vertrauensbereich; $S_{1,3}$: Schwellenwerte für „Weiß“ - Lichtbeimischung bei 75% Richtigwahlen, S_1 : Schwellenwert für „Blau“, S_2 : Schwellenwert für „Grün“ und S_3 : Schwellenwert für „Rot“.

Abb. 95 stellt die Wahlhäufigkeiten für die verschiedenen Farbstimuli in Abhängigkeit zu dem prozentualen „Weiß“ - Lichtanteil des jeweiligen Farbreizes dar. Die mittleren Wahlhäufigkeiten für den rot aussehenden Stimulus liegen um 95 % Richtigwahlen, die für den blau aussehenden noch um 90 % und die für den grün aussehenden Stimulus um 80 % Richtigwahlen.

Generell ist ein sigmoidaler Abfall der Farbunterscheidung von 0% - 100% zu erwarten mit der steilsten Änderung um den Schwellenwert (bei 75% Richtigwahlen). Ein steilerer Abfall der Wahlhäufigkeit beginnt für die „Blau“ – „Weiß“ - Lichtmischungen ab 50 % „Weiß“ - Lichtanteil, wobei sich dieser Abfall der Wahlhäufigkeit bis zu einem „Weiß“ - Lichtanteil von 70 % erstreckt (**Abb. 95**). Ein weitaus steilerer Abfall der Wahlhäufigkeiten ist für die „Rot“ – „Weiß“ - Lichtmischungen zu sehen. Hier nimmt die Wahlhäufigkeit jedoch erst ab einem „Weiß“ - Lichtanteil von 60 % ab und ist schon bei 70 % „Weiß“ - Lichtanteil auf 50 % Richtigwahlen angelangt. Da die Wahlhäufigkeiten für die „Grün“ – „Weiß“ - Lichtmischungen auf niedrigerem Intensitätsniveau als „Rot“ – „Weiß“ oder „Blau“ – „Weiß“ liegen, ist der Abfall in den mittleren Wahlhäufigkeiten ab 60 % „Weiß“ -

Lichtanteil auf annähernd 50 % Richtigwahlen bei einem „Weiß“ - Lichtanteil von 70 % flacher als für die „Rot“ – „Weiß“ - Lichtmischungsintervalle.

Die Schwellenwerte bei 75% Richtigwahlen liegen für „Rot“ – „Weiß“ - Lichtmischungen bei 65% „Weiß“ - Lichtbeimischung, für „Grün“ – „Weiß“ - Lichtmischungen bei 62% und für „Blau“ – „Weiß“ - Lichtmischungen bei 58% „Weiß“ - Lichtbeimischung.

Tab. 20 gibt eine Übersicht über die jeweilige „Bunt“ – „Weiß“ – Lichtmischung am 75% Schwellenwert der Einzeltiere (**Gruppe A**):

Tier Nr.	„Weiß“ - Lichtanteil von „Rot“ bei 75% Richtigwahlen	„Weiß“ - Lichtanteil von „Grün“ bei 75% Richtigwahlen	„Weiß“ - Lichtanteil von „Blau“ bei 75% Richtigwahlen
1 = 216	64	62	60
2 = 217	64	62	56
3 = 220	67	64	60
4 = 226	63	62	61
5 = 232	65	60	56
6 = 237	66	62	62
7 = 241	64	-	25
9 = 249	66	62	57
10 = 254	65	62	58

Tab. 20 Übersicht über die „Weiß“ - Lichtanteil in % der Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ bei 75% Richtigwahlen.

Das Tier Nr. 7 zeigt für die „Grau“ - gegen „Grün“ - „Weiß“ - Mischlicht kein signifikantes Richtigwahlniveau. Deshalb konnte kein Prozentwert am 75%-Richtigwahlniveau abgelesen werden. Alle anderen Tiere zeigen bei allen 3 „Bunt“ – „Weiß“- Lichtmischungen einen näherungsweise sigmoidalen Kurvenverlauf.

Abb. 96-102 und **Anhang E: Abb. E297-323** zeigen die Wahlhäufigkeiten der Einzeltiere für „Grau“ (RGB(11, 11, 11)) gegen „Rot“ – „Weiß“ - Mischlicht, „Grün“ – „Weiß“ - (Kreuze) und „Blau“ – „Weiß“ - (Dreiecke) Lichtmischungen (siehe oben). Als Fehlerbalken ist ein Vertrauensintervall von 95% eingezeichnet.

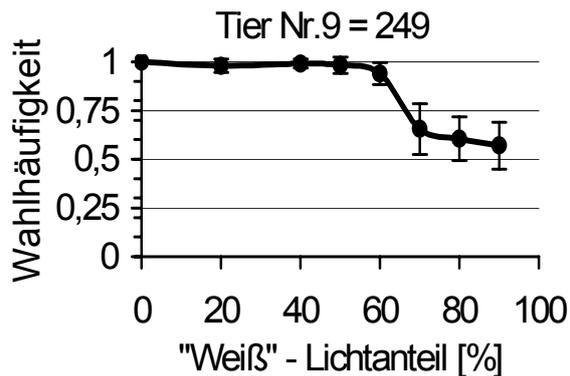
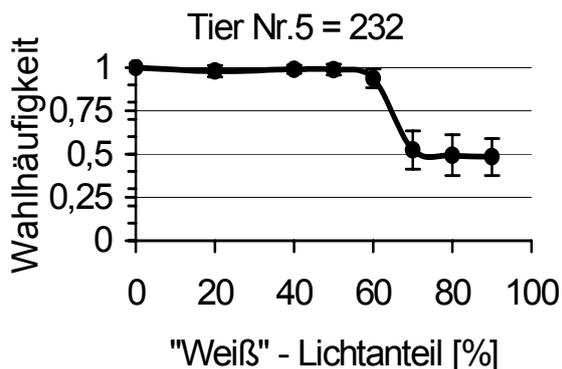


Abb. 96-97: „Grau“ gegen „Rot“ – „Weiß“ - Lichtmischungen („Weiß“ - Lichtanteil in %); Fehlerbalken: Vertrauensintervall von 95%; Wahlhäufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Kreise: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Tier-Nr.5 und 9 aus **Gruppe A** (9 weibl. Zwergziegen); weitere Kurven der Einzeltiere siehe **Anhang E: Abb. E297-305**.

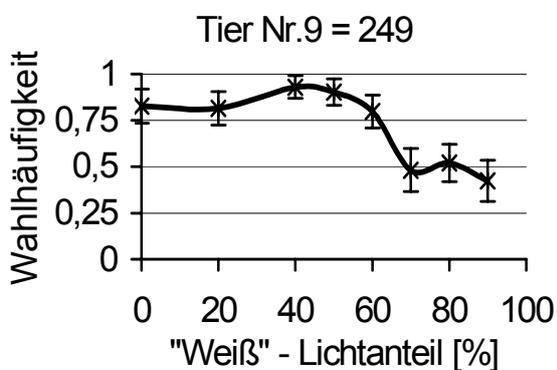
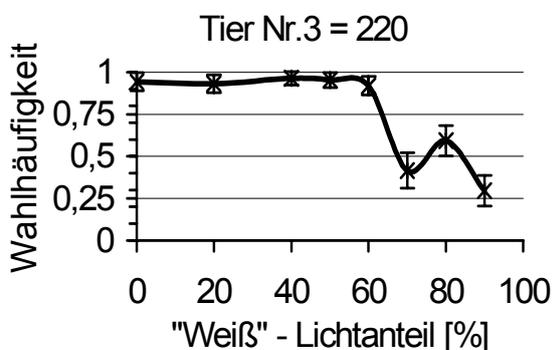
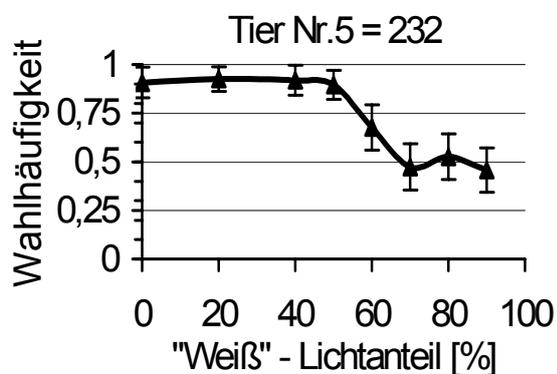
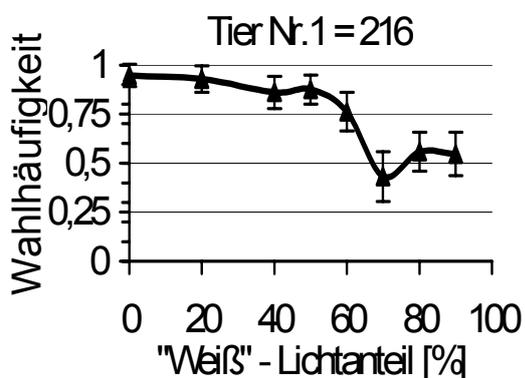


Abb. 98-99 (oben) bzw. Abb. 101 und 102 (unten): „Grau“ gegen „Grün“ – „Weiß“ - Lichtmischungen oben bzw. gegen „Blau“ – „Weiß“ - Lichtmischungen unten („Weiß“ - Lichtanteil in %); Fehlerbalken: Vertrauensintervall von 95%; Wahlhäufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Kreuze (oben) und Dreiecke (unten): Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Tier-Nr.3 und 9 (oben) und Tier-Nr.1 und 5 (unten) je aus **Gruppe A** (9 weibl. Zwergziegen); weitere Kurven der Einzeltiere siehe **Anhang E: Abb. E306-314 und Abb. E315-323**.



Ergebnisse (Gruppe B): Da für die verschiedenen Farbreize nicht alle Tiere auf ihrem Akquisitionsniveau waren, wurden die Kurven nur für die Tiere erstellt, die nach der Umdressur auf die folgenden Farbreiz ein Lernniveau von $> 75\%$ Richtigwahlen erreicht hatten. Dies waren bei „Grün“, da dieser Stimulus über eine Woche lief, alle 9 Tiere, bei „Rot“ 7 Tiere und bei „Blau“ 6 Tiere. Die Anzahl der Tiere für die verschiedenen Farbstimuli sind mit „B“ gekennzeichnet. Eine Zusammenfassung der Einzeltiere zum Gruppenmittelwert (**Abb. 103**) erfolgte aufgrund des χ^2 -Unabhängigkeitstests.

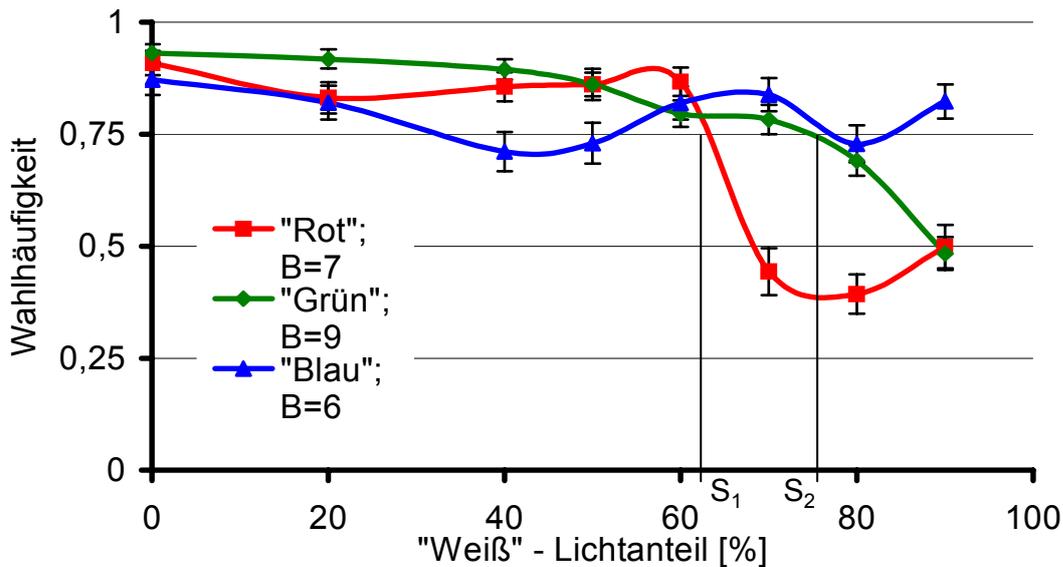


Abb. 103 Darstellung der Wahlhäufigkeiten (**Gruppe B**) für den achromatischen Stimulus gegen „Rot“ (Quadrat liegend), „Grün“ (Quadrat auf Spitze stehend) und „Blau“ (Dreieck) mit prozentualen „Weiß“ - Lichtanteil; Fehlerbalken: 95% Vertrauensbereich; S_1 : Schwellenwert für „Rot“ bzw. S_2 : Schwellenwert für „Grün“ - „Weiß“ - Lichtmischungen bei 75% Richtigwahlen; B: Anzahl der Tiere je Test.

Aus dem Verlauf der Kurven (**Abb. 103**) geht hervor, dass der Abfall der Wahlhäufigkeit für „Grün“ – „Weiß“ (Quadrat auf Spitze stehend) Lichtmischungen langsam erfolgt, um bei 90 % „Weiß“ - Lichtanteil ein Minimum zu erreichen. Der Schwellenwert bei einer Richtigwahlhäufigkeit von 0.75 liegt im Mittel bei 74% „Weiß“ - Lichtanteil (S_2) zu „Grün“ (RGB(0, 38, 0)). Für „Rot“ – „Weiß“ – Lichtmischungen (Quadrat liegend) ist der Schwellenwert (S_1) bei einem „Weiß“ - Lichtanteil von 63%. Bei den „Rot“ – „Weiß“ - Lichtintervallen fällt die Wahlhäufigkeit steil bei 70 % „Weiß“ - Lichtanteil ab und bleibt dann bei 50 % Richtigwahlen. Die Kurve der Wahlhäufigkeiten für „Blau“ – „Weiß“ - (Dreieck) Lichtmischungen zeigt keinen Abfall, sondern schwankt immer zwischen 75 % und 85% Richtigwahlen.

Bei Betrachtung der Einzeltiere (**Abb. 104-109, Anhang E: Abb. E324-345**) konnte beim Test von „Grau“ (RGB(12, 12, 12)) vs. „Grün“ – „Weiß“ - Lichtmischungen (Quadrate auf Spitze stehend) für 9 Tiere, beim Test vs. „Rot“ – „Weiß“ - Lichtmischungen (Quadrate liegend) für 7 Tiere und für „Blau“ – „Weiß“ - (Dreiecke) Lichtmischungen eine 75%-Schwelle ermittelt werden (siehe **Tab. 21**).

Tier Nr.	75% Schwelle für „Rot“ – „Weiß“-Lichtmischungen in %	75% Schwelle für „Grün“ – „Weiß“-Lichtmischungen in %	75% Schwelle für „Blau“-„Weiß“-Lichtmischungen in %
1 = 319	59	76	66
2 = 320	62	70	76
3 = 321	63	74	k. A.
4 = 330	62	84	k. A.
5 = 334	-	77	-
6 = 340	-	50	-
7 = 341	48	81	-
8 = 342	68	60	20
9 = 360	63	79	k. A.

Tab. 21 Übersicht über 75% Schwellenwerte der Einzeltiere für „Grau“ vs. „Bunt“ – „Weiß“ - Lichtmischungen, „-“: war nicht auf Akquisitionsniveau, „k. A.“: kein Abfall in der Wahlhäufigkeit.

Die Tiere Nr. 5 und 6 waren beim Test von „Grau“ vs. „Rot“ – „Weiß“ - Lichtmischungen bzw. Tiere Nr. 5, 6 und 7 im Test gegen „Blau“ – „Weiß“ - Lichtmischungen nicht auf ihrem Akquisitionsniveau. Bei Tier Nr. 3, 4 und 9 konnte im Test gegen „Blau“ – „Weiß“ -Lichtmischungen ein näherungsweise sigmoidaler Verlauf bzw. Abfall in der Wahlhäufigkeit nicht beobachtet werden.

Im Test von „Grau“ gegen „Rot“ – „Weiß“ - und „Grün“ – „Weiß“ - Lichtmischungen zeigten alle auf dem Akquisitionsniveau befindlichen Tiere einen näherungsweise sigmoidalen Abfall in ihrer Wahlhäufigkeit (siehe **Abb. 104-107, Anhang E: Abb. E324-339**). Nur im Test gegen „Blau“ – „Weiß“ - Lichtmischungen (**Abb. 108, Abb. 109, Anhang E: Abb. E340-345**) zeigte kein Tier einen signifikanten ($p < 0.05$) Abfall in der Wahlhäufigkeit. Die Fehlerbalken in den **Abb. 104-109** und in **Anhang E** geben einen Vertrauensbereich von 95% an.

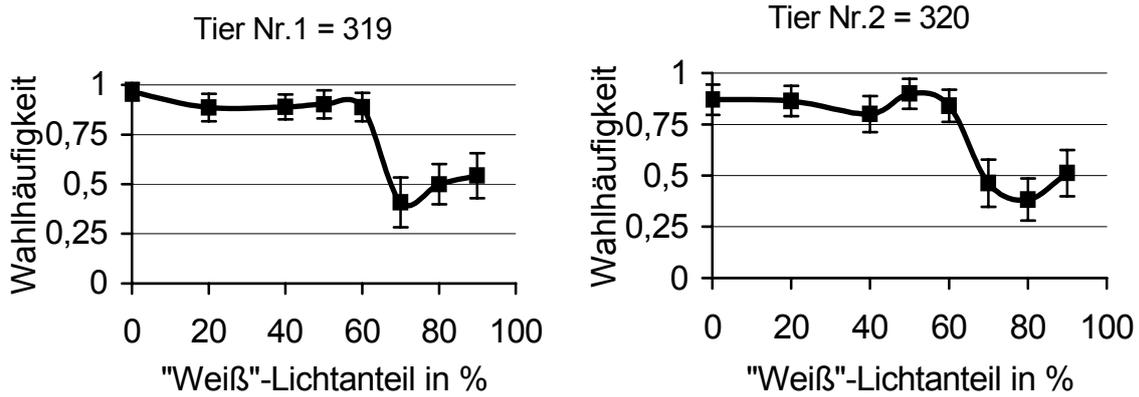


Abb. 104-105 „Grau“ gegen „Rot“ – „Weiß“ - Lichtmischungen („Weiß“ - Lichtanteil in %); Fehlerbalken: Vertrauensintervall von 95%; Wahlhäufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate: Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Tier Nr. 1 und 2 aus **Gruppe B** (7 Zwergziegenböcke); weitere Kurven der Einzeltiere siehe **Anhang E: Abb. E324-330**.

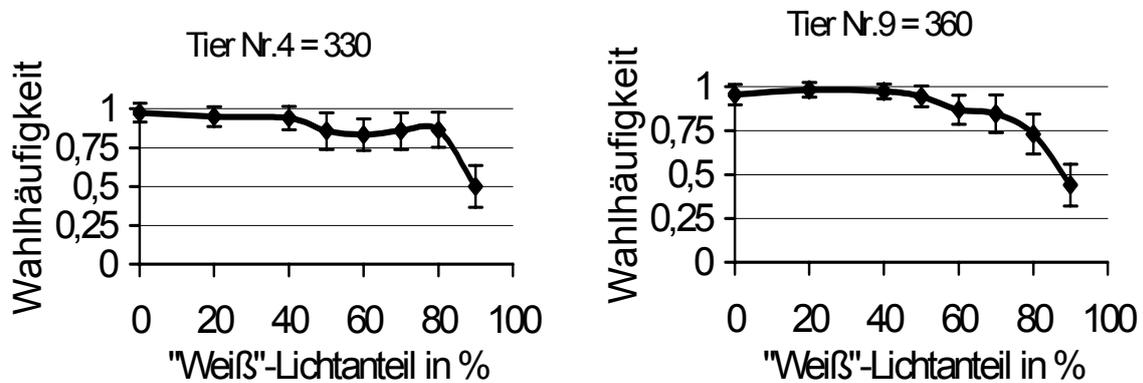
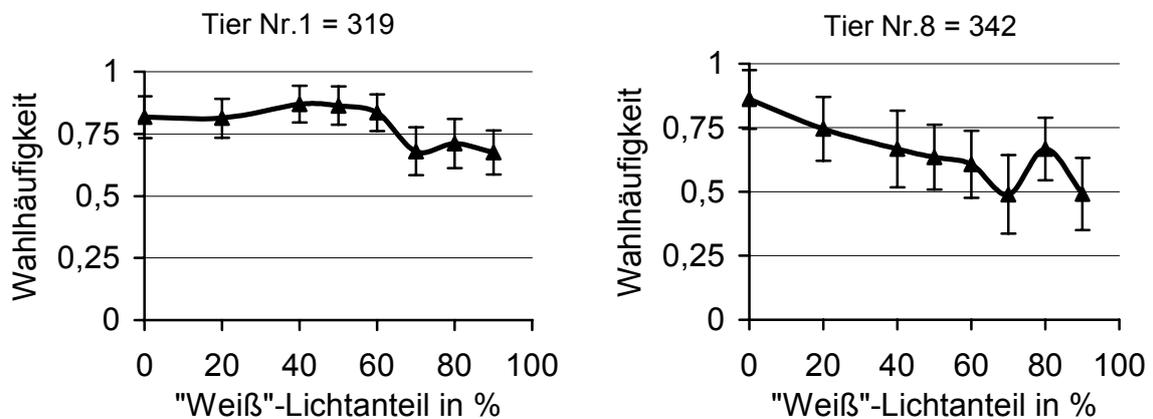


Abb. 106-107 (oben), Abb. 108-109 (unten): „Grau“ gegen „Grün“ – „Weiß“ - Lichtmischungen (oben) bzw. gegen „Blau“ – „Weiß“ - Lichtmischungen (unten), „Weiß“ - Lichtanteil in %; Fehlerbalken: Vertrauensintervall von 95%; Wahlhäufigkeit: Richtigwahlhäufigkeit; Quadrate und Dreiecke je Mittelwerte der Richtigwahlhäufigkeit; Tier Nr.4 und 9 (oben) und Tier Nr.1 und 8 (unten) je aus **Gruppe B** (9 Zwergziegenböcke); weitere Kurven der Einzeltiere siehe **Anhang E: Abb. E331-345**.



Zusammenfassung: Generell ist ein näherungsweise sigmoidaler Abfall der Farbunterscheidung von 0% bis 100% zu erwarten, wobei die steilste Änderung um den Schwellenwert (75% Richtigwahlen) liegt. **Gruppe A:** Die Kurven der Wahlhäufigkeiten für die verschiedenen berechneten „Weiß“ -Lichtanteile der Stimuli „Rot“, „Grün“ und „Blau“, die für das Tier mit der Nummer 216 einen minimalen Abstand zu „Grau“ hatten, beginnen auf hohen Niveaus. „Rot“ – „Weiß“ -Lichtmischungen haben die höchsten Richtigwahlen (ca. 95%), „Grün“ – „Weiß“ -Lichtmischungen die geringsten (ca. 80%) Richtigwahlen, die „Blau“ – „Weiß“ -Lichtmischungen liegen etwa auf einem 90%-Richtigwahlniveau. Alle Kurven (**Abb. 96–102, Anhang E: Abb. E297-323**) zeigen ein steiles Absinken in der Wahlhäufigkeit um den Schwellenwert (siehe **Tab. 20**). Die Richtigwahlen für „Blau“ fallen bei einem 50% igen „Weiß“ -Lichtanteil langsam ab bis sie bei 70 % „Weiß“ -Lichtanteil ihr Minimum von 50 % Richtigwahlen erreichen. Also ist der Farbreizabstand des „blauen“ Stimulus zu „Grau“ relativ groß. Ein sehr schnelles Absinken der Richtigwahlen zeigen die Tiere bei einem „Weiß“ -Lichtanteil von 60 % für die „Rot“ – „Weiß“ -Lichtmischungen. Dies lässt den Schluss zu, dass „Rot“ einen geringeren Farbreizabstand zu „Grau“ hat als „Blau“. Ebenfalls einen Abfall der Wahlhäufigkeit bei einem „Weiß“ -Lichtanteil von 60 % ist bei den „Grün“ – „Weiß“ -Lichtmischungen zu sehen. Da hier das Richtigwahlniveau jedoch niedriger liegt als für „Rot“ – „Weiß“ -Lichtmischungen, ist der Abfall weniger steil. Für den „grünen“ Stimulus ist der Farbreizabstand zu „Grau“ am geringsten.

Die Analyse zeigt für „Rot“ den größten Farbreizabstand zu „Grau“ und für „Grün“ den geringsten. Dies lässt sich mit dem höheren „Weiß“ -Lichtanteil erklären, mit dem der „grüne“ Farbreizbereich vom Monitor dargestellt wird, während der „rote“ Wellenlängenbereich aus einem Gemisch einzelner sehr enger Wellenlängenbereiche besteht (siehe **Anhang A**).

Diese Ergebnisse geben einen weiteren Hinweis, dass Zwergziegen alle drei Farbreizbereiche annähernd gleich gut gemäß der Farbreizdimension „Weiß“ -Lichtanteil unterscheiden können. Die hier ermittelten Daten konnten zunächst nur für „Weiß“ -Lichtanteile erhoben werden. Für eine weitergehende, strukturelle Analyse des Farbreizdiskriminationsraumes der Zwergziegen könnten weitere Lichtmischexperimente für verschiedene Wellenlängenbereiche folgen.

Gruppe B: Nur aus den Wahlhäufigkeitskurven (**Abb. 104–107** und **Abb. Anhang E: Abb. E324-339**) für „Rot“ - und „Grün“ -, „Weiß“ -Lichtmischungen können Unterschiede für die jeweiligen Farbstimuli zu „Grau“ im Farbreizraum eindeutig bestimmt werden. Aus allen drei Kurven (**Abb. 103**) lässt sich ein hohes Akquisitionsniveau (> 80%) ablesen. So zeigt die

Kurve für die Wahlhäufigkeiten der „Grün“ - „Weiß“ - Lichtmischungen (**Abb. 103**) einen langsamen Abfall bis auf 50 % Richtigwahlen bei 90 % „Weiß“ - Lichtanteil, d. h. der Farbreizabstand von „Grün“ zu „Grau“ bei den Böcken (**Gruppe B**) ist größer als bei den Ziegen (**Gruppe A**). Die Kurve für die „Rot“ - „Weiß“ - Lichtmischungen (**Abb. 101**) fällt bei einem „Weiß“ - Lichtanteil von 70 % auf 50 % Richtigwahlen ab. Die Kurve für „Blau“ - „Weiß“ - Lichtmischungen zeigt keinen Abfall.

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass die 50%-Schwelle für „Rot“ - zu „Grau“ - Licht bei einem „Weiß“ - Lichtanteil von 70% liegt und der Übergang relativ plötzlich erfolgt. Der „Weiß“ - Lichtbereich reicht bei **Gruppe B** näher an den „Rot“ - Lichtbereich heran als bei **Gruppe A**. Für „Grün“ – „Weiß“ - Lichtmischungen ist der Unterschied zu „Grau“ - Licht eher „fließend“, um dann bei 90% „Weiß“ - Lichtanteil mit „Grau“ verwechselt zu werden. Da die Kurve für „Blau“ -, „Weiß“ - Lichtmischungen kein Minimum zeigt, kann daraus entweder geschlossen werden, dass die Unterschiede zu „Grau“ erst bei „Weiß“ - Lichtanteilen > 90 % liegt oder dass der als gleichhell ermittelte Stimulus für das Tier 321 nicht gleichhell zu „Grau“ - Licht war. Nur bei einem Tier (Ohrnummer 342) ging die Wahlhäufigkeit auf 50% zurück. Hier wurden keine weiteren Intervalle getestet, sodass man für „Blau“ und den Unterschied zu „Grau“ keine Aussage machen kann. Es gilt zu bedenken, dass die Intensitätskurven der (**Gruppe B**) einen anderen Verlauf als die der Ziegen (**Gruppe A**) zeigten und dass die gleichhellen Farbstimuli immer nur für ein Tier (Tier Nr. 321) abgelesen wurden.

Bei **Gruppe B** erfolgte die Dressur auf den Farbreiz, sodass für jeden neuen Farbreiz eine erneute Andressur notwendig war. Es erfolgte eine dauernde Änderung des belohnten Stimulus, da die „Weiß“ - Lichtanteile der Farbreize variierten. Hierin ist sicherlich die Ursache für die abweichenden Verläufe der Wahlhäufigkeitskurven von **Gruppe A** und **Gruppe B** begründet.

3.8 Zusammenfassung der Ergebnisse

3.8.1. Spontantests (unbelohnt)

Gruppe A: Die Farbstimuli RGB(255, 0, 0) („Rot“), RGB(0, 255, 0) („Grün“) und RGB(0, 0, 255) („Blau“) wurden gleichhäufig gewählt (**Kap. 3.1.1**). Keiner der kreisförmigen Farbreize wurde von den Zwergziegen bevorzugt oder gemieden.

Gruppe B: Die Farbstimuli RGB(255, 0, 0) („Rot“), RGB(0, 255, 0) („Grün“), RGB(0, 0, 255) („Blau“), RGB(255, 255, 0) („Gelb“), RGB(0, 255, 255) („Türkis“) und RGB(255, 0, 255) („Violett“) wurden gleichhäufig von den Zwergziegenböcken gewählt (**Kap. 3.1.2**).

3.8.2 Farbreizdressur: Differentielle Konditionierung, Akquisitionsniveaus

Gruppe A: Alle Tiere der Gruppe zeigten ein hohes Akquisitionsniveau ($\geq 92,1\%$), das unabhängig vom Alternativfarbreiz (max. Intensität) war. Das Akquisitionsniveau der Gruppe (Gruppenmittelwert) schwankte in Abhängigkeit von den Farbstimuli zwischen 95,1 % für „Blau“ und 99,5 % für „Gelb“ nur geringfügig (siehe **Kap. 3.2.1**).

Gruppe B: Die Akquisitionsniveaus für die präsentierten Stimuli RGB(255, 0, 0) („Rot“), RGB(0, 255, 0) („Grün“), RGB(0, 0, 255) („Blau“) und RGB(128, 128, 128) („Grau“) schwanken innerhalb der Gruppe zwischen 75,2 % („Grau“) und 100% („Grün“). Es besteht keine Abhängigkeit vom Farbreiz (siehe Lernkurven, **Anhang C-D** und **Kap. 3.2.2**).

3.8.3 Absolute Sichtbarkeitsschwellen und gleichhelle Farbreize

3.8.3.1 Messmethode I: Auf- und Ab- Methode

Gruppe A: Die absolute Sichtbarkeitsschwelle (75% Richtigwahlen) der Gruppe A lag im Mittel für „Rot“ - bei RGB(31, 0, 0), für „Grün“ - bei RGB(0, 10, 0), für „Blau“ - bei RGB(0, 0, 14), für „Weiß“ - Licht zwischen RGB(5, 5, 5) (W1, **Kap. 3.3.1**) und RGB(7, 7, 7) (W2, **Kap. 3.3.1**). Für die Zwischenfarbreize, also „Gelb“ -, „Türkis“ - und „Violett“ - Licht lagen die 0,75 Richtigwahlfrequenzwerte im Mittel bei RGB(5, 5, 0) für „Gelb“ -, bei RGB(0, 6, 6) für „Türkis“ - und bei RGB(9, 0, 9) für „Violett“ -Licht (siehe **Kap. 3.3.1**).

Gruppe B: Die absolute Sichtbarkeitsschwelle für die verschiedenen Farbstimuli wurde in dieser Gruppe nicht bestimmt.

3.8.3.2 Messmethode II: Gleichhelle Farbreize anhand von Lichtintensitäten

Gruppe A: Alle Tiere zeigten für alle Farbreize einen ähnlichen Verlauf der Richtigwahlfrequenzkurven (siehe **Kap. 3.4.1-3.4.2**). Abhängig von der Farbart variiert die Steigung der verschiedenen Kurven. Die Kurven für „blaue“ und „türkise“ Farbreize weisen eine ähnliche Steigung auf wie die Kurve für den achromatischen Stimulus. Den steilsten

Verlauf mit einer Steigung von ca. 40% hat die Kurve für „Grün“ - Licht und den flachsten Verlauf mit ca. 20% Steigung weist die Kurve für „Rot“ - Licht auf.

Als gleichhell wurde der Intensitätswert bei einer Richtigwahlhäufigkeit von 0,9 in der jeweiligen Kurve abgelesen. Dieser 90% - Richtigwahlhäufigkeitswert ist für „Rot“ - bei RGB(62, 0, 0), für „Grün“ - bei RGB(0, 12, 0), für „Blau“ - bei RGB(0, 0, 34), für „Weiß“ - bzw. „Grau“ - Licht bei RGB(9, 9, 9), für „Gelb“ - bei RGB(9, 9, 0), für „Türkis“ - bei RGB(0, 17, 17) und für „Violett“ - Licht bei RGB(17, 0, 17) im Mittel (Gruppenmittelwert) (siehe **Kap. 3.4.2**).

Gruppe B: Trotz ständig wechselndem belohnten Farbreiz konnten Intensitätskurven (siehe **Abb. 52 und 53, Kap. 3.4.3**) auch für die Böcke bestimmt werden, die einen ähnlichen Verlauf wie die der Gruppe A hatten. Den steilsten Anstieg zeigte hier die Kurve für den „blauen“ Stimulus, während die für den „roten“ Farbreiz den flachsten Anstieg bei einer höheren Intensität hatte (siehe **Abb. 52**). Die Kurve für den „grünen“ Farbreiz zeigt die größte Annäherung an den Verlauf der Kurve für den achromatischen Stimulus.

Als gleichhelle (90% Richtigwahlen) Farbreiz-Intensitätswerte wurde für „Rot“ - ein RGB - Wert von RGB(180, 0, 0), für „Grün“ - RGB(0, 100, 0), für „Blau“ - RGB(0, 0, 55) und „Grau“ - Licht (achromatisch) RGB(88, 88, 88) im Gruppenmittel abgelesen (siehe **Kap. 3.4.3**).

3.8.4 Unterscheidbarkeit gleichheller Farbreize vom achromatischen Farbreiz

Gruppe A: Alle Tiere konnten die als gleichhell (für Tier Nr. 6 bzw. 237) ermittelten Farbreize „Rot“, „Grün“ und „Blau“ von einem achromatischen Farbreiz mit mindestens 68% Richtigwahlen signifikant (siehe **Kap. 2.1.5**) unterscheiden (siehe **Abb. 80**). Die Farbstimuli „Gelb“, „Türkis“ und „Violett“ konnten von den Tieren mit über 60% Richtigwahlen vom achromatischen Farbreiz unterschieden werden (siehe **Abb. 81**).

Gruppe B: In Gruppe B wurde dieser Test nicht durchgeführt.

3.8.5 Minimale Farbreizabstände zu „Weiß“ - bzw. „Grau“ - Licht

Gruppe A: Für alle Tiere existierten Wahlhäufigkeitsminima (siehe **Kap. 3.6**), die für die getesteten „Rot“ - Lichtintensitäten innerhalb der Gruppe zwischen einer relativen Intensität von 10 und 70, für „Grün“ - Lichtintensitäten zwischen 4 und 12 und für „Blau“ - Lichtintensitäten zwischen 9 und 30 schwankten. Alle Tiere konnten die getesteten Farbreiz-

Intensitäten signifikant von „Weiß“ - Licht bzw. von „Grau“ - Licht (achromatischer Stimulus) unterscheiden (siehe **Kap. 3.6.1**).

Für die getesteten „Gelb“ - Lichtintensitäten schwanken die Wahlhäufigkeitsminima zwischen einer Intensität von 14 und 22, bei „Violett“ - Lichtintensitäten zwischen 24 und 40 und bei „Türkis“ - Lichtintensitäten zwischen einer relativen Intensität von 18 und 38 (siehe **Kap. 3.6.2**). Dabei ist der Wahlhäufigkeitsminimalwert für „Gelb“ und „Violett“ signifikant von 50% (Verwechslung der Stimuli) verschieden. Die für „Türkis“ - Licht erhaltenen Minimalwerte der Wahlhäufigkeit sind nicht signifikant von 50% Richtigwahlen verschieden. Jedoch liegen 2/3 der Tiere über einer Richtigwahlhäufigkeit von 0,5.

Gruppe B: In Gruppe B wurde dieser Test nicht durchgeführt.

3.8.6 Variation des „Weiß“ - Lichtanteils

Gruppe A: Alle Tiere zeigten einen näherungsweise sigmoidalen Abfall in ihrer Wahlhäufigkeit bei einer Zumischung von „Weiß“ - Licht zum „roten“, „grünen“ und „blauen“ Stimulus zwischen einem „Weiß“ - Lichtanteil von 50 bis 70 % (siehe **Abb. 95**). Die Schwellenwerte bei 75% Richtigwahlen ergaben für „Rot“ - „Weiß“ - Lichtmischungen eine Zumischung von 65% „Weiß“ - Licht, für „Grün“ - „Weiß“ - Lichtmischungen eine Zumischung von 62% „Weiß“ - Licht und für „Blau“ - „Weiß“ - Lichtmischungen eine Zumischung von 58% „Weiß“ - Licht (siehe **Kap. 3.7.1**).

Gruppe B: Für die „Rot“ - „Weiß“ - Lichtmischungen konnte ein näherungsweise sigmoidaler Abfall in der Wahlhäufigkeitskurve für alle auf einem > 75% Richtigwahlniveau befindlichen Tiere festgestellt werden. Der Schwellenwert von 75% Richtigwahlen (**Kap. 1.4.2**) wurde bei einer Zumischung von 63% „Weiß“ - Licht erreicht. Die Kurve der Wahlhäufigkeiten (**Abb. 103**) für die „Grün“ - „Weiß“ - Lichtmischungen flacht mit zunehmendem „Weiß“ - Lichtanteil ab und erreicht den Schwellenwert von 75% bei einer Zumischung von 74% „Weiß“ - Licht zum „grünen“ Stimulus. Für die Zumischung von „Weiß“ - Licht zum „blauen“ Stimulus konnte kein Abfall in der Wahlhäufigkeit in Abhängigkeit vom „Weiß“ - Lichtanteil beobachtet werden (siehe **Kap. 3.7.2**).