

# **Psychophysische Skalierung visueller Merkmalssalienz**

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Akademischen Grades  
eines Dr. phil.,

vorgelegt dem Fachbereich 02  
der Johannes Gutenberg-Universität  
Mainz

von  
Björn Mesenholl  
aus Wuppertal

Mainz 2007

Referent:

Korreferent:

Tag des Prüfungskolloquiums: 13. August 2007

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Methoden zur Messung der Empfindungsstärke</b>	<b>8</b>
2.1	Die indirekte Skalierung Fechners . . . . .	8
2.1.1	Methoden zur Schwellenmessung . . . . .	11
2.1.1.1	Klassische Konstanzmethode . . . . .	11
2.1.1.2	Two-Alternative-Forced-Choice-Methode . . . . .	14
2.2	Direkte Einschätzungsmethoden . . . . .	15
2.2.1	Methode der Größen-Einschätzung . . . . .	16
2.2.2	Validierung durch Cross-Modality-Matching . . . . .	18
2.3	Kritik an den Skalierungsmethoden . . . . .	20
2.3.1	Kritik an der indirekten Skalierungsmethode Fechners . . . . .	20
2.3.2	Kritik an Stevens Gesetz . . . . .	21
2.4	Vergleich der indirekten mit den direkten Skalierungsmethoden . . . . .	22
2.4.1	Vergleich von Fechners und Stevens Gesetz . . . . .	22
2.4.2	Vergleich der Messmethoden . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Merkmals-salienz</b>	<b>24</b>
3.1	Merkmalsbegriff . . . . .	24
3.2	Eine Arbeitsdefinition von Merkmals-salienz . . . . .	26
3.3	Grundsalienz eines Reizmusters . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Bestimmung einer Salienzskala für Merkmalskontrast</b>	<b>35</b>
4.1	Ein Modell der Helligkeitskontrastverarbeitung . . . . .	35
4.1.1	Nichtlinearer Umformer . . . . .	38
4.2	Differenzskalierung von Merkmals-salienz . . . . .	39
4.2.1	Bestimmung der internen Antwortfunktion . . . . .	40
4.3	Wesentliche Unterschiede zur indirekten Skalierungsmethode Fechners	41
4.4	Saturation der Salienzskala . . . . .	42
<b>5</b>	<b>Texturtrennung</b>	<b>44</b>
5.1	Ein Modell für die Verarbeitung von Orientierung, Ortsfrequenz und Helligkeitskontrast . . . . .	46
5.2	Ein Filter-Rectifier-Filter-Modell (FRF-Modell) . . . . .	50
5.3	Modifiziertes FRF-Modell . . . . .	54

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>6</b>	<b>Experiment 1: Einfluss absoluter Referenzwerte auf die Schwellenmessungen der Differenzskalierung</b>	<b>56</b>
6.1	Rational des Versuchs . . . . .	56
6.2	Methode . . . . .	59
6.2.1	Apparatur . . . . .	59
6.2.2	Versuchspersonen . . . . .	59
6.2.3	Stimuli . . . . .	60
6.2.4	Experimenteller Ablauf . . . . .	61
6.3	Ergebnisse . . . . .	65
6.4	Diskussion . . . . .	69
<b>7</b>	<b>Generierung des Ortsfrequenzkontrasts für die Differenzskalierung von Ortsfrequenzsalienz</b>	<b>71</b>
7.1	Periodisches Orientierungskontinuum versus einseitig gerichtetes Ortsfrequenzkontinuum . . . . .	71
7.2	Verfahren zur Generierung von Ortsfrequenzkontrast ohne konfundierende absolute Merkmalsausprägungen . . . . .	72
<b>8</b>	<b>Experiment 2: Vergleich von Dekrement- und Inkrement-Schwellenmessungen zur Bestimmung von Diskriminationsschwellen-Funktionen</b>	<b>79</b>
8.1	Einleitung . . . . .	79
8.2	Rational des Versuchs . . . . .	82
8.3	Methode . . . . .	82
8.3.1	Apparatur . . . . .	82
8.3.2	Versuchspersonen . . . . .	82
8.3.3	Stimuli . . . . .	82
8.3.4	Experimenteller Ablauf . . . . .	83
8.4	Ergebnisse . . . . .	86
8.5	Diskussion . . . . .	88
<b>9</b>	<b>Experiment 3: Kreuzvalidierung der Differenzskalierung der Salienz einer durch Orientierungs- oder Ortsfrequenzkontrast gebildeten Texturfigur</b>	<b>90</b>
9.1	Rational des Versuchs . . . . .	90
9.1.1	Merkmalsunabhängige Dimension Salienz . . . . .	91
9.1.2	Welche Salienz wird bei den CMM-Messungen beurteilt? . . . . .	94
9.1.3	Konstanz der Salienzeinheit und merkmalsunabhängige Salienzskalierung . . . . .	96
9.1.4	Versuchsbedingungen . . . . .	100

## INHALTSVERZEICHNIS

9.2	Methode . . . . .	100
9.2.1	Apparatur . . . . .	100
9.2.2	Versuchspersonen . . . . .	101
9.2.3	Stimuli . . . . .	101
9.2.4	Experimenteller Ablauf . . . . .	103
9.2.4.1	Differenzskalierung . . . . .	103
9.2.4.2	Cross-Modality-Matching . . . . .	107
9.3	Ergebnisse . . . . .	113
9.3.1	Differenzskalierung . . . . .	113
9.3.2	Cross-Modality-Matching . . . . .	120
9.4	Diskussion . . . . .	123
9.4.1	Validität des Verfahrens . . . . .	123
9.4.2	Einfluss der Grundsaliens eines Reizmusters auf das Saliensurteil	123
9.4.3	Konstanz der Saliensinheit . . . . .	127
9.4.4	Merkmalsunabhängige Saliensskalierung . . . . .	130

### **10 Experiment 4: Kreuzvalidierung der Differenzskalierung der Saliens einer durch Orientierungs- oder Ortsfrequenzkontrast gebildeten Texturfigur bei gleicher Grundsaliens der Texturreizmuster** **132**

10.1	Rational des Versuchs . . . . .	132
10.1.1	Nullpunkt der Skala . . . . .	133
10.1.2	Konstanz der Saliensinheit und merkmalsunabhängige Saliensskalierung . . . . .	133
10.1.3	Sättigung der Saliensfunktion . . . . .	135
10.1.4	Versuchsbedingungen . . . . .	136
10.2	Methode . . . . .	136
10.2.1	Apparatur . . . . .	136
10.2.2	Versuchspersonen . . . . .	137
10.2.3	Stimuli . . . . .	137
10.2.4	Experimenteller Ablauf . . . . .	138
10.2.4.1	Differenzskalierung . . . . .	138
10.2.4.2	Cross-Modality-Matching . . . . .	143
10.3	Ergebnisse . . . . .	146
10.3.1	Differenzskalierung . . . . .	146
10.3.2	Cross-Modality-Matching . . . . .	154
10.4	Diskussion . . . . .	156
10.4.1	Nullpunkt der Salienskala . . . . .	156

## INHALTSVERZEICHNIS

10.4.2	Konstanz der Salienzeinheit . . . . .	157
10.4.3	Merkmalsunabhängige Salienzskalierung . . . . .	171
10.4.4	Merkmalsunabhängiger Sättigungsmechanismus . . . . .	171
<b>11</b>	<b>Modellierung</b>	<b>174</b>
11.1	Rectifier . . . . .	174
11.2	Summationskanäle . . . . .	181
11.3	Modelldetails . . . . .	187
<b>12</b>	<b>Zusammenfassende Diskussion</b>	<b>190</b>
	<b>Anhang</b>	<b>200</b>
<b>A</b>	<b>Signalentdeckungstheorie</b>	<b>200</b>
A.1	Annahmen der Signalentdeckungstheorie . . . . .	200
A.2	Yes-No-Methode . . . . .	202
A.3	Same-Different-Methode . . . . .	207
A.4	Bestimmung einer Schwelle . . . . .	211
A.5	Zusammenhang zwischen der $d'$ -Berechnung der Yes-No-Methode und der $d'$ -Berechnung der Same-Different-Methode . . . . .	212
A.5.1	Theoretischer Zusammenhang . . . . .	213
A.5.2	Empirischer Zusammenhang . . . . .	216
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>220</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>225</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>226</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>230</b>

# 1 Einleitung

In jeder Sekunde unseres Lebens nehmen wir über unsere Sinne Informationen aus der Umwelt auf. Bei diesen Informationen handelt es sich um physikalische oder chemische Reize, die von spezialisierten Zellen unseres Nervensystems, den sogenannten Rezeptoren, in elektrische Signale umgewandelt werden. Diese elektrischen Signale bilden den Ausgangspunkt für die Verarbeitung eines physikalischen oder chemischen Reizes durch das Nervensystem. Das Resultat der Verarbeitung ist eine Empfindung.

So können wir z.B. einen Menschen sprechen hören oder ein Auto am Straßenrand stehen sehen. Mit diesen Beispielen sind die beiden wichtigsten Sinne des Menschen, der Hörsinn und der Sehsinn, angesprochen. Die Rezeptoren beider Sinne werden durch physikalische Reize stimuliert, der Hörsinn durch Schallwellen und der Sehsinn durch Lichtwellen.

Die Stärke der durch diese physikalischen Reize ausgelösten Empfindungen ist nicht konstant, sondern hängt von der Reizstärke ab. Flüstert ein Mensch, können wir ihn nur schwach oder gar nicht verstehen. Schreit uns ein Mensch ins Ohr, kann die ausgelöste Empfindung hingegen so stark sein, dass wir Schmerz empfinden. Geht die Sonne unter und es sind keine anderen Lichtquellen vorhanden, kann sich ein am Straßenrand parkendes Auto unserer Wahrnehmung entziehen. Ebenso können wir durch zu viel Licht geblendet werden.

Die Reizstärke von Schallwellen wird durch den Schalldruck bestimmt, die von Lichtwellen durch die Lichtstärke. Beide physikalischen Größen sind objektiv messbar. Der Schalldruck kann mit einem Messmikrofon bestimmt werden und wird in der Einheit Pascal (Kraft/Fläche) gemessen. Die Lichtstärke lässt sich mit einem Fotometer bestimmen und wird in der Einheit Candela (Lichtstrom/Raumwinkel) gemessen.

Kann auch die Stärke der durch einen physikalischen Reiz ausgelösten subjektiven Empfindung gemessen werden? Genau diese Frage betrifft ein Teilgebiet der Psychophysik, die psychophysische Skalierung. Ganz allgemein befasst sich die Psychophysik mit der Wechselwirkung von objektiv messbaren physischen Prozessen und subjektivem mentalem Erleben. Über die psychophysische Skalierung von Empfindungen wird der Zusammenhang zwischen der physikalischen Reizstärke und der Empfindungsstärke bestimmt. Dafür existieren zwei unterschiedliche Ansätze. Mitte des 19. Jahrhunderts war es Gustav Theodor Fechner, der sich als erster mit dem Problem der psychophysischen Skalierung von Empfindungen befasste. Die von ihm entwickelten Methoden werden heute als indirekte Skalierungsmethoden bezeichnet. Der zweite Ansatz stammt von Stanley Smith Stevens aus den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts. Seine Methoden werden heute als direkte Skalierungsmethoden bezeichnet. Die indirekten und direkten

## 1 EINLEITUNG



**Abb. 1.1:** Ein deutlich zu erkennendes Auto und eine schwer zu erkennende Schnepfe.

Skalierungsmethoden werden in Kapitel 2 vorgestellt und miteinander verglichen.

Um auf das eingangs verwendete Beispiel zur visuellen Wahrnehmung und damit zu dem menschlichen Sinn zurückzukommen, der Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit ist, betrachte man Abb. 1.1. Warum können wir das Objekt Auto in Abb. 1.1 sehr gut wahrnehmen und warum ist die daneben abgebildete Schnepfe hingegen nur sehr schlecht zu erkennen? Die beiden Bilder sollen deutlich machen, dass neben der Helligkeit und dem dadurch entstehenden Helligkeitskontrast zwischen einem Objekt und seiner Umgebung weitere Faktoren bei der Objekterkennung eine Rolle spielen. Das Auto unterscheidet sich z.B. deutlich in der Farbe von seinem Hintergrund. Der Umriss der Karosserie weist zudem Orientierungen auf, die das Objekt Auto eindeutig von seiner Umgebung abgrenzen. Die Farben der Schnepfe und die Orientierungen ihrer Silhouette unterscheiden sich hingegen nur geringfügig von den Farben und den Orientierungen der sie umgebenden Blätter bzw. Blätterkanten. Aber auch die Schnepfe ist erkennbar weil sie sich bzgl. spezifischer Merkmale, wie Orientierung und Farbe, von ihrer Umgebung unterscheidet. Die Unterschiede hinsichtlich der Merkmale, genannt Merkmalskontrast, sind jedoch beim Auto deutlich größer als bei der Schnepfe und diese größeren Unterschiede erzeugen eine größere Auffälligkeit (Merkmals-salienz). Diese Annahme, dass die Merkmals-salienz vom Merkmalskontrast abhängt, ist der Kernpunkt der These von Nothdurft (1991, 1993a). Seine experimentellen Befunde und die sich daraus ergebende Definition von Merkmals-salienz sind in Kapitel 3 dargestellt. In diesem Kapitel wird zudem darauf eingegangen, welche Merkmale, wie Helligkeitskontrast, Orientierung und Farbe, aus heutiger Sicht für die Verarbeitung visueller Informationen und damit auch für die Objekterkennung relevant sind.

Der Kernpunkt der vorliegenden Arbeit besteht darin zu zeigen, dass über eine indirekte Skalierungsmethode die durch Merkmalskontrast erzeugte Salienz einer einfa-



## 1 EINLEITUNG

chen visuellen Texturfigur<sup>1</sup> merkmalsunabhängig auf einer allgemeinen Saliensskala erfasst werden kann. Die Zahlenwerte einer solchen allgemeinen Saliensskala sollten die Auffälligkeit einer durch Merkmalskontrast in einem beliebigen Merkmal erzeugten Texturfigur derart abbilden, dass Verhältnisse zwischen diesen Salienswerten interpretiert werden können. Zum einen müssen folglich bei einer merkmalsunabhängigen allgemeinen Saliensskala Merkmalskontraste in verschiedenen Merkmalen, die jeweils zu einer gleich großen Auffälligkeit der durch sie gebildeten Texturfigur führen, auf den gleichen Zahlenwert  $Z$  der Skala abbilden. Zum anderen muss ein Merkmalskontrast in einem beliebigen Merkmal, der auf einen Zahlenwert  $Z$  der Skala abbildet, zu einer Auffälligkeit der Texturfigur führen, die z.B. doppelt so groß ist, wie bei einem Merkmalskontrast in einem beliebigen Merkmal, der auf den Zahlenwert  $\frac{Z}{2}$  der Skala abbildet.

Die indirekte Skalierungsmethode, für die die Möglichkeit der merkmalsunabhängigen Saliensskalierung überprüft wird, wurde erstmals in dieser Form zur Bestimmung einer Saliensskala für Merkmalskontrast (Orientierungskontrast) von Motoyoshi und Nishida (2001) verwendet und wird in der vorliegenden Arbeit als *Differenzskalierungsmethode* bezeichnet. Bei dieser Methode wird eine Skala der Empfindungsstärke wie bei der indirekten Skalierungsmethode Fechners über Schwellenmessungen bestimmt. Die genaue Vorgehensweise und die Unterschiede dieser Methode zur indirekten Skalierungsmethode Fechners werden in Kapitel 4 dargestellt.

Voraussetzungen für die merkmalsunabhängige Saliensskalierung sind, dass die über die Differenzskalierungsmethode für verschiedene Merkmale konstruierten Saliensskalen einen gemeinsamen festen Nullpunkt haben und dass mindestens eine dieser Skalen eine konstante Einheit der Saliens hat. Eine Überprüfung der Gegebenheit dieser Voraussetzungen und der davon abhängigen Möglichkeit der merkmalsunabhängigen Saliensskalierung wird in der vorliegenden Arbeit für die Merkmale Orientierung und Ortsfrequenz vorgenommen. Zur Überprüfung wird zunächst über die Differenzskalierungsmethode die durch Orientierungs- bzw. Ortsfrequenzkontrast erzeugte Saliens einer quadratischen Texturfigur skaliert. Anschließend wird über Cross-Modality-Matching-Messungen (CMM-Messungen) bestimmt, welche Orientierungs- und Ortsfrequenzkontraste als gleich auffällig beurteilt werden. Die zu diesen gleich salienten Orientierungs- und Ortsfrequenzkontrasten korrespondierenden Zahlenwerte (Salienswerte) der für jedes Merkmal konstruierten Saliensskala werden in einem von den beiden Saliensskalen aufgespannten Saliensraum betrachtet. Der sich ergebende Zusammenhang lässt sich mit einer sog. CMM-Funktion beschreiben. Der Verlauf dieser

---

<sup>1</sup>Der Begriff Texturfigur bezeichnet diejenige von zwei aneinander grenzenden Texturen, die die Vordergrundregion eines visuellen Reizmusters bildet und dabei eine Figur darstellt.

## 1 EINLEITUNG

Funktion gibt unter der Voraussetzung, dass man weiß, welche Salienz bei einer CMM-Messung beurteilt wird, Aufschluss darüber, ob die beiden Salienzskalen über einen gemeinsamen Nullpunkt und eine konstante Einheit verfügen und sich in Abhängigkeit davon die Merkmalssalienz merkmalsunabhängig auf einer allgemeinen Salienzskala abbilden lässt. Diese Vorgehensweise zur Überprüfung des gemeinsamen Nullpunktes und der Konstanz der Salienzeinheit der über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Salienzskalen wird hier als Kreuzvalidierung bezeichnet. Sie wird in Experiment 3 und 4 dieser Arbeit durchgeführt.

Die vorausgesetzte Kenntnis darüber, welche Salienz bei einer CMM-Messung beurteilt wird, wird in diesen Experimenten durch die experimentelle Variation der Grundsalienz eines Reizmusters gewonnen. Die Grundsalienz eines Reizmusters bezeichnet die Auffälligkeit eines Reizmusters ohne den zu skalierenden Merkmalskontrast. Sie hängt von verschiedenen Faktoren ab, die in Kapitel 3.3 aufgeführt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Grundsalienz eines Reizmusters mit in das Salienzurteil bei einer CMM-Messung einfließt und deshalb bei der Interpretation der CMM-Funktion berücksichtigt werden muss. Die Ergebnisse der Experimente sind danach mit einem gemeinsamen festen Nullpunkt und bis auf in einer Untersuchungsbedingung auch mit der Konstanz der Salienzeinheit der konstruierten Skalen vereinbar.

Für die merkmalsunabhängige Skalierung von Merkmalssalienz wird nach den Ergebnissen der Untersuchungen eine unter spezifischen Reizbedingungen und damit bei einer spezifischen Grundsalienz eines Reizmusters konstruierte Salienzskala benötigt, von der angenommen werden kann, dass sie einen festen Nullpunkt und eine konstante Einheit der Salienz hat und deshalb die Salienz einer durch Merkmalskontrast erzeugten Texturfigur auf Verhältnisskalenniveau abbildet. Auf dieser Salienzskala kann die Salienz der Texturfigur, die durch Merkmalskontrast in einem anderen Merkmal bei gleicher oder abweichender Grundsalienz des Reizmusters erzeugt wird, merkmalsunabhängig abgebildet werden.

Um die zentralen Experimente 3 und 4 dieser Arbeit zur Untersuchung der leitenden Fragestellung nach der Möglichkeit der merkmalsunabhängigen Salienzskalierung durchführen zu können, mussten zunächst zwei weitere Fragestellungen untersucht werden.

Zum einen musste untersucht werden, wie bei einem einseitig gerichteten Kontinuum, wie es beim Merkmal Ortsfrequenz vorliegt, der Merkmalskontrast für die Schwellenmessungen der Differenzskalierung von Merkmalssalienz generiert werden muss, damit die gemessene Diskriminationsfähigkeit einer Versuchsperson nur auf die durch den Merkmalskontrast erzeugte Salienz zurückzuführen ist (Experiment 1). Zum anderen wurde untersucht, ob die bei großen Merkmalskontrasten stark streuenden Inkre-

## 1 EINLEITUNG

mentschwellenmessungen durch Dekrementschwellenmessungen für die Differenzskalierung von Merkmals-salienz ersetzt werden können (Experiment 2).

Zum Verständnis dieser Fragestellungen muss man wissen, dass für die indirekte Skalierung von Merkmals-salienz die Messung von Unterschiedsschwellen für verschieden große Merkmalskontraste (Pedestals) notwendig ist. Bei einer Unterschiedsschwellenmessung von Merkmalskontrast wird untersucht, wie groß der Unterschied im Merkmalskontrast sein muss, damit zwei Merkmalskontraste gerade eben aufgrund der durch sie erzeugten Salienz voneinander unterscheiden werden können. Für das periodische Merkmalskontinuum Orientierung ist aus anderen Studien (s. z.B. Motoyoshi & Nishida, 2001) bekannt, wie der Merkmalskontrast generiert werden sollte, damit die Diskriminationsleistung bei einer Unterschiedsschwellenmessung nur auf die durch den Merkmalskontrast erzeugte Salienz einer einfachen visuellen Texturfigur zurückgeführt werden kann (Merkmalskontrast-Generierungsproblem (MKG-Problem)). Dieses Verfahren zur Generierung von Orientierungskontrast kann jedoch nicht zur Generierung von Ortsfrequenzkontrast verwendet werden, da das Ortsfrequenzkontinuum einseitig gerichtet ist, d.h. es hat eine obere und eine untere Grenze, über die hinaus die Ortsfrequenz eines Reizes nicht weiter verändert werden kann (s. Kapitel 7.1). Ein einseitig gerichtetes Kontinuum, wie das Ortsfrequenzkontinuum, legt nahe, die Merkmalsausprägung der Reizelemente, die die Hintergrundtextur (Hintergrundelemente) bzw. Texturfigur (Vordergrundelemente) bilden, an einem Ende des Kontinuums konstant zu halten und den Merkmalskontrast durch Erhöhung bzw. Verringerung der Merkmalsausprägung der Vorder- bzw. Hintergrundelemente zu erzeugen. In Experiment 1 dieser Arbeit wird geprüft, ob bei diesem Verfahren zur Merkmalskontrastgenerierung die Diskriminationsleistung bei einer Schwellenmessung der Differenzskalierung nur auf die durch Merkmalskontrast erzeugte Salienz zurückgeführt werden kann. Die Ergebnisse zeigen, dass in diesem Fall bei großen Pedestals die absolute Merkmalsausprägung und nicht die durch Merkmalskontrast erzeugte Salienz zur korrekten Beantwortung der gestellten Diskriminationsaufgabe genutzt wird. Aufgrund dieses Ergebnisses wurde ein komplexeres Verfahren zur Generierung von Ortsfrequenzkontrast entwickelt, das das MKG-Problem löst. Dieses Verfahren wird im Anschluss an Experiment 1 in Kapitel 7.2 vorgestellt.

Wird, wie in dieser Arbeit, eine Konstanzmethode zur Schwellenmessung von Merkmalskontrast verwendet, wird in der Regel ein Pedestal mit verschiedenen *größeren* Merkmalskontrasten (Vergleichskontraste) verglichen. Solche Messungen werden als Inkrementschwellenmessungen (IS-Messungen) bezeichnet. Bei diesen Messungen besteht für große Pedestals das Problem, dass keine Vergleichskontraste zur Verfügung stehen, die deutlich auffälliger sind, als das Pedestal. Deutlich auffälliger Vergleichs-

## 1 EINLEITUNG

kontraste stehen bei großen Pedestals deshalb nicht zur Verfügung, weil sich zum einen im Bereich großer Merkmalskontraste die Salienz kaum noch verändert und weil es zum anderen bei jedem Merkmal einen maximalen Merkmalskontrast gibt, über den hinaus der Merkmalskontrast nicht weiter gesteigert werden kann. So liegt der maximal einstellbare Orientierungskontrast z.B. bei 90 Grad. Durch diesen Mangel an auffälligeren Vergleichskontrasten sind die Schwellenmessungen bei großen Pedestals sehr ungenau, d.h. sie streuen bei wiederholter Durchführung stark. In Experiment 2 dieser Arbeit wird deshalb geprüft, ob die bei großen Pedestals deutlich weniger stark streuenden Ergebnisse von Dekrementschwellenmessungen (DS-Messungen), bei denen das Pedestal größer als alle Vergleichskontraste ist, für die Bestimmung der Schwellen verwendet werden können. Es zeigt sich nur bei mittlerer Merkmalskontraststärke ein bedeutsamer Unterschied zwischen den Ergebnissen der DS- und IS-Messungen, weshalb zum Erhalt eines gering streuenden und damit zuverlässigen Messwertes im Bereich großer Pedestals eine DS-Messung für den maximal einstellbaren Merkmalskontrast für die Differenzskalierung von Merkmalssalienz in Experiment 3 und 4 verwendet wird.

Die merkmalsunabhängige Salienzskalierung ermöglicht die Untersuchung einer von Motoyoshi und Nishida (2001) aufgestellten Hypothese. Sie stellten in ihrer Studie zur Salienzskalierung von Orientierungskontrast nur bei Reizmustern, die bei hohem Merkmalskontrast zur Wahrnehmung getrennter Oberflächen führen, eine Sättigung der Salienzfunktion fest. Sie vermuten, dass dafür im visuellen System ein Mechanismus verantwortlich ist, der eine Steigerung der internen Antwort mit größer werdendem Orientierungskontrast unterbindet, wenn durch den bestehenden Orientierungskontrast bereits genügend Hinweise für die Existenz getrennter Oberflächen vorliegen. Sie nehmen an, dass ein solcher Mechanismus Teil eines ökonomisch arbeitenden visuellen Systems ist, in dem keine Prozesse ohne funktionelle Bedeutung vollzogen werden. Stimmt diese Hypothese, sollte der Mechanismus ab einer spezifischen merkmalsunabhängigen Salienz einer Texturfigur nicht nur eine weitere Steigerung der Salienz durch Orientierungskontrast, sondern auch durch Merkmalskontrast in einem anderen Merkmal unterbinden. In Experiment 4 dieser Arbeit kann jedoch gezeigt werden, dass die für Orientierungs- und Ortsfrequenzkontrast bestimmten Salienzfunktionen bei einem unterschiedlich großen merkmalsunabhängigen Salienzwert zu sättigen beginnen. Als Ursache für die Saturation der Salienzfunktion kann somit entgegen der Annahme von Motoyoshi und Nishida (2001) kein Mechanismus angenommen werden, der Teil eines ökonomisch arbeitenden visuellen Systems ist.

In der Literatur ist eine Klasse von Modellen zu finden, die experimentelle Ergebnisse zur Verarbeitung von Merkmalskontrast zu erklären versuchen. Diese Modelle werden als *Filter-Rectifier-Filter-Modelle* (FRF-Modelle) bezeichnet. Wie in allen Mo-

## 1 EINLEITUNG

dellen zur visuellen Informationsverarbeitung wird auch in dieser Gruppe von Modellen davon ausgegangen, dass die von den Rezeptoren detektierten visuellen Eingangssignale entlang diverser, paralleler Pfade nacheinander verschiedene Verarbeitungsstufen durchlaufen. In den FRF-Modellen wird angenommen, dass auf der untersten Stufe die Signale durch lineare Filter, die jeweils für eine spezifische Bandbreite an Orientierungen und Ortsfrequenzen sensitiv sind, verarbeitet werden. Auf der zweiten Stufe werden die Antworten der linearen Filter nichtlinear transformiert und auf der dritten Stufe von einem linearen, global arbeitenden Filter weiterverarbeitet.

Im Anschluss an Experiment 4 werden in Kapitel 11 die Ergebnisse von Simulationen präsentiert, die zeigen, inwieweit die Ergebnisse der Differenzskalierung von Merkmalssalienz aus Experiment 3 und 4 durch ein FRF-Modell erklärt werden können. Die Simulationen wurden mit einer leicht modifizierten Version des von Meinhardt und Persike (submitted) verwendeten FRF-Modells (s. Kapitel 5.2) durchgeführt. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass einzelne experimentell bestimmte Salienzfunktionen über das Modell prognostiziert werden können. Lediglich bzgl. der Auswirkung von Merkmalsjitter (Variation der Merkmalsausprägung der Vorder- bzw. Hintergrundelemente einer Texturfigur um einen vorgegeben Mittelwert) auf die Salienzskalierung macht das Modell fehlerhafte Vorhersagen. Bezüglich der Auswirkung von Merkmalsjitter legen die Ergebnisse nahe, dass bei der visuellen Informationsverarbeitung zwei Gruppen von globalen Energiekarten (Mastermaps) gebildet werden. In der einen Gruppe von Mastermaps wird in jeder einzelnen Karte eine spezifische Bandbreite von Orientierungen unabhängig von der Ortsfrequenz kodiert und in der anderen Gruppe von Mastermaps wird in jeder einzelnen Karte eine spezifische Bandbreite von Ortsfrequenzen unabhängig von der Orientierung kodiert. Solche zwei Gruppen von Verarbeitungspfaden (oder Summationsmechanismen) wurden bereits von Olzak und Thomas (1999) zur Erklärung ihrer Ergebnisse von Maskierungs- und Merkmalssummations-Experimenten angenommen (s. Kapitel 5.1). Eine vorgenommene Integration dieser Summationsmechanismen in das FRF-Modell von Meinhardt und Persike (submitted) (s. Kapitel 5.3) führt jedoch zu keiner zufriedenstellenderen Vorhersage der Auswirkung von Merkmalsjitter auf die Differenzskalierung von Merkmalssalienz. Die Ursache hierfür wird diskutiert.

Zum Abschluss der Arbeit werden in Kapitel 12 alle Ergebnisse dieser Arbeit zusammenfassend diskutiert.

## 2 Methoden zur Messung der Empfindungsstärke

Wie lässt sich die Empfindungsstärke in Abhängigkeit von der Intensität eines Reizes messen? Der einfachste Weg ist, Personen Reize unterschiedlicher Intensität zu präsentieren und sie nach der Stärke ihrer Empfindung zu fragen. Mit dieser Vorgehensweise sind die „direkten Einschätzungsmethoden“, die in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts von S. S. Stevens entwickelt wurden, angesprochen.

Auch wenn diese Möglichkeit der Messung beinahe trivial zu sein scheint, so waren die direkten Einschätzungsmethoden jedoch nicht die ersten entwickelten Methoden zur Messung der Empfindungsstärke. In der Mitte des 19. Jahrhunderts war es G. T. Fechner, der sich als erster diesem Problem zuwandte bzw. es überhaupt erst näher definierte. Seine damals entwickelten Methoden werden heute als „indirekte Skalierungsmethoden“ bezeichnet. Damit man sich konkret etwas unter einer indirekten Skalierungsmethode vorstellen kann, sei darauf hingewiesen, dass es sich bei der Temperaturmessung mittels der gewöhnlichen Haushaltsthermometer auch um eine indirekte Messung handelt. Die Temperatur wirkt sich auf das Volumen des sich im Thermometer befindlichen Quecksilbers aus, dessen Höhenstand zur Bestimmung der Temperatur genutzt wird.

Im folgenden Abschnitt wird die indirekte Skalierung Fechners beschrieben. Im Anschluss daran wird in Abschnitt 2.2 auf die direkten Einschätzungsmethoden von Stevens eingegangen. In Abschnitt 2.3 werden Kritikpunkte gegenüber beiden Methoden vorgetragen und im letzten Abschnitt dieses Kapitels (2.4) werden die Skalierungsmethoden miteinander verglichen.

### 2.1 Die indirekte Skalierung Fechners

Fechner entwickelte seine Skala der Empfindungsstärke durch aufeinander aufbauende Unterschiedsschwellenmessungen. Mit einer Unterschiedsschwelle ist die minimale Differenz in der Reizintensität  $\Delta I$  zwischen zwei Reizen bezeichnet, die notwendig ist, um diese Reize voneinander unterscheiden zu können. Fechner nahm an, dass dieser sog. eben merkliche Unterschied (jnd: just noticeable difference) zwischen zwei Reizen in der subjektiven Wahrnehmung immer einer gleichen Zunahme der Empfindung unabhängig von der absoluten physikalischen Reizintensität  $I$  der beiden Vergleichsreize entspricht. Wenn also z.B. zwei leise Töne vorliegen, die in ihrer Reizintensität genau soweit auseinander liegen, dass man gerade eben einen Unterschied in ihrer Lautstärke wahrnimmt, und es liegen zudem zwei laute Töne vor, zwischen denen man ebenfalls gerade noch einen Unterschied bzgl. ihrer Lautstärke wahrnehmen kann, dann liegen die beiden Tonpaare nach Fechner jeweils den gleichen sensorischen Empfindungsschritt weit auseinander. Bezeichnet man die von Fechner bestimmte Funktion, die die

## 2 METHODEN ZUR MESSUNG DER EMPFINDUNGSSTÄRKE

Reizstärke in die Empfindungsstärke übersetzt mit  $F$ , lautet damit Fechners Annahme:

$$F(I + \Delta I) - F(I) = 1[jnd]. \quad (2.1)$$

Bei der ersten Messung, die zur Bestimmung der Skala der Empfindungsstärke  $F$  notwendig ist, wird nicht von der Messung einer Unterschiedsschwelle, sondern von der Messung der Absolutschwelle gesprochen. Die Absolutschwelle ist definiert als die größte Reizintensität, die gerade eben noch keine sensorische Empfindung auslöst. Wird einem z.B. ein sehr leichtes Gewicht in die Handfläche gelegt, dass keine Empfindung auslöst, so liegt dieses Gewicht unterhalb der Absolutschwelle. Wird das Gewicht auf der Handfläche nach und nach erhöht, erreicht es irgendwann einen Wert, ab dem es eine anhaltende Empfindung auslöst, man also permanent spürt, dass etwas auf der Handfläche liegt. Die Größe des Gewichts hat die Absolutschwelle überschritten.

Die Absolutschwelle stellt bei der indirekten Skalierung Fechners den Nullpunkt der Skala der Empfindungsstärke dar. Da sehr geringe physikalische Reizintensitäten noch keine messbare sensorische Empfindung auslösen, stimmt nach Fechner der Nullpunkt der Empfindungsstärke nicht mit dem Nullpunkt der physikalischen Reizstärke überein.

Neben der Annahme (2.1) und der Definition der Absolutschwelle gleich dem Nullpunkt der Skala der Empfindungsstärke ging Fechner zur Bestimmung der psychophysischen Funktion  $F$  von der Gültigkeit des Weberschen Gesetzes aus. Dieses besagt, dass die Differenz in der Reizintensität  $\Delta I$ , die notwendig ist um zwei Reize voneinander unterscheiden zu können, proportional mit der Reizstärke des Ausgangsreizes  $I$  zunimmt. Das Verhältnis von  $\Delta I$  zu  $I$  ist somit nach Webers Gesetz konstant:

$$\frac{\Delta I}{I} = k. \quad (2.2)$$

Bei geringer Reizintensität ist also die Zunahme der Reizintensität, die notwendig ist um einen Unterschied zwischen zwei Reizen zu erkennen, geringer als bei hohen Reizintensitäten.

Nach Webers Gesetz kann die Reizintensität der  $n$ -ten Unterschiedsschwelle  $I_n$  über  $I_0(1 + k)^n$  bestimmt werden. Dies wird im folgenden per Induktion gezeigt. Nach Webers Gesetz (2.2) gilt:

$$\begin{aligned} \Delta I_0 &= kI_0 \\ I_1 - I_0 &= kI_0 \\ I_1 &= I_0(1 + k), \end{aligned} \quad (2.3)$$

wobei  $I_0$  die Reizintensität der Absolutschwelle ist und  $I_1$  die Reizintensität der ersten

## 2 METHODEN ZUR MESSUNG DER EMPFINDUNGSSTÄRKE

Unterschiedsschwelle. Für die Reizintensität der zweiten Unterschiedsschwelle  $I_2$  gilt:

$$\begin{aligned} I_2 - I_1 &= kI_1 \\ I_2 &= I_1(1 + k) \\ I_2 &= I_0(1 + k)^2 \end{aligned} \tag{2.4}$$

und für die Reizintensität der dritten Unterschiedsschwelle  $I_3$  gilt entsprechend:

$$I_3 = I_0(1 + k)^3, \tag{2.5}$$

d.h. es gilt für die Reizintensität der  $n$ -ten Unterschiedsschwelle  $I_n$ :

$$I_n = I_0(1 + k)^n. \tag{2.6}$$

Nach Fechners Annahme, dass der eben merkbare Unterschied zwischen zwei Reizintensitäten unabhängig von der absoluten physikalischen Reizintensität einer konstanten Zunahme der Empfindung entspricht (s. Gleichung (2.1)) und nach der Definition der Absolutschwelle als den Nullpunkt der Skala der Empfindungsstärke, ergibt sich:

$$F(I_n) = n[jnd], \tag{2.7}$$

d.h. die Empfindungsstärke einer Reizintensität der  $n$ -ten Unterschiedsschwelle  $I_n$  ist gleich  $n$  jnd. Löst man den aus Webers Gesetz hergeleiteten Zusammenhang zwischen der Reizintensität der  $n$ -ten Unterschiedsschwelle  $I_n$  und der Intensität der Absolutschwelle  $I_0$  (Gleichung (2.6)) nach der Schwelle  $n$  auf,

$$n = \frac{1}{\log(1 + k)} \log \left( \frac{I_n}{I_0} \right), \tag{2.8}$$

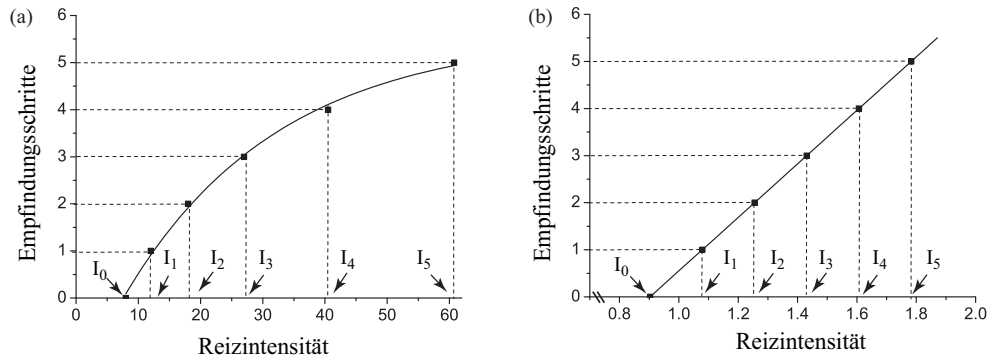
setzt diesen Term in (2.7) ein und verallgemeinert den sich ergebenden Zusammenhang von der diskreten Variable  $I_n$  auf das stetige Kontinuum der Reizintensitäten  $I$ , so erhält man folgende mathematische Beziehung zwischen Reizstärke und Empfindungsstärke:

$$F(I) = a \log \left( \frac{I}{I_0} \right), \tag{2.9}$$

wobei  $a = \frac{1}{\log(1+k)}$ . Diese Gleichung wird Fechners Gesetz genannt. Sie besagt, dass die Empfindungsstärke  $F(I)$  proportional zum Logarithmus der an der Absolutschwelle  $I_0$  relativierten Reizstärke  $I$  ist. Die logarithmische Beziehung zwischen Reizstärke und Empfindungsstärke bedeutet inhaltlich: Wenn man die Intensität eines physikalischen Reizes ausgehend von der Reizintensität der Absolutschwelle erhöht, wächst die Empfindungsstärke zunächst schnell an. Mit zunehmender Intensität des Reizes verändert sich dann die Empfindungsstärke immer langsamer (Coren, Ward, & Enns, 1999, S. 38). In Abb. 2.1 ist dieser Zusammenhang zwischen Reizstärke und Empfindungsstärke (Summe von Empfindungsschritten gemessen über aufeinander aufbauende Unterschiedsschwellen (jnd)) veranschaulicht.



## 2 METHODEN ZUR MESSUNG DER EMPFINDUNGSSTÄRKE



**Abb. 2.1:** Eine Veranschaulichung von Fechners Gesetz. (a) Darstellung der Empfindungsschritte ( $jnd$ ) als Funktion der Reizintensität in linearen Koordinaten. Zu erkennen ist, dass für die aufeinander folgenden Schritte immer größere Unterschiede in der Reizintensität für eine gleiche Zunahme des Empfindungswertes benötigt wird. (b) Darstellung der Empfindungsschritte ( $jnd$ ) als Funktion der logarithmierten Werte der Reizintensität (basiert auf Trygg, 1972b).

### 2.1.1 Methoden zur Schwellenmessung

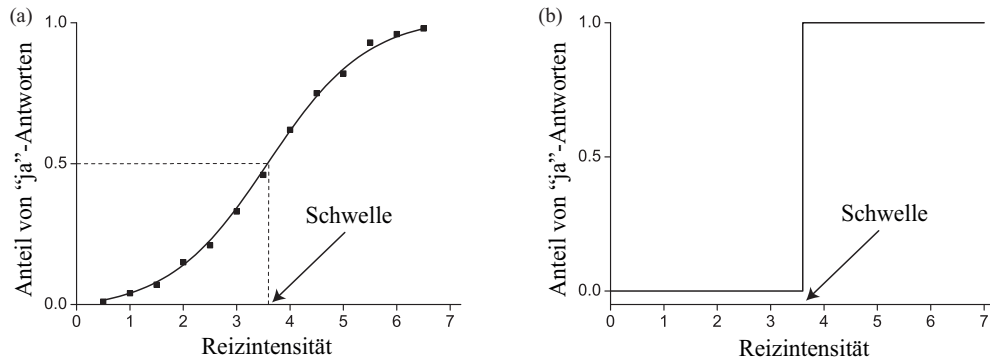
Wie können die Schwellen - Unterschieds- und Absolutschwelle - gemessen werden? Fechner führte in seinem 1860 veröffentlichten Buch „Elemente der Psychophysik“ drei Methoden der Schwellenbestimmung ein, die Grenzmethod, die Herstellungsmethode und die Konstanzmethode. Davon ist die Konstanzmethode die genaueste, braucht aber auch die meiste Zeit. Die im Rahmen dieser Arbeit bestimmten Schwellen wurden mit einer Variante der klassischen Konstanzmethode, der sog. Same-Different-Methode bestimmt. Zur Auswertung der über diese Methode gewonnenen Daten wurde die Signalentdeckungstheorie verwendet. Die Signalentdeckungstheorie und die Anwendung dieser Theorie auf die mit einer Same-Different-Methode gewonnenen Messdaten ist ausführlich in Anhang A dieser Arbeit dargestellt. Um im Folgenden zu zeigen, wie Schwellen zur Konstruktion der indirekten Skala Fechners gemessen werden können, wird hier zum einen die klassische Konstanzmethode und die damit verbundene Problematik dargestellt. Zum anderen wird eine Variante der klassischen Konstanzmethode vorgestellt, die Two-Alternative-Forced-Choice-Methode, bei der das Problem der klassischen Methode nicht besteht<sup>2</sup>.

#### 2.1.1.1 Klassische Konstanzmethode

In diesem Abschnitt wird speziell auf die Bestimmung der Absolutschwelle mittels der klassischen Konstanzmethode eingegangen. Dem Probanden wird dazu eine begrenzte

<sup>2</sup>Zur näheren Betrachtung der weiteren Methoden siehe beispielsweise Trygg (1972a).

## 2 METHODEN ZUR MESSUNG DER EMPFINDUNGSSTÄRKE



**Abb. 2.2:** (a) Empirisch vorfindbarer Zusammenhang zwischen Reizintensität (hier in einer beliebigen Einheit auf der Abszisse angegeben) und prozentualer Anteil von „ja“-Antworten auf die Frage, ob der Proband einen Reiz wahrgenommen hat. (b) Zusammenhang zwischen Reizintensität und Wahrnehmung, den man aufgrund des Begriffs Schwelle erwarten könnte (Stufenmodell) (aus Coren et al., 1999).

Anzahl von Reizen unterschiedlicher Intensität präsentiert. Alle Reizintensitäten werden mehrfach in einer zufälligen Reihenfolge dargeboten. Der Proband wird gebeten mit „ja“ zu antworten, wenn er einen Reiz wahrnimmt. Abb. 2.2 (a) zeigt den gewöhnlich empirisch zu findenden Zusammenhang zwischen der Reizintensität und dem Anteil an „ja“-Antworten. Zur genauen Bestimmung dieser psychometrischen Funktion reichen vier bis sechs unterschiedliche Reizintensitäten aus. Entscheidend ist, dass sich die unterschiedlichen Reizintensitäten über die gesamte Bandbreite der Entdeckungswahrscheinlichkeit verteilen. Das bedeutet, man benötigt einen Reiz, der so gut wie nie vom Probanden wahrgenommen wird, einen Reiz, der bei etwas weniger als 50 Prozent seiner Darbietungen eine „ja“-Antwort hervorruft, einen Reiz, der bei etwas mehr als 50 Prozent seiner Darbietungen eine „ja“-Antwort hervorruft und einen Reiz, der so gut wie immer wahrgenommen wird. Für eine derartige Auswahl der Reizintensitäten muss man wissen, in welchem Intensitätsbereich die zu messende Schwelle liegt. Dieses Wissen erwirbt man entweder durch einfaches Ausprobieren oder es liegen bereits Erfahrungswerte für das zu untersuchende Reizkontinuum vor.

Der empirisch zu findende Zusammenhang zwischen Reizintensität und Anteil an „ja“-Antworten (Abb. 2.2 (a)) zeigt, dass keine physikalische Reizintensität existiert, oberhalb der ein Reiz *immer* wahrgenommen wird und unterhalb der *nie* eine Empfindung ausgelöst wird (Stufenmodell, s. Abb. 2.2 (b)). Der empirisch zu findende Zusammenhang zeigt hingegen, dass ein und dieselbe Reizintensität nicht immer die gleiche Empfindung auslöst. Für die Empfindungsvariationen können laut Thurstone (1927) Aufmerksamkeitsprozesse, der Reizkontext und die neuronale Hintergrundakti-

## 2 METHODEN ZUR MESSUNG DER EMPFINDUNGSSTÄRKE

vität (spontane Entladung von Neuronen, auch „sensorisches Rauschen“ genannt) verantwortlich sein<sup>3</sup>. Man kann somit die Existenz einer Schwelle annehmen, die durch eine spezifische neuronale Aktivität überschritten wird. Allein aufgrund der Fluktuation der neuronalen Aktivität durch die Hintergrundaktivität ist zum Überschreiten der Schwelle von Zeitpunkt zu Zeitpunkt eine unterschiedlich große Reizintensität notwendig. Nimmt man zum einen an, dass die neuronale Hintergrundaktivität sich um einen festen Mittelwert normalverteilt und nimmt man zum anderen an, dass die neuronale Hintergrundaktivität zu einem Zeitpunkt  $t_1$  unabhängig von der Aktivität zu einem Zeitpunkt  $t_2$  ist, dann ist darüber die empirisch festzustellende Wahrscheinlichkeitsbeziehung zwischen Reizintensität und der Wahrnehmung dieser Reizintensität (Anteil an „ja“-Antworten) erklärbar. In diesem Fall ist es sinnvoll, für die Absolutschwelle folgendes Kriterium festzulegen: Die Absolutschwelle ist die Reizintensität, die von einem Probanden bei 50 Prozent der Darbietungen wahrgenommen wird (Coren et al., 1999).

**Problematik der klassischen Konstanzmethode** Mit der klassischen Konstanzmethode ist folgende Problematik verbunden. Ein Proband erfährt während der Untersuchung Situationen, in denen er sich nicht sicher ist, ob ein Reiz aus dem immer präsenten Hintergrundrauschen heraussticht. In diesen Situationen der Unsicherheit benötigt er eine Entscheidungsstrategie. Man kann sich vorstellen, dass z.B. ein Proband, der als besonders reizsensitiver Mensch erscheinen möchte, in Situationen der Unsicherheit häufiger angibt einen Reiz wahrgenommen zu haben als ein Proband, der darauf keinen Wert legt. Die Entscheidungsstrategie kann zwischen den beiden folgenden Extremen schwanken: (a) „Wenn ich mir nicht sicher bin, dass ein Reiz präsentiert wurde, sage ich immer ‘ja, da war ein Reiz’“, (b) „Wenn ich mir nicht sicher bin, dass ein Reiz präsentiert wurde, sage ich immer ‘nein, da war kein Reiz’“. Es ist offensichtlich, dass Personen, die zwar über die gleiche Reizsensitivität verfügen, jedoch nach unterschiedlichen Entscheidungsstrategien vorgehen, nicht dieselben prozentualen Anteile von „ja“-Antworten bei ein und derselben Reizintensität einer Untersuchung aufweisen. Mittels des prozentualen Anteils von „ja“-Antworten ist folglich keine genaue Bestimmung der Reizsensitivität aufgrund der Konfundierung mit der Entscheidungsstrategie möglich.

Die Signalentdeckungstheorie enthält Aussagen darüber, wie man die Reizsensitivität und das durch den Probanden festgelegte Entscheidungskriterium getrennt voneinander bestimmen kann (s. Anhang A). Für die im Folgenden dargestellte Two-Alternative-Forced-Choice-Methode wird die Signalentdeckungstheorie jedoch nicht benötigt, um die Reizsensitivität eines Probanden ohne Konfundierung mit seiner Entscheidungsstra-

---

<sup>3</sup>Zur Auswirkung der Spontanaktivität auf die Entdeckung eines Reizes siehe auch Meinhardt (1995).

## 2 METHODEN ZUR MESSUNG DER EMPFINDUNGSSTÄRKE

ategie zu messen. Die über eine Two-Alternative-Forced-Choice-Methode bestimmten Messdaten sind also nicht durch die in Situationen der Unsicherheit benötigte Entscheidungsstrategie beeinflusst.

### 2.1.1.2 Two-Alternative-Forced-Choice-Methode

Nach dieser Methode werden jedem Probanden wiederholt zwei Reize nacheinander oder nebeneinander präsentiert. Die Aufgabe des Probanden ist es zu entscheiden, welcher dieser beiden Reize seiner Meinung nach eine höhere Reizintensität bzgl. des zu untersuchenden Reizkontinuums aufweist. Bei einem der beiden Reize handelt es sich in jedem Trial<sup>4</sup> um einen Reiz mit konstanter Intensität, genannt Standardreiz oder Referenzreiz. Dieser Reiz wird mehrfach in zufälliger Reihenfolge mit Reizen verschiedener Intensität gepaart. Diese Reize werden Vergleichsreize oder Targets genannt. In der Regel haben diese Vergleichsreize alle eine größere Intensität als der Referenzreiz. In diesem Fall spricht man von Inkrementenschwellenmessungen. Bei diesen Messungen wird somit diejenige im Vergleich zum Referenzreiz *größere* Reizintensität  $I_S$  bestimmt, die gerade eben von der Intensität des Referenzreizes  $I_R$  unterschieden werden kann.

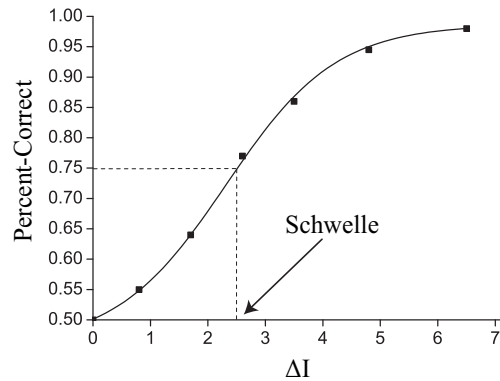
Der sich empirisch ergebende Zusammenhang zwischen dem Unterschied in der Reizintensität von Vergleichs- und Referenzreiz ( $\Delta I$ ) und dem prozentualen Anteil korrekter Antworten (Percent-Correct ( $PC$ )) ist mit einer sog. psychometrischen Funktion beschreibbar. In Abb. 2.3 sind empirisch bestimmte Messdaten und eine diese Messdaten beschreibende psychometrische Funktion dargestellt.

Wie der Abbildung zu entnehmen ist, können die  $PC$ -Werte zwischen 50 und 100% variieren. Ein  $PC$ -Wert von 50% bedeutet, dass ein Vergleichsreiz genauso oft richtig wie falsch vom Referenzreiz unterschieden wurde. Bildet ein Unterschied in der Reizintensität von Vergleichs- und Referenzreiz somit auf einen  $PC$ -Wert von 50% ab, kann der entsprechende Vergleichsreiz nicht überzufällig vom Referenzreiz unterschieden werden. Die Reizintensität eines Vergleichsreizes, die bei 75% der Darbietungen korrekt von der Reizintensität des Referenzreizes unterschieden werden kann, definiert die Reizintensität, die zum Erreichen der Schwelle notwendig ist. Aus der psychometrischen Funktion wird zur Bestimmung dieser Reizintensität der Unterschied in der Reizintensität von Vergleichs- und Referenzreiz extrapoliert, der auf den 75%-Punkt der Funktion abbildet ( $\Delta I_R$ ). Die Reizintensität eines Vergleichsreizes  $I_S$ , die zum Er-

---

<sup>4</sup>Trial bezeichnet einen einzelnen „Messdurchgang“ einer Messung. In der visuellen Psychophysik bestehen die Darbietungen eines Trials neben den zwei zu vergleichenden Reizen meist noch aus einem Fixationspunkt zu Beginn eines Trials und Masken, die auf die Reize folgen (s. z.B. Abb. 6.4 auf S. 64).

## 2 METHODEN ZUR MESSUNG DER EMPFINDUNGSSTÄRKE



**Abb. 2.3:** Psychometrische Funktion, die bei der Verwendung einer Two-Alternative-Forced-Choice-Methode die empirisch gemessenen Daten beschreibt.  $\Delta I$  gibt den Unterschied in der Reizintensität zwischen Referenzreiz und Vergleichsreiz an und Percent-Correct (PC) den davon abhängigen prozentualen Anteil richtiger Antworten einer Messung. Weitere Erläuterungen siehe Text.

reichen der Schwelle notwendig ist, ergibt sich dann durch:

$$I_S = I_R + \Delta I_R. \quad (2.10)$$

Bei der indirekten Skalierungsmethode Fechners wird diese Reizintensität  $I_S$  als Referenzreiz für die nächste Schwellenmessung verwendet. Begonnen wird mit der Bestimmung der Absolutschwelle, diese wird dann als Referenzreiz zur Bestimmung der ersten Unterschiedsschwelle verwendet, usw. (s. Abschnitt 2.1).

### 2.2 Direkte Einschätzungsmethoden

S. S. Stevens zweifelte an der Annahme Fechners, dass der subjektive Eindruck einer Unterschiedsschwelle über das physikalische Intensitätskontinuum eines Reizes hinweg gleich sei. Zudem warf er den traditionellen Methoden Fechners vor, dass man mit ihnen höchstens Intervallskalen entwickeln könne, da durch sie kein fester Nullpunkt bestimmt sei. Stevens forschte deshalb in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts nach besseren psychophysischen Skalierungsmethoden und war in der Folge an der Entwicklung von Methoden beteiligt, die als direkte Einschätzungsmethoden bezeichnet werden. Eine dieser Methoden, die Methode der Größen-Einschätzung (Method of Magnitude Estimation)<sup>5</sup>, wird an dieser Stelle näher beschrieben.

<sup>5</sup>Informationen zu anderen direkten Einschätzungsmethoden findet man z.B. in Trygg (1972b).

### 2.2.1 Methode der Größen-Einschätzung

Bei dieser Methode werden die Probanden dazu aufgefordert, jedem Reiz einen Zahlenwert zuzuordnen. Die Zuordnung dieser Zahlenwerte soll dabei derart erfolgen, dass das Verhältnis der Werte das Verhältnis der Reizintensitäten ausdrückt. Ordnet also z.B. ein Proband bei der Skalierung von Lautstärkeempfindungen dem ersten ihm präsentierten Ton die Zahl 10 zu und er empfindet den als zweites präsentierten Ton als halb so laut, so ist diesem zweiten Ton die Zahl 5 zuzuordnen. Empfindet er den dritten Ton als dreimal so laut wie den zweiten, so ist diesem dritten Ton in der Folge die Zahl 15 zuzuordnen. Jeder Proband ordnet auf diese Weise den in zufälliger Reihenfolge präsentierten Testreizen Zahlen zu. Es werden mehrere Durchgänge durchlaufen, d.h. jeder Testreiz wird von jedem Probanden mehrfach eingestuft. Anschließend wird über die Größen-Einschätzungen je Reizintensität über alle Probanden gemittelt<sup>6</sup>. Trägt man dann die resultierenden Größen-Einschätzungen gegen die physikalische Reizstärke auf, so ergibt sich ein Zusammenhang, der am besten durch eine Potenzfunktion beschrieben werden kann:

$$S(I) = aI^m \quad (2.11)$$

Dieser Zusammenhang zwischen Empfindungsstärke  $S$  und Reizintensität  $I$  konnte von Stevens und einer Schar anderer für die Beschreibung von mittels der Methode der Größen-Einschätzung gewonnenen Daten vieler verschiedener sensorischer Reize verwendet werden und wird als Potenzgesetz oder auch als Stevens Gesetz bezeichnet. Es besagt, dass die Empfindungsstärke proportional zur Potenz erhobenen Reizintensität ist. Im Unterschied zur indirekten Skalierungsmethode Fechners entspricht der Nullpunkt der Skala dem Nullpunkt der physikalischen Reizstärke. Beispiele für Potenzfunktionen sind in Abb. 2.4 dargestellt. Tabelle 2.1 gibt eine Übersicht über die mittels der Methode der Größen-Einschätzung gemessenen Potenzen verschiedener Reizkontinua.

Ob die Methode der Größen-Einschätzung und alle weiteren hier nicht näher vorgestellten direkten Einschätzungsmethoden die Entwicklung gültiger psychophysischer Skalen ermöglicht, steht und fällt mit der einzigen Annahme, die gemacht wird. Die Probanden müssen in der Lage sein ihre Sinneseindrücke zu quantifizieren und zwar derart, dass sie das Verhältnis ihrer Empfindungen durch entsprechende Zahlenverhältnisse zum Ausdruck bringen. Die Annahme, dass Probanden dazu in der Lage sind, wird durch die Ergebnisse sogenannter Cross-Modality-Matching-Untersuchungen gestützt.

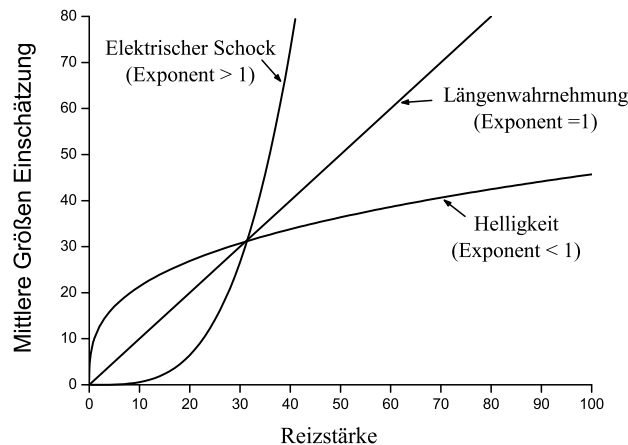
---

<sup>6</sup>Die genaue Vorgehensweise findet man in Trygg (1972b).

## 2 METHODEN ZUR MESSUNG DER EMPFINDUNGSSTÄRKE

**Table 2.1:** Repräsentative Exponenten der Potenzfunktion, ermittelt mit der Methode der Größen-Einschätzung (aus Coren et al., 1999).

Kontinuum	Exponent	Reizkonditionen
Lautstärke	0.60	beide Ohren
Helligkeit	0.33	5° Target
Helligkeit	0.50	Lichtpunkt
Helligkeit	1.20	graue Papier
Geruch	0.55	Kaffeegeruch
Geschmack	0.80	Zucker
Geschmack	1.30	Rohrzucker
Geschmack	1.30	Salz
Temperatur	1.00	Kälte - am Arm
Temperatur	1.60	Wärme - am Arm
Vibration	0.95	60 Hz - am Finger
Dauer	1.10	weißer Rauschreiz
Fingerspanne	1.30	Dicke von Holzblöcken
Druck auf die Handfläche	1.10	statischer Hautdruck
Gewicht	1.45	gehobene Gewichte
Stärke des Händedrucks	1.70	Handdruckmessgerät
Elektrischer Schock	3.50	60 Hz - am Finger



**Abb. 2.4:** Verlaufsförmigkeit der Stevenschen Potenzfunktion für Potenzen kleiner, gleich und größer eins. Die Art des Zusammenhangs zwischen Reizintensität und Empfindungsstärke wird durch die Größe des Exponenten zum Ausdruck gebracht. Wenn das sensorische Eingangssignal gedämpft wird, ist der Exponent kleiner eins, wird es verstärkt, ist er größer eins (aus Coren et al., 1999).

### 2.2.2 Validierung durch Cross-Modality-Matching

Die Vorgehensweise zur Beantwortung der Frage, ob die direkten Einschätzungsmethoden geeignete Methoden für die Messung der Empfindungsstärke sind, sieht wie folgt aus:

Zunächst werden für zwei Reizkontinua die psychophysischen Potenzfunktionen mittels direkter Einschätzungsmethoden bestimmt.

Anschließend werden Cross-Modality-Matching-Messungen (CMM-Messungen) durchgeführt. Im Allgemeinen sieht ein Cross-Modality-Matching den Vergleich von Reizintensitäten von zwei verschiedenen Reizkontinua (z.B. Helligkeit und Lautstärke) vor. Ermittelt werden Paare von Reizintensitäten, die jeweils eine gleiche Empfindungsstärke auslösen. Dafür können unterschiedliche Methoden verwendet werden, wobei im Folgenden zur Erläuterung der generellen Vorgehensweise bei CMM-Messungen eine Herstellungsmethode beschrieben wird.

Bei CMM-Messungen werden zum einem den Probanden Reize verschiedener Intensität aus einem Reizkontinuum vorgegeben. Sie werden dazu aufgefordert für jeden einzelnen Reiz die Intensität eines Vergleichsreizes aus dem anderen Reizkontinuum so einzustellen, dass die beiden Reize subjektiv die gleiche Empfindungsstärke auslösen. Zum anderen werden bei den CMM-Messungen Reizintensitäten aus dem zweiten Kontinuum konstant gehalten und die Reizstärke des ersten Kontinuums soll so eingestellt werden, dass subjektive Gleichheit in der Empfindungsstärke besteht. Der Grund dafür, dass generell nicht nur eine dieser Matchingbedingungen durchgeführt wird, ist eine mögliche Variation der Ergebnisse in Abhängigkeit davon, aus welchem Reizkontinuum konstante Reizintensitäten vorgegeben werden.

Liegen die Ergebnisse der CMM-Messungen vor, lassen sich die Reizintensitäten des einen Reizkontinuums gegen die gematchten Reizintensitäten des anderen Reizkontinuums in einen von den beiden Reizkontinua aufgespannten Raum eintragen. Wird über die direkten Einschätzungsmethoden die Empfindungsstärke unabhängig vom Reizkontinuum gemessen, zeigt sich bei logarithmierten Reizintensitäten ein linearer Zusammenhang, der sich über die beiden zuvor bestimmten Potenzfunktionen prognostizieren lässt. Wird der lineare Zusammenhang über eine Regressionsgerade beschrieben, kann über die Potenzfunktionen der beiden Reizkontinua die Steigung dieser Regressionsgeraden prognostiziert werden. Es gilt:

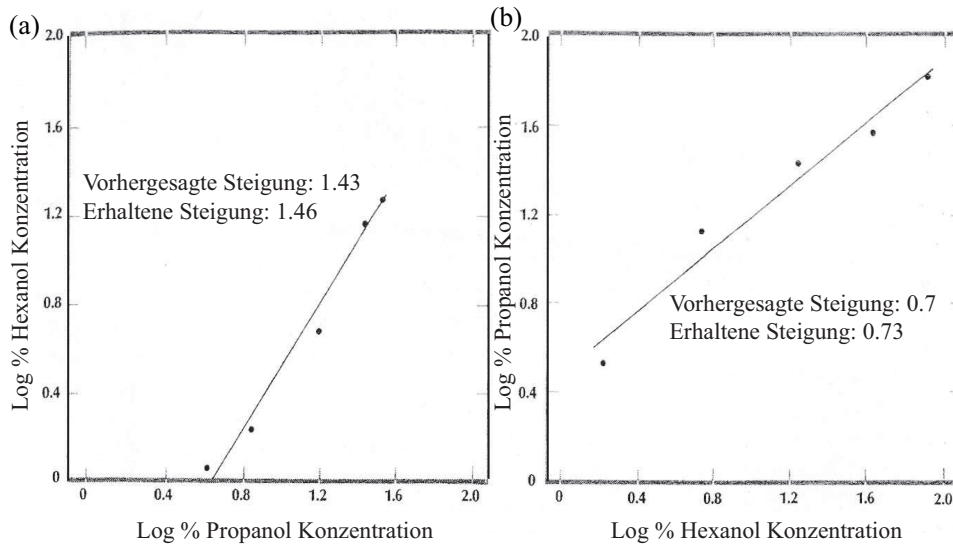
$$\Phi(s) = as^m \quad \eta(t) = bt^n \quad (2.12)$$

Aus der Gleichsetzung der skalierten Empfindungsstärken

$$\Phi(s) = \eta(t) \quad (2.13)$$



## 2 METHODEN ZUR MESSUNG DER EMPFINDUNGSSTÄRKE



**Abb. 2.5:** Funktion gleicher Empfindungsstärke für die Duftintensität von Hexanol und Propanol, wenn (a) Hexanolkonzentrationen so eingestellt wurden, dass sie bzgl. der Empfindungsintensität mit fünf konstant vorgegebenen Propanolkonzentrationen übereinstimmten und wenn (b) Propanolkonzentrationen so eingestellt wurden, dass sie bzgl. der Empfindungsintensität mit fünf konstant vorgegebenen Hexanolkonzentrationen übereinstimmten (aus Cain, 1966).

folgt:

$$\log(s) = \frac{n}{m} \log(t) + k \quad (2.14)$$

bzw.

$$\log(t) = \frac{m}{n} \log(s) + w, \quad (2.15)$$

wobei  $k = \frac{\log(b) - \log(a)}{m}$  bzw.  $w = \frac{\log(a) - \log(b)}{n}$ . Da  $a$  und  $b$  jedoch freie Einheitenkonstanten der Potenzfunktionen sind, ist die Steigung der Regressionsgeraden die entscheidende vorherzusagende Größe. Wie aus (2.14) und (2.15) zu entnehmen ist, sollte die Steigung der Regressionsgeraden dem Quotienten der Potenzen der psychophysischen Funktionen entsprechen.

Es gibt zahlreiche Untersuchungen, in denen die empirischen Daten genau diesen prognostizierten Zusammenhang aufzeigen (Bsp. s. Abb. 2.5; Stevens, 1959, 1961). Diese Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass Probanden in der Lage sind, die Stärke ihrer Empfindungen direkt einzuschätzen und dass die Potenzfunktion den Zusammenhang zwischen Reizintensität und Empfindungsstärke zutreffend abbildet.

Sind die Ergebnisse von CMM-Messungen auch bei indirekt skalierten Reizkontinua vorhersagbar? In Experiment 3 und 4 dieser Arbeit wird diese Fragestellung untersucht.

### 2.3 Kritik an den Skalierungsmethoden

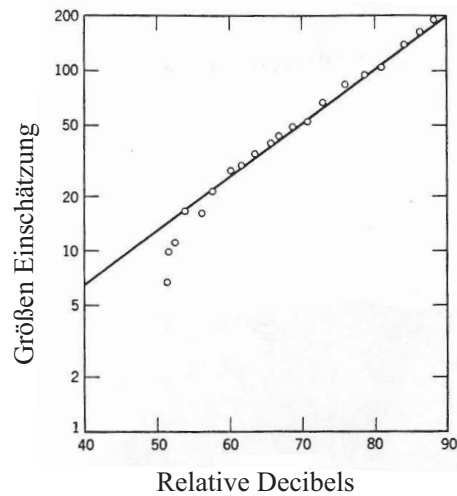
#### 2.3.1 Kritik an der indirekten Skalierungsmethode Fechners

An der indirekten Skalierungsmethode Fechners kann zum einen kritisiert werden, dass eine über die bekannten Verfahren, wie z.B. die Konstanzmethode oder die Herstellungsmethode, gemessene Absolutschwelle nicht die Definition der Absolutschwelle von Fechner erfüllt, weshalb es auch nicht sinnvoll ist eine über die bekannten Verfahren gemessene Absolutschwelle als Nullpunkt einer Skala der Empfindungsstärke zu definieren.

Erläuterung dieser Kritik: Fechner definierte die Absolutschwelle als die größte Reizintensität, die noch keine Empfindung auslöst (s. Abschnitt 2.1). Wie in Abschnitt 2.1.1.1 beschrieben, gibt es jedoch nicht die Reizintensität, oberhalb der ein Reiz immer und unterhalb der ein Reiz nie wahrgenommen wird (Stufenmodell). Der Zusammenhang zwischen Reizintensität und Wahrnehmung der Reizintensität ist hingegen eine Wahrscheinlichkeitsbeziehung. Die Messung der Absolutschwelle z.B. über den 75%-Punkt der über eine Two-Alternative-Forced-Choice-Methode bestimmten psychometrischen Funktion (s. Abb. 2.3 auf S. 15) führt somit dazu, dass eine Reizintensität bestimmt wird, die ein Proband bei einer bestimmten Anzahl von Darbietungen in einer Messung wahrnimmt. Da diese Reizintensität zu bestimmten Zeitpunkten eine Empfindung auslöst, kann folglich von dieser Reizintensität nicht behauptet werden, dass es die größte Reizintensität ist, die noch keine Empfindung auslöst. Eine über die bekannten Messverfahren, wie z.B. die Konstanzmethode oder die Herstellungsmethode, gemessene Absolutschwelle erfüllt deshalb nicht die Definition der Absolutschwelle von Fechner. Entsprechend ist es auch nicht sinnvoll eine z.B. über eine Two-Alternative-Forced-Choice-Methode gemessene Absolutschwelle, d.h. eine Reizintensität, die bei 75% ihrer Darbietungen in einer Messung von einer Reizintensität von null unterschieden werden kann, als Nullpunkt einer Skala der Empfindungsstärke zu definieren.

Zum anderen ist zu kritisieren, dass die indirekte Skalierung Fechners auf die Gültigkeit von Webers Gesetz angewiesen. Es gibt jedoch genug Beispiele in der Literatur, in denen der Anstieg der Diskriminationsschwelle mit größer werdender Intensität des Referenzreizes nicht Webers Gesetz folgt (Nachmias & Sansbury, 1974; Tolhurst & Barfield, 1978; Bodis-Wollner, Hendley, & Kulikowski, 1972). Für die Entwicklung einer Skala der Empfindungsstärke für Reizkontinua oder Reizbedingungen, in denen Webers Gesetz keine Gültigkeit hat, wird folglich eine andere Methode als die indirekte Skalierungsmethode Fechners benötigt.

## 2 METHODEN ZUR MESSUNG DER EMPFINDUNGSSTÄRKE



**Abb. 2.6:** Größen-Einschätzungen für Lautstärke dargestellt in log-log-Koordinaten. Im unteren Bereich ist die Abweichung der Einschätzungen von der Potenzfunktion zu erkennen (aus Galanter & Messick, 1961, S. 366).

### 2.3.2 Kritik an Stevens Gesetz

Kritisch an den direkten Einschätzungsmethoden von Stevens ist, dass eine über eine dieser Methoden bestimmte Potenzfunktion (Gleichung 2.11) häufig im Bereich geringer Reizintensitäten von den empirisch gemessenen Daten abweicht. Abb. 2.6 zeigt einen solchen Fall. Als Ursache dafür ist einer der beiden folgenden Punkte anzunehmen: 1. Die Definition des Nullpunktes gleich dem Nullpunkt der physikalischen Reizintensität führt zu der dargestellten Abweichung. 2. Mit der einfachen Potenzfunktion können nicht Messdaten sowohl im Bereich großer Reizintensitäten als auch im Bereich der Absolutschwelle beschrieben werden.

Ist der erste genannte Punkt für die in der Abbildung dargestellte Abweichung verantwortlich, ist unklar wie der Nullpunkt einer Skala der Empfindungsstärke definiert werden sollte, denn dann kommt weder die von Fechner verwendete Absolutschwelle noch der Nullpunkt der physikalischen Reizstärke dafür in Frage.

Bei der indirekten Skalierungsmethode, die innerhalb dieser Arbeit für die Skalierung von Merkmalssalienz verwendet wird, wird zum einen der Nullpunkt der Skala der Empfindungsstärke gleich dem Nullpunkt der physikalischen Reizstärke definiert und zum anderen wird eine komplexere Funktion als die Potenzfunktion verwendet (s. Gleichung 4.2 auf S. 39). In Untersuchungen, in denen diese indirekte Skalierungsmethode verwendet wurde, konnten die für die Skalierung bestimmten Schwellenmessungen sehr gut im gesamten Intensitätsbereich, d.h. auch im Bereich der Abso-

lutschwelle, über die konstruierte Skala vorhergesagt werden (s. Kapitel 4). Es ist deshalb anzunehmen, dass die Bestimmung einer entsprechend komplexeren Funktion bei den direkten Einschätzungsmethoden eine bessere Beschreibung von Messdaten dieser Methoden im Bereich geringer Reizintensitäten ermöglichen würde.

### **2.4 Vergleich der indirekten mit den direkten Skalierungsmethoden**

Beim Vergleich der indirekten und direkten Skalierungsmethoden gilt es zu trennen zwischen (i) den jeweils präferierten mathematischen Funktionen (den jeweiligen Gesetzen) und (ii) den jeweils verwendeten Messmethoden.

#### **2.4.1 Vergleich von Fechners und Stevens Gesetz**

Die Potenzfunktion von Stevens (Gleichung (2.11)) stellt für Potenzen kleiner eins eine Wurzelfunktion dar und kann somit dieselbe Menge an Daten beschreiben wie die Logarithmusfunktion Fechners. Darüber hinaus ist man mit der Potenzfunktion in der Lage psychophysische Zusammenhänge zu beschreiben, bei denen die Empfindung exponentiell zur physikalischen Reizstärke anwächst. Ein Beispiel hierfür ist der elektrische Schock. Der Exponent liegt hier deutlich über eins (vgl. Abb. 2.4). Mit Hilfe der Potenzfunktion ist man folglich in der Lage eine größere Spannweite psychophysischer Zusammenhänge abzubilden.

#### **2.4.2 Vergleich der Messmethoden**

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden Messmethoden liegt in dem von den Probanden zu fällenden Urteil. Bei den direkten Einschätzungsmethoden muss ein Proband in der Lage sein seine Sinneseindrücke zu quantifizieren und zwar derart, dass das Verhältnis der zu verschiedenen Reizen zuzuordnenden Zahlenwerte dem wahrgenommenen Verhältnis der Reizintensitäten entspricht. Demgegenüber muss ein Proband bei der indirekten Skalierungsmethode immer nur zwei Reize miteinander vergleichen und entscheiden, welcher für ihn die größere Reizintensität hat. Das bei der indirekten Skalierung zu fällende Vergleichsurteil kann im Unterschied zum Urteil der direkten Skalierung als ein viel natürlicheres Urteil angesehen werden. Der Mensch muss jeden Tag Vergleichsurteile fällen. Deshalb ist anzunehmen, dass ein Proband dazu besser in der Lage ist als zur Einschätzung einer absoluten Größe, wie es bei der direkten Skalierung verlangt wird.

Die Tabelle 2.1 auf S. 17 gibt einen guten Überblick über Reizkontinua, bei denen der Zusammenhang zwischen Reizintensität und Empfindungsstärke mittels direkter

## 2 METHODEN ZUR MESSUNG DER EMPFINDUNGSSTÄRKE

Einschätzungsmethoden untersucht werden konnte. Die innerhalb dieser Arbeit untersuchte Merkmalssalienz ist klassischer Weise ein Untersuchungsfeld indirekter Messmethoden. Es wurden ursprünglich genau die Fragen untersucht, die mit Hilfe von Schwellenmessungen beantwortet werden können, z.B. wie groß die Reizintensität eines Reizes sein muss, damit ein dieser salient (auffällig) wird bzw. damit ein Unterschied zu einem Referenzreiz salient wird. Die Idee ist nun mittels der Messung von Unterschiedsschwellen eine Aussage über die Stärke der Salienz einer durch Merkmalskontrast gebildeten Texturfigur über die gesamte Bandbreite des Merkmalskontinuums treffen zu können, was somit einer indirekten Skalierung der Merkmalssalienz entspricht.

## 3 Merkmals-salienz

### 3.1 Merkmalsbegriff

In einigen Theorien und Modellen wird davon ausgegangen, dass sich die Wahrnehmung von Objekten in zwei Stufen unterteilen lässt. Ein prominentes Beispiel dafür ist die Merkmalsintegrationstheorie von Treisman und Gelade (1980). Treisman und Gelade (1980) nehmen an, dass auf einer ersten präattentiven Verarbeitungsstufe eine visuelle Szene zunächst in ihre Elementarmerkmale zerlegt wird. Die Elementarmerkmale sind Reizbestandteile, aus denen ein Objekt besteht. Die Verarbeitung auf dieser Stufe erfolgt automatisch, ohne gerichtete Aufmerksamkeit. Auf der zweiten, aufmerksamkeitsgerichteten Verarbeitungsstufe werden die Elementarmerkmale zu einem Ganzen zusammengefügt, wodurch wir Objekte in unserer Umwelt erkennen.

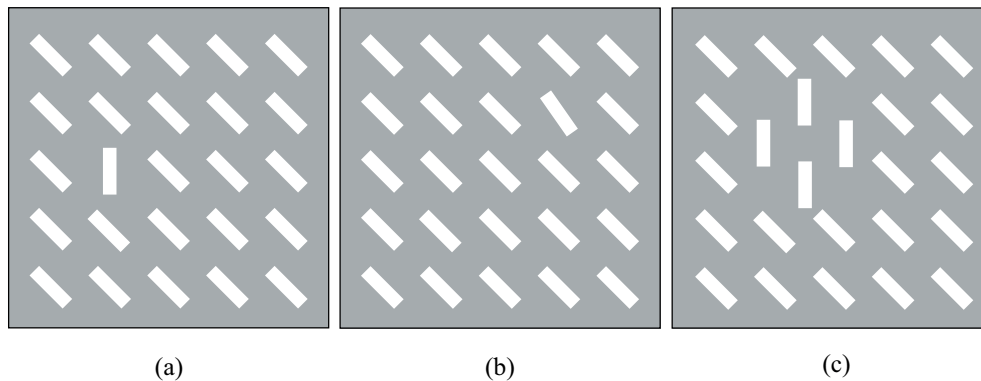
In der Literatur gibt es eine umfangreiche Diskussion darüber, in welche konkreten Elementarmerkmale eine visuelle Szene zerlegt wird. Es gibt völlig unterschiedliche Ansätze zu deren Bestimmung.

Der ursprüngliche Ansatz steht im Zusammenhang mit Aufgaben der visuellen Suche. Dabei handelt es sich um Aufgaben, bei denen ein Proband innerhalb eines Reizmusters nach einem Element (Target) suchen muss, das sich hinsichtlich eines oder mehrerer Merkmale von anderen „ablenkenden“ Elementen (Distraktoren) des Reizmusters unterscheidet. Nach Wolfe (1998) gilt ein Merkmal dann als Elementarmerkmal, wenn es die beiden folgenden Kriterien erfüllt: (I) Die visuelle Suche nach einem Elementarmerkmal muss effizient sein. (II) Texturtrennung durch ein Elementarmerkmal muss mühelos erfolgen.

Was bedeuten diese Kriterien im einzelnen? Die Suche nach einem Elementarmerkmal gilt dann als effizient, wenn die notwendige Zeit zur Entdeckung des Zielelements unabhängig von der Anzahl der ablenkenden Elemente ist. Man sagt dann, dass das Element aus einer visuellen Szene „hervorspringt“ (man spricht von „Pop-out“) und unmittelbar entdeckt wird. Das Element sei salient (auffällig). Abb. 3.1 zeigt ein Beispiel für eine effiziente (a) und eine ineffiziente Suche (b).

Beim Kriterium der mühelosen Texturtrennung geht es ebenfalls um „Pop-out“, also um die unmittelbare Entdeckung eines „Zielobjektes“ unabhängig von der Anzahl ablenkender Elemente. Das „Zielobjekt“ besteht in diesem Fall allerdings nicht aus einem einzelnen Element, sondern es handelt sich um einen ganzen Bereich von Elementen (Textur), die sich hinsichtlich eines Merkmals von weiteren Elementen einer visuellen Szene unterscheiden (s. Abb. 3.1 (c)). Nach Wolfe (1992) unterliegen die effiziente visuelle Suche und die mühelose Texturtrennung nicht dem gleichen Mechanismus. Dies zeigt sich vor allem daran, dass es Merkmale gibt, die nur eines der beiden Kriterien

### 3 MERKMALSSALIENZ



**Abb. 3.1:** Visuelle Suche: Gibt es ein Element bzw. eine Gruppe von Elementen, das bzw. die sich von allen anderen Elementen eines Reizmusters unterscheiden? Die senkrechte Linie in (a) ist unmittelbar erkennbar, genauso wie das durch eine Gruppe von vier senkrechten Linien gebildete Quadrat in (c). Die abweichende Linie in (b) springt hingegen nicht unmittelbar aus dem Hintergrund hervor.

erfüllen. Es gibt jedoch eine Reihe von Merkmalen, die beide Kriterien erfüllen. Zu ihnen gehören Farbe, Orientierung, Ortsfrequenz, Bewegung und Krümmung.

Neuere Arbeiten lassen jedoch Zweifel an der Annahme aufkommen, dass die von Wolfe definierten Kriterien die Identifikation von Elementarmerkmalen ermöglichen, die der Objektidentifizierung vorausgehen. Nach Wolfe (1998) handelt es sich vielmehr um Merkmale, die präattentiv verarbeitet werden und in der Folge die Aufmerksamkeit steuern. Dass sich erst mit Hilfe der Aufmerksamkeit eine Verbindung von Merkmalen zu Objekten vollzieht, wie es die Merkmalsintegrationstheorie annimmt, wird durch zahlreiche Studien in Zweifel gezogen, die eine präattentive Verfügbarkeit von Objekten anzeigen (Wolfe, 1996; Duncan, 1984; Hillstrom & Yantis, 1994).

Ein anderer Ansatz zur Bestimmung von Elementarmerkmalen ist die nähere Betrachtung des Aufbaus des menschlichen Informationsverarbeitungssystems. Dazu werden hier beispielhaft folgende Forschungsergebnisse genannt:

- In V1, einem Gehirnareal, dem man Funktionen früher visueller Informationsverarbeitung zuschreibt, existieren orientierungs- und ortsfrequenz-sensitive Zellen.
- Durch physiologische Experimente konnten getrennte Verarbeitungspfade von Farbe und Bewegung nachgewiesen werden.
- Bereits in der Retina existieren Photorezeptoren, die für unterschiedliche Wellenlängen des Lichts sensitiv sind

(s. Goldstein, 1997). Insgesamt weisen diese Forschungsergebnisse darauf hin, dass eine visuelle Szene in Elementarmerkmale zerlegt wird, die eine hohe Übereinstimmung mit den Elementarmerkmalen der visuellen Suche aufweisen: Farbe, Bewegung, Orientierung, Helligkeitskontrast und Ortsfrequenz. In der vorliegenden Arbeit werden die Elementarmerkmale Orientierung und Ortsfrequenz näher untersucht und zwar hinsichtlich ihrer Auffälligkeit, der Merkmalssalienz.

#### 3.2 Eine Arbeitsdefinition von Merkmalssalienz

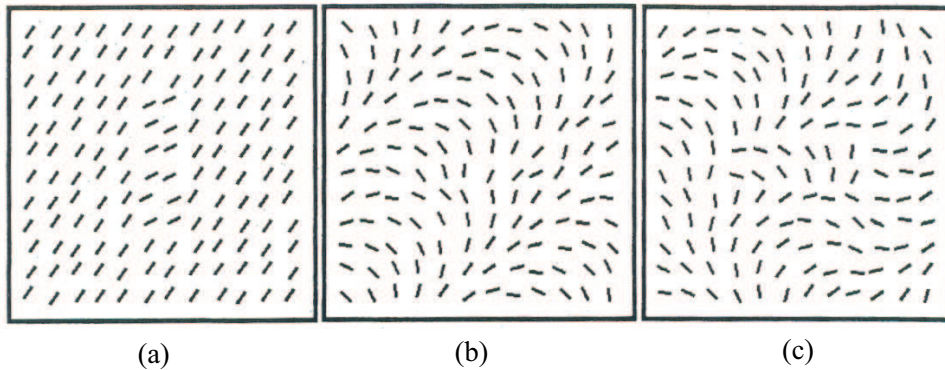
Wie im vorangegangenen Abschnitt dargestellt, gilt ein Element oder auch eine Textur als salient, wenn es bzw. sie bei der Betrachtung einer visuellen Szene unmittelbar entdeckt wird. Die Ergebnisse zur visuellen Suche wurden ursprünglich derart interpretiert, dass es sich bei Salienz um eine dichotome Variable handelt. Entweder ein Zielelement oder eine Textur wird unmittelbar entdeckt oder nicht. Für die unmittelbare Entdeckung müsse das Zielelement einer visuellen Suche ein „spezifisches“ Merkmal aufweisen. Als „spezifisches“ Merkmale wurde z.B. eine senkrechte Linie oder die Farbe Rot angesehen (Treisman & Gormican, 1988; Foster & Ward, 1991). Neuere Studien legen hingegen nahe, dass die Salienz einer Textur oder eines einzelnen Elements einer visuellen Szene nicht von spezifischen Merkmalen abhängig ist, sondern dass es sich um eine stetige Variable handelt, die vor allem durch die folgenden zwei Faktoren bestimmt wird: (a) Durch den lokalen Merkmalskontrast und (b) durch globale Eigenschaften einer visuellen Szene (Nothdurft, 1991, 1992). Unter lokalem Merkmalskontrast ist der Unterschied hinsichtlich eines Merkmals zwischen zwei angrenzenden Elementen zu verstehen. So unterscheidet sich z.B. der Merkmalskontrast in Abb. 3.1 (a) und (b). Die größere Auffälligkeit der abweichenden Linie in Abb. 3.1 (a) erklärt sich nach Nothdurft durch den im Vergleich zur Abb. 3.1 (b) größeren Orientierungskontrast ( $45^\circ$  vs.  $10^\circ$ ).

Mit globalen Eigenschaften einer visuellen Szene ist in erster Linie die Homogenität „ablenkender“ Elemente der visuellen Szene bzgl. des kritischen Merkmals gemeint. Ein Zielelement oder eine Textur ist um so salienter, je einheitlicher die sie umgebenden Elemente sind. So konnte z.B. Nothdurft (1991) zeigen, dass der zur Texturwahrnehmung notwendige Orientierungskontrast vom durchschnittlichen Orientierungskontrast zwischen zwei Elementen eines visuellen Reizes abhängig ist (s. Abb. 3.2). Die Inhomogenität der Elemente einer visuellen Szene bzgl. der Ausprägung eines Merkmals wird in der vorliegenden Arbeit als *Merkmalsjitter* bezeichnet.

Neben diesen Faktoren, dem lokalen Merkmalskontrast und dem Merkmalsjitter, gibt es weitere Faktoren, die die Auffälligkeit einer Textur oder eines einzelnen Elements



### 3 MERKMALSSALIENZ

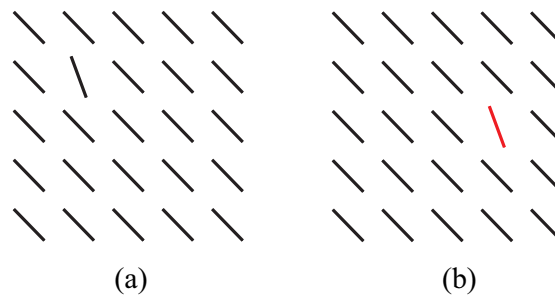


**Abb. 3.2:** Auswirkung von „Hintergrundrauschen“ auf die Salienz einer Texturfigur. Obwohl sich der lokale Orientierungskontrast in (a) und (b) nicht unterscheidet (jeweils  $30^\circ$ ), ist aufgrund des „Hintergrundrauschens“ durch die Orientierungsheterogenität der Elemente in (b) keine Texturfigur (Rechteck) erkennbar. Die Orientierungsheterogenität der Elemente in (c) unterscheidet sich nicht von der in (b), ein waagrecht liegendes Rechteck ist jedoch aufgrund eines erhöhten lokalen Merkmalskontrasts ( $90^\circ$ ) erkennbar. Entscheidend für die Auffälligkeit der Texturfigur ist folglich das Verhältnis von lokalem Merkmalskontrast (Signal) zur Merkmalsshomogenität der Elemente (Hintergrundrauschen) (aus Nothdurft, 1991).

beeinflussen. Zu diesen weiteren Faktoren gehören z.B. die lokale Unsicherheit und die Konjunktion von Elementarmerkmalen. Das Ausmaß der lokalen Unsicherheit wird darüber bestimmt, wie sehr die Position variieren kann, an der der lokale Merkmalskontrast innerhalb eines Reizmusters auftritt. Tritt der lokale Merkmalskontrast immer an der gleichen Stelle auf, gibt es keine lokale Unsicherheit und die Wahrscheinlichkeit auch kleine Merkmalskontraste zu entdecken nimmt zu.

Mit der Konjunktion von Elementarmerkmalen ist gemeint, dass sich eine Textur oder ein einzelnes Element eines Reizmusters bzgl. mehrerer Merkmale von seiner Umgebung unterscheidet. Die Auffälligkeit eines einzelnen Elements oder einer Textur nimmt zu, je größer die Anzahl an Merkmalen ist, hinsichtlich derer sich das einzelne Element oder die Textur von seiner Umgebung unterscheidet. So konnte Nothdurft (1993b) zeigen, dass ein Zielreiz, der sich z.B. nicht nur in der Orientierung, sondern auch in der Farbe von den ihn umgebenden Elementen unterscheidet, zu einer schnelleren Erkennung dieses Zielreizes in der visuellen Suche führt (s. Abb. 3.3). Er behauptet deshalb, dass „Salienz eine Eigenschaft für sich ist, die nicht notwendigerweise mit einzelnen Merkmalen assoziiert ist“ (Nothdurft, 2000). Das bedeutet zum einen, dass die Stärke von Salienzempfindungen skaliert werden kann. Zum anderen bedeutet es, dass Salienz nach Nothdurft unabhängig davon ist, durch welches Merkmal sie erzeugt wird. Salienzen, die durch unterschiedliche Merkmale erzeugt werden, können demnach bzgl. ihrer

### 3 MERKMALSSALIENZ



**Abb. 3.3:** Auswirkung einer Merkmalskonjunktion auf die Merkmalssalienz. (a) Das Target unterscheidet sich nur bzgl. der Orientierung von den Distraktoren. (b) Das Target unterscheidet sich sowohl bzgl. der Orientierung als auch bzgl. der Farbe von den Distraktoren, wodurch die Salienz dieses Targets im Vergleich zu dem Target aus (a) noch größer ist.

Empfindungsstärke miteinander verglichen werden.

Da innerhalb der vorliegenden Arbeit keine Konjunktionen von Elementarmerkmalen untersucht wurden und auch die lokale Unsicherheit in allen experimentellen Vergleichsbedingungen konstant gehalten wurde, hängt die innerhalb der Experimente dieser Arbeit skalierte Salienz einer quadratischen Texturfigur nur von den beiden folgenden Faktoren ab: 1. Vom lokalen Merkmalskontrast, der als einziger Faktor bei der Skalierung variiert wird. 2. Von der Grundsalienz eines Reizmusters.

Durch den lokalen Merkmalskontrast werden zwei aneinander grenzende Texturen erzeugt, von denen diejenige, die die Vordergrundregion des visuellen Reizmusters bildet ein Quadrat darstellt (quadratische Texturfigur). Eine Vergrößerung dieses lokalen Merkmalskontrasts führt zu einer Zunahme der Salienz der quadratischen Texturfigur. Wie das genaue Verhältnis zwischen der Zunahme des lokalen Merkmalskontrasts (physikalische Reizstärke) und der Zunahme der Salienz der quadratischen Texturfigur (Empfindungsstärke) ist, wird über die Skalierung bestimmt. Beeinflusst wird der Zusammenhang zwischen dem lokalen Merkmalskontrast und der Salienz der quadratischen Texturfigur von der Grundsalienz eines Reizmusters.

### 3.3 Grundsalienz eines Reizmusters

Die Salienz eines gesamten Reizmusters ohne die zu skalierende Merkmalssalienz durch systematisch veränderten Merkmalskontrast wird in dieser Arbeit als Grundauffälligkeit bzw. *Grundsalienz* des Reizmusters bezeichnet. Jedes Reizmuster, das noch keine zu skalierende Merkmalssalienz durch systematisch veränderten Merkmalskontrast enthält, hat bereits eine Grundsalienz, von der aus die Skalierung der Merkmalssalienz beginnt. Diese Grundsalienz hängt vor allem von dem (i) Helligkeitskontrast, der

### 3 MERKMALSSALIENZ

(ii) Ortsfrequenz und der (iii) Orientierung der Elemente eines Reizmusters sowie vom (iv) Merkmalsjitter ab.

**Helligkeitskontrast** Dass die Salienz eines Reizmusters vom Helligkeitskontrast der in einem Reizmuster enthaltenen Reizelemente abhängt, ist unmittelbar einleuchtend. Je größer der Helligkeitskontrast zwischen den Elementen eines Reizmusters und ihrer unmittelbaren Umgebung ist, desto größer ist die Auffälligkeit des gesamten Reizmusters. Zur Veranschaulichung sind in Abb. 3.6 (a) auf S. 33 beispielhaft zwei Reizmuster dargestellt. Das erste Reizmuster enthält Gaborreize<sup>7</sup> mit geringem Helligkeitskontrast und das zweite Reizmuster enthält Gaborreize mit hohem Helligkeitskontrast.

**Ortsfrequenz** Die Auffälligkeit verschiedener Ortsfrequenzen bei gleichem Helligkeitskontrast variiert. Dies zeigt sich in Untersuchungen, in denen für verschiedene Ortsfrequenzen von z.B. Sinuswellengittern oder Gaborreizen Absolutschwellen für Helligkeitskontrast bestimmt wurden. In Abhängigkeit von der Ortsfrequenz benötigt man unterschiedlich viel Helligkeitskontrast, um einen Testreiz zu erkennen. Diese Abhängigkeit wird als Kontrastsensitivitätsfunktion bezeichnet. In Abbildung 3.4 ist eine von Blakemore und Campbell (1969) bestimmte Kontrastsensitivitätsfunktion dargestellt. Nach dieser Funktion besteht die größte Empfindlichkeit gegenüber Helligkeitskontrast in einem Ortsfrequenzbereich von 4 bis 7 cycles per degree (cpd).

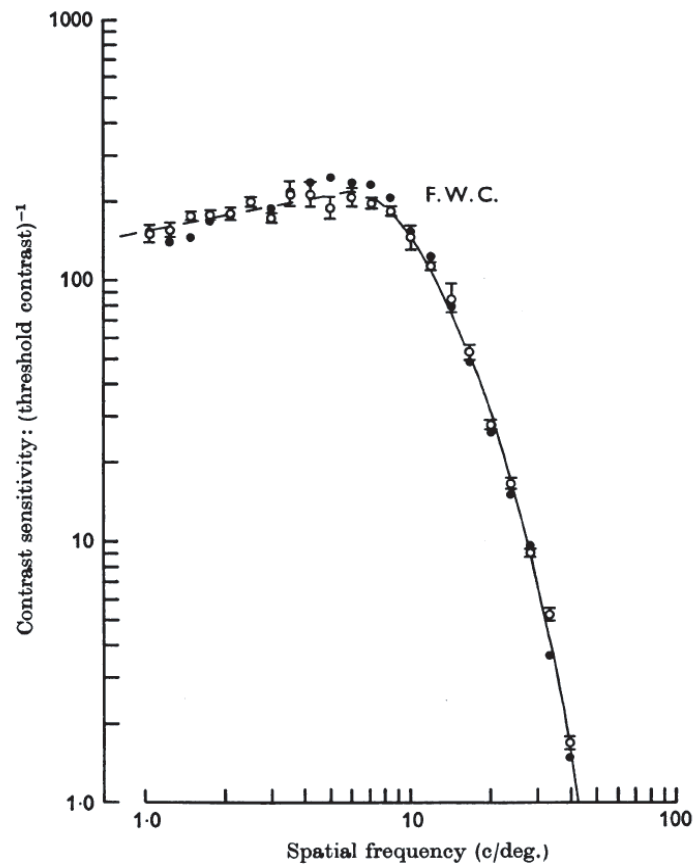
Zur Veranschaulichung der Auswirkung der Ortsfrequenz auf die Grundsalienz eines Reizmusters sind in Abb. 3.6 (b) auf S. 33 beispielhaft zwei Reizmuster mit Gaborreizen abgebildet, die sich in ihrer Ortsfrequenz deutlich unterscheiden.

Elektrophysiologische Ableitungen zeigen, dass einzelne Neurone nur auf eine begrenzte Bandbreite von Ortsfrequenzen antworten (De Valois, Albrecht, & Thorell, 1982). Deshalb geht man davon aus, dass die Kontrastsensitivitätsfunktion durch die summierte Antwort einer begrenzten Anzahl von neuronalen Kanälen zustande kommt, die einzeln nur für eine schmale Bandbreite von Ortsfrequenzen empfindlich sind. Weitere Hinweise auf eine begrenzte Anzahl solcher Ortsfrequenzkanäle liefern u.a. Maskierungsexperimente (z.B. Wilson, McFarlane, & Phillips, 1983) und unterschwellige Summationsexperimente (z.B. Watson, 1982). In Summationsexperimenten wird die Absolutschwelle des Helligkeitskontrasts eines Testreizes verglichen mit der Absolutschwelle des Helligkeitskontrasts dieses Testreizes, wenn er von einem weiteren unterschweligen Reiz überlagert wird. Zeigt sich beim überlagerten Testreiz eine Verringerung des zum Erreichen der Schwelle notwendigen Helligkeitskontrasts, schließt man,

---

<sup>7</sup>Gaborreize bildeten auch die Elemente der visuellen Reizmuster in den Experimenten dieser Arbeit. Worum es sich bei einem Gaborreiz genau handelt, wird deshalb in Kapitel 6.2.3 erläutert.

### 3 MERKMALSSALIENZ

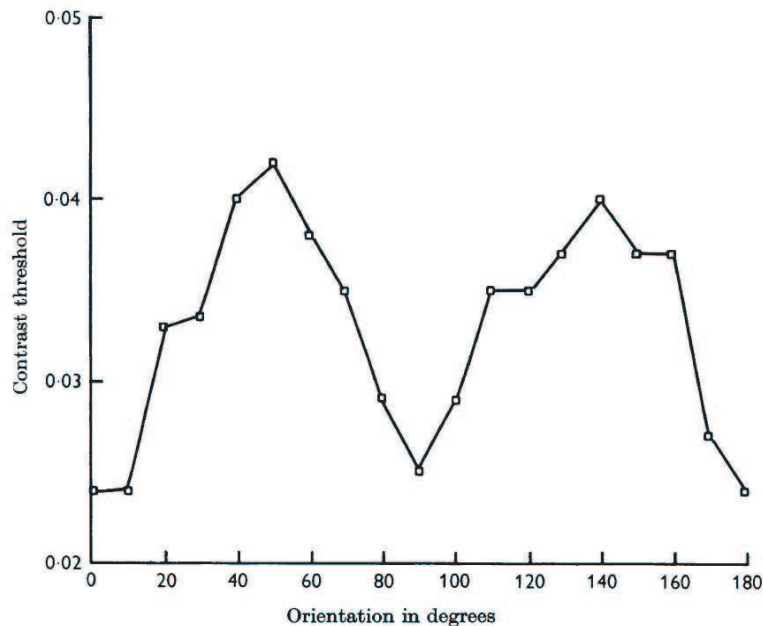


**Abb. 3.4:** Kontrastsensitivitätsfunktion der Versuchsperson F.W.C. aus Blakemore und Campbell (1969). Die Kontrastsensitivität ist in einer frei wählbaren logarithmischen Skala in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz (in cpd) dargestellt. Die offenen Kreise und Streubalken zeigen die Ergebnisse der ersten Schwellenmessungen innerhalb ihrer Studie. Die geschlossenen Kreise sind die Ergebnisse der Schwellenschätzungen am Ende einer Serie von Adaptionsexperimenten.

dass die Ortsfrequenz des Überlagerungsreizes den gleichen Ortsfrequenzkanal stimuliert, der auch durch die Ortsfrequenz des Testreizes stimuliert wird.

Die Methodik der Maskierungsexperimente ist ähnlich, nur dass ein deutlich überschwelliger Reiz als Überlagerungsreiz (Maskierer) verwendet wird. Man untersucht, ob der Maskierer zu einer Schwellenerhöhung bei der Erkennung eines Testreizes führt. Führt die Maskierung zu einer Erhöhung der Schwelle, schließt man analog, dass die Ortsfrequenz des Testreizes und die Ortsfrequenz des Maskierers von dem gleichen Ortsfrequenzkanal verarbeitet werden. Variiert man die Ortsfrequenz des Testreizes innerhalb eines schmalen Ortsfrequenzbandes, so zeigt sich für jede dieser Ortsfrequenzen des Testreizes bei einer spezifischen Ortsfrequenz des Maskierers eine maximale

### 3 MERKMALSSALIENZ



**Abb. 3.5:** Veränderung der Absolutschwelle von Helligkeitskontrast in Abhängigkeit von der Orientierung der „interference fringes“ (25 cpd) bei der Versuchsperson F.W.C. aus Campbell et al. (1966). Bei Thomas Youngs „interference fringes“ wird mit einem Helium-Neon-Laser ein Bild unmittelbar auf die Retina projiziert. Eine genaue Beschreibung dieser Technik befindet sich in Campbell und Green (1965).

Erhöhung der Schwelle. Man nimmt an, dass diese spezifische Ortsfrequenz die zentrale Ortsfrequenz eines Kanals ist, für die dieser am empfindlichsten ist. Wilson et al. (1983) identifizierten über dieses experimentelle Paradigma sechs Ortsfrequenzkanäle innerhalb eines Ortsfrequenzbereichs von 0.25 bis 22 cpd.

**Orientierung** Die Auffälligkeit verschiedener Orientierungen bei gleichem Helligkeitskontrast variiert ebenfalls. Dies zeigt sich in Untersuchungen, in denen für verschiedene Orientierungen von z.B. Sinuswellengittern oder Gaborreizen Absolutschwellen für Helligkeitskontrast bestimmt wurden. In Abhängigkeit von der Orientierung benötigt man unterschiedlich viel Helligkeitskontrast, um einen Testreiz zu erkennen. In Abb. 3.5 ist der Zusammenhang zwischen der Absolutschwelle für Helligkeitskontrast und der Orientierung von „interference fringes“ aus der Studie von Campbell et al. (1966) dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die größte Empfindlichkeit für Helligkeitskontrast bei horizontaler und vertikaler Orientierung der Testreize besteht, denn bei diesen Orientierungen wird am wenigsten Helligkeitskontrast zur Entdeckung des Testreizes benötigt.

### 3 MERKMALSSALIENZ

Zur Veranschaulichung der Auswirkung der Orientierung auf die Grundsalienz eines Reizmusters sind in Abb. 3.6 (c) auf S. 33 beispielhaft zwei Reizmuster mit Gaborreizen abgebildet. Das eine Reizmuster enthält Gaborreize mit horizontaler Orientierung und das andere Reizmuster enthält Gaborreize mit schräger Orientierung. Im Vergleich zu allen anderen hier aufgeführten Faktoren ist die Auswirkung der Orientierung auf die Grundauffälligkeit als gering einzustufen und bei den in der Abbildung dargestellten Reizmustern entsprechend kaum zu erkennen.

Auch beim Merkmal Orientierung geht man davon aus, dass der dargestellte Zusammenhang zwischen der Empfindlichkeit für Helligkeitskontrast und der Orientierung von Testreizen durch die summierte Antwort einer begrenzten Anzahl von neuronalen Kanälen zustande kommt, die einzeln nur für eine schmale Bandbreite von Orientierungen empfindlich sind. Diese Annahme wird wie beim Merkmal Ortsfrequenz durch Maskierungsexperimente gestützt. Wird in diesen Experimenten die Absolutschwelle für Helligkeitskontrast eines Testreizes durch einen Maskierer erhöht, wird daraus geschlossen, dass die Orientierungen von Testreiz und Maskierer den gleichen Orientierungskanal stimulieren (Campbell & Kulikowski, 1966). Hubel und Wiesel (1965) schätzten, dass es mindestens 10 bis 15 Orientierungskanäle gibt, die alle für eine spezifische Bandbreite von Orientierungen sensitiv sind.

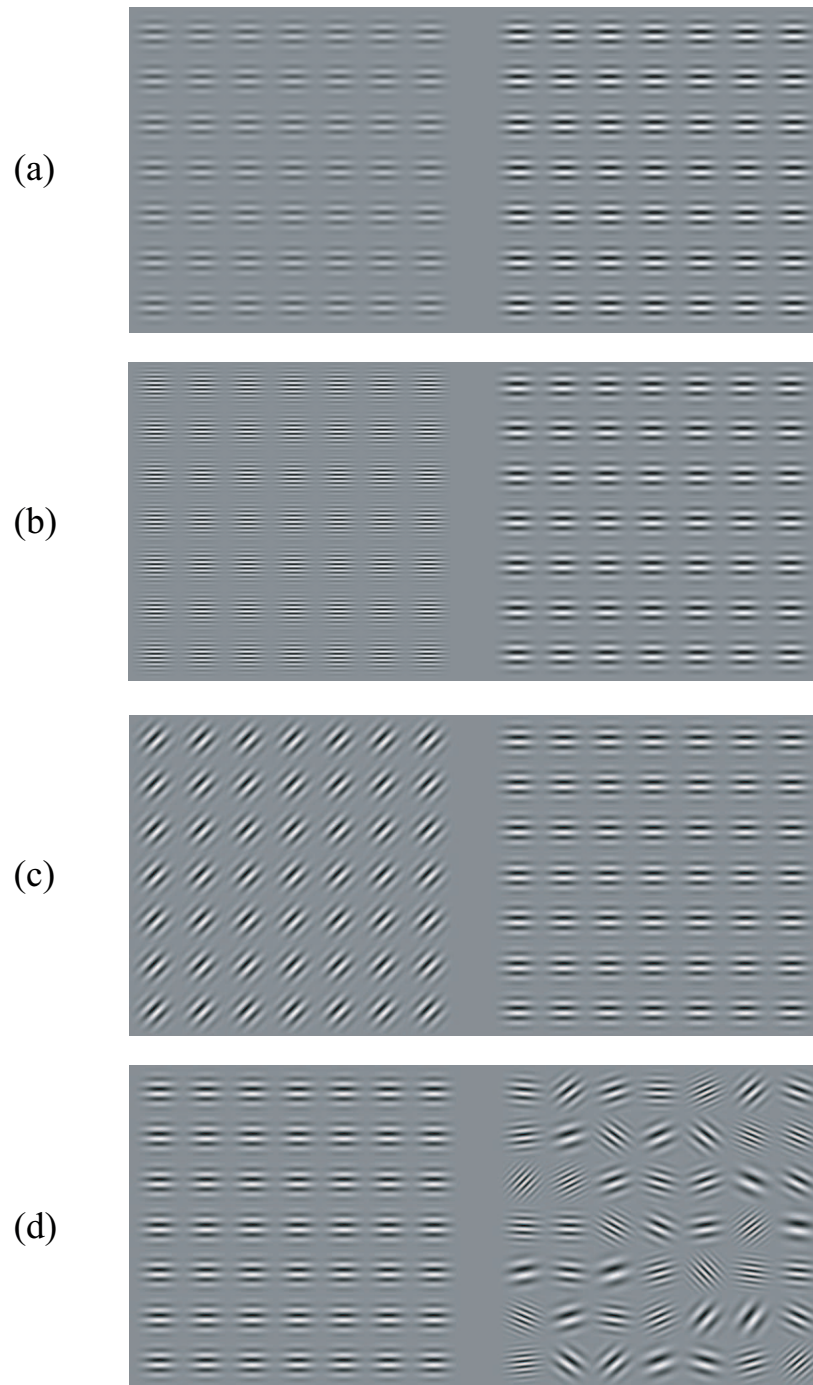
**Merkmalsjitter** Der Begriff Merkmalsjitter wurde im vorangegangenen Abschnitt 3.2 definiert. Er bezeichnet die allgemeine Variation der Elemente eines Reizmusters bzgl. eines Merkmals, wodurch Merkmalskontrast im gesamten Reizmuster entsteht. Dieser Merkmalskontrast erzeugt Salienz im gesamten Reizmuster und erhöht damit die Grundsalienz eines Reizmusters.

Zur Veranschaulichung der Auswirkung des Merkmalsjitters auf die Grundsalienz eines Reizmusters sind in Abb. 3.6 (d) beispielhaft zwei Reizmuster mit Gaborreizen abgebildet, die zum einen gar keine Variation in den Merkmalen Orientierung und Ortsfrequenz und zum anderen eine starke Variation dieser Merkmale aufweisen.

Es ist anzunehmen, dass der Merkmalsjitter neben dem Helligkeitskontrast den größten Einfluss auf das Ausmaß der Grundsalienz eines Reizmusters hat.

Im vorangegangenen Abschnitt wurde gezeigt, dass die Salienz eines konstanten lokalen Merkmalskontrasts (Signal) um so geringer ist, je größer der durchschnittliche Merkmalskontrast zwischen zwei Elementen des visuellen Reizes (Hintergrundrauschen oder Merkmalsjitter) ist. Es wird deshalb allgemein angenommen, dass die Salienz eines konstanten lokalen Merkmalskontrasts um so geringer ist, je größer die Grundsalienz des Reizmusters ist.

### 3 MERKMALSSALIENZ



**Abb. 3.6:** Abhängigkeit der Grundsalienz eines Reizmusters von (a) dem Helligkeitskontrast, (b) der Ortsfrequenz, (c) der Orientierung und (d) dem Merkmalsjitter der Elemente des Reizmusters. Alle Reizmuster auf der rechten Seite weisen im Vergleich zu den jeweils links daneben abgebildeten Reizmustern eine größere Auffälligkeit aufgrund der Ausprägung der entsprechenden Einflussgröße auf.

### 3 MERKMALSSALIENZ

Über das Verhältnis von Signal zu Hintergrundrauschen konnten Rubenstein und Sagi (1990) die von Gurnsey und Browse (1987) gefundenen Asymmetrien in der Auffälligkeit von Texturen erklären. Gurnsey und Browse (1987) stellten fest, dass, wenn zwei Texturen aneinander grenzen, die Auffälligkeit der Textur, die die Vordergrundregion eines Reizmusters darstellt (Vordergrundtextur<sup>8</sup>) sich in Abhängigkeit davon unterscheidet, welche der beiden Texturen die Vordergrundtextur und welche den Hintergrund des Reizmusters darstellt. Rubenstein und Sagi (1990) entwickelten für die Erklärung dieser Asymmetrien ein Filter-Rectifier-Filter-Modell (FRF-Modell)<sup>9</sup>, das das Ausmaß an Hintergrundrauschen bei der Bestimmung der Salienz der Vordergrundtextur berücksichtigt.

Des Weiteren zeigt sich in der Studie von Motoyoshi und Nishida (2001), auf die in Kapitel 4.2 näher eingegangen wird, dass Orientierungsjitter zu einer Erhöhung der Schwellenmessungen von Orientierungskontrast führt. Auch dieses Ergebnis kann derart interpretiert werden, dass die Salienz eines spezifischen Orientierungskontrasts aufgrund der durch Orientierungsjitter erhöhten Grundsalienz des gesamten Reizmusters vermindert wird.

---

<sup>8</sup>In den Experimenten der vorliegenden Arbeit ist die Vordergrundtextur eine quadratische Texturfigur, d.h. die Textur stellt ein Quadrat dar.

<sup>9</sup>Auf Filter-Rectifier-Filter-Modelle wird in Kapitel 5 näher eingegangen.



## 4 Bestimmung einer Salienskala für Merkmalskontrast

In Abschnitt 4.1 dieses Kapitels wird zunächst auf eine zentrale, viel zitierte Studie von Legge und Foley (1980) eingegangen, in der die Autoren auf der Basis ihrer Daten zur psychophysischen Kontrastmaskierung ein Modell der Helligkeitskontrastverarbeitung entwickeln. Wie in allen Modellen, die in der Literatur zur visuellen Informationsverarbeitung zu finden sind, wird auch bei diesem Modell davon ausgegangen, dass die visuellen Eingangssignale entlang diverser, paralleler Pfade nacheinander verschiedene Verarbeitungsstufen durchlaufen. Generell kann man sagen, dass die Verarbeitung visueller Signale in der Retina beginnt und dann über das Corpus geniculatum laterale (CGL) hin zum visuellen Kortex verläuft. Für die Verarbeitung von Merkmalskontrast sind erst die kortikalen Verarbeitungsstufen von entscheidender Bedeutung, weshalb alle diesbezüglich entwickelten Modelle auf dieser Ebene beginnen. Aus dem Modell der Helligkeitskontrastverarbeitung von Legge und Foley (1980) ist der nichtlineare Umformer für die vorliegende Arbeit von zentraler Bedeutung. Auf diesen wird deshalb in Abschnitt 4.1.1 näher eingegangen.

In Abschnitt 4.2 wird die Methode zur Konstruktion einer Salienskala für Merkmalskontrast beschrieben, wie sie in den Experimenten dieser Arbeit durchgeführt wurde. Dazu wird Bezug auf eine Studie von Motoyoshi und Nishida (2001) genommen, die diese Form der Skalierung, die innerhalb der vorliegenden Arbeit als *Differenzskalierungsmethode* bezeichnet wird, erstmals für die Verarbeitung von Merkmalskontrast (Orientierungskontrast) verwendeten. Im anschließenden Abschnitt 4.3 werden die wesentlichen Unterschiede zwischen der indirekten Differenzskalierungsmethode und der indirekten Skalierungsmethode Fechners erläutert.

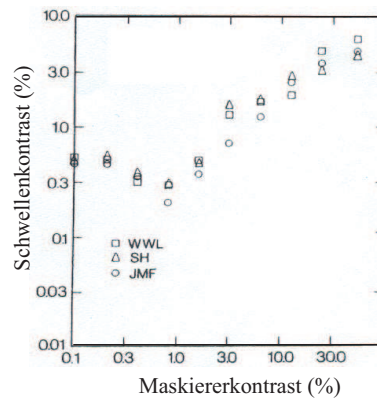
Am Ende des Kapitels wird in Abschnitt 4.4 die von Motoyoshi und Nishida (2001) unter spezifischen Reizkonstellationen gefundene Sättigung der internen Antwortfunktion (Saliensfunktion) dargestellt.

### 4.1 Ein Modell der Helligkeitskontrastverarbeitung

Legge und Foley (1980) erstellten ein Modell der Helligkeitskontrastverarbeitung auf der Basis der von ihnen gewonnenen Ergebnisse zur psychophysischen Kontrastmaskierung.

Der Begriff Maskierung verweist gewöhnlich auf eine störende Interaktion bzw. Interferenz zwischen zwei in räumlicher oder zeitlicher Nähe flüchtig präsentierten Reizen. Die Untersuchung von Legge und Foley beschäftigt sich mit der Auswirkung eines Reizes, des Maskierers, auf die Erkennung eines zweiten Reizes, des Targets, wenn beide Reize in räumlicher und zeitlicher Übereinstimmung, also überlagert dargeboten

#### 4 BESTIMMUNG EINER SALIENZSKALA FÜR MERKMALSKONTRAST

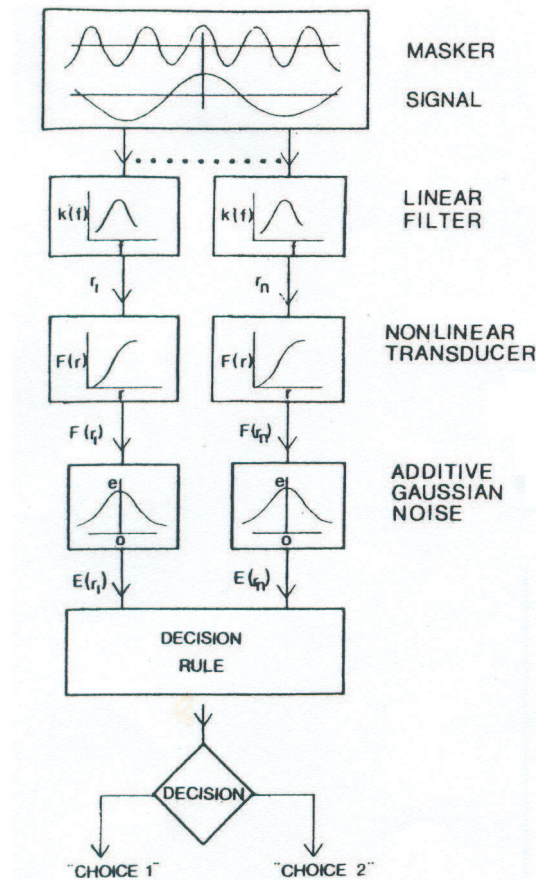


**Abb. 4.1:** Typische von Legge und Foley (1980) gefundene Beziehung zwischen Maskiererkontrast und dem zur Erkennung des Targets notwendigen Helligkeitskontrast des Targets (Schwellenkontrast). WWL, SH und JMF sind Kürzel von Personen, die an der Untersuchung teilgenommen haben.

werden. Zur Bestimmung der Auswirkung des Maskierers verwendeten sie eine Two-Alternative-Forced-Choice-Methode. Ein präsentierter Reiz bestand aus der Überlagerung von Maskierer und Target, der andere Reiz bestand allein aus dem Maskierer. Die Aufgabe der Probanden war es zu entscheiden, ob der erste oder der zweite Reiz das Target enthielt. Ermittelt wurden Helligkeitskontrastschwellen des Targets für verschieden große Maskiererkontraste. Das bedeutet, dass für verschieden große Helligkeitskontraste des Maskierers der zur Erkennung des Targets notwendige Helligkeitskontrast des Targets bestimmt wurde. Die Messung der Helligkeitskontrastschwelle für einen Maskiererkontrast von null war die Baselinemessung. Bei den verwendeten Reizen handelte es sich um Sinuswellengitter. Die Abhängigkeit der Helligkeitskontrastschwelle des Targets vom Helligkeitskontrast des Maskierers wurde für unterschiedliche Ortsfrequenzen des Maskierers erhoben. Die im folgenden geschilderten Effekte des Maskierers waren am stärksten, wenn die Ortsfrequenz des Maskierers mit der Ortsfrequenz des Targets übereinstimmte.

Bei geringem Helligkeitskontrast des Maskierers führte der Maskierer zu einer besseren Erkennbarkeit des Targets, d.h. die Größe des zur Erkennung des Targets notwendigen Helligkeitskontrasts war bei geringem Helligkeitskontrast des Maskierers kleiner als bei der Baselinemessung. Dieser Effekt wird als negative Maskierung, Erleichterung oder Podesteffekt (pedestal effect) bezeichnet. Ab einer bestimmten Kontraststärke kehrte sich der Effekt um, d.h. die Erkennung des Targets wurde durch den Maskierer erschwert, der zur Erkennung des Targets notwendige Helligkeitskontrast des Targets stieg stark an. Abb. 4.1 zeigt beispielhaft den gefundenen Zusammenhang zwischen Maskiererkontrast und der Helligkeitskontrastschwelle des Targets. Diese Diskriminations-

#### 4 BESTIMMUNG EINER SALIENZSKALA FÜR MERKMALSKONTRAST



**Abb. 4.2:** Schematische Repräsentation des Helligkeitskontrastverarbeitungsmodells von Legge und Foley (1980).

schwellen-Funktion wird aufgrund ihrer Verlaufsform auch häufig als „Dipperfunktion“ bezeichnet.

Das von Legge und Foley entwickelte Modell der Helligkeitskontrastverarbeitung ist in der Lage diese Ergebnisse vorherzusagen. Dem Modell nach ist die Erkennung des Targets durch räumlich lokalisierte Detektoren möglich. Die Antwort jedes Detektors auf einen der beiden Reize wird nach ihrer Auffassung durch drei aufeinander folgende Prozesse bestimmt. (I) Zunächst wird angenommen, dass ein Reizsignal durch einen linearen Filter geht. (II) Der Output des linearen Filters wird einer nichtlinearen Transformation unterzogen und (III) schließlich wird Gaußsches Rauschen addiert. Ob sich der Proband dann für den ersten oder den zweiten Reiz in der von ihnen verwendeten Two-Alternative-Forced-Choice-Methode entscheidet, wird durch eine Entscheidungsregel definiert. Diese legt fest, wie die Antworten der Detektoren kombiniert werden und nach welchem Kriterium die Entscheidung zu Gunsten des ersten oder zweiten Reizes ausfällt. Eine schematische Repräsentation des Modells zeigt Abb. 4.2.

Kritisch zur Vorhersage des negativen Maskierungseffekts und der ab einem bestimmten Helligkeitskontrast des Maskierers auftretenden erschwerten Entdeckung des Targets („positiver Maskierungseffekt“) ist die angenommene nichtlineare Transformation.

#### 4.1.1 Nichtlinearer Umformer

Der nichtlineare Umformer im Modell von Legge und Foley hat die folgende Form:

$$F(r) = \frac{a_1 |r|^{2.4}}{|r|^2 + a_2^2}, \quad (4.1)$$

wobei  $r$  der Input des nichtlinearen Umformers ist,  $a_1$  und  $a_2$  sind Konstanten. Wird nur der Maskierer präsentiert, hängt der Input davon ab, wie empfindlich der vorgeschaltete lineare Filter für die Ortsfrequenz des Maskierers ist und wie stark der Helligkeitskontrast des Maskierers ist. Werden Target und Maskierer überlagert dargeboten, bestimmt sich der Input darüber, wie empfindlich der vorgeschaltete lineare Filter für die Ortsfrequenz des Maskierers und des Targets ist und wie stark der Helligkeitskontrast des Maskierers und des Targets ist. Betrachtet man nur den nichtlinearen Umformer, der Input von dem linearen Filter erhält, der für die Ortsfrequenz des Maskierers bzw. die Ortsfrequenz des Maskierers und des Targets am empfindlichsten ist, hängt die Stärke des Inputs dieses nichtlinearen Umformers allein von der Stärke des Helligkeitskontrasts des Maskierers bzw. des Helligkeitskontrasts des Maskierers und des Targets ab.

Für geringe Helligkeitskontraste und damit kleine Inputs  $|r| \ll a_2$  reduziert sich die Funktion (4.1) zu  $F(r) = \frac{a_1}{a_2^2} |r|^{2.4}$ . Diese Funktion entspricht der Form einer Potenzfunktion  $P(x) = ax^n$ . Sie ist für  $n > 1$  positiv beschleunigt und bewirkt eine starke Erhöhung des Eingangssignals. Mit zunehmendem Input ist folglich für eine konstante Erhöhung des nichtlinearen Outputs ein immer geringerer Input notwendig. Für große Helligkeitskontraste und damit große Inputs  $|r| \gg a_2$ , nimmt die Funktion (4.1) die Form  $F(r) = a_1 |r|^{0.4}$  an und entspricht somit einer Wurzelfunktion. Diese ist negativ beschleunigt, saturiert aber nicht. Das bedeutet, dass das Eingangssignal gedämpft wird, der Output wächst aber mit steigendem Input stetig an.

Durch die Funktion (4.1) ist es somit möglich, sowohl den negativen Maskierungseffekt als auch die durch den Maskierer erschwerte Entdeckung des Targets bei großen Helligkeitskontrasten des Maskierers vorherzusagen.

Legge und Foley nahmen an, dass sich hinter dem beschleunigenden und dem dämpfenden Anteil des nichtlinearen Umformers zwei verschiedene Mechanismen verbergen könnten. In ihrer Studie von 1981 schlagen sie vor, dass der beschleunigende Anteil des nichtlinearen Umformers das Resultat eines Schwellenprozesses sein könnte, der von

der Addition Gaußschen Rauschens gefolgt wird. Der dämpfende Anteil könnte ihrer Ansicht nach die Dämpfung von Signalen mit hoher Amplitude bei deren Übertragung entlang des visuellen Verarbeitungspfades widerspiegeln (Foley & Legge, 1981).

## 4.2 Differenzskalierung von Merkmalssalienz

Motoyoshi und Nishida (2001) bestimmten für Orientierungskontrast die Absolutschwelle sowie mehrere Unterschiedsschwellen und erstellten auf der Basis dieser Messdaten eine interne Antwortfunktion (Salienzfunktion) für Orientierungskontrast. Dazu verwendeten sie eine Gleichung des Naka-Rushton-Typs, die eine hohe Ähnlichkeit mit dem nichtlinearen Umformer des Legge-Foley-Modells aufweist:

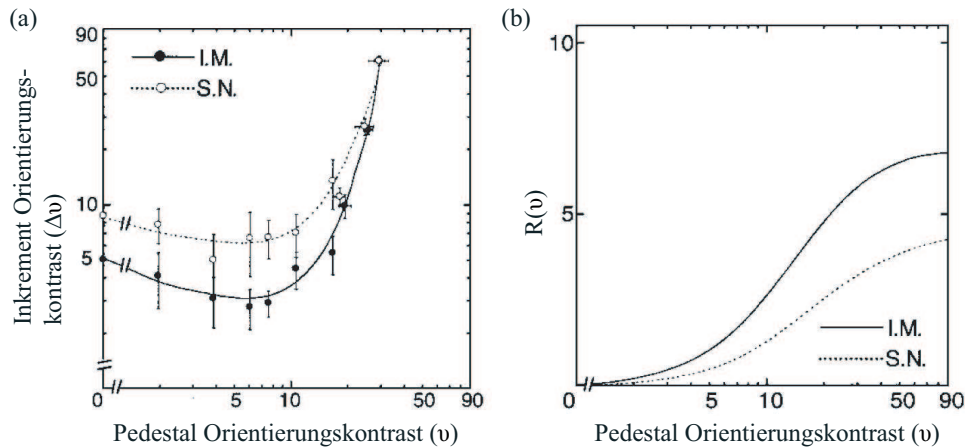
$$R(x) = A \frac{x^p}{x^q + Z} \quad (4.2)$$

(vgl. mit Gleichung (4.1)). Der wesentliche Unterschied zum nichtlinearen Umformer des Legge-Foley-Modells liegt darin, dass die Exponenten  $p$  und  $q$  beliebige Werte annehmen können, wodurch die Funktion flexibler wird und folglich eine größere Menge an Daten beschreiben kann.

In Abb. 4.3 (a) sind die Ergebnisse der Absolut- und Unterschiedsschwellenmessungen zu sehen. Auf der Abszisse ist der Orientierungskontrast  $v$  des Referenzreizes einer Schwellenmessung abgetragen. Der Merkmalskontrast des Referenzreizes wird als *Pedestal* bezeichnet. Bei der Absolutschwelle ist das Pedestal null. Auf der Ordinate ist der zur Diskrimination von Referenzreiz und Vergleichsreiz notwendige Unterschied im Orientierungskontrast  $\Delta v$  angegeben. Dieser zur Diskrimination von Referenzreiz und Vergleichsreiz notwendige Unterschied im Merkmalskontrast, der über eine Schwellenmessung für ein Pedestal bestimmt wird, wird als *Inkrement* bezeichnet. Die Funktion in Abb. 4.3 (a), die die Abhängigkeit von Inkrement und Pedestal beschreibt, wird in der gesamten vorliegenden Arbeit als *Diskriminationsschwellen-Funktion* bezeichnet. Sie zeigt, wie gut die Messdaten der Schwellenmessungen aus der über diese Messdaten bestimmten internen Antwortfunktion (s. Abb. 4.3 (b)) vorhergesagt werden können. Wie aus den Ergebnissen aller Schwellenmessungen einer Versuchsperson (Datenpunkte einer Versuchsperson in Abb. 4.3 (a)) die in Abb. 4.3 (b) dargestellte interne Antwortfunktion (Salienzfunktion) dieser Versuchsperson bestimmt wurde, wird im folgenden Abschnitt 4.2.1 erläutert.

Zuvor sei noch angemerkt, dass die Diskriminationsschwellen-Funktion für Orientierungskontrast genau wie die Diskriminationsschwellen-Funktion für Helligkeitskontrast von Legge und Foley eine „Dipperfunktion“ ist, d.h. es zeigt sich mit von null an größer werdendem Pedestal zunächst eine Abnahme („negativer Maskierungseffekt“) und dann

#### 4 BESTIMMUNG EINER SALIENZSKALA FÜR MERKMALSKONTRAST



**Abb. 4.3:** (a) Diskriminationsschwellen-Funktion von Motoyoshi und Nishida (2001). I.M. und S.N. sind die Namenskürzel der Autoren, die gleichzeitig als Versuchspersonen fungierten. Die eingezeichneten Datenpunkte sind die Ergebnisse der Schwellenmessungen. Die Funktion, die die Datenpunkte beschreibt, wird aus der in (b) dargestellten internen Antwortfunktion (Salienzfunktion) abgeleitet. Diese wird zunächst aus den Messdaten der Schwellenmessungen konstruiert. Weitere Erläuterungen siehe Text.

eine deutliche Zunahme des Inkrements („positiver Maskierungseffekt“; vgl. Abb. 4.1 mit Abb. 4.3 (a)).

##### 4.2.1 Bestimmung der internen Antwortfunktion

Zur Bestimmung der internen Antwortfunktion  $R(v)$  aus den in Abb. 4.3 (a) dargestellten Messdaten der Schwellenmessungen machten die Autoren folgende Annahme: Zwei Texturreize können dann unterschieden werden, wenn die Differenz der durch sie ausgelösten internen Reizantworten einen konstanten Wert überschreitet. Diese Annahme impliziert, dass die Annahme Fechners, dass der eben merkliche Unterschied zwischen zwei Reizintensitäten einer subjektiv gleichen Zunahme der Empfindungsstärke unabhängig von der absoluten Reizintensität der beiden Reize entspricht, korrekt ist. Den konstanten Wert haben die Autoren als die Zahl 1 festgelegt. Es gilt also:

$$R(v + \Delta v) - R(v) = c, \quad (4.3)$$

mit  $c = 1$ . Die Parameter  $A$ ,  $p$ ,  $q$  und  $Z$  der Funktion  $R$  (s. Gleichung (4.2)) wurden unter Berücksichtigung dieses Kriteriums und aller über die Schwellenmessungen bestimmten Messwertpaare (Pedestal  $v$  und Inkrement  $\Delta v$ ) geschätzt. Bei dieser Vorgehensweise handelt es sich um eine indirekte Skalierung der Salienz des Orientierungskontrasts. Die interne Antwortfunktion  $R(v)$  gibt in der Einheit  $c$  das Ausmaß

der Salienz eines Orientierungskontrasts an. Da die Einheit  $c$  über den eben merklichen Unterschied zwischen zwei Reizintensitäten (just noticeable difference (jnd)) definiert wird, wird jnd als Bezeichnung für die Einheit der Skala verwendet. Die skalierte Salienz kann folglich in jnd angegeben werden. Die hier geschilderte Vorgehensweise zur Skalierung der Merkmalssalienz wird in dieser Arbeit als *Differenzskalierungsmethode* bezeichnet.

### 4.3 Wesentliche Unterschiede zur indirekten Skalierungsmethode Fechners

Die Differenzskalierungsmethode unterscheidet sich in zwei wesentlichen Punkten von der indirekten Skalierungsmethode Fechners.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden indirekten Skalierungsmethoden ist, dass die hier vorgestellte Differenzskalierungsmethode im Gegensatz zur indirekten Skalierungsmethode Fechners nicht auf die Gültigkeit von Webers Gesetz angewiesen ist. Die Differenzskalierungsmethode kann dadurch für eine größere Anzahl von Reizkontinua und Reizbedingungen zur Konstruktion einer Skala der Empfindungsstärke genutzt werden (vgl. Kapitel 2.3.1).

Der zweite wesentliche Unterschied zwischen den beiden indirekten Skalierungsmethoden liegt in der Definition des Nullpunktes der jeweiligen Skala der Empfindungsstärke. Fechner verwendet die Absolutschwelle als Nullpunkt seiner Skala. Die Messung der Absolutschwelle z.B. über den 75%-Punkt der über eine Two-Alternative-Forced-Choice-Methode bestimmten psychometrischen Funktion (s. Kapitel 2.1.1.2) führt jedoch zur Bestimmung einer Reizintensität, die zu bestimmten Zeitpunkten eine Empfindung auslöst. Es ist deshalb nicht sinnvoll eine über die bekannten Messverfahren, wie z.B. die Konstanzmethode oder die Herstellungsmethode, bestimmte Absolutschwelle als Nullpunkt der Skala der Empfindungsstärke zu definieren (s. Kapitel 2.3.1).

Bei der vorgestellten Differenzskalierungsmethode wird hingegen der Nullpunkt der Skala der Empfindungsstärke gleich dem Nullpunkt der physikalischen Reizstärke und eine über die bekannten Verfahren gemessene Absolutschwelle wird gleich dem festgelegten konstanten Wert, d.h. gleich dem ersten jnd gesetzt.

Den Nullpunkt der Skala gleich dem Nullpunkt der physikalischen Reizstärke zu definieren ist deshalb sinnvoll, weil nur bei keiner Reizintensität auch definitiv keine Empfindung ausgelöst wird. Die Setzung einer über die bekannten Verfahren gemessenen Absolutschwelle gleich dem ersten jnd ist die logische Konsequenz daraus, denn für die Messung der Absolutschwelle wird das gleiche Schwellenkriterium (z.B. der 75%-

#### 4 BESTIMMUNG EINER SALIENZSKALA FÜR MERKMALSKONTRAST

Punkt einer über eine Two-Alternative-Forced-Choice-Methode bestimmten psychometrischen Funktion) verwendet, wie bei allen Unterschiedsschwellenmessungen, d.h. die Reizintensität der Absolutschwelle kann mit der gleichen Wahrscheinlichkeit von der Reizintensität von null unterschieden werden, wie die Reizintensität einer Unterschiedsschwelle von der Reizintensität des entsprechenden Referenzreizes. Grundsätzlich kann man sagen, dass die Messung einer Absolutschwelle nichts anderes bezeichnet als die Messung einer Unterschiedsschwelle für eine Referenzreizintensität von null.

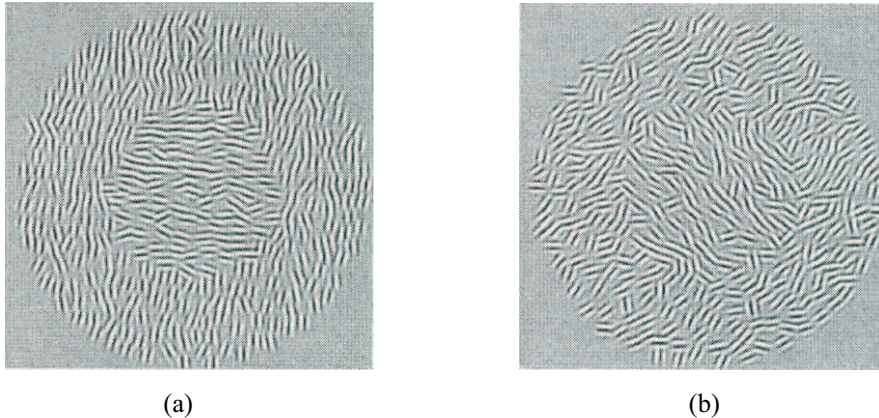
In der Definition des Nullpunktes einer Skala der Empfindungsstärke stimmt die Differenzskalierungsmethode mit den direkten Einschätzungsmethoden von Stevens überein. Wie in Kapitel 2.3.2 erläutert, kann jedoch die ursprüngliche Potenzfunktion von Stevens häufig Messdaten im Bereich der Absolutschwelle nicht exakt beschreiben. Die Ergebnisse von Motoyoshi und Nishida (2001) zeigen, dass durch die Verwendung der Funktion des Naka-Rushton-Typs für die Differenzskalierung die von ihnen bestimmten Messdaten im Bereich der Absolutschwelle hingegen sehr gut beschrieben werden können (s. Abb. 4.3 (a)). Dass die Funktion des Naka-Rushton-Typs dazu in der Lage ist, liegt am Verlauf der Naka-Rushton-Funktion vom Nullpunkt bis hin zur Absolutschwelle. In diesem Bereich niedriger Reizintensitäten konvergiert die Naka-Rushton-Funktion gegen null, d.h. niedrige Reizintensitäten korrespondieren zu einem Skalenwert von ungefähr null. Erst bei der Annäherung an die Absolutschwelle beschleunigt die Funktion, so dass entsprechend Reizintensitäten in diesem Intensitätsbereich zu einem Skalenwert größer null korrespondieren (s. Abb. 4.3 (b)). Da auch unterhalb einer über die bekannten Verfahren gemessenen Absolutschwelle bereits zu bestimmten Zeitpunkten Reizempfindungen ausgelöst werden können (s. Kapitel 2.1.1.1), ist in diesem Bereich der physikalischen Reizintensität die Zuordnung von Reizintensitäten zu Skalenwerten größer null absolut sinnvoll. Das Verhalten einer über die Differenzskalierungsmethode bestimmten Skala der Empfindungsstärke im Wertebereich von null bis eins kann folglich als adäquat bezeichnet werden.

#### 4.4 Saturation der Salienzskala

Motoyoshi und Nishida (2001) erhoben die Absolutschwelle und Unterschiedsschwellen zur Bestimmung der internen Antwortfunktion auf Orientierungskontrast für verschiedene Reizmuster. Bei einem Reizmuster, das bei hohem Merkmalskontrast zur Wahrnehmung getrennter Oberflächen führt (s. Abb. 4.4 (a)), zeigte sich eine klare Sättigung der internen Antwortfunktion. Der Orientierungskontrast, ab dem die Sättigung einsetzte, lag bei  $30^\circ$  und damit deutlich oberhalb der Absolutschwelle. Die Modulation des Reizmusters durch Orientierungsjitter (s. Abb. 4.4 (b); vgl. auch mit Abschnitt 3.2)



#### 4 BESTIMMUNG EINER SALIENZSKALA FÜR MERKMALSKONTRAST



**Abb. 4.4:** Von Motoyoshi und Nishida (2001) verwendete Reizmuster. (a) Reizmuster mit hohem Orientierungskontrast und minimalem Orientierungsjitter. (b) Reizmuster mit hohem Orientierungskontrast und starkem Orientierungsjitter. Die Texturfigur (Scheibe) im linken Reizmuster ist aufgrund des geringeren Orientierungsjitters deutlich besser zu erkennen.

führte zu einer Erhöhung des „Sättigungskontrasts“. Durch weitere Modulationen des Ausgangsreizmusters stellten die Autoren fest, dass die Sättigung weder ausschließlich über den lokalen Orientierungskontrast noch ausschließlich über die Wahrnehmung einer Texturkante erklärt werden kann. Nach Auffassung der Autoren müssen folglich globale Eigenschaften des visuellen Reizmusters für die Sättigung verantwortlich sein. Sie nehmen an, dass die Wahrnehmung getrennter Oberflächen zu einer Abschwächung der internen Antwort auf den Orientierungskontrast und damit zu einer Saturation der von ihnen bestimmten Salienzfunktionen führt. Nach Meinung der Autoren könnte die Abschwächung der internen Antwort folgende Ursache haben: Wenn der Orientierungskontrast bereits eine Stärke erreicht hat, bei dem die Elemente einer visuellen Szene eindeutig unterschiedlichen Oberflächen zugeordnet werden können, bringt die weitere Erhöhung des Orientierungskontrasts keine qualitativ neue Information und wird folglich nicht durch das visuelle Informationsverarbeitungssystem verstärkt. Diese Hypothese der Autoren wird in Experiment 4 dieser Arbeit geprüft.

## 5 Texturtrennung

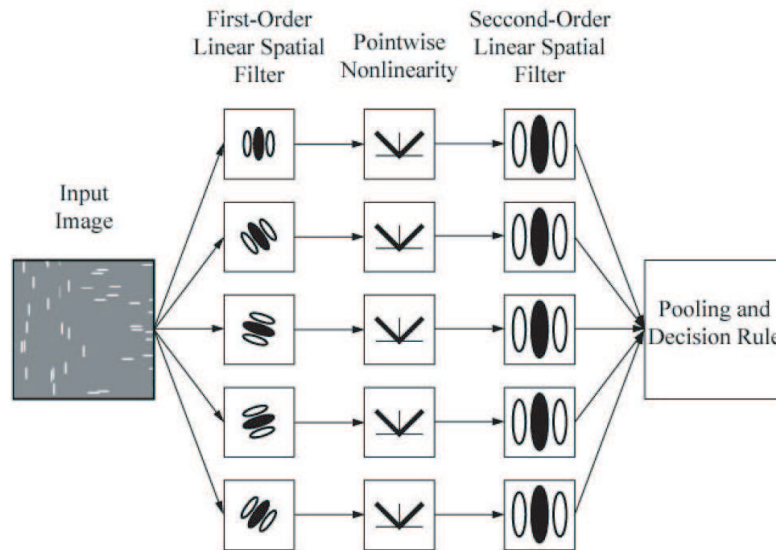
Die von Motoyoshi und Nishida (2001) verwendeten Reizmuster ähneln den in dieser Arbeit verwendeten Reizmustern. Das entscheidende Charakteristikum daran ist die Erzeugung von zwei getrennten Texturen durch Merkmalskontrast. Solche Reizmuster werden im Folgenden einfach als *Texturreizmuster* bezeichnet. Motoyoshi und Nishida sind in ihrer Arbeit nicht auf die vollständige Verarbeitung ihrer Texturreizmuster eingegangen, sondern haben lediglich den entscheidenden Prozess der visuellen Informationsverarbeitung für die Skalierung verwendet, nämlich die, abhängig von der Stärke des Merkmalskontrasts, nichtlineare Umformung der Antwortsignale. Für die Erklärung und Interpretation ihrer Ergebnisse war das ausreichend.

In der Literatur ist jedoch eine Klasse von Modellen zu finden, die alle für die Wahrnehmung von getrennten Texturen als relevant angenommenen Verarbeitungsstufen in Form von mathematischen Funktionen enthalten. Durch computergestützte Modellsimulationen wird geprüft, inwiefern das jeweilige Modell die experimentell bestimmten Messdaten vorhersagen kann. Je nach Ergebnis können entsprechende Schlussfolgerungen über die Verarbeitungsstufen des visuellen Systems getroffen werden. Die Klasse von Modellen, die die Wahrnehmung getrennter Texturen über räumliche Merkmalsvariation erklären, werden in der Literatur als *Filter-Rectifier-Filter-Modelle* (FRF-Modelle) bezeichnet (Landy & Oruc, 2002; Landy & Bergen, 1991; Sagi, 1991, 1995; Meinhardt & Persike, submitted; Rubenstein & Sagi, 1990; Malik & Perona, 1990; Fogel & Sagi, 1989). Diese Modelle gehen alle von drei aufeinander folgenden Verarbeitungsstufen aus. Auf der ersten Stufe stehen lineare Filter, die jeweils für eine spezifische Bandbreite an Orientierungen und Ortsfrequenzen sensitiv sind. Auf der zweiten Stufe werden die Antworten der primären linearen Filter nichtlinear transformiert. Das Ergebnis dieser beiden Filterstufen ist eine große Anzahl von Filterkarten, die alle die lokalen Energieveränderungen innerhalb eines spezifischen Orientierungs- und Ortsfrequenzbandes anzeigen. Auf der letzten Stufe wird jede Filterkarte durch einen global wirkenden linearen Filter weiterverarbeitet. Zur Entdeckung der Texturkante werden zunächst die von dieser Verarbeitungsstufe resultierenden Energiewerte über den Raum integriert, wodurch eine Messung der „Textur Energie“ vorliegt. Im Anschluss daran entsteht durch lokale Hemmung von benachbarten Filtern des gleichen Typs<sup>10</sup> an den Positionen die höchste Energie, an denen die Texturkante vorliegt. In einem weiteren Schritt werden alle orientierungs- und ortsfrequenzspezifischen Karten zu einer Masterkarte (Mastermap) kombiniert. Am Ende muss auf der Basis dieser Masterkarte eine

---

<sup>10</sup>Damit sind Filter gemeint, die für die gleiche Bandbreite an Orientierungen und Ortsfrequenzen sensitiv sind.

## 5 TEXTURTRENNUNG



**Abb. 5.1:** Schematische Darstellung eines Filter-Rectifier-Filter-Modells aus Landy und Graham (2002). Erläuterungen siehe Text.

Entscheidung getroffen werden, ob getrennte Texturen vorliegen oder nicht. In Abb. 5.1 sind die einzelnen Stufen eines solchen FRF-Modells schematisch dargestellt. Die meisten Autoren gehen davon aus, dass die sog. „simple Cells“ im visuellen Cortex die neuronalen Substrate der primären linearen Filter darstellen. Über die neuronalen Substrate der weiteren in den Modellen angenommenen Verarbeitungsstufen kann hingegen bisher nur gemutmaßt werden.

Der entscheidende Prozess der Entdeckung einer Texturkante in den FRF-Modellen ist ein lokaler Prozess. Diese Klasse von Modellen unterscheidet sich damit von früheren Modellen zur Texturtrennung. So definierte z.B. Julesz (1962) das Problem der Texturtrennung über Unterschiede in den Bildstatistiken, d.h. er nutzte globale Prozesse um die menschliche Leistung bei Aufgaben der Texturtrennung zu erklären.

Eng verwandt mit den FRF-Modellen sind Modelle, die die Wahrnehmung getrennter Texturen erklären, die hinsichtlich ihres Fourier-Amplitudenspektrums sehr ähnlich sind (Graham, Beck, & Sutter, 1992; Graham & Sutter, 1998; Graham & Wolfson, 2001; Lin & Wilson, 1996; Victor & Conte, 1996). Die von diesen Modellen beschriebenen Verarbeitungsprozesse werden häufig als komplexe Kanäle, non-Fourier Mechanismen, second-order Mechanismen oder auch als Kollektor Einheiten bezeichnet. Wie bei den FRF-Modellen werden bei den komplexen Kanälen zwei lineare Filterstufen angenommen, zwischen die ein nichtlinear Umformer geschaltet ist. Der zweite lineare Filter

reagiert auch hier im Vergleich zu den Filtern der ersten Verarbeitungsstufe auf deutlich tiefere Ortsfrequenzen und wirkt dadurch global auf den nichtlinear transformierten Output der primären linearen Filter. Den wesentlichsten Unterschied zu den FRF-Modellen sehen Graham und Sutter (1998) in der Funktionsweise der nichtlinearen Verarbeitungsstufe.

In Kapitel 11 wird geprüft, inwieweit die experimentellen Ergebnisse der Differenzskalierung von Merkmals-salienz der vorliegenden Arbeit mit einem FRF-Modell erklärt werden können. Die Prüfung wird mit dem von Meinhardt und Persike (submitted) verwendeten FRF-Modell durchgeführt. Das von ihnen verwendete Modell wird deshalb in Abschnitt 5.2 dieses Kapitels vorgestellt.

In Abschnitt 5.1 wird zuvor ausführlicher auf die Untersuchung von Olzak und Thomas (1999) eingegangen. Die Autoren erklären die Ergebnisse ihrer mit komplexen Gaborreizen<sup>11</sup> durchgeführten Merkmalssumimationsexperimente über zwei Gruppen von Summationsmechanismen höherer Ordnung. Der eine Mechanismus beinhaltet die Summierung normalisierter Antworten von primären linearen Filtern über ganz verschiedene Ortsfrequenzen, aber gleiche Orientierung. Dieser Mechanismus gibt nach Auffassung der Autoren Informationen über die Orientierung von z.B. Ecken oder Kanten eines Reizes. Der zweite Mechanismus beinhaltet die Summierung normalisierter Antworten von primären linearen Filtern über ganz verschiedene Orientierungen, aber gleiche Ortsfrequenz. Ein solcher Mechanismus liefert nach Auffassung der Autoren Informationen über die Körnung einer Textur. Die Ergebnisse von Experiment drei und vier dieser Arbeit legen nahe, dass solche Mechanismen auch bei der Verarbeitung von Merkmalskontrast zur Erzeugung getrennter Texturen eine Rolle spielen. Das in Abschnitt 5.2 dieses Kapitels von Meinhardt und Persike (submitted) vorzustellende FRF-Modell wurde deshalb in einer Version um die von Olzak und Thomas (1999) identifizierten Summationsmechanismen erweitert. In Kapitel 11 sind die Ergebnisse von Simulationen dargestellt, mit denen untersucht wurde, ob die experimentellen Daten besser mit oder ohne die Verarbeitungsstufe der Summationsmechanismen erklärt werden können.

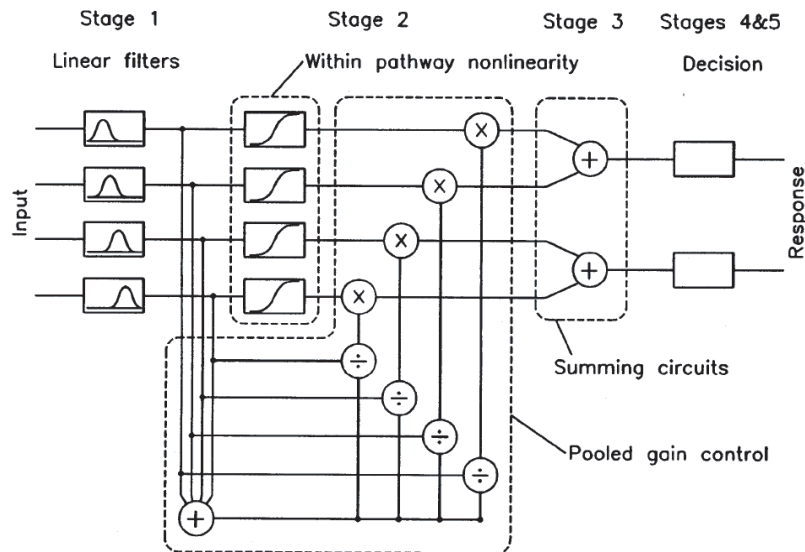
### **5.1 Ein Modell für die Verarbeitung von Orientierung, Ortsfrequenz und Helligkeitskontrast**

Olzak und Thomas (1999) entwickelten auf der Basis von Maskierungs- und Merkmalssummations-Experimenten ein psychophysisches Modell für die neuronale Verarbei-

---

<sup>11</sup>Bei komplexen Gaborreizen handelt es sich um zwei räumlich überlagerte Gaborreize. Eine genaue Erläuterung eines einzelnen Gaborreizes ist in Kapitel 6.2.3 enthalten.

## 5 TEXTURTRENNUNG



**Abb. 5.2:** Schematische Repräsentation eines Modells für die neuronale Verarbeitung von Orientierung, Ortsfrequenz und Helligkeitskontrast von Olzak und Thomas (1999).

tung der Reizmerkmale Orientierung, Ortsfrequenz und Helligkeitskontrast.

Abb. 5.2 gibt einen schematischen Überblick über das Modell. Wie in fast allen psychophysischen Modellen zum räumlichen Sehen werden auf der untersten Stufe räumlich verteilte lineare Filter angenommen, die jeweils für eine spezifische Bandbreite von Orientierungen und Ortsfrequenzen sensitiv sind und parallel zueinander arbeiten.

Auf der nächsten Stufe fließen die Outputs dieser linearen Filter in zwei getrennte, nichtlineare Prozesse ein. Der erste angenommene nichtlineare Prozess bildet die erregenden und hemmenden Prozesse ab, die in Abhängigkeit von der Merkmalskontraststärke auftreten. Er entspricht damit dem nichtlinearen Umformer im Modell von Legge und Foley (1980) (vgl. Abschnitt 4.1). Der zweite nichtlineare Prozess ist ein Normalisierungsprozess (auch: gain control process), der die Antwort eines jeden Neurons durch die zusammengefasste Antwort vieler (räumlich verteilter) Neurone abschwächt. Dieses Prinzip der Normalisierung neuronaler Antworten ist ebenfalls in weiteren Modellen zu finden (Graham & Sutter, 2000; Watson & Solomon, 1997).

Auf der dritten Stufe des Modells werden die normalisierten Antworten verschiedener Neuronenpopulationen summiert. Es wird angenommen, dass jede neuronale Antwort in mindestens einen von mehreren parallel arbeitenden sog. „summing circuits“ einfließt. Diese „summing circuits“ werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit als „Summationskanäle“ bezeichnet. Der Output der Summationskanäle bildet in dem Modell die Grundlage der Entscheidungsstufe.

## 5 TEXTURTRENNUNG

Aufgrund der Ergebnisse von Experiment drei und vier dieser Arbeit kann angenommen werden, dass diese als Summationskanäle bezeichneten Mechanismen auch für die in der vorliegenden Arbeit untersuchte Verarbeitung von Merkmalskontrast eine Rolle spielen. Deshalb wird im Folgenden die von Olzak und Thomas (1999) durchgeführte Untersuchung dieser Mechanismen und die erhaltenen Ergebnisse dargestellt. Zuvor wird noch kurz auf die von ihnen verwendete Methode zur Bestimmung der Neuronenpopulation eingegangen, die in einen gemeinsamen Normalisierungsprozess einfließen.

**Normalisierung** Die Autoren untersuchten über eine Maskierungsbedingung ihrer Experimente, welche Neuronenpopulation in einen gemeinsamen Normalisierungsprozess einfließen. Sie überprüften, ob die Diskriminationsleistung zwischen zwei einzelnen Gaborreizen hinsichtlich der Orientierung, der Ortsfrequenz oder des Helligkeitskontrasts der Gaborreize durch die Überlagerung mit jeweils einem zweiten Gaborreiz vermindert wird. Trat eine Verminderung der Diskriminationsleistung durch die Maskierung auf, schlussfolgerten die Autoren, dass die durch die Maskierer-Ortsfrequenz und -Orientierung aktivierten Neurone in eine zusammengefasste neuronale Antwort einfließen, die zu einer Abschwächung der aufgabenrelevanten Neuronenantwort führt.

**Summationskanäle** Mit Hilfe zweier Merkmalssummationsbedingungen ihrer Experimente („same-sign“ und „opposite sign“) untersuchten die Autoren, welche Neuronenpopulation einen gemeinsamen Summationskanal bilden. In diesen Merkmalssummationsbedingungen wurde die Diskriminationsleistung hinsichtlich der Orientierung, der Ortsfrequenz oder des Helligkeitskontrasts bei einzelnen Gaborreizen, wie in der Maskierungsbedingung, mit der Diskriminationsleistung von zwei komplexen, d.h. überlagerten Gaborreizen verglichen. Im Unterschied zur Maskierungsbedingung wurden jedoch beide überlagerten Gaborreize bzgl. des zu unterscheidenden Merkmals verändert. In der Merkmalssummationsbedingung „same-sign“ wurde eine Veränderung der beiden Gaborreize bzgl. des aufgabenrelevanten Merkmals in gleicher Richtung (z.B. Veränderung der Orientierung beider Gaborreize im Uhrzeigersinn), in der Merkmalssummationsbedingung „opposite sign“ hingegen in unterschiedlicher Richtung (z.B. Erhöhung der Ortsfrequenz beim ersten und Verringerung beim zweiten Gaborreiz) durchgeführt. Anschließend wurde die Diskriminationsleistung zwischen den beiden Merkmalssummationsbedingungen miteinander verglichen. Die Autoren gingen davon aus, dass sich das Ausmaß der Normalisierung zwischen den beiden Merkmalssummationsbedingungen „same-sign“ und „opposite-sign“ nicht unterscheidet bzw., nach den hier nicht näher dargestellten Ergebnissen der Maskierungsbedingung, in der „same-sign“ Bedingung sogar eher etwas größer sein müsste. Die in einzelnen experimentellen

## 5 TEXTURTRENNUNG

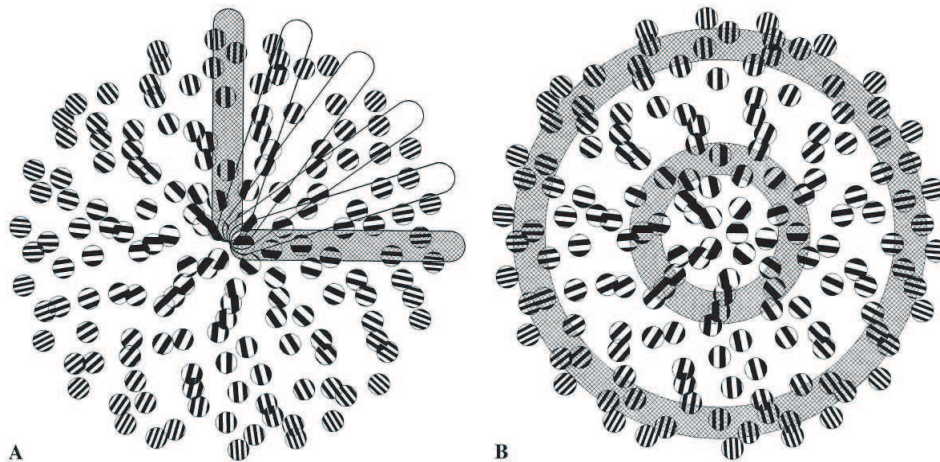
Bedingungen gefundene höhere Diskriminationsleistung in der „same-sign“ Bedingung gegenüber der „opposite-sign“ Bedingung sind deshalb nach ihrer Auffassung nur auf die dritte Stufe der Verarbeitung zurückzuführen, also darauf, welche neuronalen Antworten einen gemeinsamen Summationskanal bilden.

In einer Serie von Experimenten überlagerten die Autoren Gaborreize, die entweder (i) bzgl. ihrer Orientierung identisch waren, aber sich in der Ortsfrequenz deutlich unterschieden (3 vs. 15 cpd) oder (ii) die bzgl. ihrer Ortsfrequenz identisch waren (beide 3 oder 15 cpd), aber orthogonale Orientierungen aufwiesen oder (iii) sowohl orthogonale Orientierungen aufwiesen als auch sich hinsichtlich der Ortsfrequenz gänzlich unterschieden (3 vs. 15 cpd).

War die Diskriminationsleistung in der „same-sign“ Bedingung im Vergleich zu der Diskriminationsleistung in der „opposite-sign“ Bedingung deutlich größer, so schlussfolgerten die Autoren, dass die durch die Gaborreize der „same-sign“ Bedingung aktivierten Neuronenpopulationen in einen gemeinsamen Summationskanal einfließen.

Unterschieden sich die überlagerten Gaborreize sowohl hinsichtlich der Orientierung, als auch hinsichtlich der Ortsfrequenz (iii), war die Diskriminationsleistung bei keinem Merkmal in der „same-sign“ Bedingung größer als in der „opposite-sign“ Bedingung. Unterschieden sich die überlagerten Gaborreize lediglich hinsichtlich der Ortsfrequenz (i), war die Diskriminationsleistung hinsichtlich der Orientierung der Gaborreize in der „same-sign“ Bedingung größer als in der „opposite-sign“ Bedingung. Die Autoren schlussfolgerten daraus, dass die Filterantworten aller primären linearen Filter, die für die gleiche Bandbreite an Orientierungen sensitiv sind, aber für unterschiedliche Ortsfrequenzen, nach der Normalisierung der Antworten jeweils einen Summationskanal bilden. Es handelt sich also um eine Familie von Mechanismen, die über alle Ortsfrequenzen innerhalb einer begrenzten Orientierungsbandbreite summieren. Solche Mechanismen sind nach Auffassung der Autoren ideal geeignet die Orientierung von Reizelementen zu bestimmen, wie Kanten, Linien oder die Orientierung von geriffelten Texturen. Ordnet man die primären linearen Filter in einer Polarkoordinaten-Repräsentation der Ortsfrequenz-Orientierungs-Ebene des Fourierraums an, erscheinen diese Mechanismen wie ein Fächer von „Zigarren“ (s. Abb. 5.3 A).

Unterschieden sich die überlagerten Gaborreize lediglich bezüglich der Orientierung (ii), war die Diskriminationsleistung sowohl hinsichtlich der Ortsfrequenz, des Helligkeitskontrasts aber auch bezüglich der Orientierung der Gaborreize in der „same-sign“ Bedingung größer als in der „opposite-sign“ Bedingung. Die Autoren schlussfolgerten, dass es ebenfalls eine Familie von Mechanismen gibt, die die Antworten der primären linearen Filter über alle Orientierungen aber innerhalb einer begrenzten Ortsfrequenzbandbreite summieren. Solche Mechanismen sind nach Auffassung der Autoren optimal



**Abb. 5.3:** Familien von Summationskanälen, markiert in einer schematischen Darstellung der primären linearen Filter, die in einer Polarkoordinaten-Repräsentation der Ortsfrequenz-Orientierungs Ebene des Fourierraums angeordnet sind. Die Ortsfrequenz ist durch die Distanz zum Ursprung repräsentiert, die Orientierung durch den Pfeilwinkel. Neurone, die auf ähnliche Orientierungen oder Ortsfrequenzen reagieren, liegen entsprechend nah beieinander. (A) Summationskanäle zur Entdeckung von Orientierungen („Zigarren“). (B) Summationskanäle zur Entdeckung der Körnung einer Textur („Donuts“) (aus Olzak und Thomas (1999)).

für die Erkennung einer gekörnten Textur geeignet. Sie erscheinen als konzentrische Kreise oder „Donuts“ in der Ortsfrequenz-Orientierungs-Ebene des Fourierraums (s. Abb. 5.3 B).

Die Auswirkung des in Experiment drei verwendeten Merkmalsjitters auf die Differenzskalierung von Merkmalssalienz geben Anlass zu der Annahme, dass die von Olzak und Thomas (1999) gefundenen Summationskanäle auch bei der Verarbeitung von Merkmalskontrast von Bedeutung sind. Das im folgenden Abschnitt dargestellte FRF-Modell von Meinhardt und Persike (submitted) wird deshalb in einer zweiten Version um diese Summationskanäle erweitert. In Kapitel 11 sind Ergebnisse von Simulationen dargestellt, mit denen geprüft wurde, welche der beiden Versionen die experimentellen Befunde zur Differenzskalierung von Merkmalssalienz besser erklären kann.

## 5.2 Ein Filter-Rectifier-Filter-Modell (FRF-Modell)

Wie in einigen Modellen (Rubenstein & Sagi, 1990; Meinhardt, 2001; Watson, 1982) werden für die primären linearen Filter im FRF-Modell von Meinhardt und Persike (submitted) eine Reihe von even und odd Gaborfiltern angenommen, die jeweils für eine bestimmte Orientierung  $\theta$  und Wellenlänge  $\lambda$  am empfindlichsten und an einer



## 5 TEXTURTRENNUNG

spezifischen Position  $x_c, y_c$  lokalisiert sind:

$$\begin{aligned}
 g_{ev}(x, y|\theta, \lambda, x_c, y_c) &= \exp \left\{ \frac{-[(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2]}{2\sigma^2} \right\} \\
 &\quad \times \cos \left\{ \frac{2\pi}{\lambda} [(x - x_c) \cos \theta - (y - y_c) \sin \theta] \right\}, \\
 g_{od}(x, y|\theta, \lambda, x_c, y_c) &= \exp \left\{ \frac{-[(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2]}{2\sigma^2} \right\} \\
 &\quad \times \sin \left\{ \frac{2\pi}{\lambda} [(x - x_c) \cos \theta - (y - y_c) \sin \theta] \right\}. \tag{5.1}
 \end{aligned}$$

$\sigma$  gibt die Bandbreite der beiden Filterpaare an und  $x$  und  $y$  sind die räumlichen Koordinaten der Filterebene. Man nehme an, dass  $L(x, y)$  das Luminanzprofil eines begrenzten Texturbereichs des Texturreizmusters repräsentiert. Dann bestimmt sich die Antwort des even und odd Gaborfilters auf das Luminanzprofil des Texturbereichs über die folgende jeweilige Faltung:

$$\begin{aligned}
 gl_{ev}(x, y|\theta, \lambda, x_c, y_c) &= \sum_{x,y} g_{ev}(x, y|\theta, \lambda, x_c, y_c) \cdot L(x, y), \\
 gl_{od}(x, y|\theta, \lambda, x_c, y_c) &= \sum_{x,y} g_{od}(x, y|\theta, \lambda, x_c, y_c) \cdot L(x, y). \tag{5.2}
 \end{aligned}$$

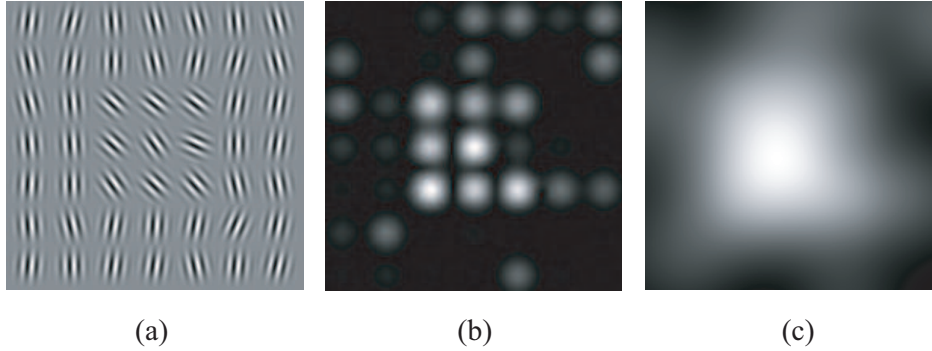
Das bedeutet, das Luminanzprofil eines Texturbereichs wird gewichtet mit der Funktion des Gaborfilters. Die Filterantwort ist um so größer, je höher die Korrelation zwischen der Gewichtsfunktion des Gaborfilters und dem Helligkeitsprofil ist.

Auf der zweiten *nichtlinearen* Verarbeitungsstufe wird der Output der even und odd Filterantwortarten zu einer Antwortkarte kombiniert. Dazu wird die lokale Energie durch die Wurzel aus der quadrierten und aufsummierten Antwort der even und odd Gaborfilter berechnet auf die eine weitere nichtlineare Transformation folgt:

$$E(x, y|\theta, \lambda, x_c, y_c) = R \left[ \sqrt{gl_{ev}^2(x, y|\theta, \lambda, x_c, y_c) + gl_{od}^2(x, y|\theta, \lambda, x_c, y_c)} \right]. \tag{5.3}$$

Die weitere nichtlineare Funktion  $R$  ist notwendig, um die Variation der Unterschiedsschwelle in Abhängigkeit von der Größe des Referenzreizkontrasts zu modellieren. In einigen Studien (Rubenstein & Sagi, 1990; Fogel & Sagi, 1989), so auch in der Studie von Meinhardt und Persike (submitted), wurde eine logarithmische Transformation verwendet, mit der der Anstieg der Unterschiedsschwelle mit größer werdendem Referenzreizkontrast erklärt werden kann. In Kapitel 11 werden Ergebnisse von Simulationen gezeigt, die dafür sprechen, dass eine Vorhersage der in Experiment vier bestimmten Saliensskalen nur unter Verwendung der für die Differenzskalierung verwendeten Funktion des Naka-Rushton-Typs möglich ist.

## 5 TEXTURTRENNUNG



**Abb. 5.4:** Computersimulation der Texturtrennung. Das in (a) dargestellte Gaborreizmuster wird von räumlich lokalisierten even und odd Gaborfiltern, die für eine Orientierung von 55 Grad (0 Grad: waagerecht; 90 Grad: senkrecht) und eine Ortsfrequenz von 2.5 cpd am empfindlichsten sind, zur Erzeugung einer Filterkarte gefiltert, die die lokalen Energien abbildet (b). Diese Filterkarte wird durch einen Gaußschen Unschärfefilter geglättet (c).

Für das in Abb. 5.4 (a) dargestellte Reizmuster ist der Output der Energiefilterung in Abb. 5.4 (b) beispielhaft für ein Paar von even und odd Gaborfiltern zu sehen.

Auf der letzten Filterstufe werden die Outputs der Energiekarten der vorangegangenen Filterstufe (5.3) mit einem Gaußschen Unschärfefilter  $h(x, y)$  gefaltet:

$$U(x, y|\theta, \lambda) = \sum_{x,y} E(x, y|\theta, \lambda, x_c, y_c) \cdot h(x, y). \quad (5.4)$$

Dieser second-order Filter hat in jeder von der Orientierung und der Wellenlänge abhängigen Energiekarte eine lokale Antwort  $U(x, y)$ . Abbildung 5.4 (c) zeigt eine solche Energiekarte. Bestimmt man für jede von der Orientierung und der Wellenlänge abhängigen Energiekarte die Minkowski-Norm für die Differenzen der lokalen Antwort auf ein Target (T) und der lokalen Antwort auf ein Hintergrundreizmuster<sup>12</sup> (B) über

$$D_{TB}(\theta, \lambda) = \left( \sum_{x,y} |U_T(x, y|\theta, \lambda) - U_B(x, y|\theta, \lambda)|^k \right)^{1/k}, \quad (5.5)$$

so erhält man für jede spezifische Kombination von Orientierung und Wellenlänge ein Maß für die sensorische Separation von Target und Hintergrundreizmuster. Mit anderen Worten, in (5.5) wird die Antwortdifferenz auf ein Target und ein Hintergrundreizmuster innerhalb eines Kanals  $(\theta, \lambda)$  an jeder lokalen Position  $(x, y)$  berechnet und anschließend wird über alle räumlichen Positionen innerhalb des Kanals summiert.

<sup>12</sup>In einem Hintergrundreizmuster ist im Unterschied zum Target kein lokaler Merkmalskontrast zur Bildung einer Vordergrundtextur enthalten.

## 5 TEXTURTRENNUNG

Um ein Maß für lokale Differenzen des Merkmalskontrasts im Hintergrund für die orientierungs- und wellenlängenspezifischen Kanäle zu erhalten, kann analog zu (5.5) eine entsprechende räumliche Summation  $D_{BB}$  berechnet werden, deren Resultat von Trial zu Trial durch zufälligen Merkmalsjitter variiert. Summiert man nun über alle Differenzen  $D_{TB}(\theta, \lambda) - D_{BB}(\theta, \lambda)$  der orientierungs- und wellenlängenspezifischen Kanäle

$$Q_T = \left( \sum_{\theta, \lambda} |D_{TB}(\theta, \lambda) - D_{BB}(\theta, \lambda)|^p \right)^{1/p}, \quad (5.6)$$

so erhält man ein Maß für die Salienz des Merkmalskontrasts an der Texturkante, d.h. an der Grenze zwischen Vorder- und Hintergrund eines Targets. Wird Merkmalsjitter in den Texturreizmustern verwendet, so entsteht im gesamten Reizmuster Merkmalskontrast, dessen Salienz entsprechend über

$$Q_B = \left( \sum_{\theta, \lambda} |D_{BB}(\theta, \lambda) - D_{BB'}(\theta, \lambda)|^p \right)^{1/p}, \quad (5.7)$$

bestimmt werden kann. Die Salienz  $S$  einer durch Merkmalskontrast erzeugten Vordergrundtextur bestimmt sich über die Differenz der Salienz an der Texturkante (5.6) und der lediglich durch Merkmalsjitter im gesamten Reizmuster erzeugten Salienz (5.7). Denn ein Beobachter kann nur dann einen aufgabenrelevanten Merkmalskontrast wahrnehmen, wenn die Salienz des Merkmalskontrasts an der Texturkante größer ist als die durch Merkmalsjitter im gesamten Reizmuster erzeugte Merkmals-salienz. Es ergibt sich somit

$$S = Q_T - Q_B. \quad (5.8)$$

In diesem letzten Schritt unterscheidet sich das hier vorgestellte Modell von dem FRF-Modell von Meinhardt und Persike (submitted). Dort wird die allein durch Merkmalsjitter entstehende Salienz  $Q_B$  nicht von der an der Texturkante berechneten Salienz  $Q_T$  abgezogen, sondern  $Q_T$  stellt die vom Modell bestimmte Salienz der Vordergrundtextur dar. Das Modell ist dann plausibel, wenn man annimmt, dass allein durch Merkmalsjitter die Wahrscheinlichkeit für die Wahrnehmung getrennter Texturen ansteigt. Davon wird hier nicht ausgegangen, weshalb die Salienz der Vordergrundtextur über (5.8) bestimmt wird und dadurch gewährleistet ist, dass diese Salienz  $S$  ohne Merkmalskontrast an der Texturkante auch mit Merkmalsjitter den Erwartungswert null hat.

Der Wert von  $p$  in den Gleichungen (5.6) und (5.7) gibt die Form der Summation der Antwortdifferenzen an und kann zwischen linearer Summation ( $p = 1$ ) und der Entdeckung des Maximums ( $p \rightarrow \infty$ ) schwanken (Du Buf, 1992; Meinhardt, 1999). Verwendet man die Weibull-Funktion als Modell für die psychometrische Kurve und

stellt (5.8) die für die Entdeckung einer Vordergrundtextur relevante Variable dar, ist die Wahrscheinlichkeit  $P$  für die Entdeckung eines Targets durch

$$P = 1 - (1 - \gamma) \exp^{-|S|^\beta} \quad (5.9)$$

gegeben, wobei  $\gamma$  die Ratewahrscheinlichkeit angibt und  $\beta$  der Formparameter der Weibull-Funktion ist, der den Effekt des sensorischen Rauschens widerspiegelt.

### 5.3 Modifiziertes FRF-Modell

Geht man davon aus, dass die Ergebnisse von Olzak und Thomas (1999) für die Differenzskalierung von Merkmalssalienz relevant sind, muss das Modell von Meinhardt und Persike (submitted) um die Summationskanäle erweitert werden. Es wird angenommen, dass die Summierung über die Energiekarten stattfindet, bevor die Energiekarten dem global arbeitenden Prozess der second-order Filterung unterliegen. Zur Integration der zwei Familien von Summationsmechanismen in das FRF-Modell wird deshalb zum einen über alle Energiekarten aus (5.3) summiert, die für die gleiche Orientierung aber verschiedene Wellenlängen am empfindlichsten sind und zum anderen wird über all jene Energiekarten summiert, die für die jeweils gleiche Wellenlänge aber verschiedene Orientierungen am empfindlichsten sind. Es ergeben sich dadurch mit

$$\begin{aligned} E_o(x, y|\theta, x_c, y_c) &= \left( \sum_{\lambda|\theta} |E(x, y|\theta, \lambda, x_c, y_c)|^l \right)^{1/l} \\ E_f(x, y|\lambda, x_c, y_c) &= \left( \sum_{\theta|\lambda} |E(x, y|\theta, \lambda, x_c, y_c)|^l \right)^{1/l}. \end{aligned} \quad (5.10)$$

zwei Gruppen von Mastermaps, die auf der letzten Filterstufe der second-order Filterung unterliegen:

$$\begin{aligned} U_o(x, y|\theta) &= \sum_{x,y} E_o(x, y|\theta, x_c, y_c) \cdot h(x, y) \\ U_f(x, y|\lambda) &= \sum_{x,y} E_f(x, y|\lambda, x_c, y_c) \cdot h(x, y) \end{aligned} \quad (5.11)$$

Bestimmt man für jede so gebildete Energiekarte die Minkowski-Norm für die Differenzen der lokalen Antwort des second-order Filters auf ein Target (T) und der lokalen Antwort auf ein Hintergrundreizmuster (B) über

$$\begin{aligned} D_{o;TB}(\theta) &= \left( \sum_{x,y} |U_{o;T}(x, y|\theta) - U_{o;B}(x, y|\theta)|^k \right)^{1/k} \\ D_{f;TB}(\lambda) &= \left( \sum_{x,y} |U_{f;T}(x, y|\lambda) - U_{f;B}(x, y|\lambda)|^k \right)^{1/k}, \end{aligned} \quad (5.12)$$

## 5 TEXTURTRENNUNG

so erhält man analog zu (5.5) für jede Orientierung bzw. Wellenlänge ein Maß für die sensorische Separation von Target und Hintergrundreizmuster.  $D_{o;BB}$  und  $D_{f;BB}$  stellen für jeden orientierungs- bzw. wellenlängenspezifischen Kanal ein Maß für den lokalen Orientierungs- bzw. Ortsfrequenzkontrast im Hintergrund eines Reizmusters dar.

Die Salienz des Merkmalskontrasts an der Texturkante bestimmt sich dann analog zu (5.6) getrennt für die Summationsmechanismen über die Minkowski-Normen

$$\begin{aligned} Q_{o;T} &= \left( \sum_{\theta} |D_{o;TB}(\theta) - D_{o;BB}(\theta)|^p \right)^{1/p} \\ Q_{f;T} &= \left( \sum_{\lambda} |D_{f;TB}(\lambda) - D_{f;BB}(\lambda)|^p \right)^{1/p}. \end{aligned} \quad (5.13)$$

Die durch Merkmalsjitter im gesamten Reizmuster erzeugte Salienz bestimmt sich entsprechend über

$$\begin{aligned} Q_{o;B} &= \left( \sum_{\theta} |D_{o;BB}(\theta) - D_{o;BB'}(\theta)|^p \right)^{1/p} \\ Q_{f;B} &= \left( \sum_{\lambda} |D_{f;BB}(\lambda) - D_{f;BB'}(\lambda)|^p \right)^{1/p}. \end{aligned} \quad (5.14)$$

Bestimmt man anschließend zunächst getrennt für die beiden Summationskanäle die Salienz der Vordergrundtextur, indem man die Differenz zwischen der Salienz der Texturkante und der durch Merkmalsjitter erzeugten Salienz berechnet und nimmt man schließlich einen Mechanismus an, der das Maximum dieser beiden merkmalspezifischen Differenzen bestimmt, so erhält man ein Maß

$$S = \text{Max} [(Q_{o;T} - Q_{o;B}), (Q_{f;T} - Q_{f;B})], \quad (5.15)$$

das die Salienz einer durch aufgabenrelevanten Merkmalskontrast gebildeten Vordergrundtextur unabhängig von der Orientierung und der Wellenlänge abbildet.

In Kapitel 11 werden die Messdaten der Experimente drei und vier sowohl einmal mit also auch ohne die hier angenommene Verarbeitungsstufe der Summationskanäle modelliert. Es wird geprüft, ob die Auswirkungen des Merkmalsjitters auf die Differenzskalierung von Merkmals salienz besser mit oder ohne die die hier zusätzlich angenommene Verarbeitungsstufe der Summationskanäle erklärt werden kann.

## 6 Experiment 1: Einfluss absoluter Referenzwerte auf die Schwellenmessungen der Differenzskalierung

### 6.1 Rational des Versuchs

Zur indirekten Skalierung von Merkmalskontrast müssen Unterschiedsschwellen für verschieden große Pedestals gemessen werden (s. Kapitel 4.2). Wichtig bei den einzelnen Schwellenmessungen ist, dass die Differenzierungsfähigkeit einer Versuchsperson nur auf die durch den Merkmalskontrast erzeugte Merkmalssalienz der zu vergleichenden Reize zurückzuführen ist. Mit anderen Worten, das Urteil der zur Schwellenbestimmung verwendeten Same-Different-Methode, ob die zwei Reizmuster eines Trials „gleich“ („same“) oder „unterschiedlich“ („different“) sind, darf nur auf der Basis der durch den Merkmalskontrast entstehenden Salienz korrekt getroffen werden können (Merkmalskontrast-Generierungsproblem (MKG-Problem)).

**Versuchshypothese:** Wird die Merkmalsausprägung der Hintergrundelemente<sup>13</sup> eines visuellen Reizmusters bei der Generierung des Merkmalskontrasts während einer Schwellenmessung immer konstant gehalten und wird Feedback für jedes Diskriminationsurteil einer Schwellenmessung gegeben, dann wird bei Diskriminationsschwellenmessungen von Pedestals, die deutlich größer als die Absolutschwelle<sup>14</sup> sind, die gestellte Diskriminationsaufgabe nicht über die durch Merkmalskontrast erzeugte Salienz einer quadratischen Texturfigur, sondern über den Vergleich der absoluten Merkmalsausprägungen der Vordergrundelemente<sup>15</sup> des visuellen Reizmusters gelöst.

Erläuterung der Hypothese: Wenn die Merkmalsausprägung der Hintergrundelemente eines visuellen Reizmusters bei der Generierung des Merkmalskontrasts während einer Schwellenmessung immer konstant gehalten wird, wird der Merkmalskontrast nur über die Merkmalsausprägung der Vordergrundelemente des visuellen Reizmusters realisiert. In diesem Fall stehen einer Versuchsperson zwei verschiedene Hinweisreize für die korrekte Lösung der Diskriminationsaufgabe zur Verfügung, d.h. es sind zwei Urteilsmöglichkeiten miteinander konfundiert. Zum einen kann eine Versuchsperson die durch Merkmalskontrast erzeugte Salienz der Texturfigur zur Lösung der Diskriminationsaufgabe verwenden. Zum anderen kann eine Versuchsperson die Merkmals-

---

<sup>13</sup>Mit Hintergrundelementen sind die Elemente bezeichnet, die bei starkem Merkmalskontrast den Hintergrund einer durch diesen Merkmalskontrast gebildeten Texturfigur bilden.

<sup>14</sup>Die Absolutschwelle bezeichnet die Unterschiedsschwelle für ein Pedestal von null (s. Kapitel 4.3).

<sup>15</sup>Mit Vordergrundelementen sind die Elemente bezeichnet, die bei starkem Merkmalskontrast die quadratische Texturfigur (Vordergrundtextur) bilden.

## 6 EXPERIMENT 1: EINFLUSS ABSOLUTER REFERENZWERTE AUF DIE SCHWELLENMESSUNGEN DER DIFFERENZSKALIERUNG

ausprägung der Hintergrundelemente ignorieren und nur durch den Vergleich der Merkmalsausprägung der Vordergrundelemente ein korrektes Urteil fällen. Da die Versuchspersonen Tonfeedback nach jedem Diskriminationsurteil einer Schwellenmessung erhalten, wird erwartet, dass eine Versuchsperson bei einer Schwellenmessung denjenigen der beiden Hinweisreize zur Lösung der ihr gestellten Diskriminationsaufgabe nutzt, dessen Beachtung ihr am wenigsten negatives bzw. am meisten positives Feedback einbringt. Da eine Versuchsperson um so mehr positives Feedback in einer Messung erhält, je weniger Unterschied im Merkmalskontrast sie zum Erreichen des Schwellenkriteriums benötigt, wird somit erwartet, dass eine Versuchsperson denjenigen der beiden Hinweisreize nutzt, bei dessen Beachtung sie einen geringeren Unterschied im Merkmalskontrast zum Erreichen der Schwelle benötigt. Um vorherzusagen, bei welchem Pedestal welcher Hinweisreiz voraussichtlich genutzt wird, muss man folglich betrachten, wie viel Unterschied im Orientierungskontrast in Abhängigkeit vom Pedestal bei Beachtung entweder des einen oder des anderen Hinweisreizes zum Erreichen des Schwellenkriteriums benötigt wird.

Wie viel Unterschied im Merkmalskontrast bei der Beachtung der durch Merkmalskontrast erzeugten Salienz einer Texturfigur in Abhängigkeit vom Pedestal zum Erreichen eines festen Schwellenkriteriums benötigt wird, ist aus der Untersuchung von Motoyoshi und Nishida (2001) bekannt. In dieser Untersuchung wurden Unterschiedsschwellen für verschiedene Orientierungskontraste gemessen. Das von Motoyoshi und Nishida verwendete Verfahren zur Generierung des Orientierungskontrasts<sup>16</sup> gewährleistet, dass eine Versuchsperson die ihr gestellte Diskriminationsaufgabe nur über den Vergleich der durch den Orientierungskontrast erzeugten Salienz einer Texturfigur lösen kann. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass in diesem Fall mit von null an größer werdendem Pedestal die Größe des Inkrements zunächst im Vergleich zum Inkrement der Absolutschwelle abnimmt und dann ab einem Pedestal, das oberhalb der Absolutschwelle liegt, stetig ansteigt (s. Kapitel 4.2).

Beachtet eine Versuchsperson nur die Merkmalsausprägungen der Vordergrundelemente um die zwei in einem Trial präsentierten Reize voneinander zu unterscheiden, ist keine starke Variation des zum Erreichen eines festen Schwellenkriteriums notwendigen Inkrements in Abhängigkeit vom Pedestal zu erwarten. Unabhängig vom Pedestal sollte das Inkrement ungefähr dem Inkrement entsprechen, das zum Erreichen der Absolutschwelle notwendig ist, wenn die durch Merkmalskontrast erzeugte Salienz der Texturfigur bei der Diskrimination beachtet wird.

---

<sup>16</sup>Dieses Verfahren wird in der Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“ des vorliegenden Experiments verwendet.

## 6 EXPERIMENT 1: EINFLUSS ABSOLUTER REFERENZWERTE AUF DIE SCHWELLENMESSUNGEN DER DIFFERENZSKALIERUNG

Stehen bei einer Unterschiedsschwellenmessung beide Hinweisreize zur Lösung der Diskriminationsaufgabe zur Verfügung, ist deshalb zu erwarten, dass bei allen Pedestals, bei denen die Beachtung der durch Merkmalskontrast erzeugten Salienz zur Schätzung eines größeren Inkrements als dem Inkrement der Absolutschwelle führt, also bei allen Pedestals, die deutlich oberhalb der Absolutschwelle liegen, Versuchspersonen die ihnen gestellte Diskriminationsaufgabe durch den Vergleich der absoluten Merkmalsausprägung der Vordergrundelemente lösen.

Zur Untersuchung der Hypothese werden in drei Versuchsbedingungen Schwellen für eine Reihe von Orientierungskontrast-Pedestals bzw. Orientierungen der Vordergrundelemente (Versuchsbedingung „ohne Hintergrund“) bestimmt:

1. „Konstanter Hintergrund“: In dieser Versuchsbedingung wird die Orientierung der Hintergrundelemente eines visuellen Reizmusters bei der Generierung des Orientierungskontrasts während einer Schwellenmessung immer konstant gehalten. Der Orientierungskontrast wird durch eine Drehung der Vordergrundelemente entgegen dem Uhrzeigersinn im Vergleich zu den konstanten Hintergrundelementen realisiert.

Sind in zwei zu vergleichenden Reizmustern unterschiedliche Orientierungskontraste enthalten, unterscheidet sich bei dieser Vorgehensweise nur die Orientierung der Vordergrundelemente zwischen den beiden Reizmustern. Eine Versuchsperson kann deshalb sowohl über den Vergleich der durch den Orientierungskontrast erzeugten Salienz einer quadratischen Texturfigur als auch durch den Vergleich der Orientierungen der Vordergrundelemente die ihr gestellte Diskriminationsaufgabe lösen.

2. „Variabler Hintergrund“: In dieser Versuchsbedingung wird die Orientierung der Hintergrundelemente eines Reizmusters zufällig aus einer fest definierten Verteilung gezogen. Der Orientierungskontrast wird durch eine Drehung der Vordergrundelemente entgegen dem Uhrzeigersinn im Vergleich zu den Hintergrundelementen realisiert.

Sind in zwei zu vergleichenden Reizmustern unterschiedliche Orientierungskontraste enthalten, unterscheidet sich bei dieser Vorgehensweise mit großer Wahrscheinlichkeit sowohl die Orientierung der Vordergrundelemente als auch die Orientierung der Hintergrundelemente zwischen den beiden Reizmustern. Eine Versuchsperson kann deshalb die ihr gestellte Diskriminationsaufgabe nur über den Vergleich der durch den Orientierungskontrast erzeugten Salienz einer quadratischen Texturfigur lösen.



## 6 EXPERIMENT 1: EINFLUSS ABSOLUTER REFERENZWERTE AUF DIE SCHWELLENMESSUNGEN DER DIFFERENZSKALIERUNG

3. „Ohne Hintergrund“: In dieser Versuchsbedingung gibt es in einem Reizmuster nur eine Gruppe von Elementen. In einer Schwellenmessung muss die Orientierung dieser Elemente zwischen zwei Reizmustern unterschieden werden.

Stimmt die aufgestellte Hypothese, sollten die Inkremente der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“ bis zu einem Pedestal oberhalb der Absolutschwelle den Inkrementen der Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“ und für Pedestals, die deutlich oberhalb der Absolutschwelle liegen, den in der Versuchsbedingung „ohne Hintergrund“ bestimmten Orientierungsunterschieden entsprechen.

### 6.2 Methode

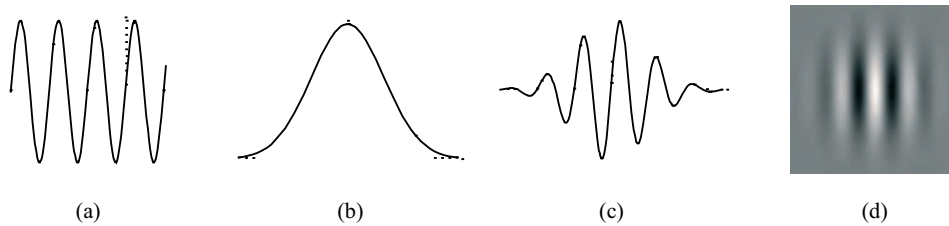
#### 6.2.1 Apparatur

Die Reizmuster wurden durch einen VSG2/3 Reizgenerator erzeugt und auf einem Samsung 950p+ Farbmonitor dargestellt. Die mittlere Helligkeit des Bildschirms betrug  $50 \text{ cd/m}^2$ . Die Farbwerte wurden bezogen aus einer linearen Graustufentreppe, die aus 255 Stufen bestand. Die 255 Stufen wurden aus einer Palette mit 4095 möglichen Grauwerten ausgewählt. Die mittlere Stufe (127) bezog sich immer auf den Grauwert mit der Nummer 2047. Das Verhältnis zwischen den Eintragungen der Graustufen und der Helligkeit des Bildschirms wurde über Mittelwerte von Gammakorrektur Tabellen linearisiert. Diese Linearität wurde vor dem Experiment mit einem Kalibrierungsprogramm überprüft. Das Kalibrierungsprogramm bestimmte das Verhältnis zwischen den digitalen Werten des Reizgenerators und der Helligkeit in  $\text{cd/m}^2$ , die über einen LMT 1003 Photometer gemessen wurde. Der Determinationskoeffizient der Regressionslinie war in allen Fällen größer als 0.98. Die Aktualisierungsrate des Monitors war 100 Hz bei einer horizontalen Frequenz von 81.4 kHz. Die Pixelauflösung lag bei  $1024 \times 768$  Pixeln. Der Raum war abgedunkelt, so dass die Umgebungsbeleuchtung annähernd mit der Beleuchtung des Bildschirms übereinstimmte. Die Versuchspersonen betrachteten aus einer Distanz von 60 cm binokular den Monitor. Sie gaben ihre Antwort durch Drücken eines Knopfes auf einer Antwortbox. Die Versuchspersonen erhielten für jeden Trial Tonfeedback über die Korrektheit ihrer Antwort.

#### 6.2.2 Versuchspersonen

Eine weibliche Studentin und der Autor dieser Arbeit nahmen als Versuchspersonen an der Untersuchung teil. Die Studentin war nicht über die Fragestellung der Untersuchung informiert. Beide hatten normales oder zur Normalität korrigiertes Sehvermögen. Die Studentin wurde für ihre Teilnahme mit 5 Euro die Stunde entlohnt.

## 6 EXPERIMENT 1: EINFLUSS ABSOLUTER REFERENZWERTE AUF DIE SCHWELLENMESSUNGEN DER DIFFERENZSKALIERUNG



**Abb. 6.1:** Konstruktion eines Gaborreizes. Eine Sinuswellenschwingung (a) wird mit einer Gauß-Funktion (b) multipliziert. Die resultierende Gabor-Funktion (c) definiert das Helligkeitsprofil des Gaborreizes (d).

### 6.2.3 Stimuli

Als Elemente der visuellen Reizmuster wurden, wie in allen Experimenten dieser Arbeit, Gaborreize verwendet. Ein einzelner Gaborreiz ist in Abb. 6.1 (d) dargestellt. Es handelt sich um ein Helligkeitsprofil, das aus einer Gabor-Funktion (s. Abb. 6.1 (c)) resultiert. Diese Gabor-Funktion wird durch die Multiplikation einer Sinuswellenschwingung (s. Abb. 6.1 (a)) mit einer Gauß-Funktion (s. Abb. 6.1 (b)) generiert.

Die Reizmuster der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“ und „variabler Hintergrund“ bestanden aus  $7 \times 7$  Gaborreizen. Die zentralen  $3 \times 3$  Gaborreize bildeten zusammen die Vordergrundelemente der Reizmuster. In der Versuchsbedingung „ohne Hintergrund“ bestand das gesamte Reizmuster nur aus diesen zentralen  $3 \times 3$  Gaborreizen.

Alle Gaborreize eines Reizmusters waren hinsichtlich ihrer Helligkeit und Phase identisch. Ein Gaborreiz hatte einen Durchmesser von 1.5 Grad Sehwinkel. Dies wurde durch Setzung der Standardabweichung (sd) der Gaußhülle auf einen Wert von 0.3 Grad Sehwinkel und dem Abschneiden nach einem Radius von 2.5 sd-Einheiten erreicht. Die Ortsfrequenz der Gaborreize eines Trials wurde zufällig durch gleichverteiltes Ziehen in Oktaven (oct) zwischen 2.50 und 3.54 cpd bestimmt. Die Position eines Gaborreizes variierte normalverteilt mit einer Standardabweichung von 0.07 Grad um sein jeweiliges Zentrum der  $7 \times 7$  bzw.  $3 \times 3$  Matrix.

In der Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“ wurde die Orientierung der Hintergrundelemente zufällig zwischen 0 (waagerechte Orientierung) und 180 Grad (ebenfalls wieder waagerechte Orientierung) gezogen und konnte damit aufgrund der Symmetrie der Reize jede mögliche Orientierung annehmen. Die Vordergrundelemente wurden entsprechend des eingestellten Orientierungskontrasts  $v$  gegen den Uhrzeigersinn im Vergleich zu den Hintergrundelementen gedreht.

In der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“ war die Orientierung der Hinter-

## 6 EXPERIMENT 1: EINFLUSS ABSOLUTER REFERENZWERTE AUF DIE SCHWELLENMESSUNGEN DER DIFFERENZSKALIERUNG

grundelemente stets waagrecht. Die Vordergrundelemente wurden ebenfalls entsprechend des eingestellten Orientierungskontrasts  $v$  gegen den Uhrzeigersinn im Vergleich zu den waagerechten Hintergrundelementen gedreht.

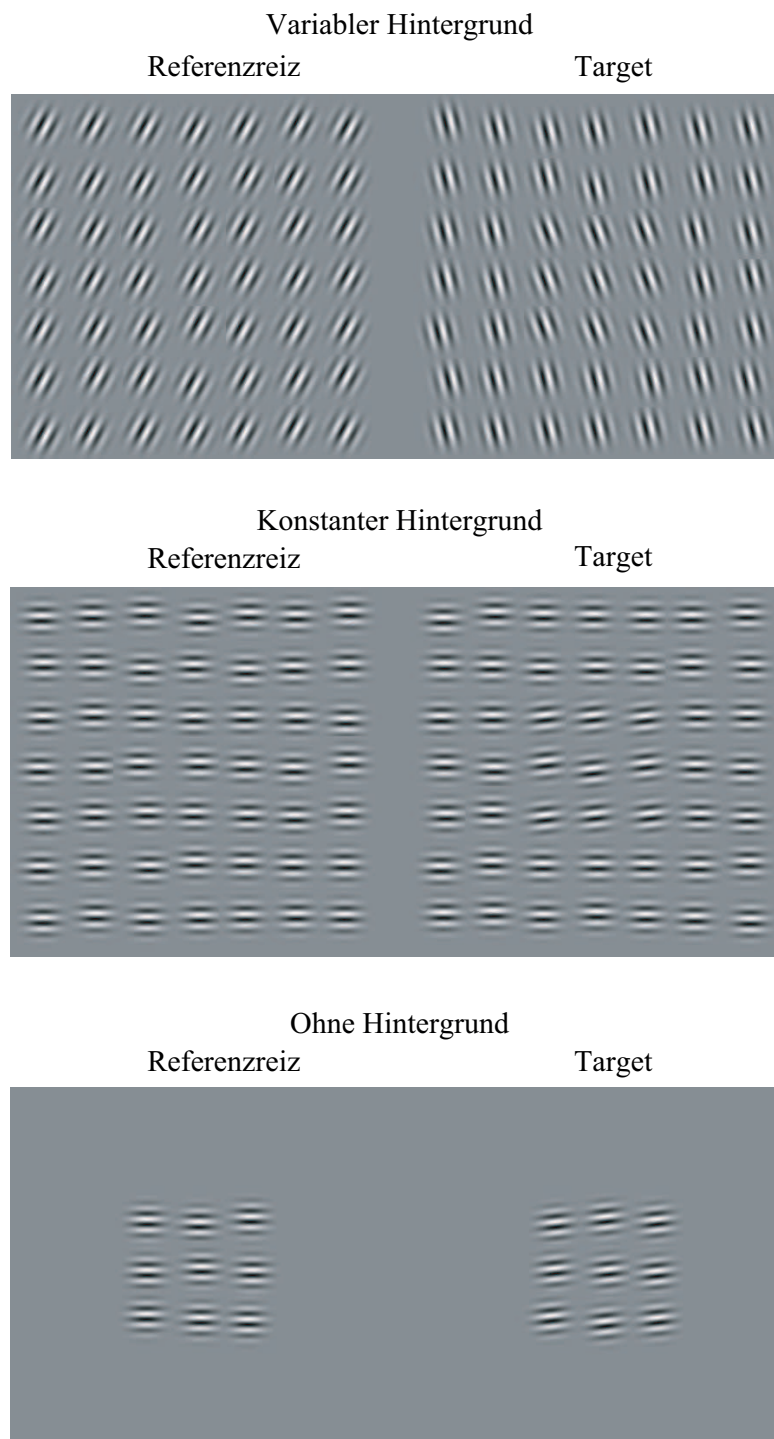
In der Versuchsbedingung „ohne Hintergrund“ bedeutete eine Orientierung  $\varphi$  von 0 Grad eine waagerechte Ausrichtung der Gaborelemente, entsprechend einem 0 Grad Kontrast in der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“. Bei Orientierungen, die größer als 0 Grad waren, wurden die Vordergrundelemente, wie bei der Erzeugung des Merkmalskontrasts in der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“, gegen den Uhrzeigersinn im Vergleich zu der waagerechten Orientierung gedreht.

In einem Trial einer Schwellenmessung wurden zwei Reizmuster nebeneinander mit einem Abstand von 1.5 Grad Sehwinkel präsentiert. In den Abb. 6.2 und 6.3 ist für jede Versuchsbedingung jeweils ein Beispiel für die Reizmusterdarstellung eines Trials zu sehen.

### 6.2.4 Experimenteller Ablauf

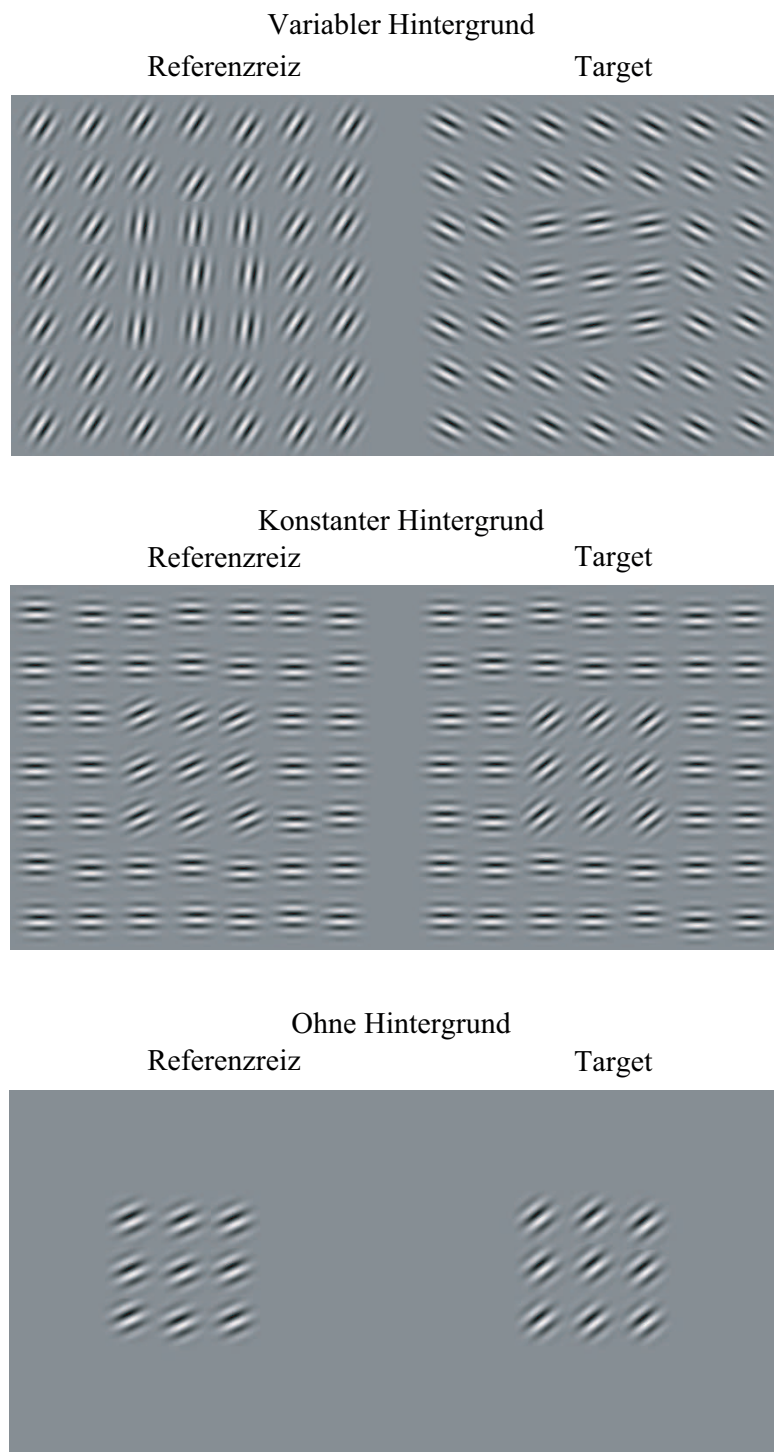
Für alle drei Versuchsbedingungen wurden 12 Pedestals bzw. Orientierungen ausgewählt, für die für beide Versuchspersonen Schwellen mit einer Same-Different-Methode bestimmt wurden. Die Pedestals bzw. Orientierungen wurden auf der Basis von Probenmessungen derart ausgewählt, dass sie die Entwicklung der Größe der Schwellen in Abhängigkeit vom Pedestal bzw. der Orientierung für alle drei Versuchsbedingungen möglichst gut abbilden konnten. Die Pedestals bzw. Orientierungen der Referenzreize waren die Folgenden: 0, 2, 4, 8, 12, 14, 18, 22, 25, 35, 40 und 50 Grad. Aufgrund von erwarteten Schwankungen der einzelnen Schwellenmessungen zum einen durch das sensorische Rauschen und zum anderen durch Ermüdungs- und Motivationseffekte wurden alle Schwellen insgesamt zweimal je Versuchsperson erhoben. Alle Messungen wurden auf sechs Sitzungen je Versuchsperson aufgeteilt. Pro Sitzung wurden alle zwölf Schwellen einer Versuchsbedingung in zufälliger Reihenfolge gemessen. Die Reihenfolge der Versuchsbedingungen wurde für beide Versuchspersonen ebenfalls jeweils zufällig bestimmt. Nach Abschluss aller Messungen wurde über die beiden Schwellenmessungen je Pedestal arithmetisch gemittelt. Die Dauer einer Sitzung betrug ungefähr 1,5 Stunden und variierte etwas je nach der Länge der Pausen zwischen den einzelnen Schwellenmessungen. Die Dauer einer einzelnen Schwellenmessung lag zwischen 5 und 6 Minuten. Sie war davon abhängig, wie schnell die Probanden am Ende eines Trials antworteten.

6 EXPERIMENT 1: EINFLUSS ABSOLUTER REFERENZWERTE AUF DIE SCHWELLENMESSUNGEN DER DIFFERENZSKALIERUNG



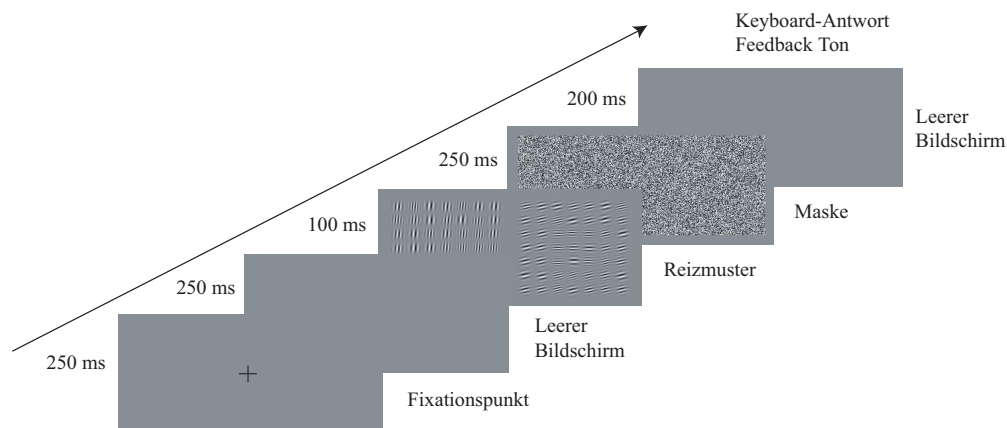
**Abb. 6.2:** Ein Beispiel für jede Versuchsbedingung von Reizmustern eines Different-Trials bei einem Pedestal bzw. einer Orientierung des Referenzreizes von 0 Grad. Das Target ist nur zur besseren Vergleichbarkeit immer auf der rechten Seite dargestellt. In allen Beispielen liegt eine Differenz des Orientierungscontrasts  $v$  bzw. der Orientierung  $\varphi$  zwischen Referenzreiz und Target von 6 Grad vor.

6 EXPERIMENT 1: EINFLUSS ABSOLUTER REFERENZWERTE AUF DIE SCHWELLENMESSUNGEN DER DIFFERENZSKALIERUNG



**Abb. 6.3:** Ein Beispiel für jede Messbedingung von Reizmustern eines Different-Trials bei einem Pedestal bzw. einer Orientierung des Referenzreizes von 25 Grad. Das Target ist nur zur besseren Vergleichbarkeit immer auf der rechten Seite dargestellt. Das Target hat in jedem Beispiel einen Orientierungskontrast  $v$  bzw. eine Orientierung  $\varphi$  von 38 Grad.

## 6 EXPERIMENT 1: EINFLUSS ABSOLUTER REFERENZWERTE AUF DIE SCHWELLENMESSUNGEN DER DIFFERENZSKALIERUNG

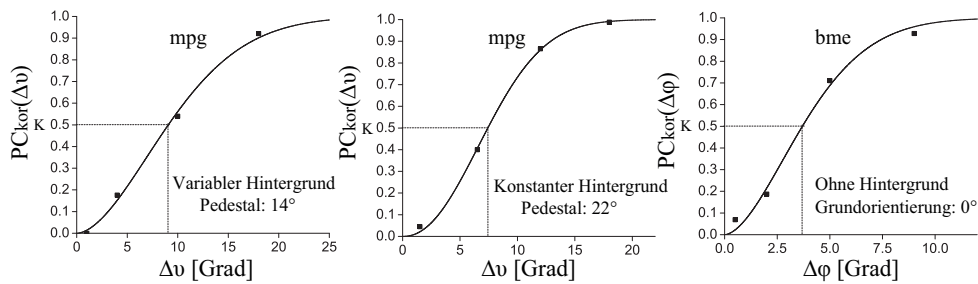


**Abb. 6.4:** Trialstruktur und Präsentationszeiten der Schwellenmessungen. Jeder Trial begann mit der Präsentation eines Fixationspunktes im Zentrum des Bildschirms für 250 msec. Danach schloss sich für 250 msec ein leerer Bildschirm in Hintergrundgrau an. Darauf folgte 100 msec lang die Präsentation der Reizmuster. Nach der Präsentation der Reizmuster wurde für 250 msec eine Maske eingeblendet. Die Probanden konnten dann über die externe Antwortbox ihre Antwort geben und erhielten dafür unmittelbar über Kopfhörer Feedback. Die Pause zwischen zwei Trials betrug mindestens 200 msec und dauerte darüber hinaus an, bis der Proband seine Antwort gab. Der Bildschirm war in dieser Zeit wieder leer und in Hintergrundgrau.

**Aufgabe der Probanden und genaue Struktur eines Trials** Die Schwellen wurden mit einer Same-Different-Methode gemessen. Die zu vergleichenden Reize wurden räumlich verteilt, d.h. nebeneinander dargeboten. In den Versuchsbedingungen „variabler Hintergrund“ und „konstanter Hintergrund“ hatten die Probanden zu entscheiden, ob ihnen zwei hinsichtlich des Merkmalskontrasts identische Reizmuster in einem Trial präsentiert wurden („same“) oder ob eines der beiden Reizmuster eines Trials einen im Vergleich zum anderen Reizmuster größeren Merkmalskontrast aufwies („different“). Der erste Fall wird als Same-Trial bezeichnet, letzterer als Different-Trial. In der Versuchsbedingung „ohne Hintergrund“ hatten die Probanden zu entscheiden, ob ihnen zwei identisch orientierte Reizmuster in einem Trial präsentiert wurden („same“) oder ob die Orientierungen der Gaborelemente der beiden Reizmuster unterschiedliche waren („different“). Die Reize in Abb. 6.2 und 6.3 sind Beispiele für Different-Trials der Schwellenmessungen. Die gesamte Struktur eines Trials und die Präsentationszeiten der einzelnen Elemente zeigt Abb. 6.4.

**Bestimmung der Schwellen** Pro Schwellenmessung wurden vier verschiedene Reizintensitäten als Targets verwandt und jeweils 16 mal zusammen mit dem Referenzreiz präsentiert. Eine Schwellenmessung bestand folglich aus insgesamt 64 Different-Trials

## 6 EXPERIMENT 1: EINFLUSS ABSOLUTER REFERENZWERTE AUF DIE SCHWELLENMESSUNGEN DER DIFFERENZSKALIERUNG



**Abb. 6.5:** Typische Messdaten samt der sie beschreibenden psychometrischen Funktionen. Auf der Abszisse ist jeweils die Differenz zwischen dem Orientierungscontrast bzw. der Orientierung des Targets und dem Orientierungscontrast bzw. der Orientierung des Referenzreizes abgetragen ( $\Delta v$  bzw.  $\Delta \varphi$ ). Auf der Ordinate sind die für diese Differenzen berechneten  $PC_{kor}$ -Werte abgetragen ( $PC_{kor}(\Delta v)$  bzw.  $PC_{kor}(\Delta \varphi)$ ). Der 50%-Punkt der Funktion wurde als Schwellenkriterium  $K$  definiert, d.h.  $\Delta v$  bzw.  $\Delta \varphi$  gibt für  $PC_{kor}(\Delta v) = 0.5$  bzw.  $PC_{kor}(\Delta \varphi) = 0.5$  das zum Erreichen der Schwelle notwendige Inkrement bzw. den zum Erreichen der Schwelle notwendigen Unterschied in der Orientierung an.

und ebensovielen Same-Trials, so dass eine komplette Schwellenmessung 128 Trials enthält. Die Reihenfolge der Trials wurde zufällig variiert. In Abb. 6.5 sind typische Messdaten samt der sie beschreibenden psychometrischen Funktionen dargestellt. Die Bestimmung der  $PC_{kor}$ -Werte aus den Messdaten einer Schwellenmessung und die Vorgehensweise zur Schätzung der Parameter der psychometrischen Funktion sind in Anhang A.4 beschrieben. Als Schwellenkriterium  $K$  wurde der 50%-Punkt der Funktion definiert.

### 6.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Schwellenmessungen der drei Versuchsbedingungen sind in Tabelle 6.1 dargestellt. In Abb. 6.6 sind diese Messwerte grafisch veranschaulicht. Tabelle 6.2 enthält die über beide Versuchspersonen gemittelten Messwerte, welche in Abb. 6.7 grafisch dargestellt werden.

**Ergebnisse der Versuchsbedingung „ohne Hintergrund“** Wie den Abb. 6.6 und 6.7 zu entnehmen ist, zeigen sich keine großen Schwankungen des zur Diskrimination von Referenzreiz und Vergleichsreiz notwendigen Orientierungsunterschieds in Abhängigkeit von der Orientierung des Referenzreizes.

**Ergebnisse der Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“** Die Ergebnisse der Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“ entsprechen den Ergebnissen einer Diffe-

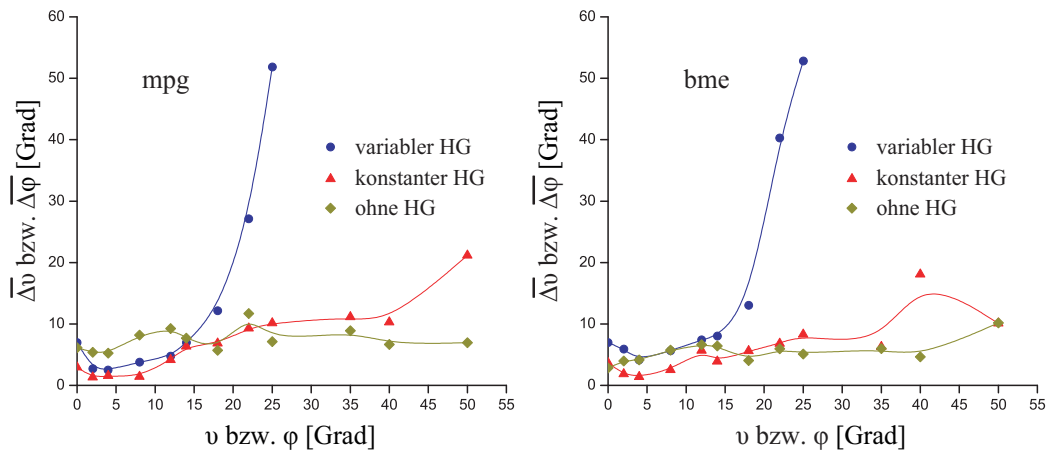
6 EXPERIMENT 1: EINFLUSS ABSOLUTER REFERENZWERTE AUF DIE SCHWELLENMESSUNGEN DER DIFFERENZSKALIERUNG

**Tabelle 6.1:** Ergebnisse der Schwellenmessungen. In der linken Spalte steht der Orientierungskontrast  $v$  bzw. die Orientierung  $\varphi$  für den bzw. die die Schwelle zweimal gemessen wurde.  $\overline{\Delta v_v}$  ist der arithmetische Mittelwert des über die zwei Schwellenmessungen in der Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“ bestimmten Inkrements und  $\sigma_v$  gibt die Streuung dieser zwei Messungen an.  $\overline{\Delta v_f}$  gibt entsprechend den arithmetischen Mittelwert des über die zwei Schwellenmessungen der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“ bestimmten Inkrements und  $\overline{\Delta \varphi_o}$  den arithmetischen Mittelwert des zur Diskrimination von Referenzreiz und Vergleichsreiz notwendigen Orientierungsunterschieds der Versuchsbedingung „ohne Hintergrund“ an. In den Spalten  $\sigma_f$  sowie  $\sigma_o$  sind die jeweils zugehörigen Streuungen dieser Messungen angegeben (alle Angaben in Grad).

$v$ bzw. $\varphi$	mpg	bme											
		$\overline{\Delta v_v}$	$\sigma_v$	$\overline{\Delta v_f}$	$\sigma_f$	$\overline{\Delta \varphi_o}$	$\sigma_o$	$\overline{\Delta v_v}$	$\sigma_v$	$\overline{\Delta v_f}$	$\sigma_f$	$\overline{\Delta \varphi_o}$	$\sigma_o$
0		7.00	1.68	2.92	0.32	6.12	0.36	6.97	0.81	3.67	0.18	2.83	1.22
2		2.74	1.39	1.33	0.37	5.40	1.35	5.89	0.01	1.84	0.91	3.96	1.10
4		2.50	0.73	1.57	0.27	5.24	1.88	4.13	0.79	1.38	0.63	4.16	2.11
8		3.78	1.31	1.41	0.48	8.18	1.53	5.63	1.01	2.53	0.06	5.73	4.92
12		4.75	1.25	4.16	1.60	9.25	0.60	7.42	2.10	5.68	0.97	6.62	0.99
14		6.96	2.98	6.35	1.17	7.68	1.72	8.01	1.76	3.90	0.83	6.42	0.19
18		12.15	6.96	6.84	2.22	5.69	0.14	13.05	2.99	5.62	0.10	4.05	2.43
22		27.10	7.64	9.29	2.64	11.70	8.18	40.26	1.80	6.79	0.78	5.96	1.38
25		51.85	3.30	10.13	6.07	7.11	0.59	52.82	27.80	8.29	6.35	5.12	1.04
35				11.12	1.83	8.91	2.86			6.27	1.31	5.99	0.77
40				10.28	0.26	6.66	2.12			18.06	6.48	4.66	0.27
50				21.14	3.69	6.93	0.48			10.12	0.01	10.16	3.04



## 6 EXPERIMENT 1: EINFLUSS ABSOLUTER REFERENZWERTE AUF DIE SCHWELLENMESSUNGEN DER DIFFERENZSKALIERUNG

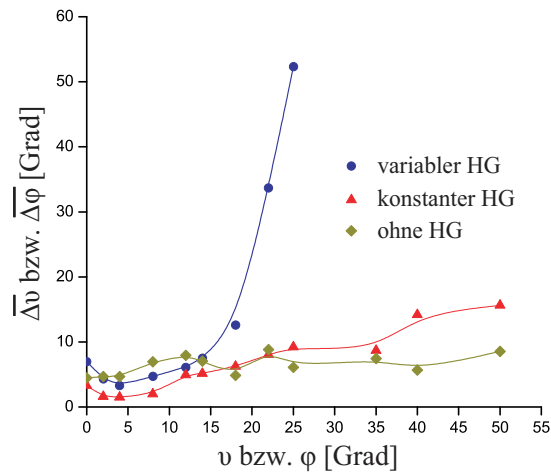


**Abb. 6.6:** Grafische Darstellung der gemittelten Schwellenmessungen je Proband.  $v$  gibt das Pedestal in den Versuchsbedingungen „variabler Hintergrund“ und „konstanter Hintergrund“,  $\varphi$  gibt die Orientierung des Referenzreizes der Versuchsbedingung „ohne Hintergrund“ und  $\overline{\Delta v}$  bzw.  $\overline{\Delta \varphi}$  geben das je Pedestal bestimmte Inkrement bzw. den je Orientierung des Referenzreizes bestimmten, zur Diskrimination von Referenzreiz und Vergleichsreiz notwendigen, Orientierungsunterschied an. Zur besseren Übersichtlichkeit sind keine Streubalken eingetragen und die Messpunkte einer Versuchsbedingung sind über eine Linie verbunden. HG steht für Hintergrund.

**Tabelle 6.2:** Mittelwerte über die Ergebnisse der Schwellenmessungen beider Versuchspersonen. Erläuterungen siehe Tabelle 6.1.

$v$ bzw. $\varphi$	$\overline{\Delta v_v}$	$\sigma_v$	$\overline{\Delta v_f}$	$\sigma_f$	$\overline{\Delta \varphi_o}$	$\sigma_o$
0	6.98	1.08	3.30	0.48	4.47	2.03
2	4.31	1.99	1.58	0.64	4.68	1.31
4	3.31	1.13	1.48	0.41	4.70	1.75
8	4.71	1.43	1.97	0.70	6.95	3.40
12	6.09	2.09	4.92	1.40	7.93	1.66
14	7.48	2.09	5.12	1.64	7.05	1.23
18	12.60	4.40	6.23	1.46	4.87	1.69
22	33.68	10.66	8.04	2.15	8.83	5.82
25	52.34	16.17	9.21	5.18	6.11	1.34
35			8.69	3.09	7.45	2.40
40			14.17	5.84	5.66	1.69
50			15.63	6.71	8.55	2.58

## 6 EXPERIMENT 1: EINFLUSS ABSOLUTER REFERENZWERTE AUF DIE SCHWELLENMESSUNGEN DER DIFFERENZSKALIERUNG



**Abb. 6.7:** Grafische Darstellung der über die Versuchspersonen gemittelten Schwellenmessungen. Erläuterungen können Abb. 6.6 entnommen werden.

renzskalierung von Merkmals salienz (vgl. Kapitel 4.2). Für niedrige Pedestals (2, 4 und 8 Grad) zeigt sich bei beiden Versuchspersonen eine Verkleinerung des Inkrements im Vergleich zum Inkrement der Absolutschwelle (negativer Maskierungseffekt). Für alle größeren Pedestals nimmt die zur Diskrimination zweier Merkmalskontraste notwendige Differenz des Merkmalskontrasts ( $\overline{\Delta v_v}$ ) mit größer werdendem Merkmalskontrast des Pedestals stetig zu („positiver Maskierungseffekt“). Für die Pedestals 35, 40 und 50 Grad konnte in dieser Versuchsbedingung keine Schwelle gemessen werden. Der maximale Orientierungscontrast von 90 Grad reichte in diesen Messungen nicht aus, um einen deutlich vom Zufall abweichenden  $PC_{kor}$ -Wert hervorzurufen. Das bedeutet, der maximale Orientierungscontrast konnte nicht überzufällig von den Pedestals unterschieden werden, wodurch keine psychometrische Funktion und damit natürlich auch keine Schwelle bestimmt werden konnte. Auf diese grundsätzliche Problematik der Messung einer stabilen psychometrischen Funktion für große Pedestals wird in Kapitel 8 eingegangen. Hier sei festgehalten, dass sich diese Problematik in dem vorliegenden Experiment darin äußert, dass entweder für große Pedestals aus dem beschriebenen Grund gar keine Schwellen bestimmt werden konnten (Pedestal 35, 40 und 50 Grad) oder die Messungen stark streuen (vgl.  $\sigma_v$ -Werte der Pedestals 22 und 25 Grad mit den  $\sigma_v$ -Werten aller anderen Pedestals in Tabelle 6.1).

**Ergebnisse der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“** Die Ergebnisse der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“ zeigen bis zum Pedestal von 14 Grad einen ähnlichen Verlauf wie die Ergebnisse der Versuchsbedingung „variabler Hinter-

## 6 EXPERIMENT 1: EINFLUSS ABSOLUTER REFERENZWERTE AUF DIE SCHWELLENMESSUNGEN DER DIFFERENZSKALIERUNG

grund“, d.h. es zeigt sich ebenfalls der negative Maskierungseffekt. Die in der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“ bestimmten Inkremente sind in diesem Bereich jedoch kleiner, als die in der Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“ bestimmten Inkremente. Ab dem Pedestal von 14 Grad steigen die in der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“ bestimmten Inkremente mit größer werdendem Orientierungskontrast des Pedestals im Unterschied zur den Inkrementen der Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“ nur moderat an. Für die Pedestals 18, 22, 25 und 35 Grad stimmen die Ergebnisse beider Versuchspersonen annähernd mit den Ergebnissen der Versuchsbedingung „ohne Hintergrund“ überein. Bei einem Pedestal von 40 Grad zeigt sich beim Probanden bme ein im Vergleich zur Versuchsbedingung „ohne Hintergrund“ erhöhtes Inkrement, bei der Probandin mpg zeigt sich eine solche Erhöhung beim Pedestal von 50 Grad.

### 6.4 Diskussion

Sowohl in der Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“, als auch in der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“ zeigt sich ein negativer Maskierungseffekt, d.h. mit von null an größer werdendem Pedestal nimmt die Größe des bestimmten Inkrements zunächst im Vergleich zum Inkrement der Absolutschwelle (Pedestal von 0 Grad) ab (s. Kapitel 4.2). Da dieser Effekt nicht in der Versuchsbedingung „ohne Hintergrund“ auftritt kann dieser Effekt auf die angrenzenden Hintergrundelemente zurückgeführt werden.

In der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“ sind die Schwellen im Bereich dieses negativen Maskierungseffekts jedoch niedriger als die Schwellen in der Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“. Die Ursache dafür muss in der stets horizontalen Ausrichtung des Hintergrundes in der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“ liegen. Den Ergebnissen der Versuchsbedingung „ohne Hintergrund“ ist zu entnehmen, dass die Versuchspersonen bei einem horizontalen Vergleichsreiz für die Orientierungsdiskrimination am empfindlichsten sind. Die Schwelle bei der Orientierung des Referenzreizes von 0 Grad (horizontale Orientierung) liegt gemittelt über alle vier Messungen der Versuchspersonen bei 4.47 Grad, so niedrig wie bei keiner anderen Orientierung der Versuchsbedingung „ohne Hintergrund“ (s. Tabelle 6.2). Dieses Ergebnis steht in Einklang mit Studien, die zeigen, dass Linien oder Gitter leichter wahrgenommen werden können, wenn sie eine horizontale oder vertikale Orientierung haben als wenn sie eine schräge Orientierung aufweisen (Überblick in Taylor, 1963). Es ist somit davon auszugehen, dass die in der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“ im Vergleich zur Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“ niedrigeren Schwellen im Bereich des

## 6 EXPERIMENT 1: EINFLUSS ABSOLUTER REFERENZWERTE AUF DIE SCHWELLENMESSUNGEN DER DIFFERENZSKALIERUNG

negativen Maskierungseffekts auf die höhere Orientierungsdiskriminationsfähigkeit bei horizontaler Orientierung im Vergleich zu schrägen Orientierungen der Hintergrundelemente zurückzuführen ist.

Die Ergebnisse zeigen weiter, dass ab dem Pedestal von 18 Grad die Inkremente der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“ dem zur Diskrimination von Referenzreiz und Vergleichsreiz notwendigen Orientierungsunterschied in der Versuchsbedingung „ohne Hintergrund“ gleichen. Daraus lässt sich schließen, dass die Versuchspersonen in der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“ bei diesen Pedestals die ihnen gestellte Diskriminationsaufgabe überwiegend durch den Vergleich der Orientierungen der Vordergrundelemente gelöst haben. In den geschilderten Fällen, in denen die Inkremente der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“ größer als der zur Diskrimination von Referenzreiz und Vergleichsreiz notwendige Orientierungsunterschied in der Versuchsbedingung „ohne Hintergrund“ waren, ist anzunehmen, dass die Versuchspersonen zum Teil die durch den Orientierungskontrast erzeugte Salienz der quadratischen Texturfigur und zum Teil die Orientierung der Vordergrundelemente zur Lösung der ihnen gestellten Diskriminationsaufgabe genutzt haben.

Es ist zu vermuten, dass die Beachtung der Orientierung der Vordergrundelemente bei großen Pedestals in der Versuchsbedingung „konstanter Hintergrund“ maßgeblich durch das Tonfeedback nach jedem Diskriminationsurteil beeinflusst ist. Denn bei großen Pedestals führt die alleinige Beachtung der Orientierungen der Vordergrundelemente im Vergleich zur Beachtung der durch Merkmalskontrast erzeugten Merkmalssalienz zu einer höheren Diskriminationsleistung, d.h. zu weniger negativen Feedback und mehr positivem Feedback.

Unabhängig davon, ob dieses klare Ergebnis durch Feedback beeinflusst ist, zeigen die Ergebnisse, dass bei Verwendung von Feedback bei den Schwellenmessungen der Differenzskalierung der Vergleich von absoluten Referenzwerten nicht zu einer korrekten Lösung der gestellten Diskriminationsaufgabe führen darf.

Das Fazit der Untersuchung ist deshalb, dass bei den Schwellenmessungen der Differenzskalierung von Merkmalssalienz die Merkmalsausprägung der Hinter- oder Vordergrundelemente von Referenzreiz und Target in dem Merkmal, in dem der Merkmalskontrast generiert wird, nicht in allen Trials einer Schwellenmessung identisch sein darf.

## 7 Generierung des Ortsfrequenzkontrasts für die Differenzskalierung von Ortsfrequenzsalienz

### 7.1 Periodisches Orientierungskontinuum versus einseitig gerichtetes Ortsfrequenzkontinuum

Wie muss für ein einseitig gerichtetes Kontinuum, wie es beim Merkmal Ortsfrequenz vorliegt, der Merkmalskontrast für die Schwellenmessungen der Differenzskalierung von Merkmalsalienz generiert werden, damit die gemessene Diskriminationsfähigkeit einer Versuchsperson nur auf die durch den Merkmalskontrast erzeugte Salienz der Texturfigur zurückzuführen ist (Merkmalskontrast-Generierungsproblem (MKG-Problem))?

Im folgenden wird zunächst der Unterschied zwischen einem periodischen und einem einseitig gerichteten Kontinuum anhand der Merkmale Orientierung und Ortsfrequenz erläutert und damit verdeutlicht, warum die Lösung des MKG-Problems für das Merkmal Orientierung nicht für das Merkmal Ortsfrequenz verwendet werden kann.

**Orientierung** Wird die Orientierung eines einzelnen Reizelements kontinuierlich in eine Richtung verändert (z.B. gegen den Uhrzeigersinn), dann wird bei symmetrischen Reizelementen nach einer Drehung um 180 Grad wieder die ursprüngliche Orientierung und bei nicht symmetrischen Reizelementen nach einer Drehung von 360 Grad wieder die Ausgangsorientierung erreicht. Durch diese Eigenschaft des Merkmals Orientierung, dass man trotz kontinuierlicher Veränderung des Merkmals in eine Richtung immer darstellbare Ausprägungen des Merkmals erreicht, ist das MKG-Problem auf eine einfache Art und Weise für das Merkmal Orientierung zu lösen und zwar wie folgt:

Die Orientierung der Hintergrundelemente eines Reizmusters wird bei symmetrischen Elementen (z.B. Gaborreizen) zufällig zwischen 0 und 180 Grad gezogen, wodurch die Orientierung der Hintergrundelemente jede mögliche Orientierung annehmen kann. Die Elemente des Reizmusters, die die durch Orientierungskontrast erzeugte Texturfigur bilden, werden entsprechend des eingestellten Orientierungskontrasts  $v$  gegen den Uhrzeigersinn im Vergleich zu den Hintergrundelementen gedreht (s. Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“ im 1. Experiment in Kapitel 6.2.3). Die Drehung der Vordergrundelemente entsprechend des eingestellten Orientierungskontrasts ist nach der zufälligen Ziehung der Orientierung der Hintergrundelemente nur aufgrund der Periodizität des Orientierungskontinuums *immer* möglich.

**Ortsfrequenz** Das Ortsfrequenzkontinuum hat hingegen eine obere und eine untere Grenze, über die hinaus eine weitere Veränderung der Ortsfrequenz zu nicht darstell-

## 7 GENERIERUNG DES ORTSFREQUENZKONTRASTS FÜR DIE DIFFERENZSKALIERUNG VON ORTSFREQUENZSALIENZ

baren Ausprägungen des Merkmals führt. Die untere Grenze der darstellbaren Ortsfrequenzen eines Gaborreizes, also die tiefste Ortsfrequenz, die über einen Gaborreiz präsentiert werden kann, hängt von dessen Durchmesser  $d$  (in Grad Sehwinkel) ab<sup>17</sup>. Die Ortsfrequenz eines Gaborreizes ist nur dann realisiert, wenn mindestens eine vollständige Schwingung zu erkennen ist. Das bedeutet, dass die tiefste Ortsfrequenz, die über einen Gaborreiz präsentiert werden kann, durch  $\frac{1}{d}$  bestimmt wird. Die obere Grenze der darstellbaren Ortsfrequenzen, also die höchste Ortsfrequenz, die in einem Experiment präsentiert werden kann, hängt in der Regel vom Sehabstand und der Pixelauflösung des verwendeten Monitors ab. Grundsätzlich ist das visuelle System in der Lage Ortsfrequenzen von bis zu 50 Schwingungen pro Grad Sehwinkel (cpd) wahrzunehmen. Beträgt der Sehabstand in einem Versuch wie in den Untersuchungen dieser Arbeit 60 cm können bei einer Pixelauflösung des Monitors von 1024x768 jedoch keine Ortsfrequenzen oberhalb von 10 cpd dargestellt werden. Aufgrund dieser oberen und unteren Grenze der darstellbaren Ortsfrequenzen ist ein analoges Vorgehen zum Merkmal Orientierung zur Lösung des MKG-Problems nicht möglich. Denn würde z.B. für die Hintergrundelemente eines Reizmusters zufällig eine Ortsfrequenz aus der gesamten Verteilung der darstellbaren Ortsfrequenzen gezogen und der Merkmalskontrast würde durch eine Verringerung der Ortsfrequenz der Vordergrundelemente im Vergleich zu den Hintergrundelementen realisiert, treten automatisch Fälle auf, in denen die Ortsfrequenz der Vordergrundelemente die untere Grenze der darstellbaren Ortsfrequenzen unterschreitet.

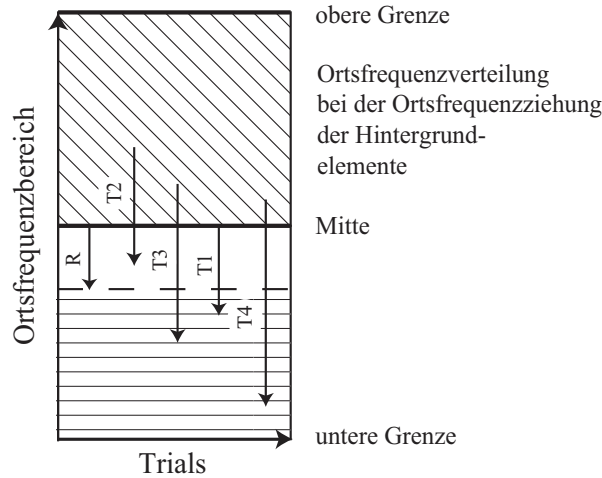
### 7.2 Verfahren zur Generierung von Ortsfrequenzkontrast ohne konfundierende absolute Merkmalsausprägungen

Ein einseitig gerichtetes Kontinuum, wie das Ortsfrequenzkontinuum, legt nahe, die Merkmalsausprägung der Hinter- oder Vordergrundelemente eines visuellen Reizmusters an einem Ende des Kontinuums konstant zu halten und den Merkmalskontrast durch Erhöhung bzw. Verringerung der Merkmalsausprägung der Vorder- bzw. Hintergrundelemente zu erzeugen. Das vorangegangene Experiment hat jedoch gezeigt, dass in diesem Fall Versuchspersonen bei großen Pedestals die absolute Merkmalsausprägung und nicht die durch Merkmalskontrast erzeugte Salienz zur Lösung der ihnen gestellten Diskriminationsaufgabe nutzen. Aufgrund dieses Ergebnisses wurde ein komplexeres Verfahren zur Lösung des MKG-Problems für das Merkmal Ortsfrequenz entwickelt. Zum besseren Verständnis dieses Verfahrens wird im Folgenden zunächst ein erster Verfah-

---

<sup>17</sup>Der Durchmesser eines Gaborreizes wird bestimmt durch die Standardabweichung (sd) der Gaußhülle und dem Abschneiden nach einem Radius von  $x$  sd-Einheiten.

## 7 GENERIERUNG DES ORTSFREQUENZKONTRASTS FÜR DIE DIFFERENZSKALIERUNG VON ORTSFREQUENZSALIENZ



**Abb. 7.1:** Erster Verfahrensansatz zur Ortsfrequenzkontrastgenerierung.

rensansatz dargestellt und es wird erläutert, warum das MKG-Problem dafür noch nicht vollständig gelöst ist. Anschließend wird die Modifikation dieses ersten Verfahrensansatzes und damit das endgültige Verfahren zur Generierung von Ortsfrequenzkontrast ohne konfundierende absolute Merkmalsausprägungen beschrieben.

**Erster Verfahrensansatz zur Lösung des MKG-Problems für das Merkmal Ortsfrequenz** Der präsentierbare Ortsfrequenzbereich wird in zwei Hälften geteilt und die Ortsfrequenz der Hintergrundelemente wird nur aus der oberen Hälfte des darstellbaren Ortsfrequenzbereichs gezogen. Der Ortsfrequenzkontrast wird dann über die Verringerung der Ortsfrequenz der Vordergrundelemente im Vergleich zu den Hintergrundelementen umgesetzt. Als maximaler Ortsfrequenzkontrast wird genau die halbe Bandbreite des darstellbaren Ortsfrequenzbereichs festgelegt. Dann kann, unabhängig davon welche Ortsfrequenz aus der oberen Hälfte des Ortsfrequenzbereichs gezogen wird, die über den Ortsfrequenzkontrast festgelegte tiefere Ortsfrequenz der Vordergrundelemente die untere Grenze der darstellbaren Ortsfrequenzen nie unterschreiten.

Dieser erste Verfahrensansatz ist in Abb. 7.1 dargestellt. Auf der Ordinate ist der darstellbare Ortsfrequenzbereich abgetragen, der durch die obere und die untere Grenze eingerahmt und in der Mitte geteilt ist. Auf der Abszisse sind die Trials einer Messung abgetragen. Die obere Hälfte des geteilten Ortsfrequenzbereichs ist in Abhängigkeit von den Trials durch eine schräggestreifte Fläche hervorgehoben. Diese Fläche gibt die Verteilung der Ortsfrequenzen an, aus der die Ortsfrequenz der Hintergrundelemente in den Trials einer Messung gezogen wird. Beispielhaft sind für einzelne Reize eines Tri-

## 7 GENERIERUNG DES ORTSFREQUENZKONTRASTS FÜR DIE DIFFERENZSKALIERUNG VON ORTSFREQUENZSALIENZ

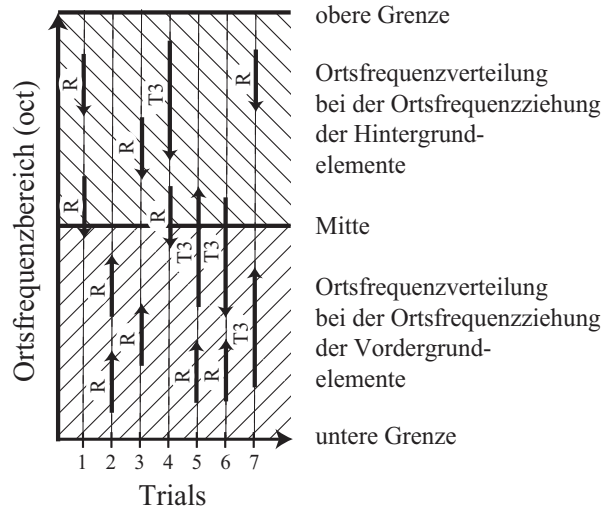
als Pfeile eingezeichnet, deren Länge die Größe des Ortsfrequenzkontrasts repräsentiert. Die jeweiligen Endpunkte eines Pfeils markieren die Ortsfrequenz der Hinter- (Pfeilbeginn) bzw. Vordergrundelemente (Pfeilspitze) eines Reizmusters.

Der in der Abbildung eingezeichnete Referenzreizkontrast (R) sowie die beispielhafte Darstellung von vier in einer Messung auftretenden Targetkontrasten (T1, T2, T3, T4) sollen verdeutlichen, aus welchem Grund dieses erste Verfahren zur Merkmalskontrastgenerierung nicht geeignet ist, das MKG-Problem zu lösen. Der eingezeichnete Referenzreizkontrast stellt dazu einen in diesem Verfahren auftretenden Grenzfall dar. Für die Ortsfrequenz der Hintergrundelemente dieses Referenzreizes wird die tiefstmögliche Ortsfrequenz aus der oberen Hälfte der Ortsfrequenzverteilung gezogen. Die Größe des Referenzreizkontrasts bestimmt in diesem Fall die tiefstmögliche Ortsfrequenz der Vordergrundelemente (gestrichelte Linie) des Referenzreizes. Liegt in einer Messung bei den Vordergrundelementen eines Reizes eine Ortsfrequenz vor, die unterhalb dieser tiefstmöglichen Ortsfrequenz der Vordergrundelemente des Referenzreizes liegt (horizontal gestreifte Fläche), dann weiß eine Versuchsperson nur aufgrund der Merkmalsausprägung der Vordergrundelemente, dass es sich um ein Target handeln muss. Bei den beispielhaft eingezeichneten Merkmalskontrasten der Targets ist das bei T1, T3 und T4 der Fall.

**Endgültiges Verfahren zur Ortsfrequenzkontrastgenerierung** Folglich musste die erste Version des Verfahrens zur Merkmalskontrastgenerierung modifiziert werden, damit es der gestellten Anforderung, dass allein unter Berücksichtigung des Merkmalskontrasts die Diskrimination zweier Reize korrekt möglich ist, gerecht wird. Es musste gewährleistet sein, dass auch bei den Vordergrundelementen des Referenzreizes alle Ortsfrequenzen der unteren Hälfte des zur Verfügung stehenden Ortsfrequenzbereichs vorkommen können, so dass die alleinige Beachtung der Ortsfrequenz der Vordergrundelemente ein Datenmuster ergibt, dass nicht von einer zufälligen Beantwortung zu unterscheiden ist. Dazu wurde eine zweite Variante zur Generierung des Ortsfrequenzkontrasts eines Reizmusters in das Verfahren aufgenommen. Diese sieht eine zufällige Ziehung der Ortsfrequenz der Vordergrundelemente eines Reizes aus der unteren Hälfte des Ortsfrequenzbereichs vor. Der eingestellte Ortsfrequenzkontrast wird dann durch eine Erhöhung der Ortsfrequenz der Hintergrundelemente im Vergleich zur Ortsfrequenz der Vordergrundelemente realisiert. In einer Schwellenmessung wird dann der Ortsfrequenzkontrast eines Reizes (unabhängig davon ob Referenzreiz oder Target) in 50% der Fälle über die Ziehung der Ortsfrequenz der Hintergrundelemente aus der oberen Hälfte des Ortsfrequenzbereichs und anschließender Absenkung der Ortsfrequenz der Vordergrundelemente generiert (kurz: Hintergrundziehung) und in den anderen 50% der Fälle



## 7 GENERIERUNG DES ORTSFREQUENZKONTRASTS FÜR DIE DIFFERENZSKALIERUNG VON ORTSFREQUENZSALIENZ



**Abb. 7.2:** Verfahren zur Ortsfrequenzkontrastgenerierung.

über die Ziehung der Ortsfrequenz der Vordergrundelemente aus der unteren Hälfte des Ortsfrequenzbereichs und der anschließenden Erhöhung der Ortsfrequenz der Hintergrundelemente entsprechend des vorgegebenen Ortsfrequenzkontrasts (kurz: Vordergrundziehung). Dieses Verfahren ist in Abb. 7.2 veranschaulicht. Beispielhaft sind alle Kombinationen von Vorder- und Hintergrundziehungen, die in Same- bzw. Different-Trials einer Schwellenmessung mit einer Same-Different-Methode auftreten können, durch Pfeile dargestellt. Die Länge der Pfeile repräsentiert erneut die Größe des in einer Messung eingestellten Ortsfrequenzkontrasts eines Referenzreizes (R) bzw. Targets (T3) und die jeweiligen Endpunkte eines Pfeils markieren die Ortsfrequenz der Hintergrund- (Pfeilbeginn) bzw. Vordergrundelemente (Pfeilspitze) des Referenzreizes bzw. Targets. Bei den ersten drei Beispieltrials handelt es sich um Same-Trials. Im allerersten Trial werden die Ortsfrequenzkontraste beider Referenzreize durch Hintergrundziehungen generiert. In Beispieltrial zwei werden die Ortsfrequenzkontraste beider Referenzreize durch Vordergrundziehungen erzeugt und in Trial drei ist die dritte Möglichkeit eines Same-Trials dargestellt. Der Ortsfrequenzkontrast eines Referenzreizes wird in diesem Fall durch eine Hintergrundziehung und der andere durch eine Vordergrundziehung generiert. Die Trials vier bis sieben in der Abbildung sind Beispiele für Different-Trials. In Trial vier wird sowohl der Ortsfrequenzkontrast des Targets als auch der Ortsfrequenzkontrast des Referenzreizes durch eine Hintergrundziehung erzeugt. In Trial fünf werden die Ortsfrequenzkontraste beider Reize durch eine Vordergrundziehung generiert. In Trial sechs wird der Ortsfrequenzkontrast des Targets durch eine Hintergrundziehung und der Ortsfrequenzkontrast des Referenzreizes durch eine Vordergrundziehung

## 7 GENERIERUNG DES ORTSFREQUENZKONTRASTS FÜR DIE DIFFERENZSKALIERUNG VON ORTSFREQUENZSALIENZ

erzeugt. Im letzten dargestellten Trial verhält es sich dann noch genau umgekehrt, d.h. der Ortsfrequenzkontrast des Referenzreizes wird durch eine Hintergrundziehung und der Ortsfrequenzkontrast des Targets wird durch eine Vordergrundziehung generiert. Dass sich die Pfeile und damit die Ortsfrequenzkontraste eines Trials nicht überschneiden, dient lediglich der besseren Übersichtlichkeit. Prinzipiell ist es z.B möglich, dass in einem Same-Trial für beide Referenzreize die gleiche Ortsfrequenz für die Hintergrundelemente gezogen wird. Die den Ortsfrequenzkontrast repräsentierenden Pfeile lägen dann übereinander.

**Warum nicht Two-Alternative-Forced-Choice statt Same-Different?** Bei einer Two-Alternative-Forced-Choice-Methode würden nur die in Abb. 7.2 dargestellten Different-Trials verwendet werden. Bei näherer Betrachtung wird deutlich, dass das Datenmuster nicht einem zufälligen Datenmuster gleichen würde, wenn eine Versuchsperson folgendes einfaches Entscheidungskriterium für ihr Urteil verwendet: „Es wird der Reiz eines Trials als Target beurteilt, der im Vergleich zum zweiten Reiz des Trials entweder stets die tiefere Ortsfrequenz der Vordergrundelemente oder stets die höhere Ortsfrequenz der Hintergrundelemente aufweist.“ Der Grund dafür, dass dieses Entscheidungskriterium zu einer überzufällig korrekten Antwortrate führt, ist, dass die Merkmalskontraste der Targets immer größer als die des Referenzreizes sind<sup>18</sup>, wodurch bei den Targets extremere Ortsfrequenzen mit höherer Wahrscheinlichkeit auftreten. Wird hingegen, wie im Verfahren vorgesehen, eine Same-Different-Methode für die Schwellenmessungen der Differenzskalierung von Ortsfrequenzsaliens verwendet, kann eine Versuchsperson über die Wahl eines einfachen Entscheidungskriteriums, wie z.B. „ein Different-Trial ist ein Trial, in dem die Ortsfrequenz der Vorder- oder Hintergrundelemente der zu vergleichenden Reize verschieden sind“, das Urteil „gleich“ oder „ungleich“ nicht überzufällig korrekt fällen. Die Antwortrate wäre bei diesem beispielhaften Entscheidungskriterium deshalb nicht überzufällig korrekt, weil die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die Ortsfrequenz der Vorder- oder Hintergrundelemente zweier Reize eines Trials gleich oder ungleich ist, sich nicht zwischen Same- und Different-Trials unterscheidet.

**Mögliche ungewünschte Hinweisreize zur Aufgabenbewältigung** Es gibt lediglich einen denkbaren Fall, in dem eine Versuchsperson die ihr gestellte Aufgabe, ob die zwei zu vergleichenden Reize eines Trials einen unterschiedlich großen Ortsfrequenz-

---

<sup>18</sup>Dies ist zumindest bei den für gewöhnlich durchgeführten sog. Inkrementenschwellenmessungen der Fall. In Kapitel 8 wird auch auf Dekrementenschwellenmessungen eingegangen, bei denen es sich genau umgekehrt verhält, d.h. der Merkmalskontrast des Referenzreizes ist bei diesen Messungen immer größer als der der Targets.

## 7 GENERIERUNG DES ORTSFREQUENZKONTRASTS FÜR DIE DIFFERENZSKALIERUNG VON ORTSFREQUENZSALIENZ

kontrast haben, durch Beachtung anderer Informationen als der Salienz korrekt lösen könnte. Wird in Same-Trials zufällig exakt dieselbe Ortsfrequenz für die Hinter- bzw. Vordergrundelemente gezogen, wodurch die Ortsfrequenz der Vorder- und Hintergrundelemente der zu vergleichenden Reize identisch wären, könnte eine Versuchsperson nur auf der Basis der Gleichheit der Ortsfrequenzen feststellen, dass es sich um einen Same-Trial handelt. Es gibt zwei Gründe, warum dieser Fall keine Einschränkung des Verfahrens darstellt. 1. Da es sich um eine stetige Verteilung handelt, aus der die Ortsfrequenz gezogen wird, geht die Wahrscheinlichkeit, dass zufällig die exakt gleiche Ortsfrequenz für die Vorder- oder Hintergrundelemente der Reize eines Same-Trials gezogen wird, gegen null. 2. Tritt dieser unwahrscheinliche Fall ein, dürfte aufgrund der kurzen Präsentationszeit der Reizmuster ( $\leq 100$  msec) der Vergleich der Ortsfrequenzen der Vorder- *und* Hintergrundelemente schwieriger sein, als der Vergleich der durch den Ortsfrequenzkontrast entstehenden Salienz der Texturfigur.

**Fazit** Das vorgestellte Verfahren zur Ortsfrequenzkontrastgenerierung löst das Merkmalskontrast-Generierungsproblem für das Merkmal Ortsfrequenz. Durch die Verwendung des Verfahrens kann eine Versuchsperson einen Unterschied im Ortsfrequenzkontrast nur über die durch diesen Ortsfrequenzkontrast erzeugte Salienz korrekt feststellen.

**Maßeinheit des Ortsfrequenzkontrasts** Beim Merkmal Orientierung geht man davon aus, dass ein bestimmter Orientierungskontrast immer annähernd die gleiche Merkmalssalienz hervorruft, egal welche konkrete Ausprägung die Orientierung der Vorder- bzw. Hintergrundelemente eines Reizes hat. Z.B. sollte ein Orientierungskontrast von 20 Grad bei horizontal ausgerichteten Hintergrundelementen genauso salient sein, wie bei senkrechter oder auch schräger Orientierung der Hintergrundelemente. Die Salienz  $R$  eines Reizes hängt dann nur von der Größe des Orientierungskontrasts  $v$  ab und Ziel der Skalierung ist es, diese Abhängigkeit  $R(v)$  näher zu bestimmen.

Für das Merkmal Ortsfrequenz muss selbiges gelten, d.h., dass zwei nominell gleich große Ortsfrequenzkontraste subjektiv annähernd gleich salient sein müssen, egal welche konkrete Ausprägung die Ortsfrequenz der Vorder- bzw. Hintergrundelemente eines Reizes hat. Ist das der Fall, dann hängt auch beim Merkmal Ortsfrequenz die Salienz  $R$  eines Reizes nur von der Größe des Ortsfrequenzkontrasts  $f$  ab und diese Abhängigkeit  $R(f)$  kann über die Differenzskalierungsmethode mittels des vorgestellten Verfahrens zur Merkmalskontrastgenerierung bestimmt werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Salienz eines Ortsfrequenzkontrasts unabhängig von der konkreten Ausprägung der Ortsfrequenz der Vorder- bzw. Hintergrundelemente dann annähernd subjektiv gleich groß ist, wenn der Oktavabstand zwischen Vorder- und Hintergrundelementen konstant

## 7 GENERIERUNG DES ORTSFREQUENZKONTRASTS FÜR DIE DIFFERENZSKALIERUNG VON ORTSFREQUENZSALIENZ

ist. Dementsprechend wurde als Maßeinheit für den Ortsfrequenzkontrast Oktave (oct) ausgewählt. Der Ortsfrequenzkontrast in oct wird wie folgt berechnet:

$$\hat{\Delta}_f = ld\left(\frac{f_2}{f_1}\right) = ld(f_2) - ld(f_1), \quad (7.1)$$

wobei  $f_2$  die höhere Ortsfrequenz und  $f_1$  die tiefere Ortsfrequenz ist. Liegen zwei Ortsfrequenzen  $f_2$  und  $f_1$  eine Oktave weit auseinander, so besteht entsprechend zwischen ihnen ein Verhältnis  $V$  von

$$V = f_2/f_1 = 2 : 1. \quad (7.2)$$

Das bedeutet somit, dass z.B. zwischen 2 und 1 cycles per degree (cpd), zwischen 8 und 4 cpd sowie zwischen 6 und 3 cpd immer genau eine Oktave liegt.

## 8 Experiment 2: Vergleich von Dekrement- und Inkrement-Schwellenmessungen zur Bestimmung von Diskriminationsschwellen-Funktionen

### 8.1 Einleitung

Bei Schwellenmessungen kann zwischen Inkrement- und Dekrement-schwellenmessungen unterschieden werden. In der Regel ist die Reizintensität aller Vergleichsreize einer Schwellenmessung größer als die Reizintensität des Referenzreizes. In diesen Fällen wird diejenige im Vergleich zum Referenzreiz *größere* Reizintensität bestimmt, die gerade eben von der Intensität des Referenzreizes unterschieden werden kann (Inkrement-schwellenmessung)<sup>19</sup>. Sind bei einer Schwellenmessung die Reizintensitäten aller Vergleichsreize kleiner als die Reizintensität des Referenzreizes, wird diejenige im Vergleich zum Referenzreiz *kleinere* Reizintensität bestimmt, die gerade eben von der Intensität des Referenzreizes unterschieden werden kann (Dekrement-schwellenmessung).

In diesem Kapitel wird auf die Problematik der starken Streuungen von Inkrement-schwellenmessungen bei „großen Pedestals“ und eine mögliche Lösung dieser Problematik durch die Verwendung von Dekrement-schwellenmessungen für die Differenzskalierung von Merkmalssalienz eingegangen.

**Starke Streuung der Schwellenschätzungen bei „großen Pedestals“** Mit „großen Pedestals“ sind solche Pedestals gemeint, für die sich bei Inkrement-schwellenmessungen kein Vergleichsreiz finden lässt, der bei 100% (bzw. nahezu 100%) der Darbietungen vom Pedestal unterschieden werden kann. Ein solcher Vergleichsreiz lässt sich bei Inkrement-schwellenmessungen für große Pedestals deshalb nicht finden, weil man bei der Einstellung der Vergleichskontraste irgendwann unweigerlich an die Obergrenze, d.h. an den maximal einstellbaren Merkmalskontrast stößt (z.B. 90 Grad bei Orientierung), über den hinaus keine weitere Steigerung des Merkmalskontrasts und damit der Salienz möglich ist.

Es ist folglich nicht möglich eine „vollständige psychometrische Funktion“ für ein Pedestal zu messen, bei dem die Schwelle der maximal mögliche Merkmalskontrast ist. Mit „vollständiger psychometrischer Funktion“ ist die Messung einer psychometrischen Funktion gemeint, in die Messpunkte mit *PC*-Werten einfließen, die zum Teil kleiner und zum Teil größer als das festgelegte Schwellenkriterium (z.B. der 75%-Punkt einer über eine Two-Alternative-Forced-Choice-Methode bestimmten psychometrischen

---

<sup>19</sup>Bei allen Schwellenmessungen des ersten Experiments handelt es sich folglich um Inkrement-schwellenmessungen.

## 8 EXPERIMENT 2: VERGLEICH VON DEKREMENT- UND INKREMENT-SCHWELLENMESSUNGEN ZUR BESTIMMUNG VON DISKRIMINATIONSSCHWELLEN-FUNKTIONEN

Funktion) sind und damit die gesamte Spannweite von möglichen  $PC$ -Werten abdecken. Soll z.B. beim Merkmal Orientierung die Schwelle eines Pedestals beim maximal möglichen Orientierungskontrast von 90 Grad liegen, stehen keine größeren Merkmalskontraste zur Verfügung, die zu  $PC$ -Werten führen könnten, die größer als das festgelegte Schwellenkriterium sind. Die psychometrische Funktion kann also in diesem Fall nur bis zum Schwellenkriterium mit Messpunkten bestückt werden. Dies ist *ein* Grund, weshalb die Messungen von Inkrementsschwellen für große Pedestals bei wiederholter Messung sehr stark streuen können (s. Streuungen in den Ergebnissen von Experiment 1 in Tabelle 6.1 auf S. 66).

Ein weiterer Grund für die große Streuung ist die Tatsache, dass sich im Bereich großer Merkmalskontraste die Salienzstärke kaum noch verändert. Hierdurch kann es bei einer Inkrementsschwellenmessung, z.B. beim Merkmal Orientierung, zufällig passieren, dass der größte Vergleichskontrast von z.B. 60 Grad einen geringeren  $PC$ -Wert als ein um die Hälfte kleinerer Vergleichskontrast von 30 Grad aufweist. Die Steigung der psychometrischen Funktion ist dann entsprechend klein, wodurch bei einer erneuten Messung der Schwelle nur geringe Veränderungen der  $PC$ -Werte der Vergleichskontraste zu einer großen Veränderung der zu bestimmenden Schwelle führen können. In Abb. 8.2 (a) und (b) auf S. 85 sind Ergebnisse von Messungen des in diesem Kapitel darzustellenden Experiments veranschaulicht, bei denen die beiden soeben beschriebenen und angenommen Gründe für die große Streuung der Inkrementsschwellen bei großen Pedestals gut zu erkennen sind.

**Vergleich von Inkrement- und Dekrementsschwellenmessungen** Die Messung einer Inkrementsschwelle für ein Pedestal, dessen Schwelle im Bereich des maximal einstellbaren Merkmalskontrasts liegt, kann aus den beschriebenen Gründen sehr messfehlerbehaftet sein. Da man aber auf Schwellenmessungen im Bereich großer Merkmalskontraste zur Bestimmung der internen Antwortfunktion auf Merkmalskontrast angewiesen ist, haben Motoyoshi und Nishida (2001) für große Merkmalskontraste eine Dekrementsschwelle gemessen.

Um die Messungen der Dekrementsschwellen mit den Messungen der Inkrementsschwellen verrechnen zu können, werden Dekrementsschwellenmessungen (DS-Messungen) wie folgt behandelt: Die in einer DS-Messung für ein Pedestal  $P'$  ermittelte Schwelle  $S'$  wird gleich dem Pedestal  $P$  einer Inkrementsschwellenmessung (IS-Messung) gesetzt:

$$S' = P' - \Delta'x = P, \quad (8.1)$$

wobei  $\Delta'x$  den zur Diskrimination von Dekrementpedestal und Dekrementsschwelle notwendigen Unterschied im Merkmalskontrast angibt (Dekrement). Zudem wird das

## 8 EXPERIMENT 2: VERGLEICH VON DEKREMENT- UND INKREMENT-SCHWELLENMESSUNGEN ZUR BESTIMMUNG VON DISKRIMINATIONSSCHWELLEN-FUNKTIONEN

Dekrementpedestal  $P'$  gleich der Schwelle  $S$  einer IS-Messung des Pedestals  $P$  gesetzt:

$$P' = S. \quad (8.2)$$

Diese Gleichsetzungen (8.1) und (8.2) sind jedoch nur genau dann mathematisch korrekt, wenn

$$\Delta'x = \Delta x \quad (8.3)$$

gilt, d.h. die Größe des notwendigen Unterschieds im Merkmal  $x$  zur Diskrimination zweier Reize darf nicht davon abhängen, ob dieser Unterschied über eine DS-Messung ( $\Delta'x :=$  Dekrement) oder eine IS-Messung ( $\Delta x :=$  Inkrement) bestimmt wird.

**Experimentelle Befunde zur Vergleichbarkeit von IS- und DS-Messungen** Aus verschiedenen Studien ist bekannt, dass IS-Messungen und DS-Messungen nicht immer zu den gleichen Ergebnissen bzgl. der Schätzung des Inkrements bzw. Dekrements führen ( $\Delta x \neq \Delta'x$ ). So fanden z.B. Patel und Jones (1968) Unterschiede zwischen IS- und DS-Messungen von Helligkeitskontrast. Bei den von ihnen durchgeführten IS-Messungen wurde die Helligkeit eines Testfeldes  $I_t$  im Vergleich zur Helligkeit des Hintergrundes  $I$  erhöht. Bei den DS-Messungen war es entsprechend umgekehrt, d.h. die Helligkeit des Testfeldes wurde im Vergleich zur Helligkeit des Hintergrundes reduziert. In allen Versuchsbedingungen waren die Dekrementschätzungen im Vergleich zu den Inkrementschätzungen kleiner.

Kishon-Rabin, Roth, Van Dijk, Yinon, und Amir (2004) verglichen IS- und DS-Messungen von Frequenzen, d.h. die Versuchspersonen mussten entweder zwischen einem Referenzton und Vergleichstönen mit höherer Frequenz unterscheiden (IS-Messung) oder zwischen einem Referenzton und Vergleichstönen, die eine geringe Frequenz als der Referenzton hatten (DS-Messungen). Sie stellten fest, dass die über IS-Messungen bestimmten Inkremente im Vergleich zu den über DS-Messungen bestimmten Dekrements kleiner waren. Auch wenn diese Untersuchungsergebnisse nicht aus der visuellen sondern der auditiven Modalität stammen, ist anzunehmen, dass sie aus folgendem Grund eine höhere prognostische Validität für mögliche Abweichungen der Inkrement- bzw. Dekrementschätzung bei Merkmalskontrast haben: Bei den berichteten Schwellenmessungen von Helligkeitskontrast gab es im Unterschied zu den berichteten Frequenzschwellenmessungen und den Schwellenmessungen von Merkmalskontrast einen qualitativen Unterschied zwischen den Reizen einer IS- und DS-Messung. Da bei den DS-Messungen von Helligkeitskontrast die Helligkeit des Testfeldes  $I_t$  immer größer als die Helligkeit des Hintergrundes  $I$  war und bei den IS-Messungen von Helligkeitskontrast es genau umgekehrt war, war der Helligkeitskontrast  $\Delta I/I = (I_t - I)/I$  in

## 8 EXPERIMENT 2: VERGLEICH VON DEKREMENT- UND INKREMENT-SCHWELLENMESSUNGEN ZUR BESTIMMUNG VON DISKRIMINATIONSSCHWELLEN-FUNKTIONEN

den IS-Messungen positiv und in den DS-Messungen negativ. Ein solch qualitativer Unterschied bestand nicht zwischen den Reizen der IS- und DS-Messungen von Frequenz oder von Merkmalskontrast.

### 8.2 Rational des Versuchs

Aufgrund der aufgeführten in der Literatur zu findenden Unterschiede bzgl. der über IS- und DS-Messungen bestimmten Inkremente und Dekremente wird experimentell mit den in dieser Arbeit verwendeten Gaborreizmustern für Orientierungskontrast geprüft, ob die Messung eines Inkrements von der Messung eines Dekrements abweicht. Dazu werden zunächst für verschieden große Pedestals DS-Messungen durchgeführt. Anschließend werden die über diese Messungen bestimmten Schwellen als Pedestals von IS-Messungen verwendet. Es sei vorweggenommen, dass im mittleren Merkmalskontrastbereich (10 bis 30 Grad) Unterschiede zwischen den gemessenen Inkrementen und Dekrementen gefunden wurden. Es wird deshalb am Ende des Kapitels diskutiert, ob DS-Messungen trotz dieser Abweichungen aufgrund der starken Streuung der Schwellenschätzungen von IS-Messungen bei „großen Pedestals“ einen sinnvollen Bestandteil der Differenzskalierung von Merkmalssalienz darstellen können.

### 8.3 Methode

#### 8.3.1 Apparatur

Die Apparatur war dieselbe wie in Experiment 1 (s. Kapitel 6.2.1 auf S. 59).

#### 8.3.2 Versuchspersonen

Einzigste Versuchsperson war der Autor dieser Arbeit.

#### 8.3.3 Stimuli

Die Reizmuster bestanden aus  $7 \times 7$  Gaborreizen. Die zentralen  $3 \times 3$  Gaborreize bildeten zusammen die Vordergrundelemente der Reizmuster.

Alle verwendeten Gaborreize waren hinsichtlich ihrer Helligkeit und Phase identisch. Ein Gaborreiz hatte einen Durchmesser von 1.5 Grad Sehwinkel. Dies wurde durch Setzung der Standardabweichung (sd) der Gaußhülle auf einen Wert von 0.3 Grad Sehwinkel und dem Abschneiden nach einem Radius von 2.5 sd-Einheiten erreicht. Die Ortsfrequenz der Gaborreize eines Trials wurde zufällig durch gleichverteiltes Ziehen in Oktaven (oct) zwischen 2.50 und 3.54 cpd bestimmt. Die Position eines Gaborreizes



## 8 EXPERIMENT 2: VERGLEICH VON DEKREMENT- UND INKREMENT-SCHWELLENMESSUNGEN ZUR BESTIMMUNG VON DISKRIMINATIONSSCHWELLEN-FUNKTIONEN

varierte normalverteilt mit einer Standardabweichung von 0.07 Grad um sein jeweiliges Zentrum der 7x7 Matrix.

Die Orientierung der Hintergrundelemente wurde zufällig zwischen 0 (waagerechte Orientierung) und 180 Grad (ebenfalls wieder waagerechte Orientierung) gezogen und konnte damit aufgrund der Symmetrie der Reize jede mögliche Orientierung annehmen. Die Vordergrundelemente wurden entsprechend des eingestellten Orientierungskontrasts  $v$  gegen den Uhrzeigersinn im Vergleich zu den Hintergrundelementen gedreht.

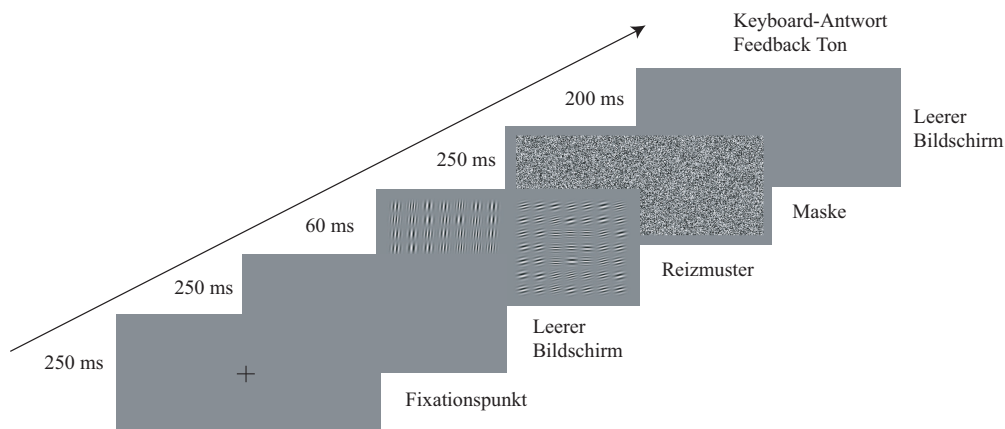
In einem Trial einer Schwellenmessung wurden zwei Reizmuster nebeneinander mit einem Abstand von 1.5 Grad Sehwinkel präsentiert. Die Reizmuster und die Reizmusterdarstellung in einem Trial entsprachen damit den Reizmustern und der Reizmusterdarstellung der Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“ des ersten Experiments. In den Abb. 6.2 und 6.3 auf S. 62 bzw. 63 ist somit jeweils ein Beispiel für die Reizmusterdarstellung eines Trials des vorliegenden Experiments zu sehen.

### 8.3.4 Experimenteller Ablauf

Es wurden fünf Pedestals ausgewählt, für die Dekrementsschwellen mit einer Same-Different-Methode bestimmt wurden. Für alle fünf Pedestals wurden die Dekrementsschwellenmessungen (DS-Messungen) viermal durchgeführt. Dann wurde über alle vier Messungen je Dekrementpedestal eine gemittelte Dekrementsschwelle bestimmt. Diese fünf gemittelten Schwellen dienten jeweils als Pedestal für Inkrementsschwellenmessungen (IS-Messungen). Alle IS-Messungen wurden ebenfalls viermal durchgeführt, so dass sich nach Abschluss dieser Messungen je Pedestal eine gemittelte Inkrementsschwelle bestimmen ließ.

Die fünf Dekrementpedestals waren die Folgenden: 90, 65, 50, 30 und 16.7 Grad. Es wurden somit drei Orientierungskontraste ausgewählt, die oberhalb des von Motoyoshi und Nishida (2001) gefundenen Sättigungskontrasts von 30 Grad (s. Abschnitt 4.2) liegen (der maximale Orientierungskontrast von 90 Grad sowie 65 und 50 Grad) und sich deshalb in ihrer Salienz nicht stark unterscheiden sollten. Für diese drei Orientierungskontraste wurde deshalb erwartet, dass der Merkmalskontrast der über die vier Messdurchgänge gemittelten Schwellen jeweils so groß sein würde, dass er in allen drei Fällen den eingangs des Kapitels definierten „großen Pedestals“ für die anschließenden IS-Messungen entsprechen sollte. Des Weiteren wurde der von Motoyoshi und Nishida (2001) gefundene Sättigungskontrast von 30 Grad und ein darunter liegender Orientierungskontrast von 16.7 Grad ausgewählt, um zu überprüfen, wie groß die Abweichung zwischen IS-Messung und DS-Messung sind, wenn weder für die DS- noch für die IS-

## 8 EXPERIMENT 2: VERGLEICH VON DEKREMENT- UND INKREMENT-SCHWELLENMESSUNGEN ZUR BESTIMMUNG VON DISKRIMINATIONSSCHWELLEN-FUNKTIONEN



**Abb. 8.1:** Trialstruktur und Präsentationszeiten der Schwellenmessungen. Jeder Trial begann mit der Präsentation eines Fixationspunktes im Zentrum des Bildschirms für 250 msec. Danach schloss sich für 250 msec ein leerer Bildschirm in Hintergrundgrau an. Darauf folgte 60 msec lang die Präsentation der Reizmuster. Nach der Präsentation der Reizmuster wurde für 250 msec eine Maske eingeblendet. Die Probanden konnten dann über die externe Antwortbox ihre Antwort geben und erhielten dafür unmittelbar über Kopfhörer Feedback. Die Pause zwischen zwei Trials betrug mindestens 200 msec und dauerte darüber hinaus an, bis der Proband seine Antwort gab. Der Bildschirm war in dieser Zeit wieder leer und in Hintergrundgrau.

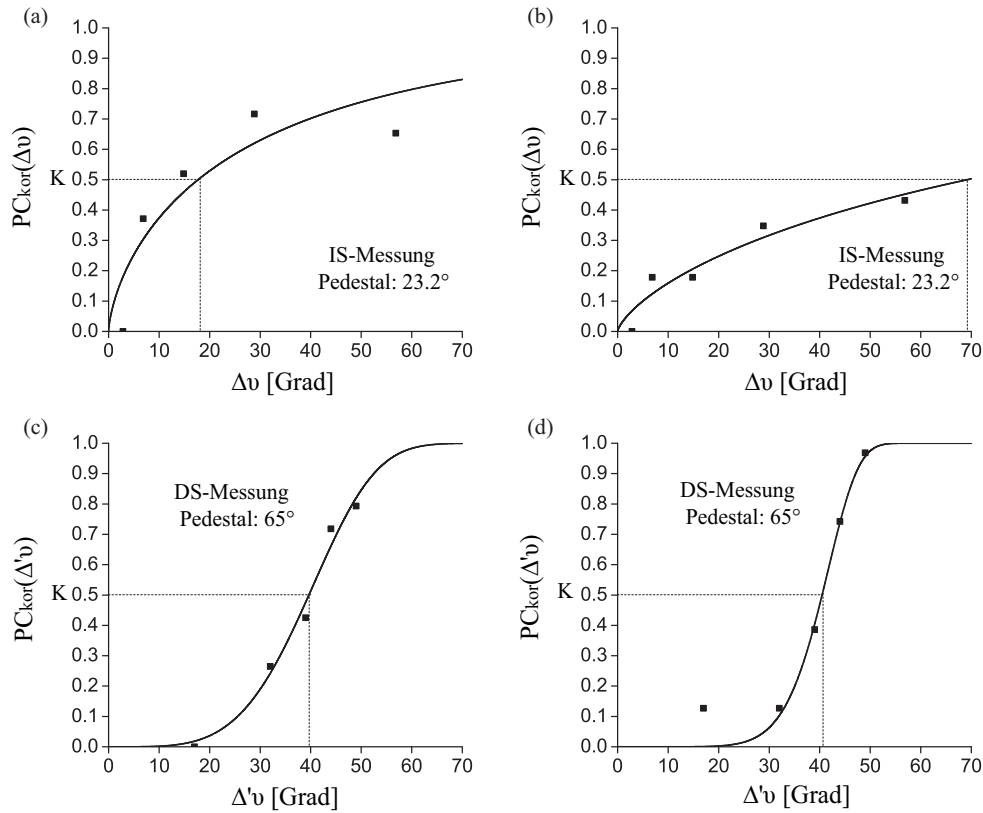
Messungen große Streuungen zu erwarten sind.

Alle Messungen wurden auf acht Sitzungen aufgeteilt. In den ersten vier Sitzungen wurden jeweils alle fünf DS-Messungen in zufälliger Reihenfolge durchgeführt. In den weiteren vier Sitzungen wurden jeweils alle fünf IS-Messungen in zufälliger Reihenfolge durchgeführt. Die Dauer einer Sitzung betrug ungefähr 45 Minuten. Für eine Schwellenmessung wurden 5 bis 6 Minuten benötigt.

**Aufgabe des Probanden und genaue Struktur eines Trials** Die DS-Schwellen und die IS-Schwellen wurden mit einer Same-Different-Methode gemessen. Die zu vergleichenden Reize wurden räumlich verteilt, d.h. nebeneinander dargeboten. Der Proband hatte somit nach jedem Trial zu entscheiden, ob ihm zwei hinsichtlich des Merkmalskontrasts identische Reizmuster nebeneinander präsentiert wurden („same“) oder ob eines der beiden Reizmuster einen im Vergleich zum anderen Reizmuster größeren Merkmalskontrast aufwies („different“). Die genaue Trialstruktur und die Präsentationszeiten der einzelnen Elemente eines Trials sind in Abb. 8.1 dargestellt.

**Bestimmung der Schwellen** Pro Schwellenmessung wurden fünf verschiedene Reizintensitäten als Targets verwandt und jeweils 16 mal zusammen mit dem Referenzreiz

## 8 EXPERIMENT 2: VERGLEICH VON DEKREMENT- UND INKREMENT-SCHWELLENMESSUNGEN ZUR BESTIMMUNG VON DISKRIMINATIONSSCHWELLEN-FUNKTIONEN



**Abb. 8.2:** Typische Messdaten samt der sie beschreibenden psychometrischen Funktionen. (a) und (b) zeigen jeweils die Ergebnisse einer IS-Messung beim Inkrementpedestal von 23.2 Grad. (c) und (d) zeigen jeweils die Ergebnisse einer DS-Messung beim Dekrementpedestal von 65 Grad. Auf der Abszisse ist in allen Grafiken die Differenz zwischen dem Orientierungscontrast des Targets und dem des Pedestals abgetragen ( $\Delta v$  bzw.  $\Delta'v$ ). Auf der Ordinate sind die für diese Differenzen berechneten  $PC_{kor}$ -Werte abgetragen ( $PC_{kor}(\Delta v)$  bzw.  $PC_{kor}(\Delta'v)$ ). Der 50%-Punkt der Funktion wurde als Schwellenkriterium  $K$  definiert, d.h.  $\Delta v$  bzw.  $\Delta'v$  gibt für  $PC_{kor}(\Delta v) = 0.5$  bzw.  $PC_{kor}(\Delta'v) = 0.5$  das zum Erreichen der Schwelle notwendige Inkrement bzw. Dekrement an.

präsentiert. Eine Schwellenmessung bestand folglich aus insgesamt 80 Different-Trials und ebensovielen Same-Trials, so dass eine komplette Schwellenmessung 160 Trials enthält. Die Reihenfolge der Trials wurde zufällig variiert. In Abb. 8.2 sind typische Messdaten samt der sie beschreibenden psychometrischen Funktionen dargestellt. Die Bestimmung der  $PC_{kor}$ -Werte aus den Messdaten einer Schwellenmessung und die Vorgehensweise zur Schätzung der Parameter der psychometrischen Funktion sind in Anhang A.4 beschrieben. Als Schwellenkriterium  $K$  wurde der 50%-Punkt der Funktion definiert.

8 EXPERIMENT 2: VERGLEICH VON DEKREMENT- UND  
INKREMENT-SCHWELLENMESSUNGEN ZUR BESTIMMUNG VON  
DISKRIMINATIONSSCHWELLEN-FUNKTIONEN

**Tabelle 8.1:** Ergebnisse der DS-Messungen.  $P'$  steht für das Dekrementpedestal.  $\Delta'v_{1-4}$  gibt den zur Diskrimination zweier Reize notwendigen Unterschied im Orientierungskontrast an, der im entsprechenden Messdurchgang (1-4) bestimmt wurde.  $\overline{\Delta'v}$  ist der Mittelwert dieser Messwerte und  $\sigma'_v$  gibt die Streuung dieser Messwerte an.  $\overline{S'}$  ist die resultierende mittlere Schwelle ( $\overline{S'} = P' - \overline{\Delta'v} = P$ ). Alle Angaben in Grad.

$P'$	$\Delta'v_1$	$\Delta'v_2$	$\Delta'v_3$	$\Delta'v_4$	$\overline{\Delta'v}$	$\sigma'_v$	$\overline{S'}$
90.0	67.7	68.0	45.3	60.7	60.4	9.19	29.6
65.0	40.5	41.8	39.6	40.2	40.5	0.77	24.5
50.0	30.8	27.7	24.2	24.6	26.8	2.68	23.2
30.0	11.4	12.5	10.1	12.8	11.7	1.07	18.3
16.7	6.8	6.0	6.0	9.7	7.1	1.54	9.6

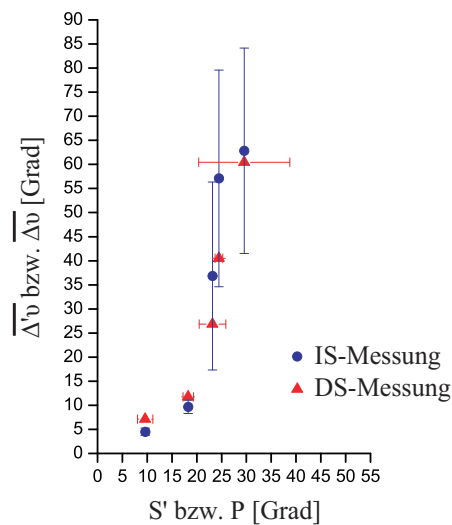
**Tabelle 8.2:** Ergebnisse der IS-Messungen.  $P$  steht für das Inkrementpedestal.  $\Delta v_{1-4}$  gibt den zur Diskrimination zweier Reize notwendigen Unterschied im Orientierungskontrast an, der im entsprechenden Messdurchgang (1-4) bestimmt wurde.  $\overline{\Delta v}$  ist der Mittelwert der angegebenen Messwerte und  $\sigma_v$  gibt die Streuung dieser Messwerte an.  $\overline{S}$  ist die resultierende mittlere Schwelle ( $\overline{S} = P + \overline{\Delta v}$ ). Alle Angaben in Grad.

$P$	$\Delta v_1$	$\Delta v_2$	$\Delta v_3$	$\Delta v_4$	$\overline{\Delta v}$	$\sigma_v$	$\overline{S}$
29.6	84.2	41.5			62.8	21.33	92.4
24.5	79.6	34.6			57.1	22.50	81.6
23.2	17.7	69.2	33.5	26.9	36.8	19.52	60.0
18.3	10.4	7.6	9.2	11.4	9.7	1.40	27.9
9.6	5.1	4.7	5.1	3.2	4.5	0.76	14.1

#### 8.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der DS-Messungen sind in Tabelle 8.1 dargestellt, die Ergebnisse der IS-Messungen enthält Tabelle 8.2. In Abb. 8.3 sind sowohl von den DS- als auch von den IS-Messungen die je Pedestal gemittelten Schätzungen der Dekremente bzw. Inkremente sowie die zugehörigen Streuungen grafisch veranschaulicht. In der Abbildung ist die Schätzung des Dekrements  $\overline{\Delta'v}$  in Abhängigkeit von der Dekrementschwelle  $S'$  und die Schätzung des Inkrements  $\overline{\Delta v}$  in Abhängigkeit vom Inkrementpedestal  $P$  dargestellt. Dadurch können die über die DS-Messungen bestimmten Dekremente unmittelbar mit den über die IS-Messungen bestimmten Inkrementen verglichen werden.

## 8 EXPERIMENT 2: VERGLEICH VON DEKREMENT- UND INKREMENT-SCHWELLENMESSUNGEN ZUR BESTIMMUNG VON DISKRIMINATIONSSCHWELLEN-FUNKTIONEN



**Abb. 8.3:** Grafische Darstellung der Ergebnisse der DS- und IS-Messungen. Die Balken geben die Streuung der Messungen an. Sie sind nur dann eingezeichnet, wenn die Streuung größer als die Symbolgröße ist.  $S'$  steht für die Schwelle der DS-Messungen und  $P$  steht für das Pedestal der IS-Messungen.  $\overline{\Delta'v}$  bzw.  $\overline{\Delta v}$  gibt den Mittelwert des zur Diskrimination zweier Reize notwendigen Unterschieds im Orientierungskontrast für die DS- bzw. IS-Messungen an.

Führen IS- und DS-Messungen zu den gleichen Ergebnissen, sollten sich für  $S' = P$ ,  $\overline{\Delta'v}$  und  $\overline{\Delta v}$  nicht unterscheiden.

**Vergleich von Dekrement und Inkrement** Bei den beiden niedrigsten Dekrement- und Inkrementpedestals zeigt sich, dass die über die DS-Messungen bestimmten Dekremente  $\overline{\Delta'v}$  (= 7.1 bzw. 11.7 Grad) jeweils größer als die über die IS-Messungen bestimmten Inkremente  $\overline{\Delta v}$  (= 4.5 bzw. 9.7 Grad) sind. Bei allen drei anderen Pedestalstufen, die oberhalb des von Motoyoshi und Nishida (2001) bestimmten Sättigungskontrasts von 30 Grad liegen, zeigt sich ein dazu umgekehrtes Resultat. Die Dekremente  $\overline{\Delta'v}$  (= 26.8 bzw. 40.5 bzw. 60.4 Grad) sind hier immer kleiner als die Inkremente  $\overline{\Delta v}$  (= 36.8 bzw. 57.1 bzw. 62.8 Grad).

**Vergleich der Streuungen der DS- und IS-Messungen** Wie Tabelle 8.2 zu entnehmen ist, liegen bei den Inkrementpedestals 29.6 und 24.5 Grad für die dritte und vierte Messung keine Ergebnisse vor. Der Grund dafür ist, dass die jeweiligen Messdaten aufgrund unsystematischer Schwankungen der  $PC$ -Werte in Abhängigkeit vom Orientierungskontrast nicht wie gewünscht mit einer psychometrischen Funktion beschrieben werden konnten. Die Streuung  $\sigma_v$  gibt bei diesen beiden Pedestals nur die Streuung der beiden angegebenen Messwerte an. Die Streuung aller vier Messungen wird so-

## 8 EXPERIMENT 2: VERGLEICH VON DEKREMENT- UND INKREMENT-SCHWELLENMESSUNGEN ZUR BESTIMMUNG VON DISKRIMINATIONSSCHWELLEN-FUNKTIONEN

mit durch diesen Wert unterschätzt. Das bedeutet, die Streuungen bei diesen Pedestals (21.33 und 22.50 Grad) sind im Vergleich zu den korrespondierenden Streuungen der DS-Messungen (9.19 und 0.77 Grad) noch größer als die angegebenen Messwerte es ohnehin schon ausdrücken.

Wie aus der Abb. 8.3 entnommen werden kann, ist die Streuung der DS-Messungen beim Dekrementpedestal von 50 Grad, die zur Schwelle  $S'$  von 23.2 Grad führten, ebenfalls deutlich geringer, als die Streuung der IS-Messungen beim entsprechenden Inkrementpedestal von 23.2 Grad. Die Streuungen der Messungen bei den Dekrementpedestals 30 und 16.7 Grad unterscheiden sich hingegen kaum von den Streuungen der zugehörigen Inkrementpedestals 18.3 und 9.6 Grad. Sie sind in beiden Fällen vergleichsweise klein.

Bei den Dekrementpedestals, die oberhalb des von Motoyoshi und Nishida (2001) gefundenen Sättigungskontrasts von 30 Grad liegen, zeigen sich somit die erwarteten Unterschiede in den Streuungen zwischen den DS- und IS-Messungen (s. "Starke Streuung der Schwellenschätzungen bei 'großen Pedestals'" in Abschnitt 8.1 auf S. 79). Wird der Sättigungskontrast selber als Dekrementpedestal verwendet oder ein Orientierungskontrast unterhalb dieses Sättigungskontrasts (hier: 16.7 Grad), so zeigen sich keine größeren Unterschiede in den Streuungen zwischen den DS- und IS-Messungen.

### 8.5 Diskussion

Können DS-Messungen nach den Ergebnissen einen sinnvollen Bestandteil einer Differenzskalierung von Merkmals-salienz darstellen? Die Ergebnisse zeigen, dass im mittleren Merkmalskontrastbereich<sup>20</sup>, in dem sowohl die DS- als auch die IS-Messungen eine niedrige Streuung aufweisen, die Dekremente im Vergleich zu den Inkrementen größer sind. Dieses Ergebnis stimmt mit den Befunden von Kishon-Rabin et al. (2004) überein, die bei DS- und IS-Messungen von Frequenz kleinere Inkremente als Dekremente gemessen haben. In diesem mittleren Merkmalskontrastbereich ist somit die Verwendung von DS-Messungen für die Differenzskalierung nicht angezeigt. Im hohen Merkmalskontrastbereich zeigen sich wie erwartet bei den IS-Messungen psychometrische Funktionen mit geringer Steigung und daraus resultierend eine enorme Streuung der Schwellenschätzungen. Das bedeutet, dass die IS-Messungen in diesem Bereich keine besonders zuverlässigen Messergebnisse liefern. Die Unterschiede zwischen den Dekrementen und den Inkrementen im hohen Merkmalskontrastbereich sollten aufgrund dieser großen Streuungen der IS-Messungen folglich nicht interpretiert werden. Mögliche

---

<sup>20</sup>Damit sind die Ergebnisse der Schwellenmessungen der beiden kleinsten Inkrement- und Dekrementpedestals der Untersuchung angesprochen.

## 8 EXPERIMENT 2: VERGLEICH VON DEKREMENT- UND INKREMENT-SCHWELLENMESSUNGEN ZUR BESTIMMUNG VON DISKRIMINATIONSSCHWELLEN-FUNKTIONEN

Unterschiede zwischen Dekrementen und Inkrementen sind somit im hohen Merkmalskontrastbereich aufgrund der großen Streuungen der IS-Messungen nicht feststellbar.

Obwohl die Ergebnisse zeigen, dass im mittleren Merkmalskontrastbereich durch DS-Messungen der zur Diskrimination zweier Reize notwendige Unterschied im Orientierungskontrast im Vergleich zu IS-Messungen überschätzt wird, spricht die deutlich geringere Streuung und damit höhere Zuverlässigkeit der DS-Messungen im hohen Merkmalskontrastbereich dafür, diese auch in diesem Merkmalskontrastbereich für die Differenzskalierung von Merkmalssalienz zu verwenden.

Fazit: Es sollte wenigstens für den maximal einstellbaren Merkmalskontrast eine DS-Messung bei der Differenzskalierung von Merkmalssalienz durchgeführt werden, um einen weniger streuenden und damit zuverlässigeren Messwert im Vergleich zu den stark streuenden IS-Messungen bei großen Pedestals zu erhalten.

## **9 Experiment 3: Kreuzvalidierung der Differenzskalierung der Salienz einer durch Orientierungs- oder Ortsfrequenzkontrast gebildeten Texturfigur**

### **9.1 Rational des Versuchs**

Der Ausgangspunkt des Experiments ist die Frage, ob über die in Kapitel 4.2 vorgestellte Differenzskalierungsmethode die Salienz einer durch Orientierungs- oder Ortsfrequenzkontrast gebildeten quadratischen Texturfigur merkmalsunabhängig auf einer allgemeinen Skala abgebildet werden kann. Die Zahlenwerte einer solchen allgemeinen Salienzskala sollten die Auffälligkeit einer durch Merkmalskontrast in Orientierung oder Ortsfrequenz erzeugten Texturfigur derart abbilden, dass Verhältnisse zwischen diesen Zahlenwerten (Salienzwerten) interpretiert werden können. Zum einen muss folglich bei einer merkmalsunabhängigen allgemeinen Salienzskala ein Orientierungs- und ein Ortsfrequenzkontrast auf den gleichen Zahlenwert  $Z$  der Skala abbilden, wenn die Salienz der quadratischen Texturfigur bei beiden Merkmalskontrasten gleich groß ist. Zum anderen muss dieser Zahlenwert  $Z$  z.B. doppelt so groß sein, wie der Zahlenwert, auf den ein Orientierungs- und ein Ortsfrequenzkontrast abbilden, die eine halb so große Salienz der quadratischen Texturfigur erzeugen.

Verhältnisse von Zahlenwerten einer Skala können nur interpretiert werden, wenn eine Skala eine konstante Einheit und einen wahren, d.h. nicht beliebigen, sondern festen Nullpunkt hat (Verhältnisskalenniveau). Über die Differenzskalierungsmethode kann deshalb nur dann die Salienz einer Texturfigur merkmalsunabhängig auf einer Skala abgebildet werden, wenn die über die Methode für verschiedene Merkmale konstruierten Salienzskalen einen gemeinsamen festen Nullpunkt haben und mindestens eine dieser Skalen eine konstante Einheit der Salienz hat.

Die Konstanz der Salienzeinheit einer über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Salienzskala hängt davon ab, ob die Annahme Fechners für die Differenzskalierung von Merkmalskaliierung zutrifft (s. Kapitel 2.1). Nur wenn über die Unterschiedsschwellenmessungen von Merkmalskontrast eine von der absoluten Reizintensität (von Referenz- und Vergleichsreiz einer Schwellenmessung) unabhängige konstante Zunahme der Salienz bestimmt wird, haben die über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Salienzskalen eine konstante Einheit der Salienz.

Diese Voraussetzung für die merkmalsunabhängige Salienzskalierung wird im vorliegenden Experiment untersucht. Dazu wird über die Differenzskalierungsmethode die durch Orientierungs- bzw. Ortsfrequenzkontrast erzeugte Salienz einer quadratischen Texturfigur in drei verschiedenen Versuchsbedingungen skaliert. Anschließend wird



## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

über Cross-Modality-Matching-Messungen (s. Kapitel 2.2.2) bestimmt, welche Orientierungs- und Ortsfrequenzkontraste als gleich auffällig beurteilt werden.

Die Ergebnisse der Cross-Modality-Matching-Messungen (CMM-Messungen) lassen nicht nur Schlüsse bzgl. der Konstanz der Salienzeinheit der konstruierten Salienzskalen und der davon abhängigen Möglichkeit der merkmalsunabhängigen Salienzskalierung zu. Insgesamt werden die vier folgenden Fragestellungen mit dem Experiment untersucht:

1. Wird bei den CMM-Messungen die von Nothdurft (2000) angenommene merkmalsunabhängige Dimension Salienz beurteilt (s. Kapitel 3.2)?
2. Welche Salienz wird bei den CMM-Messungen beurteilt? Ist dies nur die Salienz, die durch den bei der Skalierung variierten Merkmalskontrast erzeugt wird? Oder fließt die Grundsalienz eines Reizmusters mit in das Salienzurteil ein?
3. Hat eine über die Differenzskalierungsmethode konstruierte Salienzskala eine konstante Einheit der Salienz?
4. Kann die Salienz einer durch Orientierungs- oder Ortsfrequenzkontrast gebildeten Texturfigur auf einer merkmalsunabhängigen allgemeinen Salienzskala abgebildet werden, wenn die Grundsalienz der Texturreizmuster bei der Salienzskalierung von Orientierungs- und Ortsfrequenzkontrast verschieden ist?

Die erste Frage betrifft die Validität des Verfahrens. Nur wenn bei den CMM-Messungen eine merkmalsunabhängige Dimension Salienz beurteilt wird, können mit den CMM-Messungen die weiteren Fragestellungen untersucht werden. Zur Beantwortung der zentralen dritten und vierten Fragestellungen über die Ergebnisse der CMM-Messungen muss die zweite Fragestellung nach der bei den CMM-Messungen beurteilten Salienz mit berücksichtigt werden. Im Folgenden wird erläutert, wie über die Ergebnisse der CMM-Messungen die einzelnen Fragestellungen beantwortet werden können.

### 9.1.1 Merkmalsunabhängige Dimension Salienz

Dass die Salienz eine merkmalsunabhängige Dimension ist, ist eine absolute Grundvoraussetzung für die merkmalsunabhängige Salienzskalierung. Um zu überprüfen, ob die Salienz eine merkmalsunabhängige Dimension ist, die bei den CMM-Messungen beurteilt wird, wird über die Differenzskalierungsmethode eine Salienzskala nicht nur für zwei, sondern für drei verschiedene Versuchsbedingungen ( $A$ ,  $B$  und  $C$ ) konstruiert ( $R_A$ ,  $R_B$  und  $R_C$ ). In einer Versuchsbedingung wird die Salienz der Texturfigur durch Ortsfrequenzkontrast erzeugt. In den beiden anderen Versuchsbedingungen

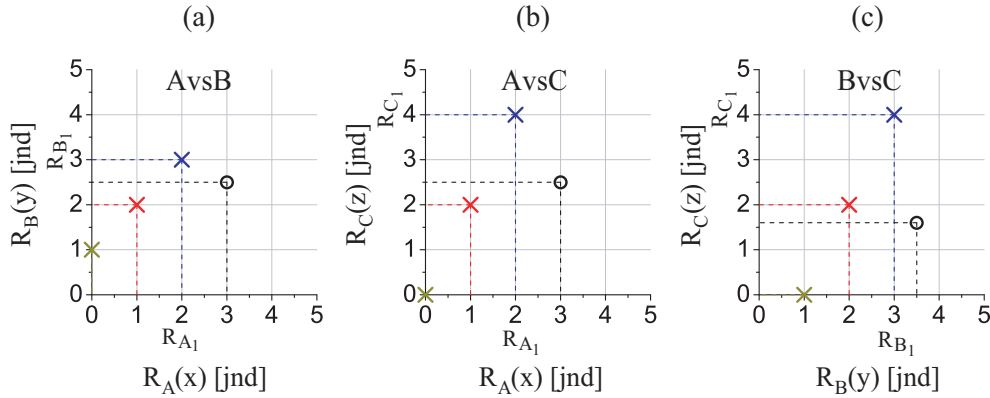
## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

wird die Salienz der quadratischen Texturfigur durch Orientierungskontrast erzeugt. Diese beiden Versuchsbedingungen unterscheiden sich darin, dass nur in einer dieser beiden Versuchsbedingungen Orientierungsjitter verwendet wird. Aus der Studie von Motoyoshi und Nishida (2001) ist bekannt, dass Orientierungsjitter zu einer Abschwächung der Salienz durch Orientierungskontrast führt. Das bedeutet, dass für die beiden Versuchsbedingungen, in denen die Salienz der quadratischen Texturfigur in beiden Fällen durch Orientierungskontrast erzeugt wird, jeweils eine unterschiedliche Salienzskala konstruiert wird, d.h. ein und derselbe Orientierungskontrast bildet auf einen unterschiedlichen Salienzwert der Skalen der beiden Versuchsbedingungen ab.

Im Anschluss an die Skalierung werden für jede mögliche Kombination der Versuchsbedingungen CMM-Messungen für verschiedene Merkmalskontraste durchgeführt. Dadurch ergeben sich drei Vergleichsbedingungen (*A vs. B* (kurz: *AvsB*), *AvsC* und *BvsC*), in denen jeweils gleich saliente Merkmalskontraste von je zwei Versuchsbedingungen bestimmt werden. Die zu diesen Merkmalskontrasten korrespondierenden Salienzwerte der zugehörigen Salienzskalen lassen sich in einem von den beiden Salienzskalen aufgespannten Salienzraum abbilden. In Abb. 9.1 ist dieser Salienzraum von jeder Vergleichsbedingung dargestellt.

Wird bei den CMM-Messungen die nach der Annahme Nothdurfts merkmalsunabhängige Dimension Merkmalssalienz beurteilt, müssen sich die Ergebnisse der CMM-Messungen von zwei Versuchsbedingungen aus den Ergebnissen der CMM-Messungen dieser beiden Versuchsbedingungen mit der dritten Versuchsbedingung vorhersagen lassen. Dies bedeutet konkreter, dass zwei Merkmalskontraste von zwei verschiedenen Versuchsbedingungen, die nach den CMM-Messungen gleich salient sind, beide beim jeweiligen Salienzvergleich mit der dritten Versuchsbedingung den gleichen Merkmalskontrast dieser dritten Versuchsbedingung matchen müssen. Die zu den gleich salienten Merkmalskontrasten zweier Versuchsbedingungen korrespondierenden Salienzwerte sollten entsprechend jeweils auf den gleichen Salienzwert der dritten Versuchsbedingung in den Salienzräumen abbilden. Zum besseren Verständnis dieses Vorhersageprinzips sind in jedem in Abb. 9.1 dargestellten Salienzraum zum einen Messpunkte eingezeichnet, die sich korrekt aus den jeweils anderen Vergleichsbedingungen vorhersagen lassen (bunte Kreuze) und zum anderen ist ein Messpunkt eingezeichnet, der sich nicht aus den jeweils anderen Vergleichsbedingungen ergibt (schwarzer Kreis).

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR



**Abb. 9.1:** Merkmalsunabhängige Dimension Salienz. In (a-c) sind die von zwei Salienzskalen aufgespannten Salienzräume dargestellt, in die jeweils die Ergebnisse der CMM-Messungen einer Vergleichsbedingung (*AvsB*, *AvsC* und *BvsC*) eingetragen werden. Wird bei den CMM-Messungen eine merkmalsunabhängige Dimension Salienz beurteilt, müssen sich die Ergebnisse der CMM-Messungen einer Vergleichsbedingung aus den Ergebnissen der beiden anderen Vergleichsbedingungen vorhersagen lassen. Die bunten Kreuze stellen Beispiele dar, in denen die Vorhersage korrekt ist. Beispiel blaues Kreuz: In (a) ist ein Merkmalskontrast  $x_1$  der zum Salienzwert von 2 auf der Salienzskala  $R_A$  einer Versuchsbedingung *A* korrespondiert,  $R_A(x_1) = 2 = R_{A_1}$ , genauso auffällig wie ein Merkmalskontrast  $y_1$  der Versuchsbedingung *B*, der zu einem Salienzwert von 3 auf einer für diese Versuchsbedingung konstruierten Salienzskala korrespondiert,  $R_B(y_1) = 3 = R_{B_1}$  ( $R_{A_1} = R_{B_1}$ ). In (b) ist ein Merkmalskontrast  $z_1$  der zum Salienzwert 4 auf einer für eine Versuchsbedingung *C* konstruierten Salienzskala korrespondiert,  $R_C(z_1) = 4 = R_{C_1}$ , genauso auffällig wie  $R_{A_1}$ , d.h.  $R_{A_1} = R_{C_1}$ . Ist die durch Merkmalskontrast erzeugte Salienz eine merkmalsunabhängige Dimension, die bei den CMM-Messungen beurteilt wird, sollte sich für die Vergleichsbedingung (c) wie dargestellt das Ergebnis  $R_{B_1} = R_{C_1}$  ergeben. Die schwarzen Kreise in den drei Vergleichsbedingungen stellen ein Beispiel dar, bei dem das Ergebnis einer Vergleichsbedingung sich nicht aus den Ergebnissen der beiden anderen Vergleichsbedingungen ergibt. Tritt dieser Fall bei allen Ergebnissen der CMM-Messungen auf, wird bei den CMM-Messungen keine merkmalsunabhängige Dimension Salienz beurteilt.

## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

### 9.1.2 Welche Salienz wird bei den CMM-Messungen beurteilt?

In Abb. 9.2 sind alle qualitativ unterscheidbaren Ergebnisse dargestellt, die sich beim Vergleich der Salienzen von zwei Versuchsbedingungen über die CMM-Messungen ergeben können. Die Ergebnisse werden durch CMM-Funktionen im von den beiden Salienskalen der Versuchsbedingungen aufgespannten Saliensraum repräsentiert. Diese Funktionen beschreiben die über die CMM-Messungen bestimmten Messpunkte im Saliensraum. Die Frage, ob das Salienzurteil bei den CMM-Messungen nur durch die Salienz des bei der Skalierung variierten Merkmalskontrasts oder zudem auch durch die Grundsalienz eines Reizmusters beeinflusst ist, betrifft den Schnittpunkt der CMM-Funktion mit den Saliensachsen.

Was bedeutet ein Schnittpunkt der CMM-Funktion außerhalb des Ursprungs des Saliensraums, wie er in Abb. 9.2 (c) dargestellt ist? Um diese Frage zu beantworten, muss man sich die Frage stellen, wie ein Schnittpunkt der CMM-Funktion außerhalb des Ursprungs zustande kommen kann. Fließt in das Urteil einer CMM-Messung nur die Salienz des bei der Skalierung variierten Merkmalskontrasts ein und ist die Definition des Nullpunktes der Salienskala als der Punkt, bei dem die physikalische Reizstärke<sup>21</sup> null ist (s. Kapitel 4.3), korrekt, muss die CMM-Funktion durch den Ursprung des von den beiden Skalen zweier Versuchsbedingungen aufgespannten Saliensraums verlaufen.

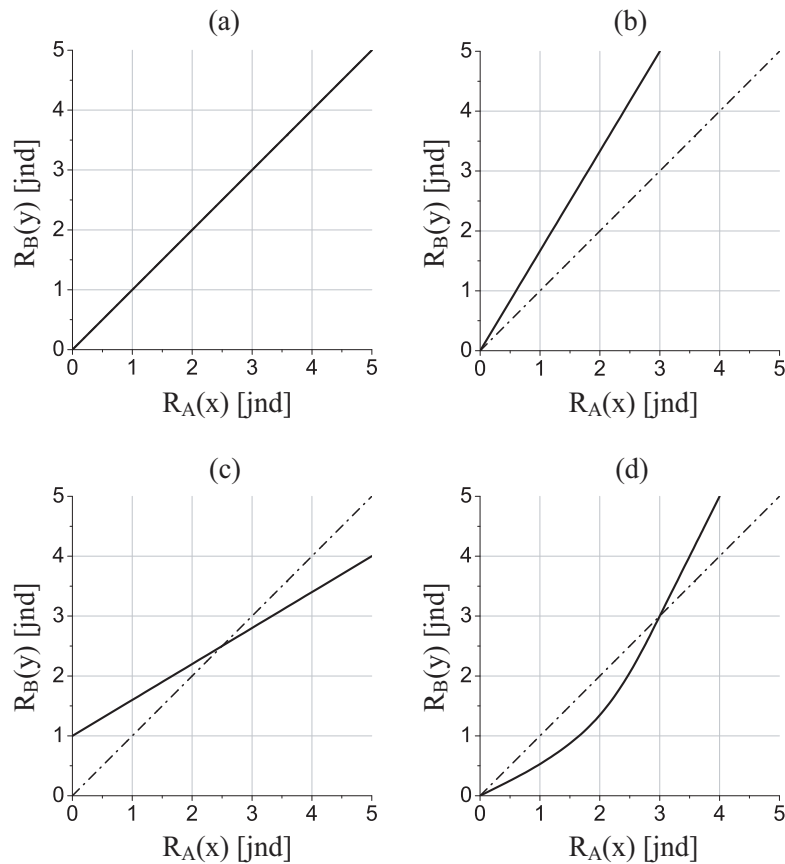
Ein Schnittpunkt der CMM-Funktion außerhalb des Ursprungs kann folglich nur aus zwei Gründen zustande kommen: 1. Die Salienskalen haben keinen gemeinsamen Nullpunkt, d.h. die Definition des Nullpunktes der Skala ist nicht sinnvoll gelöst. 2. In das Salienzurteil einer CMM-Messung fließt nicht nur die Salienz des bei der Skalierung variierten Merkmalskontrasts ein.

Nimmt man an, dass neben der Salienz des skalierten Merkmalskontrasts die in Kapitel 3.3 definierte Grundsalienz eines Reizmusters mit in das Salienzurteil einer CMM-Messung einfließt und unterscheidet sich die Grundsalienz der Reizmuster zwischen zwei zu vergleichenden Versuchsbedingungen, muss sich ein Schnittpunkt der CMM-Funktion außerhalb des Ursprungs des Saliensraums zeigen, der von den beiden Salienskalen aufgespannt wird. Die CMM-Funktion muss die Salienskala der Versuchsbedingung schneiden, deren Texturreizmuster die geringere Grundsalienz hat. In der Versuchsbedingung mit der geringeren Grundsalienz des Texturreizmusters muss folglich bereits Salienz durch den bei der Skalierung variierten Merkmalskontrast an der Texturkante erzeugt werden, damit die resultierende gesamte Salienz des Reizmusters, bestehend aus der Grundsalienz des Texturreizmusters und der durch den variierten

---

<sup>21</sup>Die physikalische Reizstärke ist in den Experimenten dieser Arbeit der zur Erzeugung einer Texturfigur variierte Merkmalskontrast.

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR



**Abb. 9.2:** CMM-Funktionen, die alle qualitativ unterscheidbaren Ergebnisse der CMM-Messungen in dem von den Salienskalen zweier Versuchsbedingungen aufgespannten Saliensraum repräsentieren. In jeder Grafik sind auf der Abszisse die Salienswerte der Salienskala einer Versuchsbedingung  $A$  abgetragen ( $R_A(x)$ ) und auf der Ordinate die Salienswerte der für eine Versuchsbedingung  $B$  bestimmten Salienskala ( $R_B(y)$ ). Bei den CMM-Messungen werden gleich saliente Merkmalskontraste der beiden Versuchsbedingungen bestimmt. Die zu diesen gleich salienten Merkmalskontrasten korrespondierenden Salienswerte der beiden Salienskalen  $R_A(x)$  und  $R_B(y)$  bilden die Grundlage der eingezeichneten CMM-Funktion. Die CMM-Funktion beschreibt somit die über die CMM-Messungen bestimmten Messpunkte, die hier selber nicht eingezeichnet sind. Die Linie in den Grafiken (b), (c) und (d), die aus Punkten und Strichen besteht, entspricht der Funktion aus (a) und dient nur als Referenzlinie. Unterscheiden sich zwei Versuchsbedingungen nur in der Grundsaliens der Texturreizmuster, kann über die CMM-Funktion dieser beiden Versuchsbedingungen geschlossen werden, ob diese unterschiedliche Grundsaliens in das Saliensurteil einer CMM-Messung einfließt. Ist dies der Fall, muss die CMM-Funktion die Saliensachsen außerhalb des Ursprungs schneiden, wie in (c) beispielhaft dargestellt. Des Weiteren lässt die Form der CMM-Funktion auf die zentralen Fragestellungen dieses Experiments nach der Konstanz der Saliensseinheit einer Skala und der merkmalsunabhängigen Saliensskalierung schließen. Welcher Fall welchen Schluss bzgl. dieser Fragestellungen zulässt, wird in Abschnitt 9.1.3 erläutert.

## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

Merkmalskontrast erzeugten Salienz der Texturfigur, genauso auffällig ist wie die Salienz des Reizmusters mit der größeren Grundsalienz, in dem noch kein bei der Skalierung variiertes Merkmalskontrast enthalten ist.

Um in dem hier dargestellten Experiment zu überprüfen, ob die Grundsalienz eines Reizmusters zusammen mit der Salienz durch den bei der Skalierung variierten Merkmalskontrast in das Salienzurteil einfließt, sind die Ergebnisse der CMM-Messungen der beiden Versuchsbedingungen zu betrachten, bei denen in beiden Fällen die Salienz der quadratischen Texturfigur durch Orientierungskontrast erzeugt wird. Diese beiden Versuchsbedingungen unterschieden sich nur in der Grundsalienz der Texturreizmuster durch die Hinzunahme von Orientierungsjitter in einer der beiden Versuchsbedingungen. Bewirkt der im gesamten Reizmuster verteilte Orientierungsjitter eine Auffälligkeit, die mit in das Salienzurteil einer CMM-Messung einfließt, muss sich beim Salienzvergleich zwischen diesen beiden Versuchsbedingungen ein Schnittpunkt der CMM-Funktion mit der Salienzskala der Versuchsbedingung zeigen, in der kein Orientierungsjitter enthalten ist.

Damit der Schnittpunkt der CMM-Funktion vollständig auf die unterschiedliche Grundsalienz zurückgeführt werden kann, muss angenommen werden, dass der per Definition festgelegte Nullpunkt der Salienzskalen der beiden Versuchsbedingungen ein gemeinsamer Nullpunkt ist. Ob die über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Salienzskalen einen gemeinsamen Nullpunkt haben, kann folglich nicht mit dem vorliegenden Experiment geprüft werden. Diese Überprüfung wurde im folgenden Experiment 4 (s. Kapitel 10) vorgenommen. Die Ergebnisse des vierten Experiments lassen den Schluss zu, dass die über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Salienzskalen einen gemeinsamen festen Nullpunkt haben, weshalb ein möglicher Schnittpunkt der CMM-Funktion für die beiden angesprochenen Versuchsbedingungen des vorliegenden Experiments vollständig auf die unterschiedliche Grundsalienz der Texturreizmuster zurückgeführt werden kann.

### 9.1.3 Konstanz der Salienzeinheit und merkmalsunabhängige Salienzskalierung

Für jedes einzelne in Abb. 9.2 dargestellte qualitativ unterschiedliche Ergebnis der CMM-Messungen einer Vergleichsbedingung (a-d) wird im Folgenden zum einen erläutert, welche Bedingungen gegeben sein müssen, damit sich das dargestellte Ergebnis zeigt. Zum anderen wird erläutert, welcher Schluss deshalb bzgl. der Konstanz der Salienzeinheit innerhalb einer Skala gezogen werden kann und ob und wenn ja, wie die Salienzwerte der Skalen der verschiedenen Versuchsbedingungen auf einer einheitlichen gemeinsamen Salienzskala abgebildet werden können. Dabei wird einfach zwi-

## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

schen dem (a) 1. Fall, (b) 2. Fall, (c) 3. Fall und (d) 4. Fall unterschieden.

**1. Fall:** Das Ergebnis in Abb. 9.2 (a) zeigt sich unter den drei folgenden Bedingungen: 1. Die Zunahme der Salienz  $p$ , die über einen bei einer Schwellenmessung bestimmten eben merklichen Unterschied (JND) bestimmt wird, ist sowohl bei allen JNDs einer für eine Versuchsbedingung  $A$  konstruierten Salienzskala  $R_A$  als auch bei allen JNDs einer für eine Versuchsbedingung  $B$  konstruierten Salienzskala  $R_B$  konstant gleich groß,  $(p_{A_1} = p_{A_2} = \dots = p_{A_i} = \dots = p_A) \wedge (p_{B_1} = p_{B_2} = \dots = p_{B_i} = \dots = p_B) \wedge (p_A = p_B)$ . 2. In das Salienzurteil einer CMM-Messung fließt nur die Salienz des bei der Skalierung variierten Merkmalskontrasts ein (s. Abschnitt 9.1.2). 3. Die Salienzskalen haben einen gemeinsamen festen Nullpunkt der Salienz.

Sind diese drei Bedingungen gegeben, ist die CMM-Funktion im von den beiden Skalen zweier Versuchsbedingungen aufgespannten Salienzraum eine Gerade mit der Steigung eins, die durch den Ursprung des Salienzraums geht,  $R_A(x) = R_B(y)$ .

Die über die Differenzskalierung bestimmten Salienzskalen haben in diesem Fall unmittelbar nach der Skalierung einen gemeinsamen Nullpunkt und eine konstante, gleich große Salienzeinheit. Dadurch werden gleich saliente Merkmalskontraste verschiedener Versuchsbedingungen auf gleiche Zahlenwerte ihrer jeweiligen Skala abgebildet. Die Salienzwerte von Salienzskalen verschiedener Versuchsbedingungen können deshalb ohne weitere Umrechnung zueinander in Relation gesetzt werden. Die über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Skalen bilden die Salienz der quadratischen Texturfigur somit unmittelbar nach der Skalierung merkmalsunabhängig ab.

**2. Fall:** Das in Abb. 9.2 (b) dargestellte Ergebnis zeigt sich unter den folgenden drei Bedingungen: 1. Die Zunahme der Salienz  $p$  ist zwar bei allen JNDs einer für eine Versuchsbedingung  $A$  oder  $B$  konstruierten Salienzskala  $R_A$  bzw.  $R_B$  konstant gleich groß,  $(p_{A_1} = p_{A_2} = \dots = p_{A_i} = \dots = p_A) \wedge (p_{B_1} = p_{B_2} = \dots = p_{B_i} = \dots = p_B)$ , jedoch zwischen den Skalen verschiedener Versuchsbedingungen unterschiedlich groß,  $p_A \neq p_B$ . 2. In das Salienzurteil einer CMM-Messung fließt nur die Salienz des bei der Skalierung variierten Merkmalskontrasts ein (s. Abschnitt 9.1.2). 3. Die Salienzskalen haben einen gemeinsamen festen Nullpunkt der Salienz.

Sind diese drei Bedingungen gegeben, ist die CMM-Funktion im von den beiden Skalen zweier Versuchsbedingungen aufgespannten Salienzraum eine Gerade mit

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

einer Steigung  $m$  ungleich eins, die durch den Ursprung des Salienzraums geht,  
 $R_A(x) = m \cdot R_B(y)$ .

Die über die Differenzskalierung bestimmten Salienzskalen haben in diesem Fall zwar unmittelbar nach der Skalierung einen gemeinsamen Nullpunkt und jeweils eine konstante Salienzeinheit, diese ist jedoch zwischen den Salienzskalen unterschiedlich groß. Bei diesem Ergebnis ist die Interpretation von Verhältnissen zwischen zwei Salienzwerten einer Skala erlaubt, jedoch nicht ohne weiteres die Interpretation von Verhältnissen zwischen zwei Salienzwerten von Skalen aus zwei verschiedenen Versuchsbedingungen. Letzteres ist erst dann möglich, wenn man die Salienzwerte der Skala einer Versuchsbedingung in die Salienzwerte der Skala einer zweiten Versuchsbedingung transformiert und damit auf einer gemeinsamen, merkmalsunabhängigen Skala abbildet. Für diese Transformation ist die Kenntnis der Steigung der CMM-Funktion dieser beiden Versuchsbedingungen erforderlich.

- 3. Fall:** Bei dem in Abb. 9.2 (c) dargestellten Ergebnis ist das Entscheidende der Schnittpunkt der CMM-Funktion außerhalb des Ursprungs des von den beiden Salienzskalen aufgespannten Salienzraums und nicht die Steigung der CMM-Funktion. Dieser dargestellte Fall tritt unter den beiden folgenden Bedingungen ein:
1. Die Zunahme der Salienz  $p$  ist bei allen JNDs einer für eine Versuchsbedingung  $A$  oder  $B$  konstruierten Salienzskala  $R_A$  bzw.  $R_B$  konstant gleich groß,  $(p_{A_1} = p_{A_2} = \dots = p_{A_i} = \dots = p_A) \wedge (p_{B_1} = p_{B_2} = \dots = p_{B_i} = \dots = p_B)$ , und zwischen den Skalen verschiedener Versuchsbedingungen entweder gleich oder unterschiedlich groß,  $(p_A = p_B) \vee (p_A \neq p_B)$ .
  2. Die Grundsalienz eines Reizmusters fließt in das Salienzurteil einer CMM-Messung ein und diese Grundsalienz muss sich zwischen den zu vergleichenden Versuchsbedingungen unterscheiden. Die CMM-Funktion im von den beiden Skalen zweier Versuchsbedingungen aufgespannten Salienzraum ist in diesem Fall eine Gerade mit einer Steigung  $m$  gleich oder ungleich eins, die die Salienzachse des Merkmals  $A$  außerhalb des Ursprungs im Punkt  $b$  schneidet,  $R_A(x) = m \cdot R_B(y) + b$ .

Kann der Schnittpunkt  $b$  der CMM-Funktion allein auf die unterschiedliche Grundsalienz der Texturreizmuster der beiden Versuchsbedingungen  $A$  und  $B$  zurückgeführt werden (s. Abschnitt 9.1.2), ist das in Abb. 9.2 (c) dargestellte Ergebnis mit Verhältnisskalenniveau der einzelnen Salienzskalen vereinbar. Das bedeutet, dass die Salienzskalen in diesem Fall einen gemeinsamen festen Nullpunkt und eine konstante gleich ( $m = 1$ ) oder unterschiedlich große ( $m \neq 1$ ) Salienzeinheit haben.



## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

Durch das Verhältnisskalenniveau einer Salienszskala ist die Interpretation von Verhältnissen zwischen zwei Salienszwerten einer Skala erlaubt. Die Interpretation von Verhältnissen zwischen zwei Salienszwerten von Skalen aus zwei verschiedenen Versuchsbedingungen ist wie beim 2. Fall nur dann möglich, wenn man die Salienszwerte der Skala einer Versuchsbedingung in die Salienszwerte der Skala einer zweiten Versuchsbedingung transformiert und damit auf einer gemeinsamen merkmalsunabhängigen Skala abbildet. Für diese Transformation ist auch in diesem 3. Fall die Kenntnis der Steigung der CMM-Funktion dieser beiden Versuchsbedingungen notwendig. Das bedeutet, dass für den Vergleich der *Saliensz der Texturfigur* zwischen zwei Versuchsbedingungen gilt:  $R_A(x) = m \cdot R_B(y)$ .

**4. Fall:** Nimmt die Saliensz  $p$  bei einem JND bei mindestens einer von für zwei Versuchsbedingungen  $A$  und  $B$  konstruierten Skalen  $R_A$  und  $R_B$  nicht konstant zu,  $(p_{A_i} \neq p_{A_j}) \vee (p_{B_i} \neq p_{B_j})$ , zeigt sich bei der CMM-Funktion in dem von zwei Salienszskalen aufgespannten Salienszraum ein gebogener Verlauf, wie er beispielhaft in Abb. 9.2 (d) dargestellt ist.

In diesem Fall ist sicher, dass die Salienszeinheit bei mindestens einer der beiden Salienszskalen nicht konstant ist. Kann jedoch für eine der beiden Salienszskalen  $R_A$  oder  $R_B$  ein Beleg dafür erbracht werden, dass die Salienszeinheit dieser Skala konstant ist, können Verhältnisse von Salienszwerten auf dieser Skala interpretiert werden. Die Salienszwerte der anderen Skala können in diesem Fall über die CMM-Funktion in Salienszwerte der Skala mit konstanter Salienszeinheit transformiert werden und damit merkmalsunabhängig auf Verhältnisskalenniveau abgebildet werden. In Experiment 4 dieser Arbeit wird genau dieser Fall diskutiert (s. Kapitel 10). Kann für keine der beiden Salienszskalen gezeigt werden, dass die Salienszeinheit konstant ist bzw. ist die Salienszeinheit bei beiden Skalen nicht konstant, ist weder die Interpretation von Verhältnissen zwischen Salienszwerten von Skalen verschiedener Versuchsbedingungen noch zwischen zwei Salienszwerten innerhalb einer Salienszskala erlaubt.

### **Anmerkung zur experimentellen Überprüfung der Konstanz der Salienszeinheit**

Über die geschilderte Methode der Kreuzvalidierung ist keine Verifikation der Konstanz der Salienszeinheit einer über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Salienszskala möglich, sondern lediglich eine Falsifikation. Zeigt sich ein gebogener Verlauf der CMM-Funktion (s. Abb. 9.2 (d)), so ist sicher, dass die Salienszeinheit wenigstens einer der beiden über die CMM-Messungen verglichenen Salienszskalen nicht konstant ist. Zeigt sich durch die CMM-Messungen hingegen in dem von zwei Salienszskalen ver-

## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

schiedener Versuchsbedingungen aufgespannten Salienzraum z.B. ein linearer Zusammenhang mit einer Steigung von eins und einem Schnittpunkt der CMM-Funktion im Ursprung des von zwei Salienzskalen aufgespannten Salienzraums (s. Abb. 9.2 (a)), so sind diese Ergebnisse mit der Konstanz der Salienzeinheit beider Salienzskalen lediglich vereinbar. Das bedeutet, wenn die Salienzeinheit beider Salienzskalen jeweils konstant und zudem gleich groß ist, muss die CMM-Funktion der in Abb. 9.2 (a) dargestellten entsprechen. Das gleiche Ergebnis kann jedoch ebenfalls auftreten, wenn die Zunahme der Salienz  $p$  bei den JNDs einer Salienzskala  $R_A$  nicht konstant ist,  $p_{A_i} \neq p_{A_j}$ , und zwar genau dann, wenn die Zunahme der Salienzempfindung bei den JNDs einer für eine andere Versuchsbedingung konstruierten Salienzskala  $R_B$  in gleicher Weise nicht konstant ist, d.h.  $p_{B_i} \neq p_{B_j}$ , aber  $(p_{A_i} = p_{B_i}) \wedge (p_{A_j} = p_{B_j})$ . Zeigt sich ein Ergebnis, dass mit der Konstanz der Salienzeinheit der Skalen vereinbar ist, muss deshalb grundsätzlich diskutiert werden, wie wahrscheinlich es ist, dass sich die gefundenen Ergebnisse durch eine gleich unkonstante Zunahme der Salienz bei den JNDs zweier Salienzskalen ergeben.

### 9.1.4 Versuchsbedingungen

Die drei in dem Experiment unterschiedenen Versuchsbedingungen sind: Orientierung mit Ortsfrequenzjitter (OR), Orientierung mit Ortsfrequenz- und Orientierungsjitter (OR-J) und Ortsfrequenz mit Orientierungsjitter (SF). In den Versuchsbedingungen OR und OR-J wird die Salienz von Orientierungskontrast und in der Versuchsbedingungen SF die von Ortsfrequenzkontrast skaliert. In jeder der drei Versuchsbedingungen wird Merkmalsjitter verwendet. In den Versuchsbedingungen OR und SF ist der Merkmalsjitter jedoch nur in dem Merkmal enthalten, dessen Salienz nicht skaliert wird. Nur in der Versuchsbedingung OR-J ist zudem auch in dem Merkmal, dessen Salienz skaliert wird, Merkmalsjitter enthalten. Zwischen den Versuchsbedingungen OR und OR-J ist dieser Orientierungsjitter der einzige Unterschied. Dadurch kann speziell beim Vergleich dieser beiden Versuchsbedingungen geprüft werden, ob die durch den Orientierungsjitter unterschiedliche Grundsalienz der Reizmuster in das Salienz-Präferenz-Urteil einer CMM-Messung einfließt.

## 9.2 Methode

### 9.2.1 Apparatur

Die Apparatur war dieselbe wie in allen vorangegangenen Experimenten (s. Kapitel 6.2.1 auf S. 59).

## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

### 9.2.2 Versuchspersonen

Eine weibliche Studentin, ein männlicher Student und der Autor dieser Arbeit nahmen als Versuchspersonen an der Untersuchung teil. Die beiden Studenten waren nicht über die Fragestellung der Untersuchung informiert. Alle drei Versuchspersonen hatten normales oder zur Normalität korrigiertes Sehvermögen. Die Studenten wurden für ihre Teilnahme mit 5 Euro die Stunde entlohnt.

### 9.2.3 Stimuli

Die Reizmuster bestanden wie in den beiden vorangegangenen Experimenten aus  $7 \times 7$  Gaborreizen. Die zentralen  $3 \times 3$  Gaborreize bildeten zusammen die Vordergrundelemente der Reizmuster.

Alle verwendeten Gaborreize waren hinsichtlich ihrer Helligkeit und Phase identisch. Ein Gaborreiz hatte einen Durchmesser von 1.8 Grad Sehwinkel. Dies wurde durch Setzung der Standardabweichung (sd) der Gaußhülle auf einen Wert von 0.36 Grad Sehwinkel und dem Abschneiden nach einem Radius von 2.5 sd-Einheiten erreicht. Die Position eines Gaborreizes variierte normalverteilt mit einer Standardabweichung von 0.05 Grad um sein jeweiliges Zentrum der  $7 \times 7$  Matrix.

**Versuchsbedingung OR** In der Versuchsbedingung OR wurde die Orientierung der Hintergrundelemente zufällig zwischen 0 (waagerechte Orientierung) und 180 Grad (ebenfalls wieder waagerechte Orientierung) gezogen und konnte damit aufgrund der Symmetrie der Reize jede mögliche Orientierung annehmen. Die Vordergrundelemente wurden entsprechend des eingestellten Orientierungskontrasts  $v$  gegen den Uhrzeigersinn im Vergleich zu den Hintergrundelementen gedreht.

Die Ortsfrequenz eines einzelnen Gaborreizes eines Reizmusters wurde zufällig durch gleichverteiltes Ziehen in Oktaven (oct) zwischen 1.77 und 3.54 cpd bestimmt. Die Ortsfrequenz konnte somit innerhalb einer Oktave variieren und hatte einen Mittelwert von 2.5 cpd.

Da die Ortsfrequenz der Vorder- und Hintergrundelemente zufällig aus der gleichen Verteilung gezogen wurden, bestand im Mittel kein Ortsfrequenzkontrast. Leichte Unterschiede in der mittleren Ortsfrequenz zwischen Vorder- und Hintergrundelementen konnten in spezifischen Reizmustern eines Trials durchaus auftreten, doch da diese Unterschiede mit der gleichen Wahrscheinlichkeit im Referenzreiz, wie in einem Target auftreten konnten, spielten solche möglichen geringen Ortsfrequenzkontraste für die Skalierung keine Rolle. Skaliert wurde somit nur der variierte Orientierungskontrast.

## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

**Versuchsbedingung OR-J** In dieser Versuchsbedingung wurde nur eine Variable im Vergleich zu der zuvor beschriebenen Versuchsbedingung OR verändert und zwar der Orientierungsjitter. Im Unterschied zur Versuchsbedingung OR waren die Vorder- und Hintergrundelemente bzgl. ihrer Orientierung nicht homogen, sondern die Orientierung variierte normalverteilt mit einer Standardabweichung von 15 Grad um den jeweils relevanten Orientierungswert. Das bedeutete, die Hintergrundelemente streuten entsprechend um die zwischen 0 und 180 Grad zufällig gezogene Orientierung und die Vordergrundelemente streuten entsprechend um den mittleren Orientierungswert, der sich aufgrund des eingestellten Orientierungskontrasts durch Drehung gegen den Uhrzeigersinn im Vergleich zu der gezogenen Hintergrundorientierung ergab.

Auch die in diesem Fall möglichen Kontraste durch den Orientierungsjitter können für die Skalierung keine Rolle spielen, da sie mit gleicher Wahrscheinlichkeit im Referenzreiz und den Targets vorkommen konnten. Skaliert wurde somit in dieser Versuchsbedingung ebenfalls der variierte Orientierungskontrast.

**Versuchsbedingung SF** Zur Bildung des Ortsfrequenzkontrasts wurde das in Abschnitt 7.2 vorgestellte Verfahren verwendet. Die Bandbreite des verwendeten Ortsfrequenzbereichs umfasste 3 Oktaven, von 0.707 bis 5.656 cpd. Der maximal einstellbare Ortsfrequenzkontrast betrug somit 1.5 Oktaven (halbe Bandbreite des ausgewählten Ortsfrequenzbereichs). Bei einer Ziehung der Ortsfrequenz der Vordergrundelemente wurde aus der unteren Hälfte dieses Ortsfrequenzbereichs (0.707 bis 2 cpd) gleichverteilt in Oktaven gezogen, d.h. eine Zahl  $z$  wurde gleichverteilt zwischen -0.5 und 1 gezogen und  $2^z$  ergab dann die Ortsfrequenz der Vordergrundelemente. Der eingestellte Ortsfrequenzkontrast wurde dann durch eine entsprechende Erhöhung der Ortsfrequenz der Hintergrundelemente im Vergleich zu der gezogenen Ortsfrequenz der Vordergrundelemente realisiert. Bei einer Ziehung der Ortsfrequenz der Hintergrundelemente wurde aus der oberen Hälfte des Ortsfrequenzbereichs (2 bis 5.656 cpd) gleichverteilt in Oktaven gezogen, d.h. eine Zahl  $z$  wurde gleichverteilt zwischen 1 und 2.5 gezogen und  $2^z$  ergab dann die Ortsfrequenz der Hintergrundelemente. Der eingestellte Ortsfrequenzkontrast wurde dann durch eine entsprechende Verringerung der Ortsfrequenz der Vordergrundelemente im Vergleich zu der gezogenen Ortsfrequenz der Hintergrundelemente realisiert.

Die Orientierung eines einzelnen Gaborreizes wurde zufällig durch gleichverteiltes Ziehen zwischen  $\pm 45$  Grad um die Horizontale (0 Grad) bestimmt. Genau wie in den beiden Orientierungsbedingungen wurde somit eine feste Streuung in dem Merkmal eingeführt, dessen Salienz nicht skaliert wurde. Der Grund dafür war, dass man durch diese Streuungen Texturen generiert, die eine höhere Übereinstimmung mit Texturen in

## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

der natürlichen Umwelt haben. In der Umwelt finden sich häufig Texturen, bei denen ein Merkmal recht einheitlich ist, während ein anderes Merkmal stärker variiert, z.B. die Rinde einer Eiche (geringe Orientierungsvariation, aber variierende Ortsfrequenz) oder eine Sandfläche (gering variierende Ortsfrequenz, aber zufällig orientierte Strukturen). Die ökologische Validität sollte somit erhöht werden. Für die Untersuchung der oben genannten Fragestellungen dieses Experiments war die Verwendung dieser Streuungen jedoch nicht unbedingt notwendig.

Genau wie in den beiden anderen Versuchsbedingungen können im Einzelfall aufgrund des Orientierungsjitters Mittelwertsunterschiede zwischen Vorder- und Hintergrund auftreten. Die Wahrscheinlichkeit dafür unterscheidet sich aber auch in dieser Versuchsbedingung nicht zwischen Referenzreiz und Target, so dass diese zufälligen Kontraste für die Skalierung keine Rolle spielen. Skaliert wurde in dieser Versuchsbedingung somit nur der variierte Ortsfrequenzkontrast.

In einem Trial einer Schwellenmessung wurden zwei Reizmuster nebeneinander mit einem Abstand von 1.8 Grad Sehwinkel präsentiert. In der Abb. 9.3 ist für jede Versuchsbedingung ein Beispiel für die Reizmusterdarstellung eines Trials zu sehen.

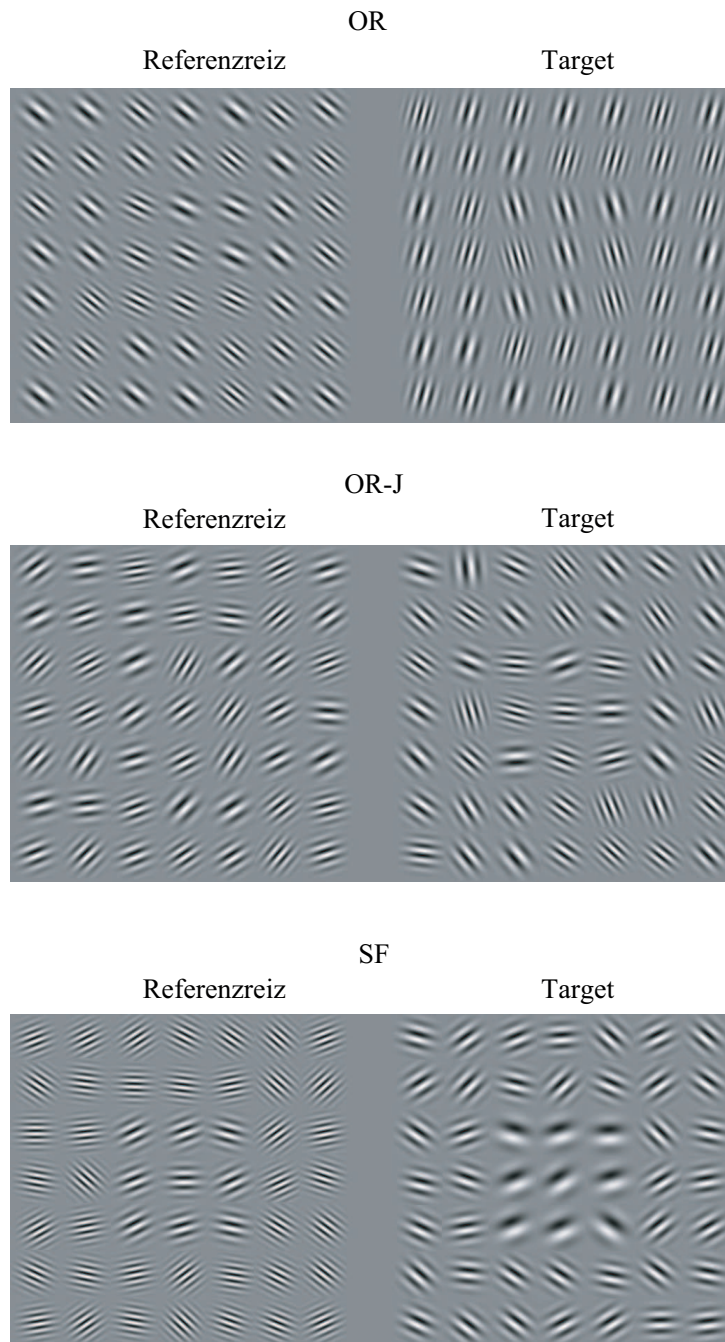
### 9.2.4 Experimenteller Ablauf

#### 9.2.4.1 Experimenteller Ablauf der Differenzskalierung

**Unterschiedsschwellenmessungen** Zur Bestimmung der Saliensskalen für die drei Versuchsbedingungen OR, OR-J und SF ( $R_\Phi$ ,  $R_\varphi$  und  $R_\omega$ ) wurden für jeweils acht verschiedene Merkmalskontraste ( $v$ := Orientierungskontrast;  $f$ := Ortsfrequenzkontrast) die Schwellen über eine Same-Different-Methode gemessen. Die Stärke der Merkmalskontraste wurde zum einen auf der Basis von Probemessungen der Absolutschwelle<sup>22</sup> festgelegt. Es wurde darauf geachtet, dass mindestens ein Merkmalskontrast unterhalb der Absolutschwelle als Pedestal vorgegeben wurde, wodurch eine genaue Bestimmung der Saliensskala für diesen kritischen Bereich möglich ist, in dem der negative Maskierungseffekt zu erwarten ist (vgl. Abschnitt 4.1). Zum anderen wurden für jede Versuchsperson Probemessungen für große Pedestals sowie eine Dekrementschwellemessung für den maximalen Merkmalskontrast in jeder Versuchsbedingung durchgeführt. Dadurch konnte jeweils das größte Pedestal festgelegt werden, für das noch eine Inkre-

<sup>22</sup>Die Absolutschwelle bezeichnet die Unterschiedschwelle für ein Pedestal von null (s. Kapitel 4.3).

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR



**Abb. 9.3:** Beispiele für Reizmuster eines Different-Trials je Versuchsbedingung. Das Target ist nur zur besseren Vergleichbarkeit immer auf der rechten Seite dargestellt. OR: Der Referenzreiz hat einen Merkmalskontrast von 12 Grad, das Target einen von 30 Grad. OR-J: Der Referenzreiz hat einen Merkmalskontrast von 14 Grad, das Target einen von 40 Grad. SF: Der Referenzreiz hat einen Merkmalskontrast von 0.6 oct und das Target einen von 1 oct.

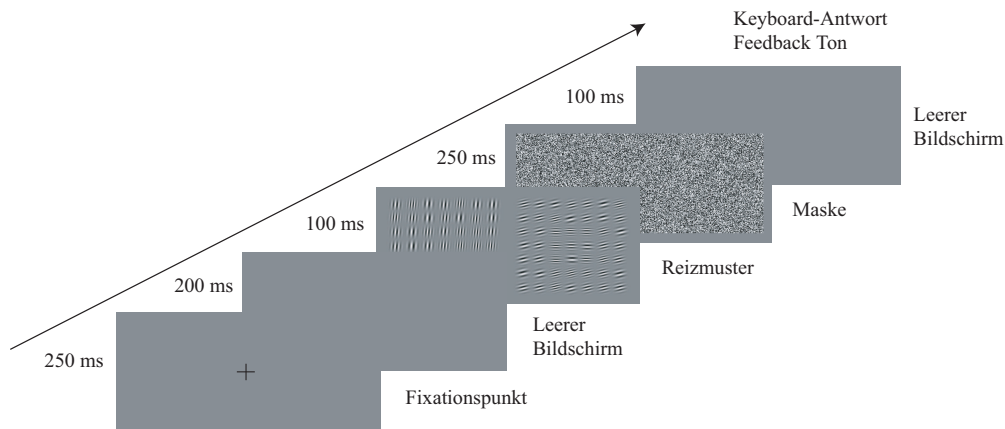
## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

mentschwellenmessung durchgeführt werden konnte. In allen drei Versuchsbedingungen wurde auch bei den „Hauptmessungen“ für den maximalen Merkmalskontrast eine Dekrementeschwellenmessung durchgeführt, also für einen Merkmalskontrast von 90 Grad in der Versuchsbedingung OR und OR-J und für 1.5 Oktaven in der Versuchsbedingung SF. Alle anderen Schwellenmessungen waren Inkrementeschwellenmessungen. Die ausgewählten Inkrementpedestals unterschieden sich zwischen den Versuchspersonen vereinzelt bei den großen Pedestals. Bei den im Folgenden aufgeführten Pedestals werden diese vereinzelt Abweichungen in Klammern angegeben. Die sieben Inkrementpedestals der Versuchsbedingung OR waren 0, 4, 8, 12, 16, 20 und 23 Grad (bzw. 25 Grad beim Autor). Die sieben Inkrementpedestals der Versuchsbedingung OR-J waren 0, 7, 14, 20, 25, 30 und 35 Grad (keinerlei Unterschiede zwischen den Versuchspersonen). Die sieben Inkrementpedestals der Versuchsbedingung SF waren 0, 0.15, 0.3, 0.45, 0.6, 0.75 und 0.85 Oktaven (bzw. statt 0.75 und 0.85 wurden bei den Versuchspersonen mpg und bme für 0.7, 0.8 und 0.9 Oktaven Schwellen für insgesamt acht Inkrementpedestals bestimmt). Einen guten Überblick über die Pedestals der einzelnen Versuchsbedingungen liefern die Tabellen 9.1, 9.2 und 9.3 im Ergebnisteil dieses Kapitels (Abschnitt 9.3).

Aufgrund der bekannten Schwankungen der Schwellenmessungen wurden alle Schwellen einer Versuchsbedingung zweimal erhoben. Die gesamten Messungen wurden auf sechs Sitzungen je Versuchsperson aufgeteilt. Pro Sitzung wurden alle acht Schwellen eines Merkmals in zufälliger Reihenfolge erhoben. Nach Abschluss aller Messungen wurde über alle zwei Schwellenmessungen je Pedestal arithmetisch gemittelt. Die Dauer einer Sitzung betrug ungefähr 1,25 Stunden und variierte etwas je nach der Länge der Pausen zwischen den einzelnen Schwellenmessungen. Die Dauer einer einzelnen Schwellenmessung lag zwischen 5 und 6 Minuten. Sie war davon abhängig, wie schnell die Probanden am Ende eines Trials antworteten.

**Aufgabe des Probanden und genaue Struktur eines Trials** Die Schwellen wurden mit einer Same-Different-Methode gemessen. Die zu vergleichenden Reize wurden räumlich verteilt, d.h. nebeneinander dargeboten. Die Probanden hatten zu entscheiden, ob ihnen zwei hinsichtlich des Merkmalskontrasts identische Reizmuster in einem Trial präsentiert wurden („same“) oder ob eines der beiden Reizmuster eines Trials einen im Vergleich zum anderen Reizmuster größeren Merkmalskontrast aufwies („different“). Die in Abb. 9.3 dargestellten Reize sind Beispiele für Different-Trials der Schwellenmessungen. Die gesamte Struktur eines Trials und die Präsentationszeiten der einzelnen Elemente zeigt Abb. 9.4.

## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR



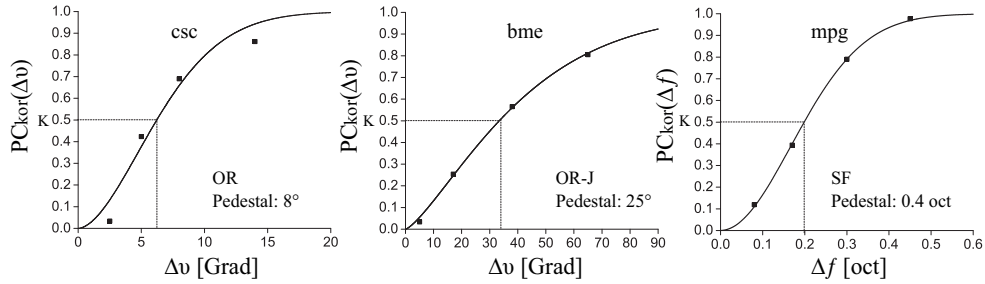
**Abb. 9.4:** Trialstruktur und Präsentationszeiten der Schwellenmessungen. Jeder Trial begann mit der Präsentation eines Fixationspunktes im Zentrum des Bildschirms für 250 msec. Danach schloss sich für 200 msec ein leerer Bildschirm in Hintergrundgrau an. Darauf folgte 100 msec lang die Präsentation der Reizmuster. Nach der Präsentation der Reizmuster wurde für 250 msec eine Maske eingeblendet. Die Probanden konnten dann über die externe Antwortbox ihre Antwort geben und erhielten dafür unmittelbar über Kopfhörer Feedback. Die Pause zwischen zwei Trials betrug mindestens 100 msec und dauerte darüber hinaus an, bis der Proband seine Antwort gab. Der Bildschirm war in dieser Zeit wieder leer und in Hintergrundgrau.

**Bestimmung der Schwellen** Pro Schwellenmessung wurden vier verschiedene Reizintensitäten als Targets verwendet und jeweils 16 mal zusammen mit dem Referenzreiz (bzw. Pedestal) präsentiert. Eine Schwellenmessung bestand folglich aus insgesamt 64 Different-Trials und ebensovielen Same-Trials, so dass eine komplette Schwellenmessung 128 Trials enthält. Die Reihenfolge der Trials wurde zufällig variiert. In Abb. 9.5 sind typische Messdaten samt der sie beschreibenden psychometrischen Funktionen dargestellt. Die Bestimmung der  $PC_{kor}$ -Werte aus den Messdaten einer Schwellenmessung und die Vorgehensweise zur Schätzung der Parameter der psychometrischen Funktion sind in Anhang A.4 beschrieben. Als Schwellenkriterium  $K$  wurde der 50%-Punkt der Funktion definiert.

**Bestimmung der Parameter der Naka-Rushton-Funktion** Für jede Versuchsperson wurden getrennt für die Versuchsbedingungen OR, OR-J und SF die Parameter  $A$ ,  $p$ ,  $q$  und  $Z$  der Naka-Rushton-Funktion ( $R(x) = A \frac{x^p}{x^q + Z}$ ) geschätzt. Wie in der Studie von Motoyoshi und Nishida (2001) wurde dabei festgelegt, dass zwei Kontraststärken dann voneinander unterschieden werden können, wenn die Differenz der durch sie ausgelösten internen Antwort einen konstanten Wert überschreitet, der gleich der Zahl 1 gesetzt wird ( $R(x + \Delta x) - R(x) = 1$ ). Die Parameter wurden derart geschätzt, dass



## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR



**Abb. 9.5:** Typische Messdaten samt der sie beschreibenden psychometrischen Funktionen. Auf der Abszisse ist jeweils die Differenz zwischen dem Orientierungs- bzw. Ortsfrequenzkontrast des Targets und dem des Pedestals abgetragen ( $\Delta v$  bzw.  $\Delta f$ ). Auf der Ordinate sind die für diese Differenzen berechneten  $PC_{kor}$ -Werte abgetragen ( $PC_{kor}(\Delta v)$  bzw.  $PC_{kor}(\Delta f)$ ). Der 50%-Punkt der Funktion wurde als Schwellenkriterium  $K$  definiert, d.h.  $\Delta v$  bzw.  $\Delta f$  gibt für  $PC_{kor}(\Delta v) = 0.5$  bzw.  $PC_{kor}(\Delta f) = 0.5$  das zum Erreichen der Schwelle notwendige Inkrement an.

die Summe der quadrierten Abweichungen der Differenzen  $R(x + \Delta x) - R(x)$  von 1 ein Minimum ergab:

$$\sum_{j=1}^J (R(x + \Delta x) - R(x) - 1)^2 \rightarrow \min, \quad (9.1)$$

wobei  $J$  für die Anzahl der in einer Versuchsbedingung über die Schwellenmessungen bestimmten Messwertpaare (Referenzreizkontrast und Merkmalskontrast der Schwelle) steht. Für  $x$  und  $\Delta x + x$  wurden jeweils die acht bzw. neun Messwertpaare einer Versuchsbedingung eingesetzt. Für diese nichtlineare Schätzung wurde die Mathematica (Version 5) Implementierung des Levenberg-Marquardt Algorithmus verwendet. Nach Abschluss aller Parameterschätzungen lagen für jeden Probanden drei Salienskalen in Form der Naka-Rushton-Funktion vor, eine für jede Versuchsbedingung.

### 9.2.4.2 Experimenteller Ablauf des Cross-Modality-Matching

**Matchingkontrastmessungen** Wie bereits oben erwähnt, wurden für jede Kombination von Versuchsbedingungen (OR vs. OR-J (kurz: ORvsOR-J), SFvsOR-J und SFvsOR) eine Reihe gleich salienter Merkmalskontraste über CMM-Messungen ermittelt. Wie bei CMM-Messungen üblich, lassen sich zwei Matchingbedingungen je Merkmalskombination unterscheiden. In der ersten Matchingbedingung wird ein Merkmalskontrast der ersten Versuchsbedingung einer Merkmalskombination konstant gehalten und mit verschiedenen Merkmalskontrasten der zweiten Versuchsbedingung dieser Merkmalskombination verglichen. Es wird somit ein Merkmalskontrast der zweiten Versuchsbedingung gesucht, der genauso salient ist, wie der konstant gehaltene

## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

Merkmalskontrast der ersten Versuchsbedingung. Wie dieser gleich saliente Merkmalskontrast genau bestimmt wurde, wird weiter unten im Paragraphen „Bestimmung der Salienz-Matchingkontraste“ auf S. 109 erläutert. In der zweiten Matchingbedingung ist es genau umgekehrt, d.h. der Merkmalskontrast der zweiten Versuchsbedingung wird konstant gehalten und mit verschiedenen Merkmalskontrasten der ersten Versuchsbedingung verglichen. Darüber wird somit ein Merkmalskontrast der ersten Versuchsbedingung ermittelt, der genauso salient ist, wie der konstant gehaltene Merkmalskontrast der zweiten Versuchsbedingung. Der Grund dafür, dass man diese beiden Matchingbedingungen durchführt und nicht nur eine dieser beiden, ist eine mögliche Variation der Messergebnisse in Abhängigkeit davon, von welchem Merkmal der Merkmalskontrast für die Ermittlung gleich salienter Merkmalskontraste konstant gehalten wird.

Als Abstand zwischen zwei konstant gehaltenen Merkmalskontrasten einer Versuchsbedingung wurde  $0.5 \text{ jnd}^{23}$  gewählt. Als kleinster Merkmalskontrast wurde zunächst der verwendet, der zum Salienzwert von eins auf seiner Skala korrespondierte. Die Anzahl der konstant gehaltenen Merkmalskontraste einer Versuchsbedingung, für die jeweils ein gleich salienter Merkmalskontrast der anderen Versuchsbedingung einer Vergleichsbedingung ermittelt wurde, hing von den maximalen Salienzwerten der Skalen der beiden zu vergleichenden Versuchsbedingungen ab. Desto größer diese Werte waren, desto mehr Merkmalskontraste konnten als konstante Vergleichskontraste für die CMM-Messungen ausgewählt werden. Da die maximalen Salienzwerte sowohl zwischen den Skalen der Versuchsbedingungen bei einer Versuchsperson als auch zwischen den Skalen der gleichen Versuchsbedingungen bei zwei unterschiedlichen Versuchspersonen variierten (s. Ergebnisse in Abschnitt 9.3.1), wurde die Anzahl der Vergleichskontraste in Abhängigkeit von den zu vergleichenden Versuchsbedingungen für jede Versuchsperson individuell ausgewählt. Zeigte sich nach einem ersten Messdurchgang, dass für die niedrigsten oder höchsten ausgewählten konstanten Merkmalskontraste einer Versuchsbedingung keine Matchingkontraste bestimmt werden konnten, weil es keine Merkmalskontraste der anderen Versuchsbedingung einer Vergleichsbedingung gab, deren Salienz gering bzw. groß genug für den Vergleichskontrast waren, dann wurden für diese konstant gehaltenen Merkmalskontraste keine weiteren Messdurchgänge vorgenommen. Zeigten die Ergebnisse, dass auch die Vorgabe eines Merkmalskontrasts für eine Messung möglich ist, der gerade mal zu einem Salienzwert von  $0.5 \text{ jnd}$  auf seiner Skala korrespondierte, dann wurde dieser noch in die weiteren Messungen aufgenommen. Für alle so „übriggebliebenen“ bzw. hinzugenommenen konstant gehaltenen Merkmalskontraste wurde ein zweiter Messdurchgang zur Erhöhung der Messgenauig-

---

<sup>23</sup>jnd steht für „just noticeable difference“ und wird als Bezeichnung für die Einheit der Salienzskalen verwendet (s. Kapitel 4.2.1).

## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

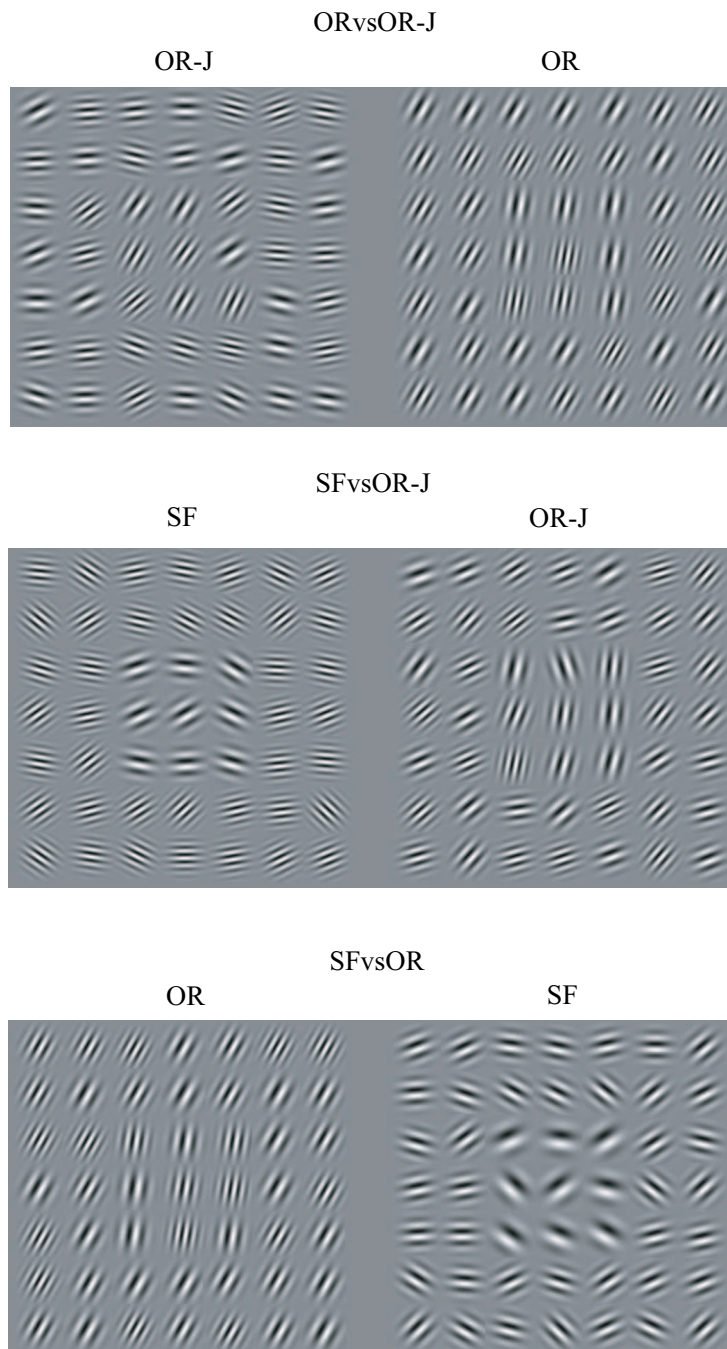
keit durchgeführt und nur diese Merkmalskontraste sind auch in den Ergebnissen aufgeführt. Die Ergebnisse der zwei Messdurchgänge eines konstant gehaltenen Merkmalskontrasts wurden arithmetisch gemittelt. Alle Messungen wurden auf sechs Sitzungen aufgeteilt. In einer Sitzung wurden alle Matchingkontraste beider Matchingbedingungen einer Merkmalskombination in zufälliger Reihenfolge ermittelt. Die Reihenfolge, in der die Merkmalskombination durchlaufen wurden, wurde systematisch zwischen den Versuchspersonen variiert. Die Dauer einer Sitzung variierte aufgrund der zum Teil deutlich unterschiedlichen Anzahl von Messungen (Minimum: 6; Maximum: 14) zwischen 45 Minuten und 1,75 Stunden. Die Dauer einer einzelnen Matchingkontrastmessung variierte zwischen 4 und 5 Minuten, abhängig davon wie schnell die Probanden am Ende eines Trials antworteten.

**Aufgabe der Probanden und genaue Struktur eines Trials** Für die Cross-Modality-Matching-Messungen wurde eine Two-Alternative-Forced-Choice-Methode verwandt. Die zu vergleichenden Reize wurden räumlich verteilt, d.h. nebeneinander dargeboten. Die Versuchspersonen hatten je Trial zu entscheiden, welcher von zwei präsentierten Merkmalskontrasten der für sie salientere war. Verglichen wurden immer Merkmalskontraste aus zwei verschiedenen Versuchsbedingungen. In Abb. 9.6 sind beispielhaft für jede Merkmalskombination zwei hinsichtlich ihrer Salienz zu vergleichende Reizmuster dargestellt. Die gesamte Trialstruktur stimmte exakt mit der Trialstruktur der Schwellenmessungen überein und ist deshalb der Abb. 9.4 auf S. 106 zu entnehmen.

**Bestimmung der Salienz-Matchingkontraste** Im Folgenden wird erläutert, wie ein Salienz-Matchingkontrast bestimmt wurde. Das generelle Ziel lag darin, für einen Merkmalskontrast  $x$  einer Versuchsbedingung  $A$  einen gleich salienten Merkmalskontrast  $SM$  ( $SM$  steht für Salienz-Matchingkontrast) einer zweiten Versuchsbedingung  $B$  zu finden. Dazu wurden fünf verschiedene Merkmalskontraste  $y_{1-5}$  der Versuchsbedingung  $B$  jeweils 24 mal in zufälliger Reihenfolge gemeinsam mit dem konstant gehaltenen Merkmalskontrast  $x$  präsentiert. Ein vollständiger Messdurchgang bestand folglich aus insgesamt 120 Trials.

Die fünf Merkmalskontraste  $y_{1-5}$  wurden wie folgt ausgewählt: Da vor dem ersten Messdurchgang für die Auswahl der Merkmalskontraste  $y_{1-5}$  kein Anhaltspunkt zur Verfügung stand, wie die Salienzwerte der verschiedenen Skalen zueinander in Relation stehen, wurde zunächst davon ausgegangen, dass gleich große Salienzwerte verschiedener Skalen auch (ungefähr) gleich salient sind. Deshalb wurden die Merkmalskontraste der Versuchsbedingung  $B$  derart ausgewählt, dass sie zu Salienzwerten ihrer Skala  $R_B$  korrespondierten, die zum Teil größer und zum Teil kleiner als der Salienzwert des

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR



**Abb. 9.6:** Beispiele für zwei bzgl. der Salienz zu vergleichende Merkmalskontraste in einer Cross-Modality-Matching-Messung. Der Merkmalskontrast der Reizmuster der Versuchsbedingung OR beträgt in beiden dargestellten Fällen 20 Grad, der der Reizmuster der Versuchsbedingung OR-J beträgt 50 Grad und der der Reizmuster der Versuchsbedingung SF beträgt in den beiden dargestellten Fällen 0.8 oct.

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

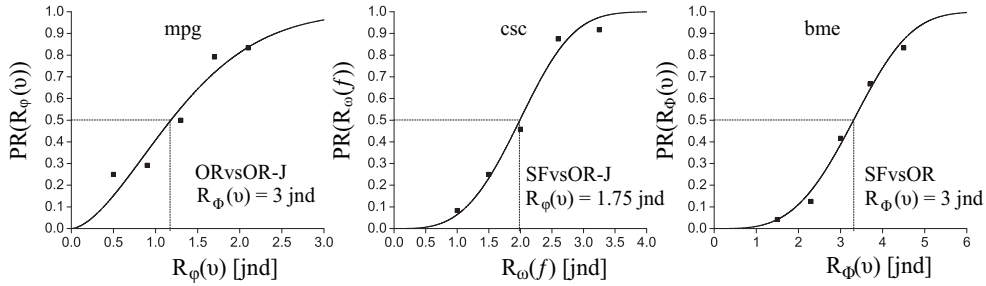
Merkmalskontrasts  $x$  der Skala der Versuchsbedingung  $A$  ( $R_A(x)$ ) waren. Hier ein Beispiel für den Fall, dass  $R_A(x) = 2$ :  $R_B(y_1) = 0.5$ ,  $R_B(y_2) = 1.3$ ,  $R_B(y_3) = 2$ ,  $R_B(y_4) = 2.7$ ,  $R_B(y_5) = 3.5$ . Für kleine Salienzwerte des vorgegebenen Merkmalskontrasts  $x$ , z.B.  $R_A(x) = 1$ , konnten die Salienzwerte und entsprechend die zugehörigen Merkmalskontraste der Versuchsbedingung  $B$  nicht derart symmetrisch um den Wert von 1 ausgewählt werden. Dasselbe galt für große Salienzwerte des vorgegebenen Merkmalskontrasts  $x$ , wenn keine größeren Salienzwerte auf der Skala der Versuchsbedingung  $B$  zur Verfügung standen. Nach der Durchführung des ersten Messdurchgangs konnten die Merkmalskontraste  $y_{1-5}$ , wenn nötig, für den zweiten Messdurchgang angepasst werden, so dass nach Möglichkeit immer einzelne Merkmalskontraste deutlich salienter und einzelne Merkmalskontraste deutlich weniger salient als der konstant gehaltene Merkmalskontrast  $x$  waren.

Für jeden der fünf Merkmalskontraste  $y_{1-5}$  konnte nach Abschluss eines Messdurchgangs die relative Häufigkeit  $PR(y)$  bestimmt werden, mit der der jeweilige Merkmalskontrast als salienter im Vergleich zu dem konstant gehaltenen Vergleichskontrast  $x$  der Versuchsbedingung  $A$  beurteilt wurde. Die fünf erhaltenen Messwertpaare wurden mit einer Weibull-Funktion wie folgt beschrieben:

$$PR(R_B(y)) = 1 - \exp^{-(gR_B(y))^k} . \quad (9.2)$$

Wie aus der Gleichung zu entnehmen ist, wurde anstelle des Merkmalskontrasts  $y$  der Versuchsbedingung  $B$  der zum Merkmalskontrast korrespondierende Salienzwert der Salienzskala der Versuchsbedingung  $B$  ( $R_B(y)$ ) als Funktionsvariable verwendet.  $PR(R_B(y))$  ist somit die Wahrscheinlichkeit, mit der ein zum Merkmalskontrast  $y$  korrespondierender Salienzwert  $R_B(y)$  gegenüber dem konstant gehaltenen Merkmalskontrast  $x$  der Versuchsbedingung  $A$  präferiert wird. Durch dieses Vorgehen erhält man im Folgenden unmittelbar den letztlich interessierenden Salienzwert  $R_B(SM)$  des Merkmalskontrasts  $SM$ , der für die Versuchsperson genauso salient ist, wie der vorgegebene Merkmalskontrast  $x$ . Eine Überprüfung ergab, dass man das gleiche Ergebnis erhält, wenn man statt der Salienzwerte  $R_B(y)$  den Merkmalskontrast  $y$  als Funktionsvariable verwendet und dann analog zu dem im Folgenden geschilderten Vorgehen zunächst den Salienz-Matchingkontrast (SM) fittet, wodurch man dann ebenfalls den korrespondierenden Salienzwert  $R_B(SM)$  bestimmt hat. Der Salienzwert  $R_B(SM)$  wird innerhalb dieser Arbeit als *Salienz-Matchingwert* bezeichnet. Wenn von der Bestimmung der Salienz-Matchingkontraste die Rede ist, bedeutet das folglich gleichzeitig die Bestimmung der Salienz-Matchingwerte, welche letztlich in dem von den Salienzskalen zweier Versuchsbedingungen aufgespannten Salienzraum betrachtet werden.  $g$  und  $k$  in der Gleichung (9.2) sind freie Parameter der Funktion, die unter Verwendung des Kleinst-

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR



**Abb. 9.7:** Salienz-Präferenz-Funktion. Dargestellt sind typische Messdaten der CMM-Messungen. Die Daten wurden mit einer Weibull-Funktion beschrieben. In den einzelnen Grafiken ist angegeben, um welche Vergleichsbedingung es sich handelte und wie groß der Salienzwert des konstant gehaltenen Merkmalskontrasts war. Auf der Abszisse ist jeweils der Salienzwert der variierenden Merkmalskontraste der zweiten Versuchsbedingung abgetragen. Auf der Ordinate ist in Prozent angegeben, wie häufig der variierende Merkmalskontrast gegenüber dem konstant gehaltenen Merkmalskontrast als salienter beurteilt wurde ( $PR$ ). Der 50%-Punkt der Funktion ist der Punkt der subjektiven Gleichheit und gibt damit den gesuchten Salienz-Matchingwert  $R(SM)$  an ( $PR(R(SM)) = 0.5$ ).

quadratkriteriums für die jeweiligen Messdaten bestimmt wurden. Der 50%-Punkt dieser Funktion wurde dann extrapoliert:

$$R_B(SM) = \frac{(-\ln[0.5])^{\frac{1}{k}}}{g}. \quad (9.3)$$

$R_B(SM)$  gibt somit unmittelbar den Salienzwert des Merkmalskontrasts  $SM$  der Versuchsbedingung  $B$  an, der bei 50% der Darbietungen als salienter im Vergleich zu dem vorgegebenen Merkmalskontrast  $x$  der Versuchsbedingung  $A$  beurteilt wurde. Es ist somit der gesuchte Punkt der subjektiven Gleichheit. In dem durch die beiden Salienskalen der Merkmalsbedingungen  $A$  und  $B$  ( $R_A$  und  $R_B$ ) aufgespannten Saliensraum lässt sich der über zwei Messungen gemittelte Wert  $\overline{R_B(SM)}$  wie folgt eintragen:  $R_A(x) = \overline{R_B(SM)}$ .

In Abb. 9.7 sind typische Messdaten der CMM-Messungen samt der sie beschreibenden Weibull-Funktionen dargestellt. Die Weibull-Funktion wurde somit als Salienz-Präferenz-Funktion verwendet. Es können auch andere Funktionen zur Beschreibung der Salienz-Präferenz-Daten der CMM-Messungen verwendet werden, wie z.B. die Gauß-Funktion. Darauf wird in der Diskussion des nächsten Experiments (s. Kapitel 10.4) näher eingegangen.

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

**Tabelle 9.1:** Ergebnisse der Schwellenmessungen in der Versuchsbedingung OR (alle Angaben in Grad). Erläuterungen siehe Text.

csc			mpg			bme		
Ped.	$\overline{\Delta v_{OR}}$	$\sigma_{OR}$	Ped.	$\overline{\Delta v_{OR}}$	$\sigma_{OR}$	Ped.	$\overline{\Delta v_{OR}}$	$\sigma_{OR}$
0	10.9	2.39	0	4.9	1.57	0	5.8	0.09
4	6.8	0.42	4	4.2	0.27	4	3.3	0.79
8	7.1	1.26	8	4.9	0.98	8	7.3	1.34
12	8.1	1.32	12	4.4	1.49	12	10.3	0.69
16	16.2	3.62	16	7.0	0.23	16	10.0	2.92
20	32.8	21.54	20	24.0	5.49	20	30.7	2.13
23	43.4	9.59	23	53.0	1.92	25	43.3	1.66
90	66.2	0.91	90	63.4	11.78	90	64.3	0.24

### 9.3 Ergebnisse

#### 9.3.1 Differenzskalierung

Die Ergebnisse der Schwellenmessungen der Versuchsbedingungen OR, OR-J und SF sind in den Tabellen 9.1, 9.2 bzw. 9.3 dargestellt. In der linken Spalte je Versuchsperson steht der Merkmalskontrast für den jeweils eine Schwelle zwei Mal gemessen wurde (Ped. steht für Pedestal). In der Spalte  $\overline{\Delta v_{OR}}$ ,  $\overline{\Delta v_{OR-J}}$  bzw.  $\overline{\Delta f_{SF}}$  ist der arithmetische Mittelwert des je Pedestal bestimmten Inkrements bzw. Dekrements angegeben und in der Spalte  $\sigma_{OR}$ ,  $\sigma_{OR-J}$  bzw.  $\sigma_{SF}$  ist die Streuung dieser zwei Messungen angegeben. Die Ergebnisse des Pedestals von 90 Grad in den Versuchsbedingungen OR und OR-J sowie die Ergebnisse des Pedestals von 1.5 Oktaven in der Versuchsbedingung SF sind die Ergebnisse der Dekrementschwellenmessungen. Alle anderen Ergebnisse stammen von Inkrementschwellenmessungen. Im Weiteren wird zur Vereinfachung nur von Inkrementen gesprochen. Die Ergebnisse der Dekrementschwellenmessungen sind damit eingeschlossen.

In Abb. 9.8 sind auf der rechten Seite die Diskriminationsschwellen-Funktionen der Versuchsbedingungen OR und OR-J zu sehen. Die Diskriminationsschwellen-Funktionen der Versuchsbedingung SF sind auf der rechten Seite von Abb. 9.9 dargestellt<sup>24</sup>. Auf der linken Seite der beiden Abbildungen sind jeweils die auf der Basis der Schwellenmessungen konstruierten Salienskalen dargestellt. Dabei bezeichnet  $R_{\Phi}$  die Sali-

<sup>24</sup>Wie die Ergebnisse der Dekrementmessungen gemeinsam mit den Ergebnissen der Inkrementmessungen dargestellt werden können, ist in Kapitel 8.1 beschrieben.

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

**Tabelle 9.2:** Ergebnisse der Schwellenmessungen in der Versuchsbedingung OR-J (alle Angaben in Grad). Erläuterungen siehe Text.

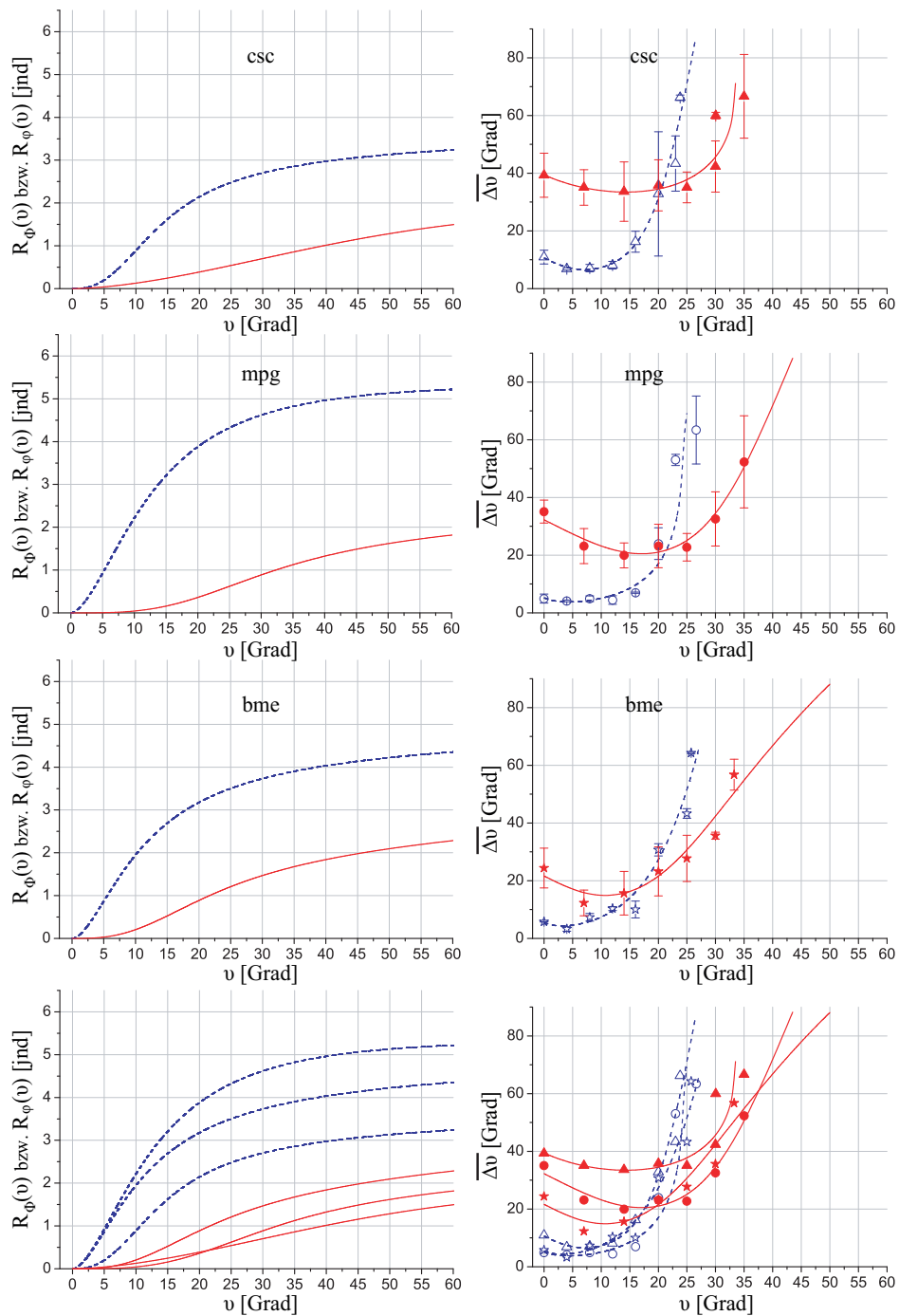
csc			mpg			bme		
Ped.	$\overline{\Delta v_{OR-J}}$	$\sigma_{OR-J}$	Ped.	$\overline{\Delta v_{OR-J}}$	$\sigma_{OR-J}$	Ped.	$\overline{\Delta v_{OR-J}}$	$\sigma_{OR-J}$
0	39.3	7.65	0	35.1	3.98	0	24.4	6.89
7	35.0	6.14	7	23.1	6.07	7	12.3	4.44
14	33.6	10.29	14	19.9	4.34	14	15.6	7.56
20	35.8	8.86	20	23.2	7.53	20	23.2	8.49
25	35.1	5.33	25	22.8	4.78	25	27.7	8.01
30	42.3	8.86	30	32.6	9.38	30	35.6	1.18
35	66.6	14.51	35	52.3	15.97	35	35.0	25.16
90	60.0	1.15	90	63.6	2.27	90	56.8	5.36

**Tabelle 9.3:** Ergebnisse der Schwellenmessungen in der Versuchsbedingung SF (alle Angaben in Oktaven). Erläuterungen siehe Text.

csc			mpg			bme		
Ped.	$\overline{\Delta f_{SF}}$	$\sigma_{SF}$	Ped.	$\overline{\Delta f_{SF}}$	$\sigma_{SF}$	Ped.	$\overline{\Delta f_{SF}}$	$\sigma_{SF}$
.00	.32	.013	.00	.30	.175	.00	.35	.011
.15	.24	.036	.15	.20	.160	.15	.15	.061
.30	.31	.220	.30	.15	.111	.30	.13	.091
.45	.17	.034	.45	.14	.038	.45	.18	.005
.60	.30	.041	.60	.14	.087	.60	.24	.009
.75	.24	.024	.70	.16	.020	.70	.27	.052
.85	.40	.139	.80	.19	.087	.80	.38	.195
1.50	.57	.189	.90	.36	.039	.90	.33	.041
			1.50	.50	.111	1.50	.64	.030

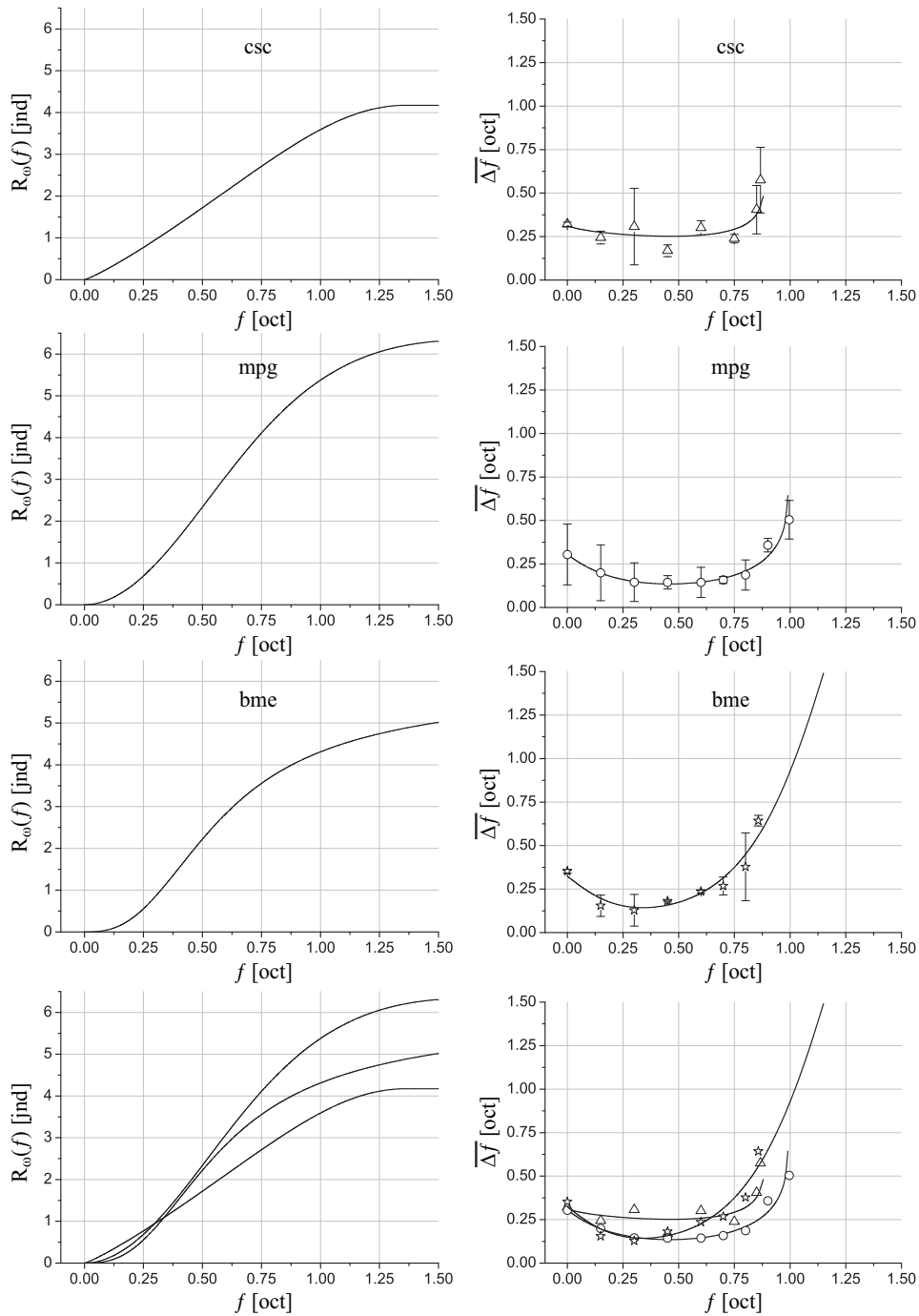


9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR



**Abb. 9.8:** Salienzskalen und Diskriminationsschwellen-Funktionen der Versuchsbedingungen OR und OR-J. Links: Salienzskalen der Versuchsbedingungen OR (gestrichelte (blaue) Kurven) bzw. OR-J (durchgezogene (rote) Kurven).  $v$  gibt den Orientierungskontrast an,  $R_{\Phi}(v)$  bzw.  $R_{\phi}(v)$  den davon abhängenden Salienzwert. Rechts: Diskriminationsschwellen-Funktionen der Versuchsbedingungen OR (ungefüllte Symbole) bzw. OR-J (gefüllte Symbole).  $\overline{\Delta v}$  gibt das Inkrement in Abhängigkeit vom Pedestal  $v$  für beide Versuchsbedingungen an.

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR



**Abb. 9.9:** Salienzskalen und Diskriminationsschwellen-Funktionen der Versuchsbedingung SF. Links: Salienzskalen.  $f$  gibt den Ortsfrequenzkontrast an,  $R_{\omega}(f)$  den davon abhängenden Salienzwert. Rechts: Diskriminationsschwellen-Funktionen.  $\Delta f$  gibt das Inkrement in Abhängigkeit vom Pedestal  $f$  an.

## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

enzskala der Versuchsbedingung OR,  $R_\varphi$  die der Versuchsbedingung OR-J und  $R_\omega$  die Salienzskala der Versuchsbedingung SF. Die oberen drei Grafiken in den Abb. 9.8 und 9.9 zeigen jeweils die Ergebnisse einer einzelnen Versuchsperson. In den unteren Grafiken sind alle drei Ergebnisse zusammen dargestellt, um die Variation zwischen den Versuchspersonen besser beurteilen zu können. Die in den Diskriminationsschwellen-Funktionen jeweils eingezeichnete Kurve stellt die auf der Basis der jeweiligen Salienzskala prognostizierten Inkremente dar. Die Kurve zeigt somit jeweils, wie gut die gemessenen Daten durch die konstruierte Skala beschrieben werden.

Insgesamt drei Messpunkte wurden für die Skalierungen nicht berücksichtigt und sind auch nicht in den Diskriminationsschwellen-Funktionen der beiden Abb. 9.8 und 9.9 dargestellt. Dabei handelt es sich zum einen um die Dekrementmessung der Versuchsperson mpg in der Versuchsbedingung OR-J, die nicht zu den restlichen Inkrementmessungen ihrer Versuchsbedingung passte, sondern im Vergleich dazu deutlich zu groß ausfiel (s. Tabelle 9.2). Eine Erklärung dafür, warum genau in dieser Versuchsbedingung bei dieser Versuchsperson dieser Fall auftrat, kann nicht gegeben werden. Zum anderen handelt es sich um die jeweils größte Inkrementmessung der Versuchsperson bme in den Versuchsbedingungen OR-J und SF. Diese fielen jeweils deutlich zu gering im Vergleich zu allen anderen Messungen aus (s. Tabelle 9.2 und 9.3). Aus den Ergebnissen des zweiten Experiments ist bekannt, dass diese Inkrementmessungen stark streuen und damit nicht besonders zuverlässig sind.

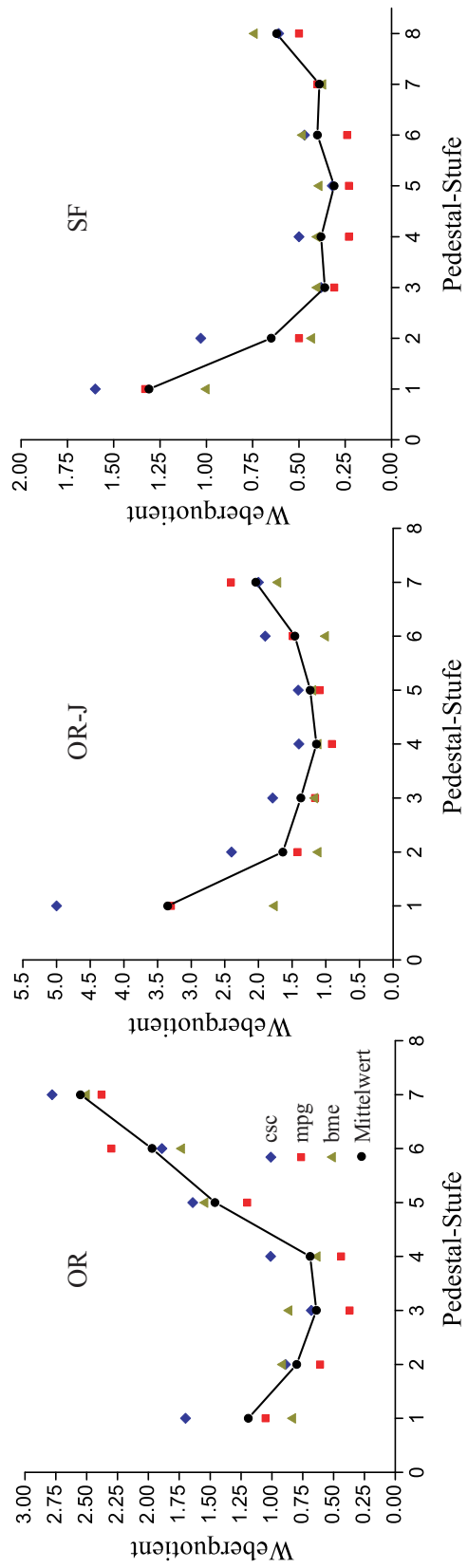
Die Diskriminationsschwellen-Funktionen (s. Abb. 9.8 und 9.9) zeigen, dass sich in allen drei Versuchsbedingungen zunächst mit von null an größer werdendem Pedestal die Größe des Inkrements im Vergleich zum Inkrement der Absolutschwelle<sup>25</sup> verringert (negativer Maskierungseffekt). Danach wächst die zur Diskrimination zweier Merkmalskontraste notwendige Differenz des Merkmalskontrasts ( $\overline{\Delta v}$  bzw.  $\overline{\Delta f}$ ) stetig an („positiver Maskierungseffekt“). Alle Funktionen können deshalb als „Dipperfunktion“ bezeichnet werden (s. Kapitel 4.2).

Es wurde geprüft, ob die Zunahme des Inkrements derart ist, dass Inkrement  $\overline{\Delta x}$  und Pedestal  $x$  in einem konstanten Verhältnis zueinander stehen, wie es nach Webers Gesetz zu erwarten wäre. Dazu wurde der Weberquotient  $\frac{\overline{\Delta x}}{x}$  für alle Pedestal-Stufen oberhalb der Absolutschwelle für alle drei Versuchsbedingungen berechnet. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 9.4 dargestellt und in der Abbildung 9.10 veranschaulicht. Wie den Grafiken zu entnehmen ist, fällt der Weberquotient in allen drei Versuchsbedingungen zunächst ab, bleibt dann über eine je nach Versuchsbedingung unterschiedlich große Anzahl von Pedestal-Stufen relativ konstant und steigt hin zu den hohen

---

<sup>25</sup>Die Absolutschwelle ist jeweils die als erstes angegebene Messung bei einem Pedestal von null.

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR



**Abb. 9.10:** Weberquotienten der drei Versuchsbedingungen jeweils in Abhängigkeit von der Pedestal-Stufe. Im Graphen links ist für alle drei Graphen angegeben, welche Datenpunkte von welcher Versuchsperson stammen. Die schwarzen runden Punkte, die miteinander über eine Linie verbunden sind, sind die je Pedestal-Stufe über alle Versuchspersonen gemittelten Weberquotienten.

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

**Tabelle 9.4:** Weberquotienten in Abhängigkeit von der Pedestal-Stufe (Ped.-St.).

Ped.-St.	OR			OR-J			SF		
	csc	mpg	bme	csc	mpg	bme	csc	mpg	bme
1	1.70	1.05	0.83	5.00	3.30	1.76	1.60	1.33	1.00
2	0.89	0.61	0.91	2.40	1.42	1.11	1.03	0.50	0.43
3	0.68	0.37	0.86	1.79	1.16	1.16	0.38	0.31	0.40
4	1.01	0.44	0.63	1.40	0.91	1.11	0.50	0.23	0.40
5	1.64	1.20	1.54	1.41	1.09	1.19	0.32	0.23	0.39
6	1.89	2.30	1.73	1.90	1.49	1.00	0.47	0.24	0.48
7	2.78	2.38	2.50	2.00	2.41	1.71		0.40	0.37
8							0.61	0.50	0.74

**Tabelle 9.5:** Parameterschätzungen der zur Saliensskalierung verwendeten Naka-Rushton-Funktion  $R(x) = A \frac{x^p}{x^q + Z}$  sowie Angabe der Korrelation  $R$  zwischen den gemessenen Inkrementen und der über die Saliensskala prognostizierten Inkremente.

	csc			mpg			bme		
	OR	OR-J	SF	OR	OR-J	SF	OR	OR-J	SF
A	2.01	58.24	51.41	7.45	0.67	16.32	3.5	0.67	5.11
p	2.59	1.65	1.16	1.64	3.42	1.74	1.72	2.94	2.72
q	2.41	2.32	4.74	1.71	3.15	3.12	1.65	2.63	2.61
Z	588	20164	13.31	95	38985	2	49	2407	0.19
R	.98	.9	.9	.94	.98	1	.97	.96	.96

Pedestal-Stufen, also großen Referenzreizkontrasten, wieder an. Die Ergebnisse zeigen damit, dass der Anstieg des Inkrements mit größer werdendem Pedestal auch nach dem negativen Maskierungseffekt nicht Webers Gesetz folgt.

Die geschätzten Parameter der für die Skalenkonstruktion verwendeten Naka-Rushton-Funktionen enthält Tabelle 9.5. Wie man bereits aus der grafischen Veranschaulichung der Diskriminationsschwellen-Funktionen erkennen kann, beschreiben die mittels der Saliensskalen prognostizierten Inkremente die gemessenen Daten sehr genau. Die Korrelationen  $R$  zwischen den gemessenen und den prognostizierten Inkrementen sind entsprechend hoch. Sie liegen alle über .9, sechs von neun Korrelationskoeffizienten liegen sogar oberhalb von .96 (s. Tabelle 9.5).

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

**9.3.2 Cross-Modality-Matching**

Die Ergebnisse der Cross-Modality-Matching-Messungen sind in Abb. 9.11 zu sehen. Jede einzelne Grafik stellt die Ergebnisse der CMM-Messungen von einer Versuchsperson aus einer Vergleichsbedingung dar. Ein einzelner Datenpunkt, (rotes) Kreuz oder (blauer) Kreis, zeigt an, welche zu den Salienzwerten der Skalen korrespondierende Merkmalskontraste der beiden zu vergleichenden Versuchsbedingungen für die Versuchsperson gleich salient waren. Dabei können, wie in Abschnitt 9.2.4 erläutert, zwei Typen von Datenpunkten unterschieden werden. Entweder wurde der Merkmalskontrast der einen Versuchsbedingung konstant gehalten, um einen gleich salienten Merkmalskontrast der jeweils anderen Versuchsbedingung zu ermitteln oder es wurde der umgekehrte Weg beschritten. Dieser Unterschied wird durch die (roten) Kreuze und (blauen) Kreise angezeigt. Die gefüllten (dunkelgelben) Kreise stellen die Messpunkte dar, die man aufgrund der Ergebnisse der CMM-Messungen der beiden anderen Vergleichsbedingungen erwarten würde (s. Abschnitt 9.1.1). Wie den Grafiken zu entnehmen ist, zeigt sich eine hohe Übereinstimmung zwischen den in einer Vergleichsbedingung gemessenen Datenpunkten ((rote) Kreuze und (blaue) Kreise) und den aufgrund der beiden anderen Vergleichsbedingungen erwarteten Datenpunkten (gefüllte (dunkelgelbe) Kreise). Diese hohe Übereinstimmung spiegelt sich zudem in den beiden eingezeichneten Regressionsgeraden wieder. Die durchgezogene Linie stellt die Regressionsgerade der in einer Vergleichsbedingung gemessenen Datenpunkte dar und die gestrichelte Linie stellt die Regressionsgerade dar, die aufgrund der Regressionsgeraden der beiden anderen Vergleichsbedingungen zu erwarten ist. Letztere lässt sich wie folgt herleiten. Es gilt:

$$R_{\varphi} = m_1 R_{\Phi} + b_1, \quad (9.4)$$

$$R_{\varphi} = m_2 R_{\omega} + b_2 \text{ und} \quad (9.5)$$

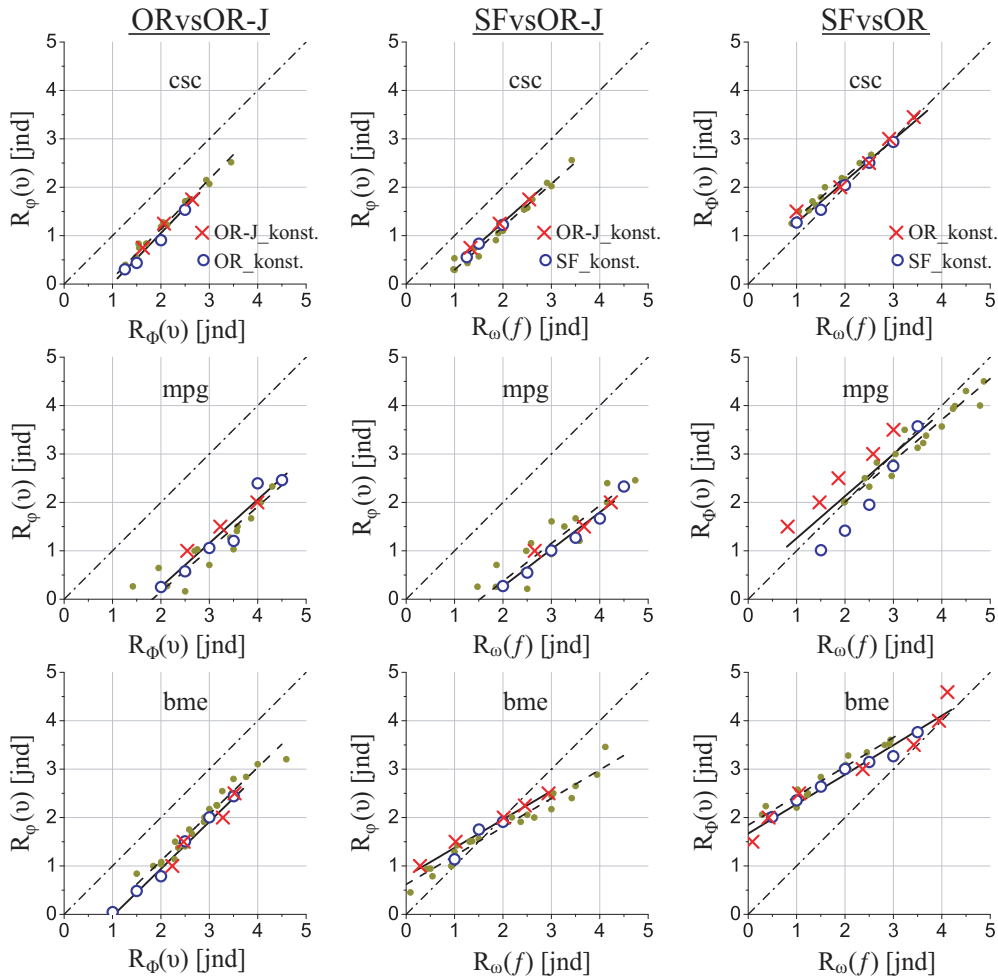
$$R_{\Phi} = m_3 R_{\omega} + b_3. \quad (9.6)$$

Die Prognose der Steigung  $m$  und des Achsenabschnittes  $b$  für eine Regressionsgerade erhält man hieraus, in dem man eine Salienzfunktion  $R$  in einer der Gleichungen ersetzt und dann diese Gleichung nach einer zu prognostizierenden Salienzfunktion auflöst. Ersetzt man z.B.  $R_{\Phi}$  in (9.4) durch (9.6) ergibt sich:

$$R_{\varphi} = m_1 m_3 R_{\omega} + m_1 b_3 + b_1, \quad (9.7)$$

d.h. man erhält mit  $m_1 m_3$  die Prognose der Steigung und mit  $m_1 b_3 + b_1$  die Prognose des Achsenabschnittes der Regressionsgeraden (9.5).

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR



**Abb. 9.11:** Ergebnisse der Cross-Modality-Matching-Messungen. Die Grafiken auf der linken Seite sind die Ergebnisse des Vergleichs der Salienzwerte der Versuchsbedingungen OR ( $R_{\Phi}(v)$ ) und OR-J ( $R_{\varphi}(v)$ ), in der Mitte sind die Ergebnisse des Vergleichs der Salienzwerte der Versuchsbedingungen SF ( $R_{\omega}(f)$ ) und OR-J ( $R_{\varphi}(v)$ ) und rechts die des Vergleichs der Salienzwerte der Versuchsbedingungen SF ( $R_{\omega}(f)$ ) und OR ( $R_{\Phi}(v)$ ) dargestellt. In der jeweils oberen Grafik ist für alle darunter liegenden Grafiken einer Vergleichsbedingung mit angegeben, aus welcher Versuchsbedingung der Merkmalskontrast bei den verschiedenen Messungen konstant gehalten wurde ((rote) Kreuze vs. (blaue) Kreise). Die durchgezogene Linie einer Grafik stellt die Regressionsgerade für die Messpunkte einer Vergleichsbedingung dar. Die gestrichelte Linie stellt die Regressionsgerade dar, die sich jeweils aus den Regressionsgeraden der beiden anderen Vergleichsbedingungen vorhersagen lässt (s. Text). Die gefüllten (dunkelgelben) Punkte sind jeweils die Datenpunkte, die man aufgrund der Ergebnisse der beiden anderen Vergleichsbedingungen erwarten würde (s. Text). Die Linie einer Grafik, die sich aus Punkten und Strichen zusammensetzt, zeigt an, wo die Datenpunkte liegen würden, wenn die über die Differenzskalierung bestimmten Salienzskalen alle eine gleich große konstante Einheit und einen festen gemeinsamen Nullpunkt hätten und die Grundsalienz eines Reizmusters nicht in das Salienzurteil einer CMM-Messung einfließen würde (s. „1. Fall“ in Abschnitt 9.1.3). Diese Linie dient nur als Referenzlinie.

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

**Tabelle 9.6:** Regressionsparameter der CMM-Funktionen.

	ORvsOR-J			SFvsOR-J			SFvsOR		
	csc	mpg	bme	csc	mpg	bme	csc	mpg	bme
$m$	1.04	0.90	0.97	0.88	0.76	0.59	0.86	0.87	0.61
$b$	-1.03	-1.54	-1.01	-0.48	-1.27	0.79	0.41	0.39	1.67
$m_{prog}$	1.02	0.88	0.96	0.89	0.78	0.59	0.84	0.85	0.60
$b_{prog}$	-0.90	-1.61	-0.82	-0.59	-1.19	0.62	0.53	0.31	1.84

Für die Prognose der Steigungen  $m_1$  bis  $m_3$  ergibt sich somit:

$$m_{1prog} = \frac{m_2}{m_3}, \quad (9.8)$$

$$m_{2prog} = m_1 m_3 \text{ und} \quad (9.9)$$

$$m_{3prog} = \frac{m_2}{m_1}. \quad (9.10)$$

Und für die Prognose der Achsenabschnitte  $b_1$  bis  $b_3$  ergibt sich:

$$b_{1prog} = b_2 - \frac{m_2 b_3}{m_3}, \quad (9.11)$$

$$b_{2prog} = m_1 b_3 + b_1 \text{ und} \quad (9.12)$$

$$b_{3prog} = \frac{b_2 - b_1}{m_1}. \quad (9.13)$$

Tabelle 9.6 enthält für jede Versuchsperson und jede Vergleichsbedingung sowohl die Regressionsparameter  $m$  und  $b$ , die sich unmittelbar aus einer linearen Regression der Messdatenpunkte der entsprechenden Vergleichsbedingung ergeben, als auch die Regressionsparameter  $m_{prog}$  und  $b_{prog}$ , die sich, wie zuvor dargestellt, aus den Regressionsparametern der anderen beiden Vergleichsbedingungen berechnen lassen. Aus der Tabelle ist eine hohe Übereinstimmung zwischen den tatsächlich gefundenen Regressionsparametern  $m$  und  $b$  einer Vergleichsbedingung und den über die Regressionsparameter der beiden anderen Vergleichsbedingungen prognostizierten Parametern  $m_{prog}$  und  $b_{prog}$  zu erkennen. Die mittlere Abweichung der Steigungsparameter von den prognostizierten Steigungsparametern,  $\overline{m - m_{prog}}$ , beträgt über alle Vergleichsbedingungen 0.013 bei einer Streuung von 0.005. Die mittlere Abweichung der Achsenabschnitte von den prognostizierten Achsenabschnitten,  $\overline{b - b_{prog}}$ , beträgt 0.121 bei einer Streuung von 0.045.

Bei der Versuchsperson mpg zeigen sich in der Vergleichsbedingung SFvsOR deutliche Unterschiede in den Ergebnissen, je nach dem aus welcher Versuchsbedingung



## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

ein Merkmalskontrast konstant gehalten wurde. Wieso nur in dieser Messbedingung bei dieser Versuchsperson diese deutlichen Abweichungen auftraten, kann nicht erklärt werden. Grundsätzlich sind nur leichte Variationen in Abhängigkeit davon, von welchem Merkmal der Merkmalskontrast konstant gehalten wird, aus anderen Cross-Modality-Matching-Messungen bekannt (Stevens & Greenbaum, 1966). Es ist wichtig festzuhalten, dass die über die beiden Matchingbedingungen ermittelte Regressionsgerade bei der Versuchsperson mpg trotz dieser Abweichungen genau wie bei den Versuchspersonen csc und bme gut durch die Regressionsgeraden der anderen beiden Vergleichsbedingungen vorhergesagt wird.

### 9.4 Diskussion

#### 9.4.1 Validität des Verfahrens

Die Ergebnisse der Skalierung zeigen, dass durch die hier durchgeführte Differenzskalierung von Merkmalssalienz eine sehr gute Beschreibung der Daten aus den Schwellenmessungen möglich ist. Die auf der Basis der konstruierten Skalen vorhergesagten Inkremente weisen eine hohe Korrelation mit den tatsächlich gemessenen Inkrementen auf (s. Tabelle 9.5). Die Skalierung sollte jedoch mehr ermöglichen, als nur eine genaue Beschreibung der gemessenen Inkremente.

Zentraler Untersuchungsgegenstand war die Prüfung der Konstanz der Salienzeinheit und die Möglichkeit der merkmalsunabhängigen Salienzskalierung über CMM-Messungen. Dafür wurde in diesem Experiment zunächst die dafür notwendige Grundvoraussetzung geprüft und zwar, ob Salienz eine merkmalsunabhängige Eigenschaft ist, die bei einer CMM-Messung beurteilt wird.

Die gute Prognose der Ergebnisse der CMM-Messungen einer Vergleichsbedingung über die Ergebnisse der beiden anderen Vergleichsbedingungen lässt diesbezüglich folgende Schlussfolgerung zu: Die durch Orientierungs- bzw. Ortsfrequenzkontrast erzeugte Salienz ist eine merkmalsunabhängige Eigenschaft, die bei den CMM-Messungen beurteilt wird.

Dieses Ergebnis zeigt, dass die gewählte Vorgehensweise der Kreuzvalidierung zur Beantwortung der zentralen Fragestellungen des Experiments geeignet ist.

#### 9.4.2 Einfluss der Grundsalienz eines Reizmusters auf das Salienzurteil

**Salienzurteil einer CMM-Messung** Die Ergebnisse zeigen weiter, dass die CMM-Funktionen den von zwei Salienzskalen aufgespannten Salienzraum außerhalb des Ursprungs schneiden. Dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass die bei einer CMM-Messung beurteilte Salienz nicht nur durch den bei der Skalierung variierten Merk-

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

malskontrast bestimmt wird, sondern ebenfalls durch die Grundsalienz der Reizmuster (s. Abschnitt 9.1.2). Es wird deshalb angenommen, dass die bei einer CMM-Messung verglichenen Salienzen, die Salienzen der gesamten Reizmuster der beiden Versuchsbedingungen sind, die sich jeweils aus der Salienz des bei der Skalierung variierten Merkmalskontrasts und der Grundsalienz des Reizmusters zusammensetzen. Konkret wird angenommen, dass die Salienz eines gesamten Reizmusters  $S_{Stim}$  sich additiv aus der Grundsalienz des Reizmusters  $S_{Grund}$  und der Salienz des skalierten Merkmalskontrasts  $R$  zusammensetzt:

$$S_{Stim} = R(x|S_{Grund}) + S_{Grund}. \quad (9.14)$$

Dabei ist die Salienz des skalierten Merkmalskontrasts  $R$  sowohl abhängig von dem variablen Merkmalskontrast  $x$  als auch von der konstanten Grundsalienz des Reizmusters  $S_{Grund}$  (s. Kapitel 3.2).

Werden bei einer CMM-Messung die Reizmuster zweier Versuchsbedingungen als gleich salient beurteilt, dann gilt:

$$S_{Stim_A} = S_{Stim_B}, \quad (9.15)$$

wobei  $S_{Stim_A}$  die Salienz eines Reizmusters aus einer Versuchsbedingung  $A$  und  $S_{Stim_B}$  die Salienz eines Reizmusters aus einer Versuchsbedingung  $B$  ist. Nach Gleichung (9.14) folgt:

$$R_A(x|S_{Grund_A}) + S_{Grund_A} = R_B(y|S_{Grund_B}) + S_{Grund_B}, \quad (9.16)$$

wobei  $y$  der in der Versuchsbedingung  $B$  zur Konstruktion der Salienzskala  $R_B$  variierte Merkmalskontrast ist, der, wie beim Vergleich der Versuchsbedingungen OR und OR-J in diesem Experiment, auch mit dem in der Versuchsbedingung  $A$  variierten Merkmalskontrast  $x$  identisch sein kann. Nach Umstellung ergibt sich dann:

$$R_A(x|S_{Grund_A}) = R_B(y|S_{Grund_B}) + b, \quad (9.17)$$

wobei  $b = S_{Grund_B} - S_{Grund_A}$ . Das bedeutet, dass die Salienz einer durch einen Merkmalskontrast  $x$  in der Versuchsbedingung  $A$  erzeugten Texturfigur genauso auffällig ist, wie die einer durch einen Merkmalskontrast  $y$  in der Versuchsbedingung  $B$  erzeugten Texturfigur plus der Differenz der Grundsalienzen der Reizmuster der beiden Versuchsbedingungen. Der Schnittpunkt der CMM-Funktion im Punkt  $b$  der als Ordinate verwendeten Salienzskala des von zwei Salienzskalen aufgespannten Salienzraums wird somit auf die Differenz der Grundsalienz der Reizmuster der beiden verglichenen Versuchsbedingungen zurückgeführt.

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

Genau dieser Zusammenhang (9.17) wird eindeutig durch die Ergebnisse der Vergleichsbedingung ORvsOR-J gestützt. Die Versuchsbedingungen OR und OR-J unterscheiden sich nur in der Grundsalienz der Texturreizmuster durch den in der Versuchsbedingung OR-J enthaltenen Orientierungsjitter, d.h. nach (9.17) muss  $b$  für

$$R_{\varphi}(v|S_{Grund_{\varphi}}) = R_{\Phi}(v|S_{Grund_{\Phi}}) + b, \quad (9.18)$$

kleiner null sein ( $b = S_{Grund_{\Phi}} - S_{Grund_{\varphi}} < 0$ ) und dies entspricht dem Ergebnis der Messungen (s. Abb. 9.11). Betrachtet man den Fall, in dem der in den Versuchsbedingungen OR und OR-J variierte Orientierungskontrast beim Salienzvergleich der Versuchsbedingungen gleich null ist und damit auch die Salienz der Texturfigur in beiden Versuchsbedingungen null ist, so gilt:

$$\begin{aligned} R_{\varphi}(0|S_{Grund_{\varphi}}) &> R_{\Phi}(0|S_{Grund_{\Phi}}) + b \\ 0 &> 0 + b, \end{aligned} \quad (9.19)$$

für  $b < 0$ . Das bedeutet, dass in diesem Fall ein Reizmuster der Versuchsbedingung OR-J als salienter beurteilt wird. Erst wenn man den skalierten Orientierungskontrast nur in der Versuchsbedingung OR von null aus vergrößert und damit die Salienz des gesamten Reizmusters in dieser Versuchsbedingung erhöht, zeigt sich bei einem bestimmten Orientierungskontrast Salienzgleichheit zwischen den beiden Versuchsbedingungen:

$$\begin{aligned} R_{\varphi}(0|S_{Grund_{\varphi}}) &= R_{\Phi}(v|S_{Grund_{\Phi}}) + b \\ 0 &= R_{\Phi}(v|S_{Grund_{\Phi}}) + b, \end{aligned} \quad (9.20)$$

für  $b = -R_{\Phi}(v|S_{Grund_{\Phi}})$ . Hier ist der Schnittpunkt der CMM-Funktion mit der Salienzskala  $R_{\Phi}(v)$ . Man kann diesen Schnittpunkt so beschreiben, dass die durch den Orientierungskontrast in der Versuchsbedingung OR erzeugte Salienz den Unterschied in der Grundsalienz zwischen den beiden Versuchsbedingungen ausgleicht. Die Versuchspersonen csc und bme beurteilen die Reizmuster der beiden Versuchsbedingungen erst dann als gleich salient, wenn in der Versuchsbedingung OR bereits ein Orientierungskontrast eingestellt ist, der zu einem Salienzwert von eins auf der jeweiligen Salienzskala der Versuchsbedingung OR korrespondiert. Damit für die Versuchsperson mpg die Salienz in der Versuchsbedingung OR genauso groß ist, wie in der Versuchsbedingung OR-J, in der noch kein skaliertes Merkmalskontrast eingestellt ist, benötigt sie sogar einen Merkmalskontrast in der Versuchsbedingung OR, der zu einem Salienzwert von 1.7 auf der Salienzskala der Versuchsbedingung OR korrespondiert.

In den anderen beiden Vergleichsbedingungen kann, unter Berücksichtigung des Einflusses der Grundsalienz auf das Salienz-Präferenz-Urteil einer CMM-Messung, keine konkrete Erwartung über die Schnittpunkte mit einer der Achsen gebildet werden.

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

Zwischen den Versuchsbedingungen OR und SF als auch OR-J und SF unterscheiden sich verschiedene Faktoren, so dass nicht beurteilt werden kann, in welcher von den jeweiligen Vergleichsbedingungen die Grundsalienz der Texturreizmuster höher ist. In den Ergebnissen zeigen sich individuelle Unterschiede. Bei den Versuchspersonen csc und mpg schneidet in der Vergleichsbedingung SFvsOR-J die lineare CMM-Funktion die Ordinate  $R_\phi$  unterhalb von null, was nach der gezogenen Schlussfolgerung dafür spricht, dass für diese beiden Versuchspersonen die Grundsalienz des Texturreizmusters der Versuchsbedingung OR-J höher ist als die des Texturreizmusters der Versuchsbedingung SF. Beim Probanden bme liegt hingegen der Schnittpunkt mit der Ordinate  $R_\phi$  leicht oberhalb von null, d.h. für ihn muss nach der gezogenen Schlussfolgerung das Reizmuster der Versuchsbedingung SF eine leicht höhere Grundsalienz haben. In der Vergleichsbedingung SFvsOR liegt der Schnittpunkt mit der Ordinate  $R_\phi$  bei allen Versuchspersonen oberhalb von null (0.41 (csc), 0.39 (mpg) und 1.67 (bme)), was nach der gezogenen Schlussfolgerung bedeutet, dass die Grundsalienz des Reizmusters der Versuchsbedingung SF für alle Versuchspersonen höher ist als die des Reizmusters der Versuchsbedingung OR.

**Salienzurteil bei den Schwellenmessungen** Es ist davon auszugehen, dass beim Same-Different-Urteil der Schwellenmessungen der Differenzskalierung ebenfalls die Salienz des gesamten Reizmusters beurteilt wird. Da jedoch bei den Schwellenmessungen der Differenzskalierung die Grundsalienz bei den zu vergleichenden Reizmustern immer dieselbe ist und sich zwischen zwei zu vergleichenden Reizmustern nur die durch den Merkmalskontrast erzeugte Salienz  $R$  unterscheidet, wirkt sich die Grundsalienz  $S_{Grund}$  nicht als gesonderter Faktor auf die Messungen aus. Dieser Sachverhalt wird hier formal verdeutlicht. Als Skalierungskriterium wurde festgelegt:

$$R(x + \Delta x | S_{Grund}) - R(x | S_{Grund}) = 1 \quad (9.21)$$

(vgl. Gleichung 9.1). Wenn man nun zunächst davon ausgeht, dass in das Same-Different-Urteil bei den Schwellenmessungen nicht nur die Salienz  $R$  des variierten Merkmalskontrasts  $x$ , sondern die Salienz des gesamten Reizmusters  $S_{Stim}$  einfließt, ergibt sich stattdessen:

$$S_{Schwelle} - S_{Pedestal} = 1, \quad (9.22)$$

wobei  $S_{Pedestal}$  die Salienz des gesamten Reizmusters ist, das den Merkmalskontrast eines Pedestals  $x$  enthält und  $S_{Schwelle}$  die Salienz des gesamten Reizmusters ist, das den für das Pedestal  $x$  bestimmten Schwellenkontrast  $x + \Delta x$  enthält. Aus Gleichung (9.14) folgt dann:

$$R(x + \Delta x | S_{Grund}) + S_{Grund} - (R(x | S_{Grund}) + S_{Grund}) = 1 \quad (9.23)$$

## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

Und diese Gleichung ist mit Gleichung (9.21) identisch.

Das bedeutet: Innerhalb einer Versuchsbedingung hängt die Auffälligkeit einer durch einen spezifischen Merkmalskontrast erzeugten Texturfigur zwar von der Grundsalienz des Reizmusters ab, aufgrund der Konstanz der Grundsalienz bei den Schwellenmessungen der Skalierung ist sie aber nicht als gesonderter Faktor zu berücksichtigen. Die Grundsalienz bildet somit lediglich die „Grundlage der Skalierung von Merkmalsalienz“. Sie bildet die Grundlage der Skalierung der Salienz einer durch Merkmalskontrast erzeugten Texturfigur, deren Nullpunkt per Definition mit dem Nullpunkt der physikalischen Reizintensität (der bei der Skalierung variierte Merkmalskontrast) übereinstimmt (s. Kapitel 4.3).

### 9.4.3 Konstanz der Salienzeinheit

Ab dem Schnittpunkt der CMM-Funktion mit einer der beiden Salienzachsen im von den beiden Salienzskalen zweier Versuchsbedingungen aufgespannten Salienzraum zeigt sich bei allen Versuchspersonen in allen Vergleichsbedingungen ein linearer Verlauf der CMM-Funktionen. Dieses Ergebnis ist mit der Konstanz der Salienzeinheit innerhalb der beiden Salienzskalen vereinbar (s. „3.Fall“ in Abschnitt 9.1.3). Die im Rational angesprochene Möglichkeit, dass eine lineare Funktion auch dann zustande kommen kann, wenn die Zunahme der Salienz durch 1 jnd bei beiden Vergleichsbedingungen „gleich unkonstant“ ist,  $(p_{A_i} \neq p_{A_j}) \wedge (p_{B_i} \neq p_{B_j})$  aber  $(p_{A_i} = p_{B_i}) \wedge (p_{A_j} = p_{B_j})$ , ist bei den vorliegenden Ergebnissen mit einem Schnittpunkt der CMM-Funktionen außerhalb des Ursprungs des von zwei Salienzskalen aufgespannten Salienzraums unplausibel und deshalb als unwahrscheinlich einzustufen. Für jede einzelne Salienzskala kann folglich nach den Ergebnissen der CMM-Messungen eine konstante Salienzeinheit und damit auch aufgrund des per Definition festgelegten Nullpunktes (s. Abschnitt 9.1.2) *Verhältnisskalenniveau* angenommen werden.

**Einfluss des sensorischen Rauschens auf die Skalierung** Neben der Konstanz der Salienzeinheit innerhalb einer Versuchsbedingung kann über die Steigung der CMM-Funktion beurteilt werden, ob die jeweils konstante Salienzeinheit der beiden Salienzskalen einer Vergleichsbedingung gleich groß ist. Hier zeigt sich ein Unterschied zwischen den Merkmalen Orientierung und Ortsfrequenz.

In der Vergleichsbedingung ORvsOR-J ist die Steigung der CMM-Funktion bei allen Versuchspersonen ungefähr eins (s. Tabelle 9.6). Das bedeutet, dass angenommen werden kann, dass die über 1 jnd bestimmte Zunahme der Salienz bei beiden Salienzskalen der Versuchsbedingungen gleich groß ist, d.h. die Salienzskalen beider Versuchsbedin-

## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

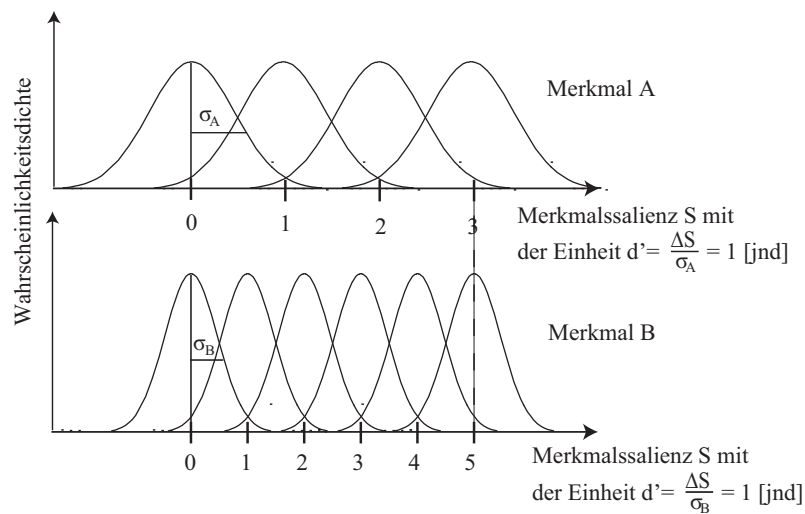
gungen haben eine gleich große Salienzeinheit.

Die Steigungen der CMM-Funktionen bei einer Versuchsperson in den Vergleichsbedingungen SFvsOR-J und SFvsOR unterscheiden sich nur geringfügig (0.88 und 0.86 bei csc, 0.76 und 0.87 bei mpg sowie 0.59 und 0.61 bei bme) und sind alle kleiner als eins. Daraus lässt sich schließen, dass die Salienzeinheit der Skalen, bei denen die Salienz einer Texturfigur in Abhängigkeit vom Orientierungskontrast skaliert wurde, nicht mit der Größe der Salienzeinheit der Skala übereinstimmt, bei der die Salienz einer Texturfigur in Abhängigkeit vom Ortsfrequenzkontrast skaliert wurde. Um eine gleich große Zunahme der Salienz auf den Salienzskalen der Vergleichsbedingungen SFvsOR-J bzw. SFvsOR zu erhalten, muss man auf der Salienzskala der Versuchsbedingung SF einen größeren Betrag im Vergleich zu den Salienzskalen der Versuchsbedingungen OR und OR-J voranschreiten. Das bedeutet, dass 1 jnd in den Versuchsbedingungen OR und OR-J eine größere Zunahme der Salienz als in der Versuchsbedingung SF bewirkt. Die durch die Schwellenmessungen festgelegte Einheit einer Salienzskala ist somit bei einer für das Merkmal Ortsfrequenz konstruierten Skala kleiner als bei einer für das Merkmal Orientierung konstruierten Skala.

Als Ursache für dieses Resultat ist unterschiedliches sensorisches Rauschen der neuronalen Kanäle anzunehmen, die durch Orientierungs- bzw. Ortsfrequenzkontrast aktiviert werden. Das sensorische Rauschen bestimmt die Streuung  $\sigma$  der Salienz eines spezifischen Merkmalskontrasts um einen Mittelwert. Es setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Zum einen wird es durch die neuronale Hintergrundaktivität (spontane Entladung von Neuronen) eines Verarbeitungskanals bestimmt, die dazu führt, dass die Salienz eines spezifischen Merkmalskontrasts (Orientierungs- bzw. Ortsfrequenzkontrast) bei einer spezifischen Merkmalsausprägung des anderen Merkmals (Ortsfrequenz bzw. Orientierung) variiert. Zum anderen wird es durch die Variation der Signalstärke eines spezifischen Merkmalskontrasts in Abhängigkeit von der Merkmalsausprägung des zweiten Merkmals bestimmt, also mit anderen Worten durch die Variation der Signalstärke zwischen verschiedenen neuronalen Kanälen.

Die Ergebnisse können darüber erklärt werden, dass das sensorische Rauschen der durch Orientierungskontrast aktivierten Merkmalskanäle im Vergleich zu den durch Ortsfrequenzkontrast aktivierten neuronalen Kanälen größer ist. Warum die Ergebnisse genau dafür sprechen, veranschaulicht Abb. 9.12. Im oberen Teil der Abbildung ist die Skalierung eines Merkmals  $A$  und im unteren Teil ist die Skalierung eines Merkmals  $B$  dargestellt. Das sensorische Rauschen des Merkmals  $A$  ist größer als das sensorische Rauschen des Merkmals  $B$  ( $\sigma_A > \sigma_B$ ), zu erkennen an den breiteren Verteilungen der Wahrscheinlichkeitsdichte im oberen Teil der Abbildung. Zwei Verteilungen, die unmittelbar nebeneinander liegen, stellen die Verteilung von Referenzreiz und Schwel-

9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR



**Abb. 9.12:** Auswirkung des sensorischen Rauschens auf die Skalierung. Ist das sensorische Rauschen der neuronalen Kanäle, die durch Merkmalskontrast in einem Merkmal B aktiviert werden, geringer als das sensorische Rauschen der neuronalen Kanäle, die durch Merkmalskontrast in einem Merkmal A aktiviert werden, wird durch die Messung eines JNDs beim Merkmal A im Vergleich zum Merkmal B ein größerer Schritt auf dem invarianten Bezugscontinuum der Salienz zurückgelegt.

lenreiz dar. Durch die größere Streuung  $\sigma$  beim Merkmal A ist zur Erreichung eines festgelegten Schwellenkriteriums (z.B.  $d' = 1$ )<sup>26</sup> eine größere Separation der Verteilungen von Referenzreiz und Target in der von beiden Merkmalen geteilten Dimension Merkmalssalienz  $\Delta S$  notwendig, denn es gilt:

$$d' = \frac{\Delta S}{\sigma}. \quad (9.24)$$

Das bedeutet, dass beim Merkmal A aufgrund des größeren sensorischen Rauschens  $\sigma$  in der mit dem Merkmal B geteilten Dimension Merkmalssalienz durch eine Schwellenmessung ein größerer Salienschritt zurückgelegt wird. In dem in der Abbildung 9.12 angegebenen Beispiel führt dieser Unterschied im sensorischen Rauschen dazu, dass ein Merkmalskontrast des Merkmals A, der zu einem Salienzwert von drei auf der Salienzskala des Merkmals A korrespondiert, genauso salient ist, wie ein Merkmalskontrast des Merkmals B, der zu einem Salienzwert von fünf auf der Salienzskala des Merkmals B korrespondiert. In Bezug auf die Ergebnisse der CMM-Messungen bedeutet das, dass das sensorische Rauschen der durch Orientierungscontrast aktivierten neuronalen Kanäle im Vergleich zu den durch Ortsfrequenzcontrast aktivierten neuro-

<sup>26</sup>Der Leser, dem das innerhalb der Signalentdeckungstheorie bestimmte sensorische Empfindlichkeitsmaß  $d'$  unbekannt ist, findet in Anhang A Informationen dazu.

## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

nalen Kanälen größer ist, denn die Steigung der CMM-Funktion ist kleiner eins, d.h. ein Salienzschritt auf der Skala des Merkmals Orientierung bewirkt eine größere Zunahme der Salienz als ein Salienzschritt auf der Skala des Merkmals Ortsfrequenz. Anhand der Ergebnisse kann jedoch nicht festgestellt werden, ob für den Unterschied im sensorischen Rauschen eine vergleichsweise höhere neuronale Hintergrundaktivität der durch Orientierungskontrast aktivierten neuronalen Kanäle oder eine vergleichsweise größere Variation der Salienz zwischen verschiedenen durch Orientierungskontrast aktivierten neuronalen Kanälen verantwortlich ist.

Die Gleichung (9.17) gibt die CMM-Funktion für den Fall an, bei dem die in den Versuchsbedingungen  $A$  und  $B$  jeweils gemessenen JNDs eine gleich große Zunahme der Salienz bewirken. Für die Fälle, in denen die JNDs zweier Versuchsbedingungen eine unterschiedlich große Zunahme der Salienz bewirken, wie bei den Versuchsbedingungen, in denen einmal die Auffälligkeit einer Texturfigur in Abhängigkeit vom Orientierungskontrast und einmal in Abhängigkeit von Ortsfrequenzkontrast skaliert wurde, muss in die Gleichung noch ein Skalierungsfaktor  $m$  integriert werden, der vermutlich durch das sensorische Rauschen der durch die Skalierung aktivierten Merkmalskanäle verursacht wird. Es ergibt sich:

$$R_A(x|S_{Grund_A}) = m \cdot R_B(y|S_{Grund_B}) + b. \quad (9.25)$$

Diese Gleichung stellt die allgemeine Form der CMM-Funktion des von zwei Salienzska- len  $R_A$  und  $R_B$  aufgespannten Salienzraums dar.

### 9.4.4 Merkmalsunabhängige Salienzskalierung

Hängt der Schnittpunkt der CMM-Funktion außerhalb des Ursprungs des von zwei Sa- lienzskalen aufgespannten Salienzraums nur von der unterschiedlichen Grundsali- enz zweier Versuchsbedingungen ab, können die Salienzwerte  $R$ , die die Auffälligkeit der durch den variierten Merkmalskontrast gebildeten Texturfigur in einer Versuchsbedin- gung angeben, unter Berücksichtigung der Steigung der CMM-Funktion zwischen zwei verschiedenen Versuchsbedingungen zueinander in Relation gesetzt werden. Formal gilt für den Vergleich der Salienz der Texturfigur zwischen zwei Versuchsbedingungen:

$$R_A(x|S_{Grund_A}) = m \cdot R_B(y|S_{Grund_B}). \quad (9.26)$$

Ist die Steigung  $m = 1$ , können folglich die Salienzwerte der Skalen  $R_A$  und  $R_B$  ohne weitere Transformation zueinander in Bezug gesetzt werden. Das bedeutet, dass in diesem Fall Merkmalskontraste von zwei Versuchsbedingungen, die zu einer gleich großen Auffälligkeit der quadratischen Texturfigur führen, auf den gleichen Salienzwert ihrer jeweiligen Skala abbilden.



## 9 EXPERIMENT 3: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR

Ist die Steigung hingegen ungleich eins ( $m \neq 1$ ), wie es beim Vergleich der Saliensskalen der Merkmale Orientierung und Ortsfrequenz in diesem Experiment der Fall war, müssen die Salienzwerte der Skala einer Versuchsbedingung entsprechend der Gleichung (9.26) in die Salienzwerte der Skala der zweiten Versuchsbedingung transformiert werden, um sie auf einer von der Versuchsbedingung unabhängigen gemeinsamen Saliensskala abzubilden.

Unter Berücksichtigung der Steigung  $m$  der CMM-Funktion können somit die Salienzwerte einer Skala des Merkmals Orientierung in Salienzwerte der Skala des Merkmals Ortsfrequenz transformiert werden oder es können umgekehrt die Salienzwerte der Skala des Merkmals Ortsfrequenz in Salienzwerte einer Skala des Merkmals Orientierung umgerechnet werden. In beiden Fällen wird dadurch die Salienz der quadratischen Texturfigur merkmalsunabhängig auf einer gemeinsamen Saliensskala abgebildet. Auf dieser gemeinsamen Saliensskala dürfen dann Verhältnisse von Salienzwerten interpretiert werden, die sowohl die Auffälligkeit einer durch Ortsfrequenzkontrast als auch die Auffälligkeit einer durch Orientierungskontrast erzeugten Texturfigur abbilden.

**Ausblick** Wird, wie hier angenommen, der Schnittpunkt  $b$  der CMM-Funktion außerhalb des Ursprungs des von zwei Saliensskalen  $R_A$  und  $R_B$  aufgespannten Saliensraums ausschließlich durch die unterschiedliche Grundsaliens der Reizmuster der Vergleichsbedingung bestimmt ( $b = S_{Grund_B} - S_{Grund_A}$ ), darf sich folglich in dem Fall, in dem die Grundsaliens der Reizmuster der Vergleichsbedingung identisch sind,  $S_{Grund_A} = S_{Grund_B}$ , kein Schnittpunkt der CMM-Funktion außerhalb des Ursprungs zeigen. Mit dem folgenden Experiment wurde diese Erwartung überprüft.

## **10 Experiment 4: Kreuzvalidierung der Differenzskalierung der Salienz einer durch Orientierungs- oder Ortsfrequenzkontrast gebildeten Texturfigur bei gleicher Grundsalienz der Texturreizmuster**

### **10.1 Rational des Versuchs**

Folgende Fragestellungen werden mit dem Experiment untersucht:

1. Haben die über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Salienzskalen einen gemeinsamen festen Nullpunkt?
2. Ist die Salienzeinheit von Salienzskalen, die unter gleichen Merkmalsbedingungen, d.h. bei gleicher Grundsalienz der Texturreizmuster über die Differenzskalierungsmethode konstruiert werden, konstant?
3. Kann die Salienz einer durch Orientierungs- oder Ortsfrequenzkontrast gebildeten Texturfigur auf einer merkmalsunabhängigen allgemeinen Salienzskala abgebildet werden, wenn die Grundsalienz der Texturreizmuster bei der Salienzskalierung von Orientierungs- und Ortsfrequenzkontrast identisch ist?
4. Gibt es einen merkmalsunabhängigen Mechanismus, der eine weitere Steigerung der internen Antwort mit größer werdendem Merkmalskontrast unterbindet, wenn durch den bestehenden Merkmalskontrast bereits genügend Hinweise für die Existenz getrennter Oberflächen vorliegen?

Ein gemeinsamer fester Nullpunkt der über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Salienzskalen (1. Fragestellung) und die Konstanz der Salienzeinheit von mindestens einer dieser Skalen (2. Fragestellung) sind Voraussetzungen für die merkmalsunabhängige Salienzskalierung (3. Fragestellung). Die merkmalsunabhängige Salienzskalierung ermöglicht wiederum die Untersuchung der 4. Fragestellung. Inwiefern wird in einem der folgenden Abschnitte (Abschnitt 10.1.3) erläutert.

Zur Untersuchung aller Fragestellungen wird über die Differenzskalierungsmethode die durch Orientierungs- bzw. Ortsfrequenzkontrast erzeugte Salienz einer quadratischen Texturfigur in je einer Versuchsbedingung skaliert, wobei die Grundsalienz der Reizmuster (s. Kapitel 3.3) in beiden Versuchsbedingungen identisch ist. Anschließend wird über Cross-Modality-Matching-Messungen (CMM-Messungen) bestimmt, welche Orientierungs- und Ortsfrequenzkontraste zu einer gleich starken Auffälligkeit der Texturfigur führen. Die zu diesen gleich salienten Merkmalskontrasten korrespondierenden

## 10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

Salienzwerte werden in dem von den Salienzskalen der beiden Versuchsbedingungen aufgespannten Salienzraum betrachtet und anschließend mit einer Funktion (CMM-Funktion) beschrieben (vgl. Kapitel 9.1).

Wie über die Ergebnisse die einzelnen Fragestellungen beantwortet werden können, wird im Folgenden erläutert.

### 10.1.1 Nullpunkt der Skala

Im vorangegangenen Experiment zeigt sich ein Schnittpunkt der CMM-Funktion außerhalb des Ursprungs des von zwei Salienzskalen aufgespannten Salienzraums, der vollständig auf die unterschiedliche Grundsalienz der Reizmuster zurückgeführt wurde. Diese Schlussfolgerung ist nur dann richtig, wenn das folgende Postulat stimmt: Die über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Salienzskalen haben alle einen gemeinsamen festen Nullpunkt der nach Definition mit dem Nullpunkt der physikalischen Reizstärke<sup>27</sup> übereinstimmt (s. Kapitel 4.3). Die Versuchsanordnung des vorliegenden Experiments, in dem die Grundsalienz der Reizmuster der zu vergleichenden Versuchsbedingungen identisch ist, erlaubt die Überprüfung dieses Postulats. Wenn es zutrifft, muss im folgenden Experiment die CMM-Funktion durch den Ursprung des von den beiden Salienzskalen der Versuchsbedingungen aufgespannten Salienzraums verlaufen. In diesem Punkt ist der Merkmalskontrast beider Versuchsbedingungen null und damit auch - nach Definition - die durch Merkmalskontrast erzeugte Salienz.

### 10.1.2 Konstanz der Salienzeinheit und merkmalsunabhängige Salienzskalierung

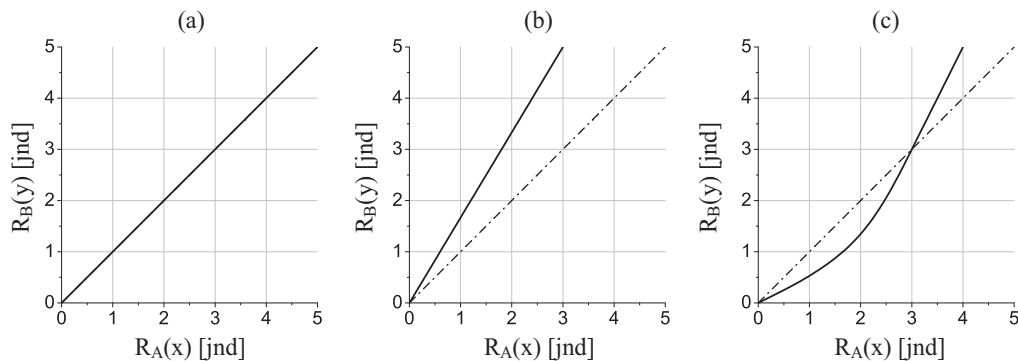
In Abb. 10.1 sind alle qualitativ unterscheidbaren Ergebnisse der CMM-Messungen dargestellt, die unter der zu prüfenden Voraussetzung, dass die über die Differenzskalierung konstruierten Salienzskalen einen gemeinsamen Nullpunkt haben (s. Abschnitt 10.1.1), beim Vergleich zweier Versuchsbedingungen auftreten können.

Unter welchen Bedingungen sich das in Abb. 10.1 (a) und (b) dargestellte Ergebnis zeigt und welcher Schluss in diesen Fällen bzgl. der Konstanz der Salienzeinheit innerhalb einer Skala und der davon abhängigen merkmalsunabhängigen Salienzskalierung möglich ist wurde bereits im vorangegangenen Experiment erläutert und kann dort nachgelesen werden (s. 1. und 2. Fall in Kapitel 9.1.3. Einziger Unterschied zum vorangegangenen Experiment ist, dass im vorliegenden Experiment nicht die für diese beiden Fälle angegebene 2. Bedingung gegeben sein muss. Das jeweilige Ergebnis zeigt sich im vorliegenden Experiment auch dann, wenn die Grundsalienz der Texturreizmuster

---

<sup>27</sup>Die physikalische Reizstärke ist in den Experimenten dieser Arbeit der zur Erzeugung einer Texturfigur variierte Merkmalskontrast.

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.1:** CMM-Funktionen, die qualitativ unterscheidbare Ergebnisse der CMM-Messungen in dem von den Salienskalen zweier Versuchsbedingungen aufgespannten Saliensraum repräsentieren. In jeder Grafik sind auf der Abszisse die Salienswerte der Salienskala einer Versuchsbedingung  $A$  abgetragen ( $R_A(x)$ ) und auf der Ordinate die Salienswerte der für eine Versuchsbedingung  $B$  bestimmten Salienskala ( $R_B(y)$ ). Bei den CMM-Messungen werden gleich saliente Merkmalskontraste der beiden Versuchsbedingungen bestimmt. Die zu diesen gleich salienten Merkmalskontrasten korrespondierenden Salienswerte der beiden Salienskalen  $R_A(x)$  und  $R_B(y)$  bilden die Grundlage der eingezeichneten CMM-Funktion. Die CMM-Funktion beschreibt somit die über die CMM-Messungen bestimmten Messpunkte, die hier selber nicht eingezeichnet sind. Die Linie in den Grafiken (b) und (c), die aus Punkten und Strichen besteht, entspricht der Funktion aus (a) und dient nur als Referenzlinie. Die Form der CMM-Funktion lässt auf die Konstanz der Salienzeinheit einer Skala und auf die Möglichkeit der merkmalsunabhängigen Saliensskalierung schließen. Welcher Fall welchen Schluss bzgl. dieser Fragestellungen zulässt, wird im Text erläutert.

in das Saliensurteil einer CMM-Messung einfließt, da die Grundsaliens der Reizmuster der beiden Versuchsbedingungen des vorliegenden Experiments identisch ist.)

Auf das in Abb. 10.1 (c) dargestellte Ergebnis wurde an gleicher Stelle ebenfalls bereits eingegangen (s. 4. Fall in Kapitel 9.1.3). Da sich im vorliegenden Experiment dieses Ergebnis zeigte, wird hier nochmal etwas ausführlicher erläutert, unter welcher Bedingung sich dieses Ergebnis zeigt und welcher Schluss deshalb in diesem Fall bzgl. der Konstanz der Salienzeinheit einer Skala und der davon abhängigen merkmalsunabhängigen Saliensskalierung möglich ist:

Ist die Zunahme der Saliens  $p$ , die über einen bei einer Schwellenmessung bestimmten eben merklichen Unterschied (JND) bestimmt wird, bei mindestens einer von für zwei Versuchsbedingungen  $A$  und  $B$  konstruierten Salienskalen  $R_A$  und  $R_B$  nicht bei allen JNDs der Skala konstant,  $(p_{A_i} \neq p_{A_j}) \vee (p_{B_i} \neq p_{B_j})$ , zeigt sich bei der CMM-Funktion in dem von zwei Salienskalen aufgespannten Saliensraum ein gebogener Verlauf, wie er beispielhaft in Abb. 10.1 (c) dargestellt ist.

## 10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

In diesem Fall ist sicher, dass die Salienzeinheit bei mindestens einer der beiden Salienzskalen nicht konstant ist. Die Analyse der Steigung im Salienz-Matchingwert<sup>28</sup> der bei einer CMM-Messung bestimmten Salienz-Präferenz-Funktionen kann Aufschluss darüber geben, in welcher Versuchsbedingung die konstruierte Salienzskala keine konstante Salienzeinheit hat (s. Abschnitt 10.4.2). Nur wenn man durch diese Analyse feststellt, dass bei einer der beiden Salienzskalen die Konstanz der Salienzeinheit nicht verletzt ist, können bei dieser Salienzskala die Verhältnisse zweier Salienzwerte interpretiert werden. Zudem können dann die Salienzwerte der Salienzskala, die über keine konstante Salienzeinheit verfügt, über die CMM-Funktion in die Salienzwerte der Salienzskala mit konstanter Salienzeinheit transformiert werden und damit merkmalsunabhängig auf Verhältnisskalenniveau abgebildet werden. Ergibt die Analyse der Steigung der Salienz-Präferenz-Funktionen im Salienz-Matchingwert, dass bei beiden Salienzskalen die Konstanz der Salienzeinheit verletzt ist, ist weder die Interpretation von Verhältnissen zwischen Salienzwerten von Skalen verschiedener Versuchsbedingungen noch zwischen zwei Salienzwerten innerhalb einer Salienzskala erlaubt.

### 10.1.3 Sättigung der Salienzfunktion

Motoyoshi und Nishida (2001) stellten in ihrer Studie nur bei Reizmustern, die bei großem Orientierungskontrast<sup>29</sup> zur Wahrnehmung getrennter Oberflächen führen, eine Sättigung der Salienzfunktion fest (s. Kapitel 4.4). Die Sättigung der Salienzfunktion tritt in ihrer Untersuchung nicht bei Reizmustern auf, bei denen zufällig verteilter lokaler Merkmalskontrast vorliegt oder bei denen lediglich eine Texturkante, aber keine Texturfläche durch Merkmalskontrast entsteht. Die Autoren schlussfolgern daraus, dass globale Eigenschaften eines visuellen Reizmusters, speziell die Wahrnehmung getrennter Oberflächen, für die Saturation der Salienzfunktion verantwortlich ist.

Die Autoren vermuten, dass es sich bei der Sättigung um einen Mechanismus des visuellen Systems handelt, der eine Steigerung der internen Antwort mit größer werdendem Orientierungskontrast unterbindet, wenn durch den bestehenden Orientierungskontrast bereits genügend Hinweise für die Existenz getrennter Oberflächen vorliegen. Nach Ansicht der Autoren wäre für das visuelle System eine weitere Steigerung der internen Antwort mit größer werdendem Orientierungskontrast nutzlos, wenn bereits beim bestehenden Orientierungskontrast die vorliegenden Orientierungen unterschiedlichen Oberflächen zugeordnet werden. Die Autoren nehmen deshalb an, dass der für die Saturation verantwortliche Mechanismus Teil eines ökonomisch arbeitenden visuel-

<sup>28</sup>Der Salienz-Matchingwert ist der zu dem Salienz-Matchingkontrast korrespondierende Salienzwert der konstruierten Skala.

<sup>29</sup>Sie verwendeten nur Orientierungskontrast als Merkmalskontrast.

## 10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

len Systems ist, in dem keine Prozesse ohne funktionelle Bedeutung vollzogen werden.

Wenn diese Vermutung zutrifft, sollte ein solcher Mechanismus nicht nur im Falle von Orientierungskontrast, sondern allgemein für Merkmalskontrast existieren. Handelt es sich um einen Mechanismus, der Teil eines ökonomisch arbeitenden visuellen Systems ist, sollte für jedes Merkmal eine weitere Steigerung der internen Antwort mit größer werdendem Merkmalskontrast unterbunden werden, wenn bereits durch den bestehenden Merkmalskontrast genügend Hinweise für die Existenz getrennter Oberflächen vorliegt. Folglich sollte die Sättigung der Salienzfunktion im Falle von Merkmalskontrast in einem anderen Merkmal als Orientierung bei der gleichen Salienz wie beim Merkmal Orientierung auftreten.

Im vorliegenden Versuch wurde deshalb geprüft, ob bei einer durch Merkmalskontrast erzeugten quadratischen Texturfigur die Sättigung einer Salienzfunktion für Orientierungskontrast bei der gleichen merkmalsunabhängigen Salienz wie bei einer Salienzfunktion für Ortsfrequenzkontrast auftritt. Dazu wurde ein Punkt auf der Salienzfunktion definiert, der unabhängig von der Versuchsbedingung den Beginn der Saturation der Salienzfunktion kennzeichnet. Dieser Punkt wird im Weiteren als Saturationspunkt bezeichnet. Er wird am Ende des Abschnitts 10.2.4 genau definiert. Der Saturationspunkt der Salienzskala einer Versuchsbedingung wird nach Bestimmung der CMM-Funktion in einen Salienzwert der Skala der anderen Versuchsbedingung umgerechnet. Vorausgesetzt diese letztere Salienzskala bildet die durch Merkmalskontrast erzeugte Salienz der quadratischen Texturfigur auf Verhältnisskalenniveau ab, können die Salienzwerte der Saturationspunkte beider Versuchsbedingungen auf dieser Skala zur Beantwortung der Untersuchungsfrage miteinander verglichen werden (vgl. Kapitel 9.4.4).

### 10.1.4 Versuchsbedingungen

Die beiden Versuchsbedingungen dieses Experiments werden als Versuchsbedingung OR bzw. SF bezeichnet. Sie unterschieden sich lediglich darin, dass die Merkmalssalienz in einer Versuchsbedingung über Orientierungskontrast erzeugt wurde (OR) und in der anderen Versuchsbedingung über Ortsfrequenzkontrast (SF).

## 10.2 Methode

### 10.2.1 Apparatur

Die Apparatur war dieselbe wie in allen vorangegangenen Experimenten (s. Kapitel 6.2.1 auf S. 59).

## 10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

### 10.2.2 Versuchspersonen

Wie im vorangegangenen Experiment nahmen eine weibliche Studentin, ein männlicher Student und der Autor dieser Arbeit als Versuchspersonen an der Untersuchung teil. Die beiden Studenten waren nicht über die Fragestellung der Untersuchung informiert. Alle drei Versuchspersonen hatten normales oder zur Normalität korrigiertes Sehvermögen. Die Studenten wurden für ihre Teilnahme mit 5 Euro die Stunde entlohnt.

### 10.2.3 Stimuli

Die Reizmuster bestanden wie in den vorangegangenen Experimenten aus  $7 \times 7$  Gaborreizen. Die zentralen  $3 \times 3$  Gaborreize bildeten zusammen die Vordergrundelemente der Reizmuster.

Alle verwendeten Gaborreize waren hinsichtlich ihrer Helligkeit und Phase identisch. Ein Gaborreiz hatte einen Durchmesser von 1.8 Grad Sehwinkel. Dies wurde durch Setzung der Standardabweichung (sd) der Gaußhülle auf einen Wert von 0.36 Grad Sehwinkel und dem Abschneiden nach einem Radius von 2.5 sd-Einheiten erreicht. Die Position eines Gaborreizes variierte normalverteilt mit einer Standardabweichung von 0.05 Grad um sein jeweiliges Zentrum der  $7 \times 7$  Matrix.

**Versuchsbedingung OR** In der Versuchsbedingung OR wurde die Orientierung der Hintergrundelemente zufällig zwischen 0 (waagerechte Orientierung) und 180 Grad (ebenfalls wieder waagerechte Orientierung) gezogen und konnte damit aufgrund der Symmetrie der Reize jede mögliche Orientierung annehmen. Die Vordergrundelemente wurden entsprechend des eingestellten Orientierungskontrasts  $v$  gegen den Uhrzeigersinn im Vergleich zu den Hintergrundelementen gedreht.

Die Ortsfrequenz der Gaborreize eines Reizmusters eines Trials wurde zufällig durch gleichverteiltes Ziehen in Oktaven (oct) zwischen 1 und 5.656 cpd bestimmt. Die Gaborreize eines Reizmusters eines Trials waren somit bzgl. der Ortsfrequenz völlig homogen. Die Bandbreite, aus der die Ortsfrequenz bestimmt wurde, stimmte mit der Bandbreite des Ortsfrequenzbereichs überein, der zur Bildung des Ortsfrequenzkontrasts in der Versuchsbedingung SF ausgewählt wurde (s. „Versuchsbedingung SF“). Durch diese Übereinstimmung wurde die Gleichheit der Grundsalienz gewährleistet (s. Kapitel 3.3).

**Versuchsbedingung SF** Die Verteilungen, aus denen die Orientierung und die Ortsfrequenz innerhalb dieser Versuchsbedingung gezogen wurde, waren mit denen der Versuchsbedingung OR völlig identisch. Anstelle eines Orientierungskontrasts wurde lediglich ein Ortsfrequenzkontrast erzeugt.

## 10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

Die Orientierung aller Gabor-elemente eines Reizmusters wurde somit zufällig zwischen 0 (waagerechte Orientierung) und 180 Grad (ebenfalls wieder waagerechte Orientierung) gezogen und konnte damit aufgrund der Symmetrie der Reize jede mögliche Orientierung annehmen.

Zur Bildung des Ortsfrequenzkontrasts wurde erneut das in Kapitel 7.2 vorgestellte Verfahren genutzt. Die Bandbreite des verwendeten Ortsfrequenzbereichs umfasste 2.5 Oktaven, von 1 bis 5.656 cpd. Der maximale Ortsfrequenzkontrast betrug somit 1.25 oct (halbe Bandbreite des ausgewählten Ortsfrequenzbereichs) und war damit 0.25 oct kleiner als im vorangegangenen Experiment. Der verwendete Ortsfrequenzbereich wurde im Vergleich zum vorangegangenen Experiment verkleinert, damit die Bandbreite des Ortsfrequenzbereichs, bei denen Orientierungskontrast in der Versuchsbedingung OR generiert wurde, nicht zu groß wurde. Denn es ist davon auszugehen, dass die Salienz eines spezifischen Orientierungskontrasts in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz der Gaborreize schwankt. Diese Annahme folgt allein daraus, dass die Salienz eines Gaborreize in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz variiert (s. Kapitel 3.3).

Bei einer Ziehung der Ortsfrequenz der Vordergrundelemente wurde aus der unteren Hälfte des Ortsfrequenzbereichs (1 bis 2.378 cpd) gleichverteilt in Oktaven gezogen, d.h. eine Zahl  $z$  wurde gleichverteilt zwischen 0 und 1.25 gezogen und  $2^z$  ergab dann die Ortsfrequenz der Vordergrundelemente. Der eingestellte Ortsfrequenzkontrast wurde dann durch eine entsprechende Erhöhung der Ortsfrequenz der Hintergrundelemente im Vergleich zu der gezogenen Ortsfrequenz der Vordergrundelemente realisiert. Bei einer Ziehung der Ortsfrequenz der Hintergrundelemente wurde aus der oberen Hälfte des Ortsfrequenzbereichs (2.378 bis 5.656 cpd) gleichverteilt in Oktaven gezogen, d.h. eine Zahl  $z$  wurde gleichverteilt zwischen 1.25 und 2.5 gezogen und  $2^z$  ergab dann die Ortsfrequenz der Hintergrundelemente. Der eingestellte Ortsfrequenzkontrast wurde dann durch eine entsprechende Verringerung der Ortsfrequenz der Vordergrundelemente im Vergleich zu der gezogenen Ortsfrequenz der Hintergrundelemente realisiert.

In einem Trial einer Schwellenmessung wurden zwei Reizmuster nebeneinander mit einem Abstand von 1.8 Grad Sehwinkel präsentiert. In der Abb. 10.2 ist für jede Versuchsbedingung ein Beispiel für die Reizmusterdarstellung eines Trials zu sehen.

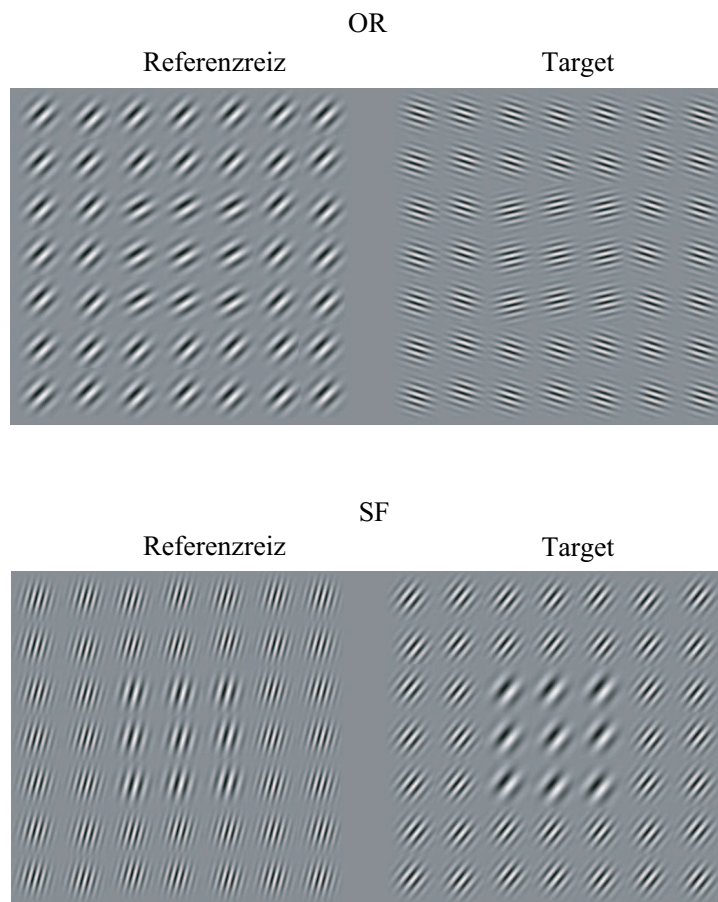
### 10.2.4 Experimenteller Ablauf

#### 10.2.4.1 Experimenteller Ablauf der Differenzskalierung

**Unterschiedsschwellenmessungen** Zur Bestimmung der Salienzskalen für die zwei Versuchsbedingungen OR und SF ( $R_\Phi$  und  $R_\omega$ ) wurden für jeweils acht verschiedene



10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER  
 GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.2:** Beispiele für Reizmuster eines Different-Trials je Versuchsbedingung. Das Target ist nur zur besseren Vergleichbarkeit immer auf der rechten Seite dargestellt. OR: Dargestellt ist beim Referenzreiz ein Merkmalskontrast von 12 Grad und beim Target ein Merkmalskontrast von 30 Grad. SF: Abgebildet ist beim Referenzreiz ein Merkmalskontrast von 0.6 oct und beim Target ein Merkmalskontrast von 1 oct.

Merkmalskontraste ( $v$ := Orientierungskontrast;  $f$ := Ortsfrequenzkontrast) die Schwellen über eine Same-Different-Methode gemessen. Die Stärke der Merkmalskontraste wurde zum einen auf der Basis von Probemessungen der Absolutschwelle<sup>30</sup> festgelegt. Es wurde darauf geachtet, dass mindestens ein Merkmalskontrast unterhalb der Absolutschwelle als Pedestal vorgegeben wurde, wodurch eine genaue Bestimmung der Salienskala für diesen kritischen Bereich, in dem der negative Maskierungseffekt zu erwarten ist, möglich ist (vgl. Abschnitt 4.1). Zum anderen wurden für jede Versuchsperson Probemessungen für große Pedestals sowie eine Dekrementsschwellenmessung für den maximalen Merkmalskontrast in jeder Versuchsbedingung durchgeführt. Da-

<sup>30</sup>Die Absolutschwelle bezeichnet die Unterschiedsschwelle für ein Pedestal von null (s. Kapitel 4.3).

## 10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

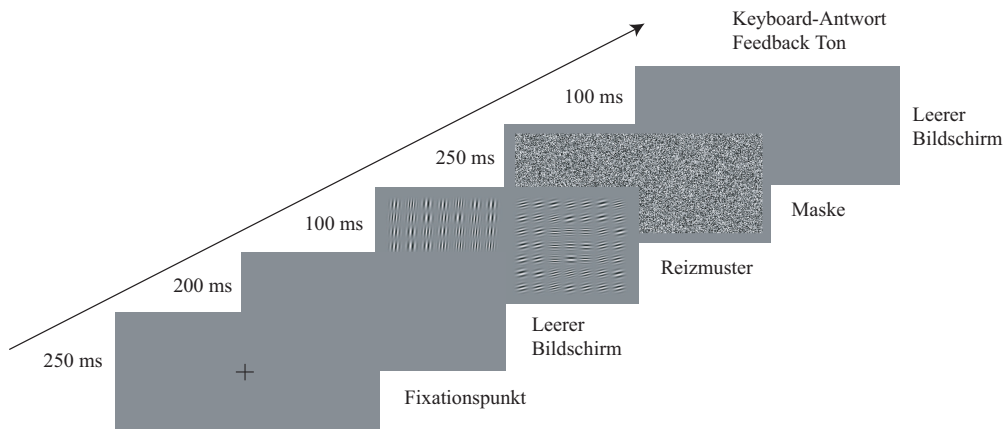
durch konnte jeweils das größte Pedestal festgelegt werden, für das noch eine Inkrementschwelle gemessen werden konnte. In beiden Versuchsbedingungen wurde auch bei den „Hauptmessungen“ für den maximalen Merkmalskontrast eine Dekrementschwelle gemessen, also für einen Merkmalskontrast von 90 Grad in der Versuchsbedingung OR und für 1.25 Oktaven in der Versuchsbedingung SF. Alle anderen Schwellenmessungen waren Inkrementschwellemessungen. Die sieben Inkrementpedestals der Versuchsbedingung OR waren 0, 4, 8, 12, 16, 20 und 25 Grad. Die sieben Inkrementpedestals der Versuchsbedingung SF waren 0, 0.15, 0.3, 0.45, 0.6, 0.7 und 0.8 Oktaven. Einen guten Überblick über die Pedestals der einzelnen Versuchsbedingungen liefern die Tabellen 10.1 und 10.2 im Ergebnisteil (Abschnitt 10.3) dieses Kapitels.

Aufgrund der bekannten Schwankungen der Schwellenmessungen wurden alle Schwellen einer Versuchsbedingung dreimal erhoben. Die gesamten Messungen wurden auf sechs Sitzungen je Versuchsperson aufgeteilt. Pro Sitzung wurden alle acht Schwellen eines Merkmals in zufälliger Reihenfolge erhoben. Nach Abschluss aller Messungen wurde über alle drei Schwellenmessungen je Pedestal arithmetisch gemittelt. Die Dauer einer Sitzung betrug ungefähr 1,5 Stunden und variierte etwas je nach der Länge der Pausen zwischen den einzelnen Schwellenmessungen. Die Dauer einer einzelnen Schwellenmessung lag zwischen 7 und 8 Minuten. Sie war davon abhängig, wie schnell die Probanden am Ende eines Trials antworteten.

**Aufgabe des Probanden und genaue Struktur eines Trials** Die Schwellen wurden mit einer Same-Different-Methode gemessen. Die zu vergleichenden Reize wurden räumlich verteilt, d.h. nebeneinander dargeboten. Die Probanden hatten zu entscheiden, ob ihnen zwei hinsichtlich des Merkmalskontrasts identische Reizmuster in einem Trial präsentiert wurden („same“) oder ob eines der beiden Reizmuster eines Trials einen im Vergleich zum anderen Reizmuster größeren Merkmalskontrast aufwies („different“). Die in Abb. 10.2 dargestellten Reize sind Beispiele für Different-Trials der Schwellenmessungen. Die gesamte Struktur eines Trials und die Präsentationszeiten der einzelnen Elemente zeigt Abb. 10.3.

**Bestimmung der Schwellen** Pro Schwellenmessung wurden vier verschiedene Reizintensitäten als Targets verwandt und jeweils 24 mal zusammen mit dem Referenzreiz (bzw. Pedestal) präsentiert. Eine Schwellenmessung bestand folglich aus insgesamt 96 Different-Trials und ebensovielen Same-Trials, so dass eine komplette Schwellenmessung 192 Trials enthielt. Die Reihenfolge der Trials wurde zufällig variiert. In Abb. 10.4 sind typische Messdaten samt der sie beschreibenden psychometrischen Funk-

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER  
 GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.3:** Trialstruktur und Präsentationszeiten der Schwellenmessungen. Jeder Trial begann mit der Präsentation eines Fixationspunktes im Zentrum des Bildschirms für 250 msec. Danach schloss sich für 200 msec ein leerer Bildschirm in Hintergrundgrau an. Darauf folgte 100 msec lang die Präsentation der Reizmuster. Nach der Präsentation der Reizmuster wurde für 250 msec eine Maske eingeblendet. Die Probanden konnten dann über die externe Antwortbox ihre Antwort geben und erhielten dafür unmittelbar über Kopfhörer Feedback. Die Pause zwischen zwei Trials betrug mindestens 100 msec und dauerte darüber hinaus an, bis der Proband seine Antwort gab. Der Bildschirm war in dieser Zeit wieder leer und in Hintergrundgrau.

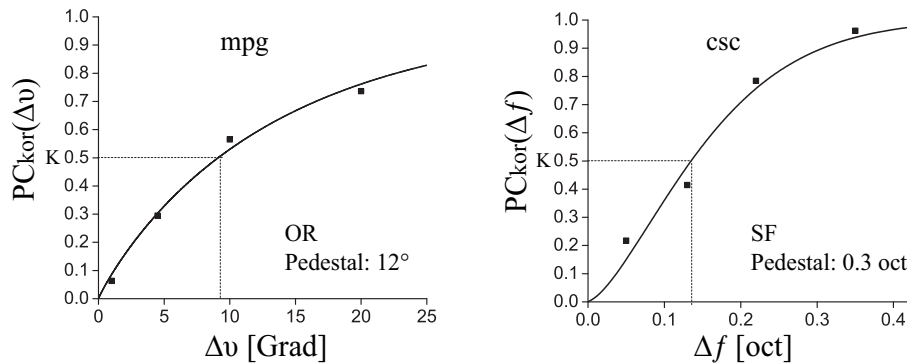
tionen dargestellt. Die Bestimmung der  $PC_{kor}$ -Werte aus den Messdaten einer Schwellenmessung und die Vorgehensweise zur Schätzung der Parameter der psychometrischen Funktion sind in Anhang A.4 beschrieben. Als Schwellenkriterium  $K$  wurde der 50%-Punkt der Funktion definiert.

**Bestimmung der Parameter der Naka-Rushton-Funktion** Für jede Versuchsperson wurden getrennt für die Versuchsbedingungen OR und SF die Parameter  $A$ ,  $p$ ,  $q$  und  $Z$  der Naka-Rushton-Funktion ( $R(x) = A \frac{x^p}{x^q + Z}$ ) geschätzt. Wie in der Studie von Motoyoshi und Nishida (2001) wurde dabei festgelegt, dass zwei Kontraststärken dann voneinander unterschieden werden können, wenn die Differenz der durch sie ausgelösten internen Antwort einen konstanten Wert überschreitet, der gleich der Zahl 1 gesetzt wird ( $R(x + \Delta x) - R(x) = 1$ ). Die Parameter wurden derart geschätzt, dass die Summe der quadrierten Abweichungen der Differenzen  $R(x + \Delta x) - R(x)$  von 1 ein Minimum ergab:

$$\sum_{j=1}^8 (R(x + \Delta x) - R(x) - 1)^2 \rightarrow \min, \quad (10.1)$$

wobei für  $x$  und  $\Delta x + x$  jeweils die acht Messwertpaare (Referenzreizkontrast und Merkmalskontrast der Schwelle) einer Versuchsbedingung eingesetzt wurden, die durch

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER  
 GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.4:** Typische Messdaten samt der sie beschreibenden psychometrischen Funktionen. Auf der Abszisse ist jeweils die Differenz zwischen dem Orientierungs- bzw. Ortsfrequenzkontrast des Targets und dem des Pedestals abgetragen ( $\Delta v$  bzw.  $\Delta f$ ). Auf der Ordinate sind die für diese Differenzen berechneten  $PC_{kor}$ -Werte abgetragen ( $PC_{kor}(\Delta v)$  bzw.  $PC_{kor}(\Delta f)$ ). Der 50%-Punkt der Funktion wurde als Schwellenkriterium  $K$  definiert, d.h.  $\Delta v$  bzw.  $\Delta f$  gibt für  $PC_{kor}(\Delta v) = 0.5$  bzw.  $PC_{kor}(\Delta f) = 0.5$  das zum Erreichen der Schwelle notwendige Inkrement an.

die Schwellenmessungen bestimmt worden waren. Für diese nichtlineare Schätzung wurde die Mathematica (Version 5) Implementierung des Levenberg-Marquardt Algorithmus verwendet. Nach Abschluss aller Parameterschätzungen lagen für jeden Probanden zwei Saliensskalen in Form der Naka-Rushton-Funktion vor, eine für jede Versuchsbedingung.

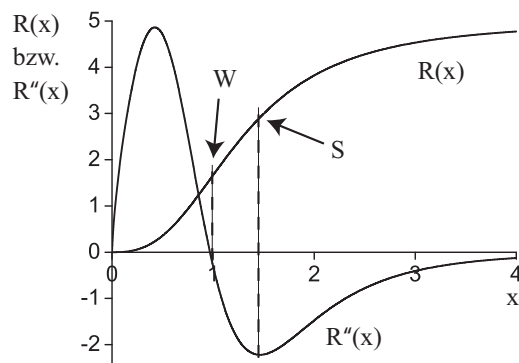
**Bestimmung des Saturationspunktes** Der Saturationspunkt der Naka-Rushton-Funktion wurde wie folgt operationalisiert: Der Saturationspunkt ist der Punkt der Funktion, ab dem die Funktion zu sättigen beginnt. Ab diesem Punkt führt eine Steigerung des Merkmalskontrasts zu einer immer geringeren Zunahme der Auffälligkeit bis hin zur völligen Stagnation. Zur Bestimmung dieses Punktes muss zunächst die dritte Ableitung der Funktion gleich null gesetzt werden. Der Merkmalskontrast  $x$ , der in der dritten Ableitung gleich null ist und eingesetzt in die vierte Ableitung zu einem Ergebnis größer null führt, ist der Merkmalskontrast  $S$  des Saturationspunktes. Formal geschrieben wird somit der Merkmalskontrast  $S$  gesucht, der die Gleichungen

$$R'''(x) = 0 \quad (10.2)$$

und

$$R''''(x) > 0 \quad (10.3)$$

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.5:** Bestimmung des Saturationspunktes  $S$  der Naka-Rushton-Funktion  $R(x)$ . Auf der Abszisse ist in einer beliebigen Einheit der Merkmalskontrast  $x$  abgetragen. Mit  $R''(x)$  ist die 2. Ableitung der Funktion dargestellt.

erfüllt. In Abb. 10.5 ist der Saturationspunkt veranschaulicht. Dargestellt ist neben der Naka-Rushton-Funktion  $R(x)$  die zweite Ableitung dieser Funktion. Diese zweite Ableitung hat beim Wendepunkt der Naka-Rushton-Funktion eine Nullstelle und im Saturationspunkt ein Minimum. Die dritte Ableitung der Funktion hat entsprechend eine Nullstelle im Saturationspunkt.

#### 10.2.4.2 Experimenteller Ablauf des Cross-Modality-Matching

**Matchingkontrastmessungen** Über CMM-Messungen wurden eine Reihe gleich salienter Merkmalskontraste der beiden Versuchsbedingungen OR und SF ermittelt. Die generelle Vorgehensweise unterscheidet sich nicht von der des vorangegangenen Experiments, wird aber trotzdem hier nochmal kurz erläutert.

Wie bei CMM-Messungen üblich, lassen sich zwei Matchingbedingungen unterscheiden. In der ersten Matchingbedingung wird ein Merkmalskontrast der ersten Versuchsbedingung OR konstant gehalten und mit verschiedenen Merkmalskontrasten der zweiten Versuchsbedingung SF verglichen (OR\_konstant). Es wird somit ein Merkmalskontrast der zweiten Versuchsbedingung SF gesucht, der genauso salient ist wie der konstant gehaltene Merkmalskontrast der ersten Versuchsbedingung. Wie dieser gleich saliente Merkmalskontrast genau bestimmt wurde, wird weiter unten im Paragraphen „Bestimmung der Salienz-Matchingkontraste“ (s. S. 145) erläutert. In der zweiten Matchingbedingung ist es genau umgekehrt, d.h. der Merkmalskontrast der zweiten Versuchsbedingung SF wird festgehalten und mit verschiedenen Merkmalskontrasten der ersten Versuchsbedingung OR verglichen (SF\_konstant). Darüber wird somit ein Merkmalskontrast der ersten Versuchsbedingung OR ermittelt, der genauso salient ist wie

## 10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

der konstant gehaltene Merkmalskontrast der zweiten Versuchsbedingung. Der Grund dafür, dass man diese beiden Matchingbedingungen durchführt und nicht nur eine dieser beiden, ist eine mögliche Variation der Messergebnisse in Abhängigkeit davon, von welchem Merkmal der Merkmalskontrast für die Ermittlung gleich salienter Merkmalskontraste konstant gehalten wird.

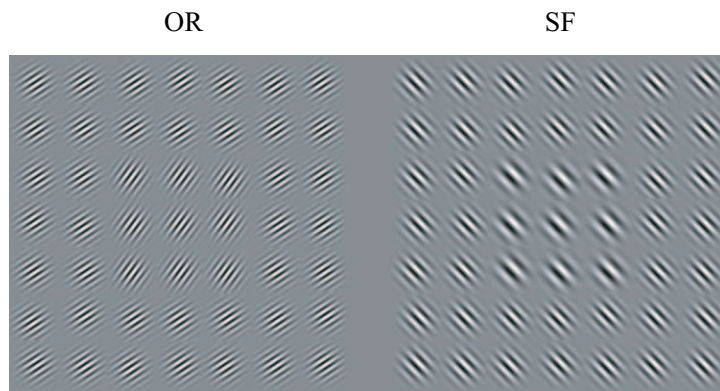
Als Abstand zwischen zwei konstant gehaltenen Merkmalskontrasten einer Versuchsbedingung wurde  $0.5 \text{ jnd}^{31}$  gewählt. Als kleinster Merkmalskontrast wurde der verwendet, der zum Salienzwert von  $0.5 \text{ jnd}$  auf seiner Skala korrespondierte. Die Anzahl der konstant gehaltenen Merkmalskontraste einer Versuchsbedingung, für die jeweils ein gleich salienter Merkmalskontrast der anderen Versuchsbedingung einer Vergleichsbedingung ermittelt wurde, hing von den maximalen Salienzwerten der Skalen der beiden zu vergleichenden Versuchsbedingungen ab. Bei allen Versuchspersonen zeigte sich hier ein ähnliches Bild, so dass bei jeder Versuchsperson in jeder Matchingbedingung der größte konstant gehaltene Merkmalskontrast zu einem Salienzwert von  $3.5 \text{ jnd}$  auf seiner Skala korrespondierte. In jeder Matchingbedingung wurden somit sieben Merkmalskontraste konstant gehalten, die zu den folgenden Salienzwerten auf ihrer jeweiligen Skala korrespondierten:  $0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3$  und  $3.5 \text{ jnd}$ . Zur Erhöhung der Genauigkeit der Ergebnisse wurden alle Messungen insgesamt dreimal durchgeführt. Die Ergebnisse der drei Messdurchgänge eines konstant gehaltenen Merkmalskontrasts wurden arithmetisch gemittelt. Alle Messungen wurden auf drei Sitzungen aufgeteilt. In einer Sitzung wurden alle Matchingkontraste beider Matchingbedingungen ermittelt. Dabei wurden immer erst alle Messungen einer Matchingbedingung in zufälliger Reihenfolge durchgeführt und dann in ebenfalls zufälliger Reihenfolge alle Messungen der anderen Matchingbedingung. Die Reihenfolge, in der die Matchingbedingung innerhalb einer Sitzung durchlaufen wurden, variierte zwischen den Versuchspersonen. Die Dauer einer Sitzung betrug ca. 1.75 Stunden. Die Dauer einer einzelnen Matchingkontrast-Messung lag bei 5 bis 6 Minuten. Sie war davon abhängig, wie schnell die Probanden am Ende eines Trials antworteten.

**Aufgabe der Probanden und genaue Struktur eines Trials** Für die Cross-Modality-Matching-Messungen wurde eine Two-Alternative-Forced-Choice-Methode verwendet. Die zu vergleichenden Reize wurden räumlich verteilt, d.h. nebeneinander dargeboten. Die Versuchspersonen hatten je Trial zu entscheiden, welcher von zwei präsentierten Merkmalskontrasten der für sie salientere war. In Abb. 10.6 sind beispielhaft zwei hinsichtlich ihrer Salienz zu vergleichende Reizmuster dargestellt. Die gesamte Trialstruk-

---

<sup>31</sup>jnd steht für „just noticeable difference“ und wird als Bezeichnung für die Einheit der Salienzska- len verwendet (s. Kapitel 4.2.1).

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER  
GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.6:** Beispiele für zwei bzgl. der Salienz zu vergleichende Merkmalskontraste in einer Cross-Modality-Matching-Messung. Der Merkmalskontrast des Reizmusters der Versuchsbedingung OR beträgt 20 Grad und der des Reizmusters der Versuchsbedingung SF beträgt 0.5 Oktaven.

tur stimmte exakt mit der Trialstruktur der Schwellenmessungen überein und ist deshalb der Abb. 10.3 auf S. 141 zu entnehmen.

**Bestimmung der Salienz-Matchingkontraste** Die Methode zur Bestimmung der Salienz-Matchingkontraste bzw. der Salienz-Matchingwerte<sup>32</sup> wurde bereits im vorangegangenen Experiment erläutert und kann dort nachgelesen werden (s. „Bestimmung der Salienz-Matchingkontraste“ auf S. 109 in Kapitel 9.2.4).

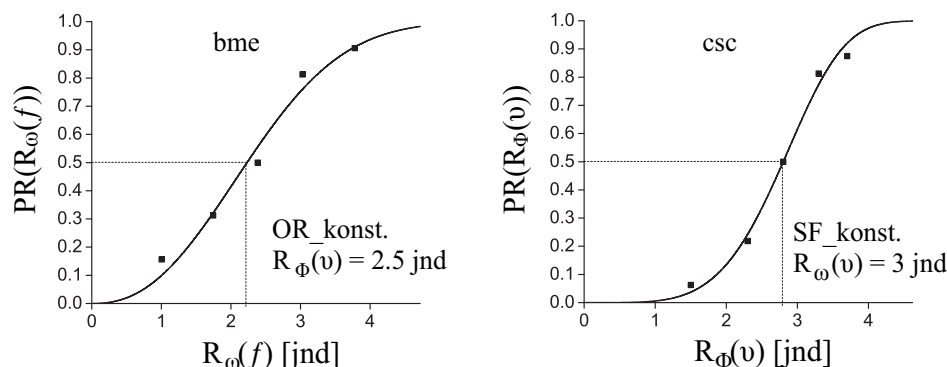
Der einzige Unterschied zum vorangegangenen Experiment bestand darin, dass die Anzahl der Messwiederholungen erhöht wurde, um eine noch größere Genauigkeit der einzelnen Messungen zu erzielen. Jeder der fünf Vergleichskontraste einer CMM-Messung wurde statt 24 mal, 32 mal in zufälliger Reihenfolge gemeinsam mit dem konstant gehaltenen Merkmalskontrast präsentiert, so dass ein vollständiger Messdurchgang aus 160 Trials bestand.

In Abb. 10.7 sind typische Messdaten der CMM-Messungen dargestellt. Die Daten wurden mit einer Weibull-Funktion beschrieben. Der Zusammenhang zwischen den Salienzwerten der variierenden Merkmalskontraste einer Matchingbedingung und dem bei einer CMM-Messung geforderten Salienz-Präferenz-Urteil wird als Salienz-Präferenz-Funktion bezeichnet.

---

<sup>32</sup>Der Salienz-Matchingwert ist der zu dem Salienz-Matchingkontrast korrespondierende Salienzwert der konstruierten Skala.

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.7:** Salienz-Präferenz-Funktion. Dargestellt sind typische Messdaten der CMM-Messungen. Die Daten wurden mit einer Weibull-Funktion beschrieben. In den beiden Grafiken ist angegeben, wie groß der Salienzwert des konstant gehaltenen Merkmalskontrasts war. Auf der Abszisse ist jeweils der Salienzwert der variierenden Merkmalskontraste der jeweils anderen Versuchsbedingung abgetragen. Auf der Ordinate ist in Prozent angegeben, wie häufig der variierende Merkmalskontrast gegenüber dem konstant gehaltenen Merkmalskontrast als salienter beurteilt wurde ( $PR$ ). Der 50%-Punkt der Funktion ist der Punkt der subjektiven Gleichheit und gibt damit den gesuchten Salienz-Matchingwert  $R(SM)$  an ( $PR(R(SM)) = 0.5$ ).

## 10.3 Ergebnisse

### 10.3.1 Differenzskalierung

Die Ergebnisse der Schwellenmessungen der Versuchsbedingungen OR und SF sind in den Tabellen 10.1 und 10.2 dargestellt. In der linken Spalte je Versuchsperson steht der Merkmalskontrast für den jeweils eine Schwelle zwei Mal gemessen wurde (Ped. steht für Pedestal). In der Spalte  $\overline{\Delta v_{OR}}$  bzw.  $\overline{\Delta f_{SF}}$  ist der arithmetische Mittelwert des je Pedestal bestimmten Inkrements bzw. Dekrements angegeben und in der Spalte  $\sigma_{OR}$  bzw.  $\sigma_{SF}$  ist die Streuung der zwei Messungen angegeben. Die Ergebnisse des Pedestals von 90 Grad in der Versuchsbedingung OR sowie die Ergebnisse des Pedestals von 1.25 Oktaven in der Versuchsbedingung SF sind die Ergebnisse der Dekrementschwellenmessungen. Alle anderen Ergebnisse stammen von Inkrementenschwellenmessungen. Im Weiteren wird zur Vereinfachung nur von Inkrementen gesprochen. Die Ergebnisse der Dekrementschwellenmessungen sind damit eingeschlossen.

In Abb. 10.8 sind auf der rechten Seite die Diskriminationsschwellen-Funktionen der Versuchsbedingung OR zu sehen. Die Diskriminationsschwellen-Funktionen der Versuchsbedingung SF sind auf der rechten Seite von Abb. 10.9 dargestellt<sup>33</sup>. Auf der linken Seite der beiden Abbildungen sind jeweils die auf der Basis der Schwellenmes-

<sup>33</sup>Wie die Ergebnisse der Dekrementmessungen gemeinsam mit den Ergebnissen der Inkrementmessungen dargestellt werden können, ist in Kapitel 8.1 beschrieben.



10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER  
 GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

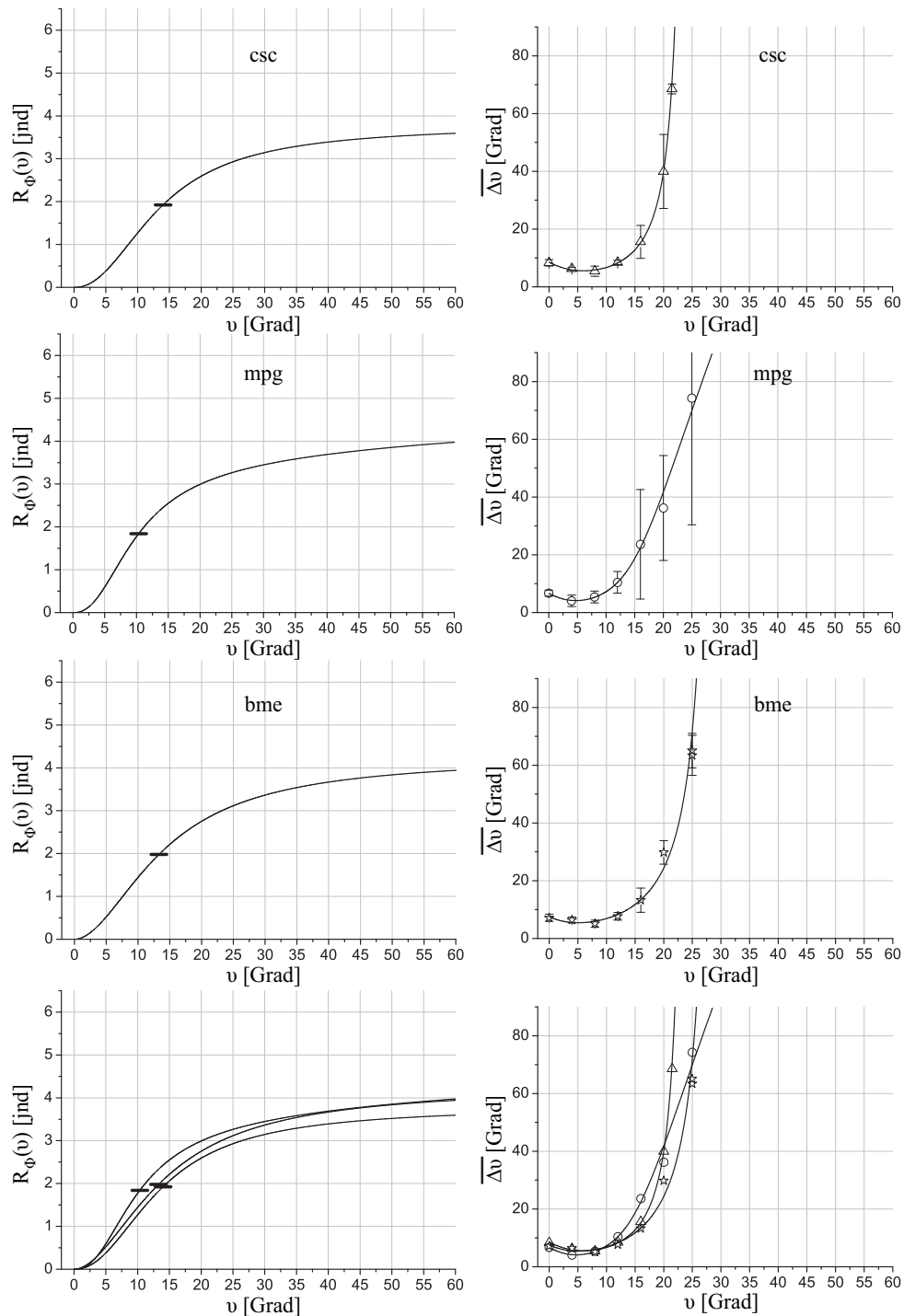
**Tabelle 10.1:** Ergebnisse der Schwellenmessungen in der Versuchsbedingung OR (alle Angaben in Grad). Erläuterungen siehe Text.

csc			mpg			bme		
Ped.	$\overline{\Delta v_{OR}}$	$\sigma_{OR}$	Ped.	$\overline{\Delta v_{OR}}$	$\sigma_{OR}$	Ped.	$\overline{\Delta v_{OR}}$	$\sigma_{OR}$
0	8.3	1.11	0	6.7	1.03	0	7.2	1.24
4	6.3	.51	4	4.1	1.97	4	6.4	1.00
8	5.4	1.74	8	5.4	2.06	8	5.1	1.24
12	8.4	.74	12	10.5	3.75	12	7.7	1.33
16	15.6	5.70	16	23.6	18.97	16	13.3	4.19
20	40.0	12.81	20	36.2	18.17	20	29.8	4.09
25	66.4	34.01	25	74.3	43.88	25	63.4	6.91
90	68.5	1.69	90	71.2	4.89	90	65.0	5.96

**Tabelle 10.2:** Ergebnisse der Schwellenmessungen in der Versuchsbedingung SF (alle Angaben in Oktaven). Erläuterungen siehe Text.

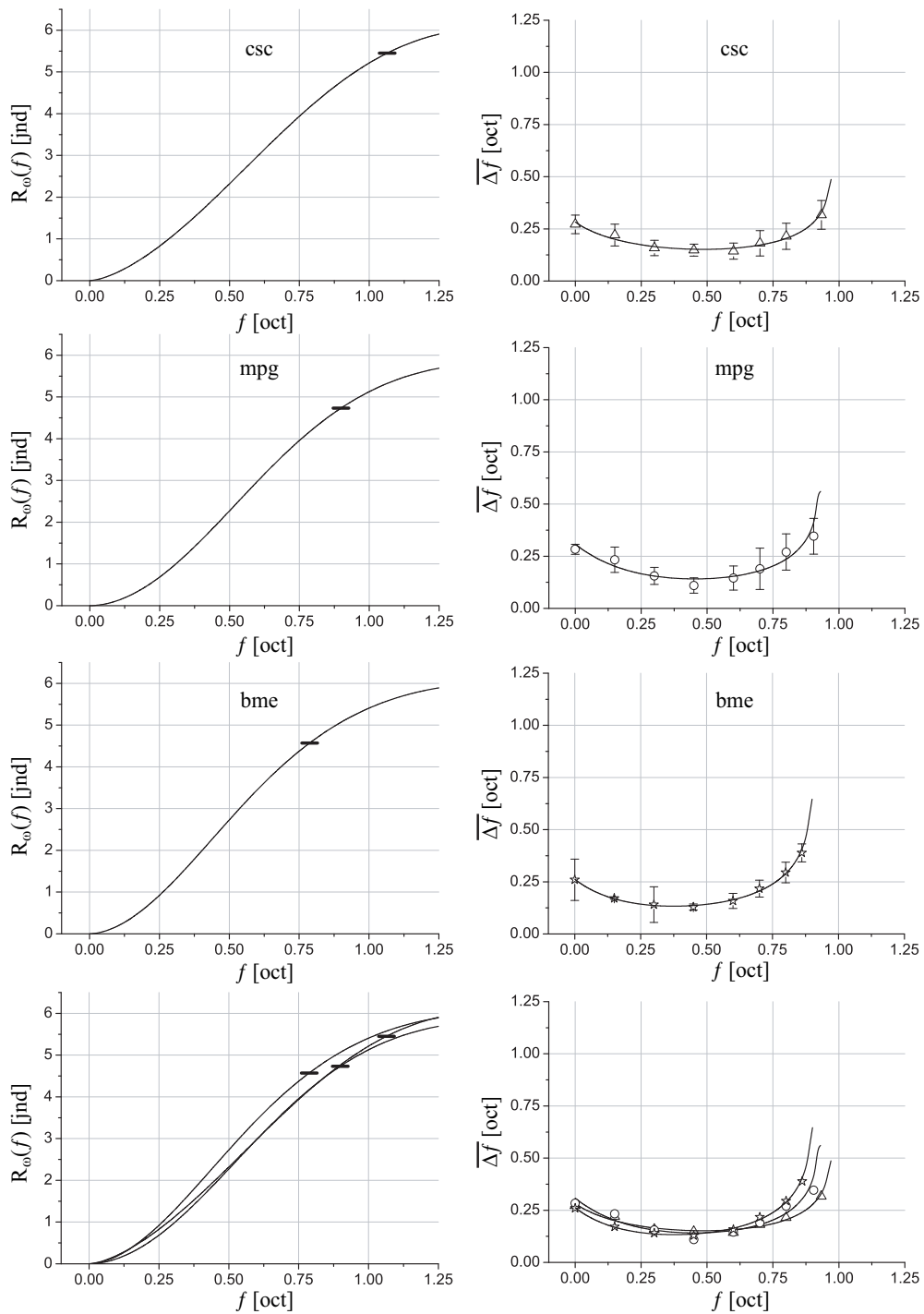
csc			mpg			bme		
Ped.	$\overline{\Delta f_{SF}}$	$\sigma_{SF}$	Ped.	$\overline{\Delta f_{SF}}$	$\sigma_{SF}$	Ped.	$\overline{\Delta f_{SF}}$	$\sigma_{SF}$
.00	.27	.044	.00	.28	.024	.00	.26	.099
.15	.22	.052	.15	.23	.061	.15	.17	.005
.30	.16	.037	.30	.16	.041	.30	.14	.086
.45	.15	.029	.45	.11	.037	.45	.13	.015
.60	.14	.039	.60	.15	.058	.60	.16	.036
.70	.18	.061	.70	.19	.099	.70	.22	.040
.80	.21	.063	.80	.27	.087	.80	.29	.049
1.50	.32	.069	1.50	.35	.086	1.50	.39	.043

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.8:** Salienszskalen und Diskriminationsschwellen-Funktionen der Versuchsbedingung OR. Links: Salienszskalen.  $v$  gibt den Orientierungskontrast an,  $R_\phi(v)$  den davon abhängenden Salienszwert. Die Querstriche markieren den Satiationspunkt. Rechts: Diskriminationsschwellen-Funktionen.  $\overline{\Delta v}$  gibt das Inkrement in Abhängigkeit vom Pedestal  $v$  an.

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.9:** Salienzskalen und Diskriminationsschwellen-Funktionen der Versuchsbedingung SF. Links: Salienzskalen.  $f$  gibt den Ortsfrequenzkontrast an,  $R_{\omega}(f)$  den davon abhängenden Salienzwert. Die Querstriche markieren den Sättigungspunkt. Rechts: Diskriminationsschwellen-Funktionen.  $\overline{\Delta f}$  gibt das Inkrement in Abhängigkeit vom Pedestal  $f$  an.

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER  
 GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

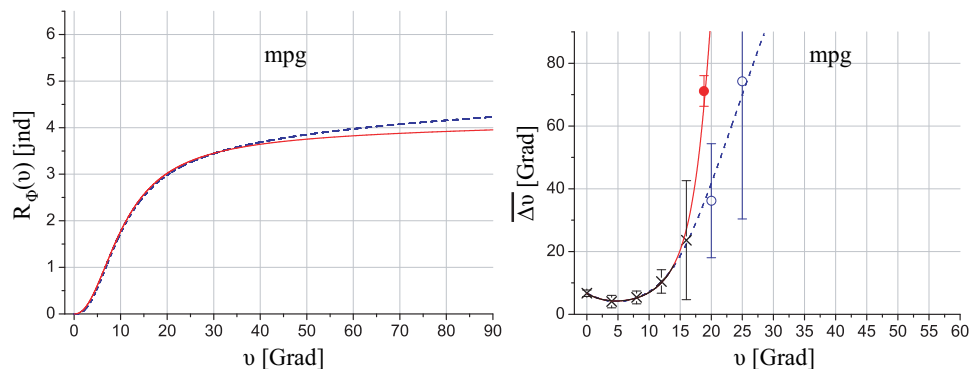
**Tabelle 10.3:** Saturationspunkte. Der Merkmalskontrast  $x$  ist für die Versuchsbedingung OR in Grad und für die Versuchsbedingung SF in Oktaven angegeben. Die Salienzwerte  $R(x)$  sind für die beiden Versuchsbedingungen entsprechend in Einheiten der Salienzskala  $R_{\Phi}$  bzw.  $R_{\omega}$  angegeben.

	OR			SF		
	csc	mpg	bme	csc	mpg	bme
$x$	14.0	10.3	13.3	1.06	0.90	0.79
$R(x)$	1.9	1.8	2.0	5.5	4.7	4.6

sungen konstruierten Salienzskalen dargestellt. Dabei bezeichnet  $R_{\Phi}$  die Salienzskala der Versuchsbedingung OR und  $R_{\omega}$  die Salienzskala der Versuchsbedingung SF. Die oberen drei Grafiken in den Abb. 10.8 und 10.9 zeigen jeweils die Ergebnisse einer einzelnen Versuchsperson. In den unteren Grafiken sind alle drei Ergebnisse zusammen dargestellt, um die Variation zwischen den Versuchspersonen besser beurteilen zu können. Die in den Diskriminationsschwellen-Funktionen jeweils eingezeichnete Kurve stellt die auf der Basis der jeweiligen Salienzskala prognostizierten Inkremente dar. Die Kurve zeigt somit, wie gut die gemessenen Daten durch die konstruierte Skala beschrieben werden. Die in den Salienzskalen eingezeichneten Saturationspunkte (Querstriche) sind in Tabelle 10.3 angegeben.

Zwei Messpunkte der Versuchsbedingung OR wurden für die Skalierungen nicht berücksichtigt und sind auch nicht in den Diskriminationsschwellen-Funktionen der Abb. 10.8 dargestellt. Dabei handelt es sich zum einen um die von der Versuchsperson csc beim größten Inkrementpedestal (Pedestal von 25 Grad) bestimmte Schwelle, die im Vergleich zu der über die Dekrementmessungen bestimmte Schwelle deutlich zu klein ausfiel (s. Tabelle 10.1). Da aus den Ergebnissen des zweiten Experiments bekannt ist, dass Inkrementmessungen bei solchen großen Pedestals stark streuen und damit nicht besonders zuverlässig im Vergleich zu Dekrementmessungen sind, wurde das Ergebnis der Dekrementmessungen beibehalten. Zum anderen handelt es sich um die über die Dekrementmessungen bestimmte Schwelle der Versuchsperson mpg, die im Vergleich zu den für die beiden größten Inkrementpedestals (Pedestal von 20 und 25 Grad) bestimmten Schwellen deutlich größer ausfiel (s. Tabelle 10.1). Aufgrund der Diskrepanz bestand die Möglichkeit entweder die beiden stark streuenden Schwellen der Inkrementmessungen oder die über die Dekrementmessungen bestimmte Schwelle nicht für die Skalierung zu berücksichtigen. Es wurde entschieden nur eine Messung, also die Dekrementschwelle nicht zu berücksichtigen. Abb. 10.10 verdeutlicht, dass diese Entscheidung für die Skalierung keine bedeutsame Rolle spielt. Die Salienzskala  $R_{\omega}$  ist

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.10:** Vergleich der Salienzskalen und Diskriminationsschwellen-Funktionen der Versuchsperson mpg in der Versuchsbedingung OR, wenn die beiden Schwellenmessungen der beiden größten Inkrementpedestals ((blau) gestrichelte Linien) oder die von diesen Messungen abweichende Dekrementschwelle ((rote) durchgezogene Linien) zur Bestimmung der Salienzskala verwendet wird. Links: Salienzskalen. Rechts: Die zugehörigen Diskriminationsschwellen-Funktionen. Die (blauen) offenen Kreise sind die Ergebnisse der beiden Schwellenmessungen der größten Inkrementpedestals, der (rot) gefüllte Kreis ist das davon abweichende Dekrement.

bis zu einem Merkmalskontrast von 40 Grad durch die ersten fünf Schwellenmessungen festgelegt, d.h. bis zu diesem Merkmalskontrast zeigt sich kein Unterschied in der Salienzfunktion, je nach dem ob die beiden Schwellen der Inkrementmessungen oder die Dekrementschwelle für die Skalierung verwendet wird. Ab dem Merkmalskontrast von 40 Grad bis 90 zeigt sich dann ein Unterschied in der Salienzfunktion zwischen diesen beiden Fällen, die Abweichungen sind jedoch äußerst gering. Beim Merkmalskontrast von 90 Grad tritt der größte Unterschied auf, liegt aber bei nur 0.29 jnd. Bedeutsame Auswirkung auf die Ergebnisse der CMM-Messungen sind folglich nicht zu erwarten. Durch die Betrachtung dieses Falls wird deutlich, dass die Schwellenmessung des größten Inkrementpedestals und die Dekrementschwelle die konstruierten Salienzfunktionen nur in sehr geringem Maße beeinflussen. Alle im vorangegangenen und in diesem Experiment begründeten getroffenen Entscheidungen bzgl. der Nichtberücksichtigung entweder der Dekrementschwelle oder der Schwellenmessung des größten Inkrementpedestals können somit keinen bedeutsamen Einfluss auf die Ergebnisse der CMM-Messungen haben.

Die Diskriminationsschwellen-Funktionen (s. Abb. 10.8 und 10.9) zeigen, dass sich in beiden Versuchsbedingungen zunächst mit von null an größer werdendem Pedestal die Größe des Inkrements im Vergleich zum Inkrement der Absolutschwelle<sup>34</sup> verringert

<sup>34</sup>Die Absolutschwelle ist jeweils die als erstes angegebene Messung bei einem Pedestal von null.

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER  
 GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

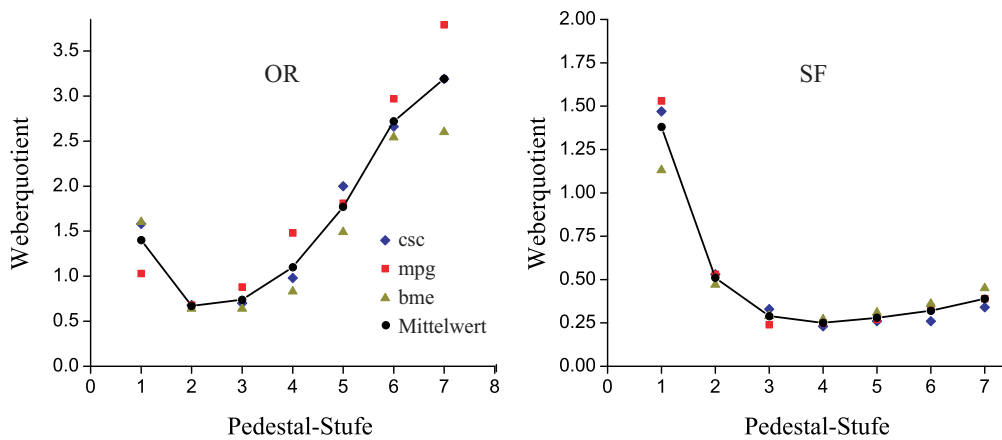
**Table 10.4:** Weberquotienten in Abhängigkeit von der Pedestal-Stufe (Ped.-St.).

Ped.-St.	OR			SF		
	csc	mpg	bme	csc	mpg	bme
1	1.58	1.03	1.60	1.47	1.53	1.13
2	0.68	0.68	0.64	0.53	0.53	0.47
3	0.70	0.88	0.64	0.33	0.24	0.29
4	0.98	1.48	0.83	0.23	0.25	0.27
5	2.00	1.81	1.49	0.26	0.27	0.31
6	2.66	2.97	2.54	0.26	0.34	0.36
7	3.19	3.79	2.60	0.34	0.39	0.45

(negativer Maskierungseffekt). Danach wächst die zur Diskrimination zweier Merkmalskontraste notwendige Differenz des Merkmalskontrasts ( $\overline{\Delta v}$  bzw.  $\overline{\Delta f}$ ) stetig an („positiver Maskierungseffekt“). Alle Funktionen können deshalb als „Dipperfunktion“ bezeichnet werden (s. Kapitel 4.2).

Es wurde geprüft, ob die Zunahme des Inkrements derart ist, dass Inkrement  $\overline{\Delta x}$  und Pedestal  $x$  in einem konstanten Verhältnis zueinander stehen, wie es nach Webers Gesetz zu erwarten wäre. Dazu wurde der Weberquotient  $\frac{\overline{\Delta x}}{x}$  für alle Pedestal-Stufen oberhalb der Absolutschwelle für beide Versuchsbedingungen berechnet. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 10.4 dargestellt und in der Abbildung 10.11 veranschaulicht. Wie den Grafiken zu entnehmen ist, zeigt sich ein ähnlicher Verlauf in den beiden Versuchsbedingungen OR und SF wie in allen drei Versuchsbedingungen des vorangegangenen Experiments (s. Abb. 9.10). Der Weberquotient fällt zunächst ab, bleibt dann über eine je nach Versuchsbedingung unterschiedlich große Anzahl von Pedestal-Stufen relativ konstant und steigt dann hin zu den hohen Pedestal-Stufen, also großen Referenzreizkontrasten, wieder an. Im Vergleich zum vorangegangenen Experiment fällt der Anstieg in der Versuchsbedingung SF hin zu der größten Pedestal-Stufe moderat aus. Dies ist auf die im Vergleich zum vorangegangenen Experiment geringere Oktavbandbreite des verwendeten Ortsfrequenzbereichs zurückzuführen. In dem vorliegenden Experiment betrug der maximal einstellbare Ortsfrequenzkontrast 1.25 oct (halbe Oktavbandbreite des verwendeten Ortsfrequenzbereichs) im vorangegangenen Experiment waren es 1.5 oct. Die Ergebnisse zeigen damit auch in dem vorliegenden Experiment, dass der Anstieg des Inkrements mit größer werdendem Pedestal auch nach dem negativen Maskierungseffekt nicht Webers Gesetz folgt.

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.11:** Weberquotienten der beiden Versuchsbedingungen jeweils in Abhängigkeit von der Pedestal-Stufe. Im Graphen links ist für beide Graphen angegeben, welche Datenpunkte von welcher Versuchsperson stammen. Die schwarzen runden Punkte, die miteinander über eine Linie verbunden sind, sind die je Pedestal-Stufe über alle Versuchspersonen gemittelten Weberquotienten.

Die geschätzten Parameter der für die Skalenkonstruktion verwendeten Naka-Rushton-Funktionen enthält Tabelle 10.5. Wie man bereits aus der grafischen Veranschaulichung der Diskriminationsschwellen-Funktionen erkennen kann, beschreiben die mittels der Saliensskalen prognostizierten Inkremente die gemessenen Daten sehr genau. Die Korrelationen  $R$  zwischen den gemessenen und den prognostizierten Inkrementen sind entsprechend hoch. Sie liegen alle über .94, fünf von sechs Korrelationskoeffizienten liegen sogar oberhalb von .98 (s. Tabelle 10.5).

**Tabelle 10.5:** Parameterschätzungen der zur Saliensskalierung verwendeten Naka-Rushton-Funktion  $R(x) = A \frac{x^p}{x^q + Z}$  sowie Angabe der Korrelation  $R$  zwischen den gemessenen Inkrementen und den über die Saliensskala prognostizierten Inkrementen.

	csc		mpg		bme	
	OR	SF	OR	SF	OR	SF
A	3.39	19.96	2.31	11.09	3.92	10.15
p	2.20	1.54	2.43	1.88	1.89	1.79
q	2.18	2.97	2.29	2.65	1.88	2.36
Z	274	2.83	153	1.16	137	0.88
R	1	.98	.99	.94	.99	1

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER  
 GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

**Tabelle 10.6:** Ergebnisse der Cross-Modality-Matching-Messungen. Links: Ergebnisse der CMM-Messungen, wenn ein Orientierungskontrast konstant gehalten wurde (OR\_konstant). Rechts: Ergebnisse der CMM-Messungen, wenn ein Ortsfrequenzkontrast konstant gehalten wurde (SF\_konstant).  $R_{\Phi}(v)$  gibt die Salienzwerte der in der Versuchsbedingung OR konstruierten Salienzskala an,  $R_{\omega}(f)$  die Salienzwerte der Salienzskala der Versuchsbedingung SF (alle Salienzwerte in jnd).

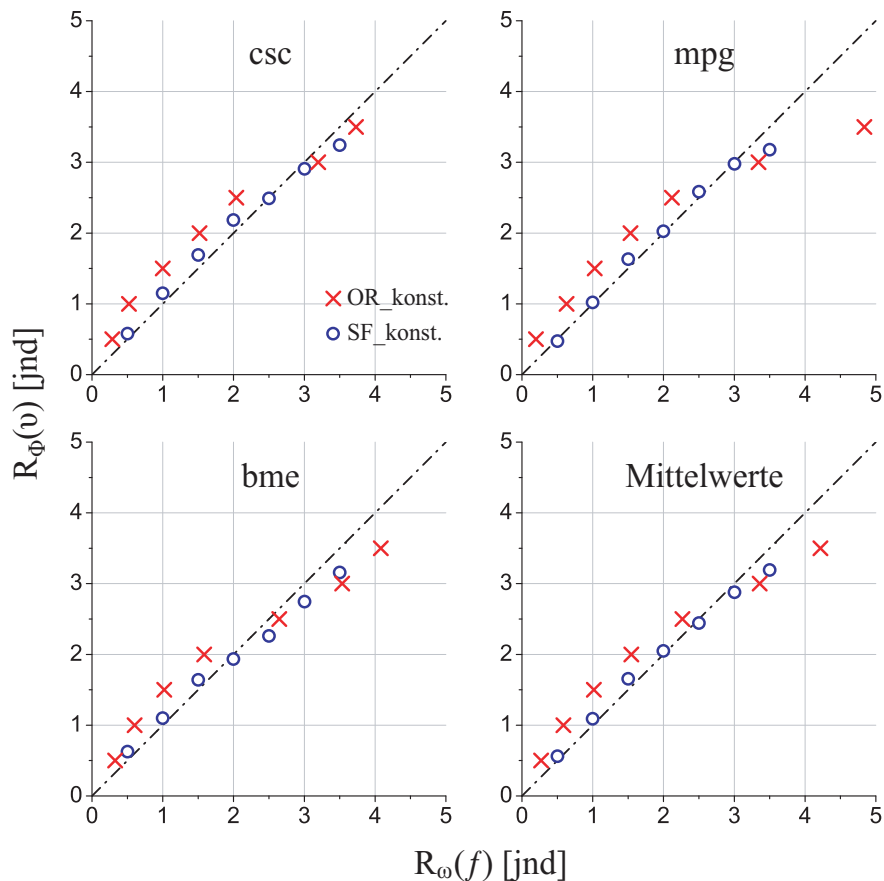
OR_konstant					SF_konstant				
$R_{\Phi}(v)$	$R_{\omega}(f)$				$R_{\omega}(f)$	$R_{\Phi}(v)$			
	csc	mpg	bme	mittel		csc	mpg	bme	mittel
0.5	0.29	0.20	0.33	0.27	0.5	0.58	0.48	0.63	0.56
1.0	0.52	0.63	0.60	0.59	1.0	1.15	1.02	1.10	1.09
1.5	1.00	1.03	1.02	1.02	1.5	1.69	1.63	1.64	1.66
2.0	1.52	1.53	1.58	1.55	2.0	2.18	2.03	1.94	2.05
2.5	2.04	2.12	2.64	2.27	2.5	2.49	2.59	2.26	2.45
3.0	3.20	3.34	3.54	3.36	3.0	2.91	2.98	2.75	2.88
3.5	3.73	4.84	4.08	4.22	3.5	3.25	3.18	3.16	3.19

### 10.3.2 Cross-Modality-Matching

Die Ergebnisse der Cross-Modality-Matching-Messungen enthält Tabelle 10.6. Sie sind in Abb. 10.12 veranschaulicht. Die beiden oberen Grafiken und die Grafik unten links in Abb. 10.12 stellen die Ergebnisse der CMM-Messungen der drei Versuchspersonen dar. Da die Ergebnisse eine sehr hohe Übereinstimmung zwischen den Versuchspersonen aufweisen, wurden die Ergebnisse über alle Versuchspersonen gemittelt betrachtet. Die Grafik unten rechts in Abb. 10.12 zeigt die über die Versuchspersonen gemittelten Werte. Ein einzelner Datenpunkt einer Grafik, (rotes) Kreuz oder (blauer) Kreis, zeigt an, welche zu den Salienzwerten der Skalen korrespondierende Merkmalskontraste der beiden zu vergleichenden Versuchsbedingungen für die Versuchsperson gleich salient waren. Dabei können, wie in Abschnitt 10.2.4 erläutert, zwei Typen von Datenpunkten unterschieden werden. Entweder wurde der Merkmalskontrast der Versuchsbedingung OR konstant gehalten, um einen gleich salienten Merkmalskontrast der Versuchsbedingung SF zu ermitteln (OR\_konstant: rote Kreuze) oder es wurde der umgekehrte Weg beschritten (SF\_konstant: blaue Kreise). Die jeweils in den Grafiken eingezeichnete Linie (Winkelhalbierende), bestehend aus Punkten und Strichen, zeigt an, wo die Messpunkte liegen müssten, wenn die in diesem Experiment über die Differenzskalierung bestimmten Salienzskalen die Salienz unmittelbar merkmalsunabhängig auf Verhältniss-



10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.12:** Ergebnisse der Cross-Modality-Matching-Messungen. Auf der Abszisse sind in allen Grafiken die Salienzwerte der für Ortsfrequenzkontrast bestimmten Salienzskala  $R_\omega(f)$  abgetragen und auf der Ordinate die Salienzwerte der für Orientierungskontrast bestimmten Salienzskala  $R_\Phi(v)$ . Die (roten) Kreuze zeigen die Messpunkte der Matchingbedingung an, bei der der Orientierungskontrast konstant gehalten wurde. Die (blauen) Kreise sind durch die Vorgabe konstanter Ortsfrequenzkontraste in CMM-Messungen gewonnen worden. Die Grafik rechts unten gibt die über die Versuchspersonen gemittelten Messwerte an. Die Linie innerhalb der Grafiken, die sich aus Punkten und Strichen zusammensetzt, zeigt an, wo die Datenpunkte liegen müssten, wenn die in diesem Experiment über die Differenzskalierung bestimmten Salienzskalen die Salienz unmittelbar merkmalsunabhängig auf Verhältnisskalenniveau abbilden würden. Sie dient als Vergleichslinie.

## 10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

kalenniveau abbilden würden. In diesem Fall könnten die Salienzwerte der für Orientierungskontrast konstruierten Skala unmittelbar in ein Verhältnis zu den Salienzwerten der für Ortsfrequenzkontrast konstruierten Skala gesetzt werden.

Wie den Grafiken zu entnehmen ist, zeigen sich zwischen 0.5 bis 2.5 jnd, also bei niedrigen bis mittleren Salienzwerten der beiden Skalen, Abweichungen zwischen den Messpunkten der beiden Matchingbedingungen. Während die Messpunkte der Matchingbedingung SF konstant über den gesamten Salienzbereich hinweg sehr nah an der eingezeichneten Winkelhalbierenden liegen, weichen einzelne Messpunkte der Matchingbedingung OR konstant im niedrigen bis mittleren Salienzwerte-Bereich um bis zu 0.5 jnd davon ab. Diese Abweichungen und vor allem der leicht gebogene Verlauf aller Datenpunkte (insbesondere der Datenpunkte der Matchingbedingung OR konstant) deuten darauf hin, dass die Zunahme der Salienz durch 1 jnd in wenigstens einer der beiden Versuchsbedingungen nicht über den gesamten Bereich der Skala konstant ist. Stimmt diese Schlussfolgerung, bedeutet das, dass das Postulat Fechners, dass über den eben merklichen Unterschied zwischen zwei Reizintensitäten eine konstante sensorische Zunahme der Empfindung unabhängig von der absoluten Reizintensität bestimmt wird, für die in diesem Experiment angewendete Methode zur Skalierung von Merkmalssalienz, zumindest bei einer der beiden Versuchsbedingungen, verletzt ist.

### 10.4 Diskussion

#### 10.4.1 Nullpunkt der Salienzskala

Die Ergebnisse der CMM-Messungen der drei Versuchspersonen zeigen einheitlich, dass die Datenpunkte durch eine CMM-Funktionen beschrieben werden sollten, die durch den Ursprung des von den beiden Salienzskalen aufgespannten Salienzraums verläuft. Dies wird vor allem deutlich, wenn der Verlauf der Datenpunkte der beiden Matchingbedingungen OR konstant und SF konstant getrennt betrachtet wird. Eine Beschreibung der Datenpunkte der CMM-Messungen mit einer Potenzfunktion  $P(x) = ax^n$  erfolgt im nächsten Abschnitt (s. Abschnitt 10.4.2).

Aus dem Schnittpunkt der CMM-Funktion mit dem Ursprung lässt sich schließen, dass die in den beiden Versuchsbedingungen OR und SF konstruierten Salienzskalen einen gemeinsamen Nullpunkt haben (s. Abschnitt 10.1.1). Die Setzung des Nullpunktes der Skala gleich dem Nullpunkt der physikalischen Reizstärke kann nach den Ergebnissen als eine sinnvolle Lösung für die Problematik der Definition des Nullpunktes der Salienzskala angesehen werden (s. Kapitel 4.3)

Dass die über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Salienzskalen einen gemeinsamen Nullpunkt haben, stützt die Schlussfolgerung des vorangegangenen Experi-

## 10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

ments. Aus den Ergebnissen des vorangegangenen Experiments wurde gefolgert, dass die Grundsalienz eines Reizmusters mit in das Salienzurteil bei einer CMM-Messung einfließt und dass der Schnittpunkt der CMM-Funktionen außerhalb des Ursprungs des von zwei Salienskalen aufgespannten Salienzraums vollständig auf die unterschiedliche Grundsalienz der Texturreizmuster in den dort verwendeten Versuchsbedingungen zurückzuführen ist. Diese Schlussfolgerung konnte nur unter der Annahme gezogen werden, dass die konstruierten Salienskalen einen gemeinsamen Nullpunkt haben.

Die Ergebnisse des vorliegenden Experiments, in dem sich die Grundsalienz der Texturreizmuster zwischen den beiden Versuchsbedingungen nicht unterschied, zeigen somit zum einen, dass die über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Salienskalen einen gemeinsamen Nullpunkt haben und zum anderen bestätigen sie damit die Schlussfolgerung des vorangegangenen Experiments, d.h. die Grundsalienz eines Reizmusters fließt in die bei einer CMM-Messung beurteilte Salienz mit ein.

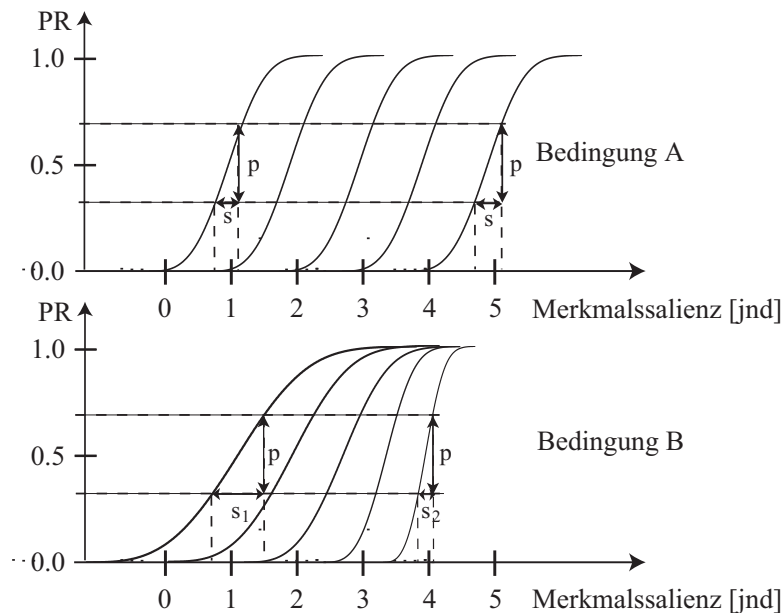
### 10.4.2 Konstanz der Salienzeinheit

Im Folgenden wird ein deutlicher Beleg für die Vermutung präsentiert, dass die Salienzeinheit der konstruierten Salienskalen in der Versuchsbedingung OR ( $R_\Phi$ ) nicht konstant ist, die der Salienskalen der Versuchsbedingung SF ( $R_\omega$ ) hingegen schon. Anschließend wird erörtert, was die Ursache dafür sein könnte.

**Steigung der Salienz-Präferenz-Funktion im Salienz-Matchingwert** Die Steigung im gematchten Salienzwert (Salienz-Matchingwert) der bei einer CMM-Messung bestimmten Salienz-Präferenz-Funktion gibt für das in einer Matchingbedingung variierte Merkmal an, wie im Bereich des Salienz-Matchingwertes der Zusammenhang zwischen der Zunahme des Salienzwertes der Skala und der resultierenden Zunahme der Salienz ist. Ist die Steigung der Salienz-Präferenz-Funktion im Salienz-Matchingwert gering, dann ist im Vergleich zu einer größeren Steigung ein größerer Salienschritt  $s$  notwendig, um eine konstante prozentuale Zunahme des Salienz-Präferenz-Urteils  $p$  bzw. eine damit einhergehende konstante Zunahme der Salienz zu erlangen.

Dieser Sachverhalt ist in der unteren Grafik von Abb. 10.13 (Bedingung B) veranschaulicht. Die Steigung der beispielhaft eingezeichneten Salienz-Präferenz-Funktionen im Salienz-Matchingwert ( $PR(x) = 0.5$ ) variiert in dieser Grafik in Abhängigkeit von den Salienzwerten der Skala. Je größer die Salienzwerte, desto größer die Steigung der Salienz-Präferenz-Funktion. Zu erkennen ist, dass bei der ganz linken und der ganz rechten Funktion der Bedingung B, der für eine konstante prozentuale Zunahme des Salienz-Präferenz-Urteils  $p$  notwendige Salienschritt  $s$  sich deutlich unterschei-

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.13:** Zwei beispielhafte Fälle für die Variation der Steigung der Salienz-Präferenz-Funktion in Abhängigkeit von der Salienz. Erläuterungen siehe Text.

det ( $s_1 \neq s_2$ ). Ziel der Differenzskalierung von Merkmalssalienz ist jedoch die Konstruktion einer Salienzskala, bei der ein Salienzschritt auf der Skala (z.B. 1 jnd) eine vom Salienzwert unabhängigen konstante Zunahme der Salienz abbildet. Lässt sich, wie beispielsweise in der unteren Grafik von Abb. 10.13 (Bedingung B), eine Variation der Steigung der Salienz-Präferenz-Funktion im Salienz-Matchingwert abhängig vom Salienz-Matchingwert finden, lässt sich schlussfolgern, dass das gewünschte Ziel nicht erreicht wurde. Weist die Salienzskala hingegen eine konstante Einheit der Salienz auf, sollte sich keine Variation der Steigung der Salienz-Präferenz-Funktion im Salienz-Matchingwert in Abhängigkeit vom Salienz-Matchingwert der Skala zeigen. Die obere Grafik von Abb. 10.13 (Bedingung A) veranschaulicht diesen gewünschten Fall.

**Bestimmung der Streuung der Salienz-Präferenz-Funktionen** Für die beiden Matchingbedingungen OR\_konstant und SF\_konstant wurde geprüft, ob die Steigung der Salienz-Präferenz-Funktion im Salienz-Matchingwert in Abhängigkeit vom Salienz-Matchingwert variiert. Dazu wurden die Daten der einzelnen CMM-Messungen mit der Verteilungsfunktion der Normalverteilung beschrieben, d.h. für die Salienz-Präferenz-

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER  
 GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

Funktion ergibt sich:

$$PR(R_A(x)) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{R_A(x)} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)^2\right) dt. \quad (10.4)$$

$PR(R_A(x))$  gibt die prozentuale Häufigkeit an, mit der der Merkmalskontrast  $x$  einer Versuchsbedingung  $A$  als salienter im Vergleich zu dem konstant gehaltenen Merkmalskontrast einer Versuchsbedingung  $B$  beurteilt wird.  $\mu$  und  $\sigma$  sind freie Parameter der Funktion, die unter Verwendung des Kleinstquadratkriteriums für die jeweiligen Messdaten bestimmt wurden.  $\mu$  gibt den Salienz-Matchingwert  $R_A(SM)$  an und  $\sigma$  die Streuung der Funktion. Die Streuung  $\sigma$  steht in einem umgekehrt proportionalen Zusammenhang zur Steigung der Funktion im Salienz-Matchingwert  $R_A(SM)$ . Um diesen Zusammenhang zu zeigen, betrachte man die Ableitung der Salienz-Präferenz-Funktion

$$PR'(R_A(x)) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{R_A(x) - R_A(SM)}{\sigma}\right)^2\right) \quad (10.5)$$

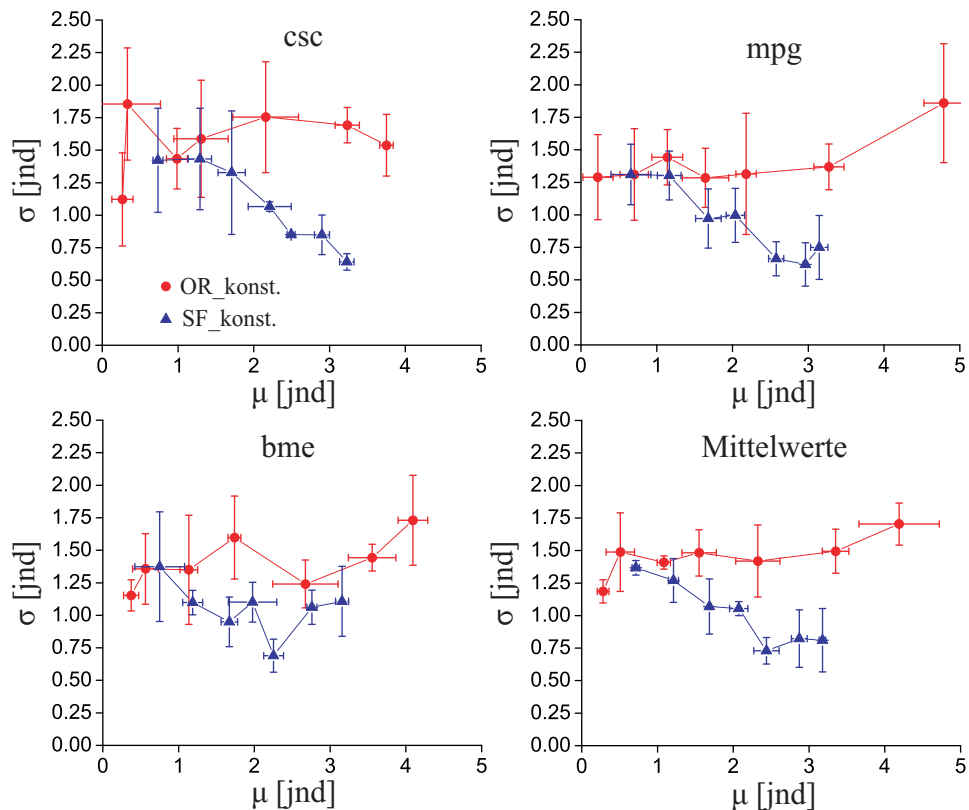
im Salienz-Matchingwert  $R_A(SM)$ :

$$PR'(R_A(SM)) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}. \quad (10.6)$$

Daraus folgt: Je größer die Streuung  $\sigma$ , desto kleiner die Steigung im Salienz-Matchingwert der Funktion. Als Maß für die Steigung wird deshalb im Weiteren die Streuung der Funktion verwendet, die sich unmittelbar aus der Schätzung des freien Parameters  $\sigma$  ergibt. Bei der Weibull-Funktion, die bei der bisherigen Auswertung zur Bestimmung der Salienz-Matchingwerte verwendet wurde, ist die Steigung hingegen von den beiden zu schätzenden Parametern  $g$  und  $k$  abhängig. Aus diesem Grund wurde hier zur Bestimmung der Steigung der Salienz-Präferenz-Funktionen im Salienz-Matchingwert bzw. eines dazu adäquaten Maßes die Verteilungsfunktion der Normalverteilung verwendet. Für die Bestimmung der Salienz-Matchingwerte spielt die Wahl der Funktion in der Mehrzahl der Fälle keine Rolle, da beide Funktionen die Messdaten gut beschreiben. Es kommt lediglich in einzelnen Fällen vor, dass Messdaten durch eine der beiden Funktionen besser beschrieben werden, wodurch sich zu vernachlässigende Abweichungen bei der Bestimmung der Salienz-Matchingwerte ergeben können.

Mittels der Verteilungsfunktion der Normalverteilung wurden für jede CMM-Messung die Parameter  $\mu$  (Salienz-Matchingwert) und  $\sigma$  (Streuung der Salienz-Präferenz-Funktion) bestimmt. Anschließend wurden die Ergebnisse über die drei durchgeführten Messungen pro konstant gehaltenem Merkmalskontrast gemittelt. Die Ergebnisse dieser gemittelten Werte sowie die jeweilige Streuung um diese Mittelwerte sind in Abb. 10.14

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.14:** Streuung der Salienz-Präferenz-Funktionen. Streuung der Salienz-Präferenz-Funktion  $\sigma$  in Abhängigkeit vom Salienz-Matchingwert  $\mu$  für die beiden Matchingbedingungen OR\_konstant (rote Kreise) und SF\_konstant (blaue Dreiecke). Jeder einzelne Punkt stellt einen Mittelwert aus drei Messwerten dar. Die Balken geben die Streuung der Messwerte um diesen Mittelwert an. In der unteren rechten Grafik sind die über die Versuchspersonen gemittelten Messwerte und deren Streuungen angegeben. Die eingezeichneten Verbindungen zwischen benachbarten Salienz-Matchingwerten einer Matchingbedingung dienen zur besseren Beurteilung der Veränderung der Streuung  $\sigma$  in Abhängigkeit vom Salienz-Matchingwert  $\mu$ .

dargestellt. Die beiden oberen Abbildungen und die Abbildung unten links stellen die Ergebnisse jeweils einer Versuchsperson dar, die Abbildung unten rechts zeigt die über alle Versuchspersonen gemittelten Ergebnisse. Wie den Grafiken zu entnehmen ist, zeigt sich bei allen Versuchspersonen ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Matchingbedingungen OR\_konstant und SF\_konstant. Betrachtet man den gemittelten Trend, wird deutlich, dass die Streuung der Salienz-Präferenz-Funktionen in der Matchingbedingungen OR\_konstant weitestgehend über den gesamten skalierten Salienzbereich konstant bleibt, während in der Matchingbedingung SF\_konstant eine deutliche Abnahme der Streuung mit größer werdendem Salienz-Matchingwert auftritt. Da die

## 10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

Ergebnisse der Matchingbedingung OR konstant etwas über die Salienzskalierung des in diesen Messungen variierten Ortsfrequenzkontrasts aussagen und die Ergebnisse der Matchingbedingung SF konstant entsprechend etwas über die Skalierung des Orientierungskontrasts, lässt sich folgendes schlussfolgern:

- Die Salienzskala  $R_\omega$  der Versuchsbedingung SF hat eine konstante Salienzeinheit, denn die Steigung der Salienz-Präferenz-Funktion (und damit auch die Steigung der Salienz-Präferenz-Funktion im Salienz-Matchingwert) variiert in der Matchingbedingung OR konstant nur geringfügig in Abhängigkeit von den Salienz-Matchingwerten. 1 jnd gibt auf der gesamten Skala eine konstante Zunahme der Salienz an.
- Die Salienzskala  $R_\phi$  der Versuchsbedingung OR weist hingegen keine konstante Salienzeinheit auf, denn die Steigung der Salienz-Präferenz-Funktion nimmt in der Matchingbedingung SF konstant mit größer werdendem Salienz-Matchingwert ab, d.h. die Steigung der Salienz-Präferenz-Funktion im Salienz-Matchingwert nimmt mit größer werdendem Salienz-Matchingwert zu. 1 jnd bei einem kleinen Salienzwert (z.B. von 1 nach 2) bedeutet eine geringere Zunahme der Salienz als 1 jnd bei einem großen Salienzwert (z.B. von 3 nach 4).

Genau diese Variation zwischen den beiden Versuchsbedingungen OR und SF führt zu dem leicht gebogenen Verlauf der CMM-Funktion, denn mit größer werdenden Salienzwerten ist auf der Salienzskala  $R_\omega$  des Merkmals Ortsfrequenz ein wesentlich größerer Salienschritt im Vergleich zur Salienzskala  $R_\phi$  des Merkmals Orientierung notwendig um eine gleich große Zunahme der Salienz zu erlangen.

Im Folgenden wird gezeigt, dass die Messdaten der CMM-Messungen, genauer gesagt der Verlauf der CMM-Funktion sehr gut über die zwischen den beiden Matchingbedingungen bestehenden Differenzen der Streuungen der Salienz-Präferenz-Funktionen bei "gleich salienten" Salienz-Matchingwerten<sup>35</sup> erklärt werden kann.

**Vorhersage des Verlaufs der CMM-Funktion** Wie bereits weiter oben erläutert, gibt die Steigung der Salienz-Präferenz-Funktion bzw. die Steigung dieser Funktion im Salienz-Matchingwert an, wie groß der Salienschritt  $s$  im Bereich des Salienz-Matchingwertes der Skala sein muss, damit eine konstante prozentuale Zunahme des Salienz-Präferenz-Urteils  $p$ , d.h. eine konstante Zunahme der Salienz erreicht wird. Nimmt die Streuung  $\sigma$  zwischen zwei Salienz-Matchingwerten  $\mu_i$  und  $\mu_j$  um einen

---

<sup>35</sup>Welche Salienz-Matchingwerte bzw. zu diesen Werten korrespondierenden Merkmalskontraste als gleich salient wahrgenommen werden, wird über die CMM-Funktion angegeben.

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER  
 GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

bestimmten Wert  $\Delta\sigma (= \sigma_i - \sigma_j)$  ab, dann ist im Bereich des Salienz-Matchingwertes  $\mu_j$  ein vergleichsweise kleinerer Salienzschritt  $s_j$  notwendig, um die gleiche Zunahme der Salienz  $p$  zu erzielen. Eine Differenz in der Streuung zwischen zwei Salienz-Matchingwerten  $\Delta\sigma$  ist somit mit einer spezifischen Differenz des für eine konstante Zunahme der Salienz notwendigen Salienzschrittes  $\Delta s (= s_i - s_j)$  verbunden. Entscheidend ist, dass dieser Zusammenhang zwischen  $\Delta\sigma$  und  $\Delta s$  unabhängig von der Größe der Streuungen ist. Dieser Sachverhalt wird im Folgenden an einem Beispiel verdeutlicht: Die betrachtete konstante prozentuale Zunahme des Salienz-Präferenz-Urteils im Bereich eines Salienz-Matchingwertes sei 50% , d.h.

$$p = PR(s_o) - PR(s_u) = 0.75 - 0.25 = 0.5, \quad (10.7)$$

wobei  $s_o - s_u = s$ , d.h.  $s_o$  ist in diesem Beispiel der Salienzwert, der zum 75%-Punkt einer Salienz-Präferenz-Funktion korrespondiert und  $s_u$  ist der Salienzwert, der zum 25%-Punkt dieser Salienz-Präferenz-Funktion korrespondiert und die Differenz dieser Salienzwerte  $s_o - s_u$  gibt den im Bereich des Salienz-Matchingwertes  $\mu$  für eine Zunahme des Salienz-Präferenz-Urteils von 25 auf 75% notwendigen Salienzschritt  $s$  an. Die Differenz der Streuung  $\Delta\sigma$  zwischen zwei Salienz-Präferenz-Funktionen sei 0.3. Ist beispielsweise  $\sigma_1 = 0.5$  und  $\sigma_2 = 0.8$ , dann ist  $\Delta s = 0.4$ . Ist  $\sigma_1 = 0.8$  und  $\sigma_2 = 1.1$ , dann ist ebenfalls  $\Delta s = 0.4$ . Ein spezifischer Unterschied in der Streuung zwischen zwei Salienz-Präferenz-Funktionen  $\Delta\sigma$  führt also unabhängig von der absoluten Größe der Streuungen zu einem spezifischen Unterschied in der Größe des für eine festgelegte Zunahme des Salienz-Präferenz-Urteils  $p$  notwendigen Salienzschrittes  $\Delta s$ .

Betrachtet man folglich die Entwicklung der Differenz der Streuungen *zwischen den beiden Matchingbedingungen* in Abhängigkeit von „gleich salienten“ Salienz-Matchingwerten, so sollte dies ein adäquates Maß sein, um das Verhältnis der Zunahme der Salienz mit größer werdendem Salienzwert der beiden Salienzskalen, d.h. den Verlauf der CMM-Funktion vorhersagen zu können.

Verändert sich die Streuung der Salienz-Präferenz-Funktionen der beiden Matchingbedingungen in einem bestimmten Salienzwertebereich mit größer werdendem Salienz-Matchingwert in gleicher Weise (paralleler Verlauf der für jede Matchingbedingung eingezeichneten Verbindungen zwischen zwei benachbarten Salienz-Matchingwerten in Abb. 10.14), d.h. die Differenz der Streuungen zwischen den beiden Matchingbedingungen ist in diesem Bereich konstant, dann ist zu erwarten, dass die CMM-Funktion in diesem Salienzwertebereich linear ist. Begründung: Bei konstanter Differenz der Streuungen der für die beiden Matchingbedingungen bestimmten Salienz-Präferenz-Funktionen verändert sich die Salienz der einen Skala immer proportional zur Salienz der anderen Skala. Die Steigung der CMM-Funktion dürfte sich folglich in dem Bereich nicht



## 10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

verändern, in dem die Streuungen der Salienz-Präferenz-Funktionen der beiden Matchingbedingungen sich mit größer werdendem Salienz-Matchingwert in gleicher Weise (parallel zu einander) verändern.

Verändert sich die Streuung der Salienz-Präferenz-Funktionen der beiden Matchingbedingungen in einem bestimmten Salienzwertebereich hingegen nicht parallel, sondern die Streuung der einen Matchingbedingung nimmt im Verhältnis zur Streuung der anderen Salienz-Matchingbedingung ab, dann sollte die CMM-Funktion einen gebogenen Verlauf aufweisen. Die Biegung muss derart sein, dass man auf der Salienzskala, bei der die Streuung der Salienz-Präferenz-Funktion im Verhältnis zur Streuung der anderen Skala mit größer werdendem Salienz-Matchingwert abnimmt, einen im Vergleich zur anderen Salienzskala kleiner werdenden Salienzwert vorwärts gehen muss, um auf der CMM-Funktion zu bleiben. Die Steigung der CMM-Funktion muss folglich in dem Salienzwertebereich, in dem die Streuung der Salienz-Präferenz-Funktionen einer Matchingbedingung im Verhältnis zur Streuung der Salienz-Präferenz-Funktionen der anderen Matchingbedingung mit größer werdendem Salienz-Matchingwert geringer wird, zu- bzw. abnehmen (abhängig davon, von welcher Skala die Streuung der Salienz-Präferenz-Funktion mit größer werdendem Salienz-Matchingwert verhältnismäßig kleiner wird).

**Vorhersage des Verlaufs der CMM-Funktion anhand der empirischen Daten** Der theoretisch erwartete Zusammenhang zwischen der Differenz der Streuungen der Salienz-Präferenz-Funktionen zwischen den beiden Matchingbedingungen bei „gleich salienten“ Salienz-Matchingwerten und der Steigung der CMM-Funktion wurde anhand der empirischen Daten geprüft. Dazu wurden zunächst die über die Verteilungsfunktion der Normalverteilung bestimmten Datenpunkte  $\mu$  der CMM-Messungen im von den beiden Salienzskalen  $R_\Phi$  und  $R_\omega$  aufgespannten Salienzraum mit einer Potenzfunktion  $P(x) = ax^n$  beschrieben. Die Parameter  $a$  und  $n$  der Potenzfunktionen wurden über das Kleinstquadratkriterium geschätzt. Die Schätzungen wurden sowohl für die Daten der drei Versuchspersonen als auch für die über alle Versuchspersonen gemittelten Daten vorgenommen. Die so bestimmten CMM-Funktionen werden mit  $T$  für „Transducer“ abgekürzt. Die Ergebnisse der Parameterschätzungen sind als Funktionsgleichung in Abb. 10.15 dargestellt.

Die Differenz zwischen den Streuungen der Salienz-Präferenz-Funktionen der beiden Matchingbedingungen kann nur dann die Steigung und damit den Verlauf der CMM-Funktion vorhersagen, wenn von denjenigen Streuungen der Salienz-Matchingwerte  $\mu$  die Differenz gebildet wird, die laut der CMM-Funktion „gleich salient“ sind. Aus diesem Grund wurden die Salienz-Matchingwerte der Matchingbedingung SF konstant

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

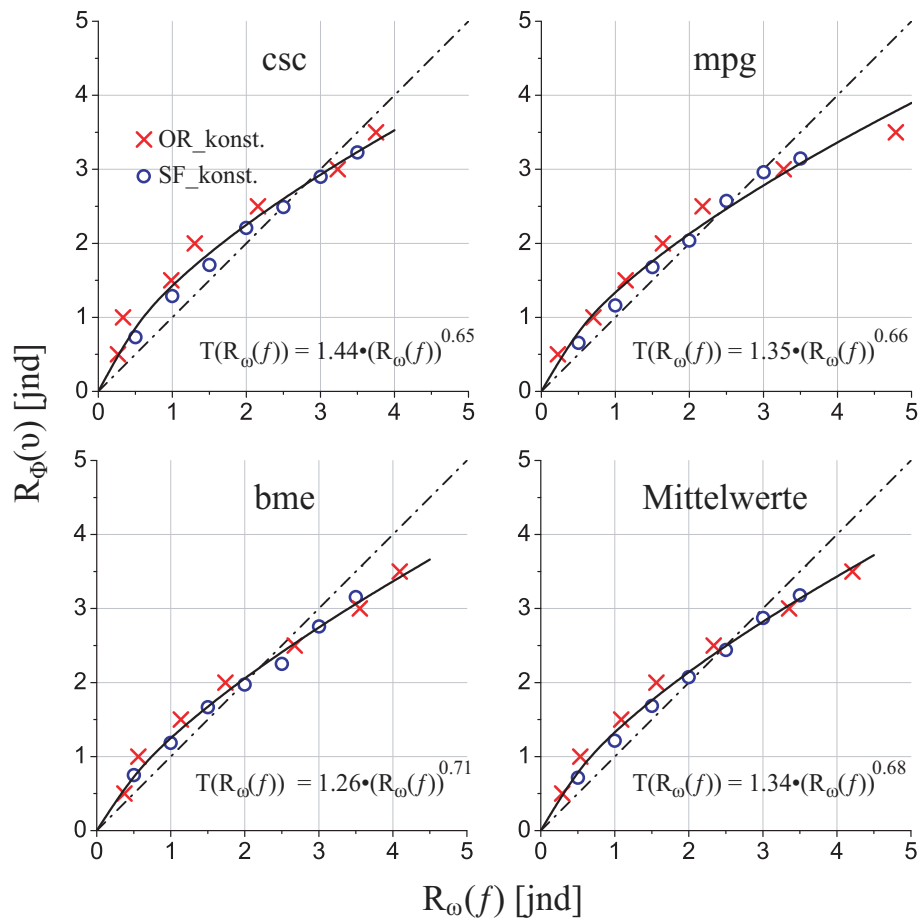
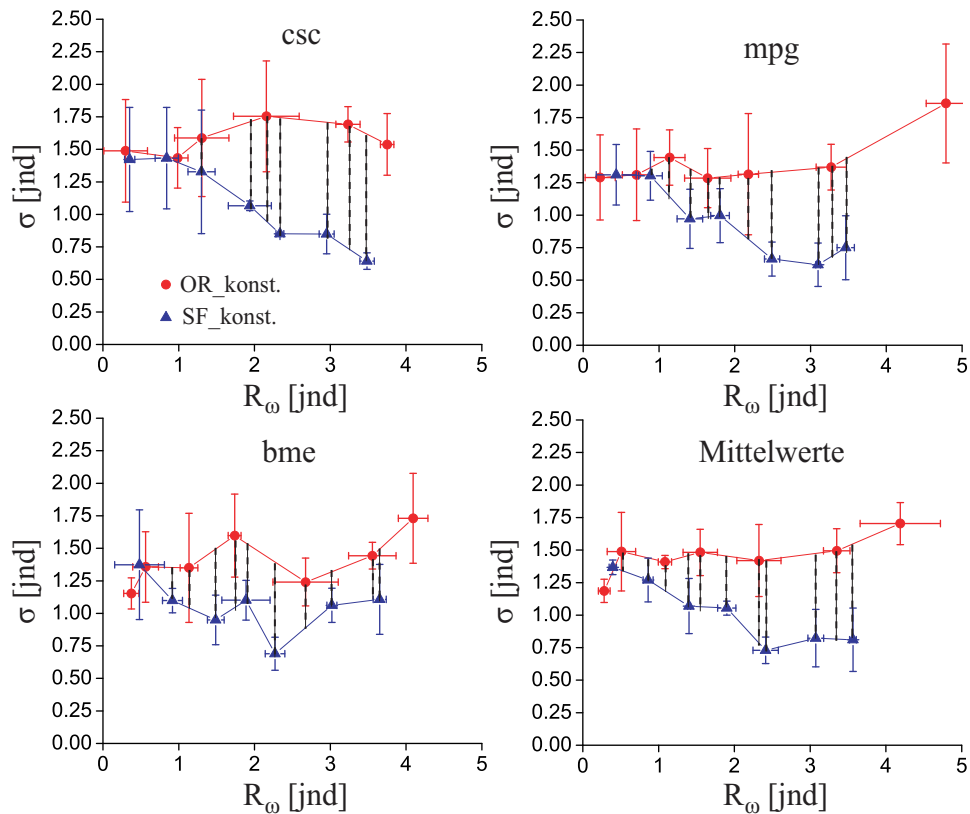


Abb. 10.15: Beschreibung der Messdaten der CMM-Messungen mit einer Potenzfunktion ( $T$  steht für „Transducer“). Erläuterungen der Grafiken s. Abb. 10.12 auf S. 155.

über die bestimmte Potenzfunktion in die Salienzwerte der Salienzskala der Versuchsbedingung SF ( $R_\omega$ ) transformiert. Abb. 10.16 zeigt die Ergebnisse. Die Entwicklung der Differenz der in dieser Abbildung enthaltenen Streuungen der Salienz-Präferenz-Funktionen der beiden Matchingbedingungen mit größer werdendem Salienz-Matchingwert ( $R_\omega$ ), sollte den Verlauf und damit die Steigung der CMM-Funktion vorhersagen. Weil die dargestellte Abhängigkeit der Streuung der Salienz-Präferenz-Funktion vom Salienz-Matchingwert in beiden Matchingbedingungen nur unzureichend durch eine Funktion beschrieben werden kann, wurden die Salienz-Matchingwerte beider Matchingbedingungen ausgewählt, um die Differenz der Streuungen in Abhängigkeit von den Salienz-Matchingwerten der Salienzskala zu bestimmen. Da bei den Salienz-Matchingwerten einer Matchingbedingung in der Regel kein Salienz-Matchingwert und damit auch kein Streuungswert der anderen Matchingbedingung vorlag, wurden zur Bildung der Dif-

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.16:** Streuung der Salienz-Präferenz-Funktionen nach Transformation der Salienz-Matchingwerte  $\mu$  der Matchingbedingung SF\_konstant in Salienzwerte der Salienzskala  $R_\omega$  des Merkmals Ortsfrequenz. Die durchgezogenen Linien stellen direkte Verbindungen benachbarter Salienz-Matchingwerte dar. Die (schwarzen) gestrichelten Linien zeigen die bestimmten Streuungsdifferenzen an. Für alle äußeren Datenpunkte (kleinster und größter Salienz-Matchingwert) der Matchingbedingung OR\_konstant konnte keine Streuung der Matchingbedingung SF\_konstant extrapoliert werden, so dass für diese Datenpunkte keine Differenz in der Streuung bestimmt werden konnte. Anmerkung: Die ersten beiden Salienz-Matchingwerte und die zugehörigen Streuungen der Versuchsperson csc in der Matchingbedingung OR\_konstant sind aufgrund ihrer minimalen Differenz  $\Delta\mu = 0.07$  zu einem Datenpunkt durch Mittelung von jeweils  $\mu$  und  $\sigma$  zusammengefasst worden. Diese Salienz-Matchingwerte waren bei dieser Versuchsperson beide kleiner als der kleinste Salienz-Matchingwert der Matchingbedingung SF\_konstant, so dass unabhängig von dieser Mittelung aus den Daten dieser Versuchsperson eine Streuungsdifferenz weniger bestimmt werden konnte.

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER  
 GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

**Tabelle 10.7:** Korrelation zwischen den Differenzen der Streuungen der Salienz-Präferenz-Funktionen der beiden Matchingbedingungen *OR\_konstant* und *SF\_konstant* bei den Salienz-Matchingwerten  $R_\omega$  ( $\Delta\sigma$ ) und der Steigung der CMM-Funktion in diesen Salienz-Matchingwerten ( $T'$ ).

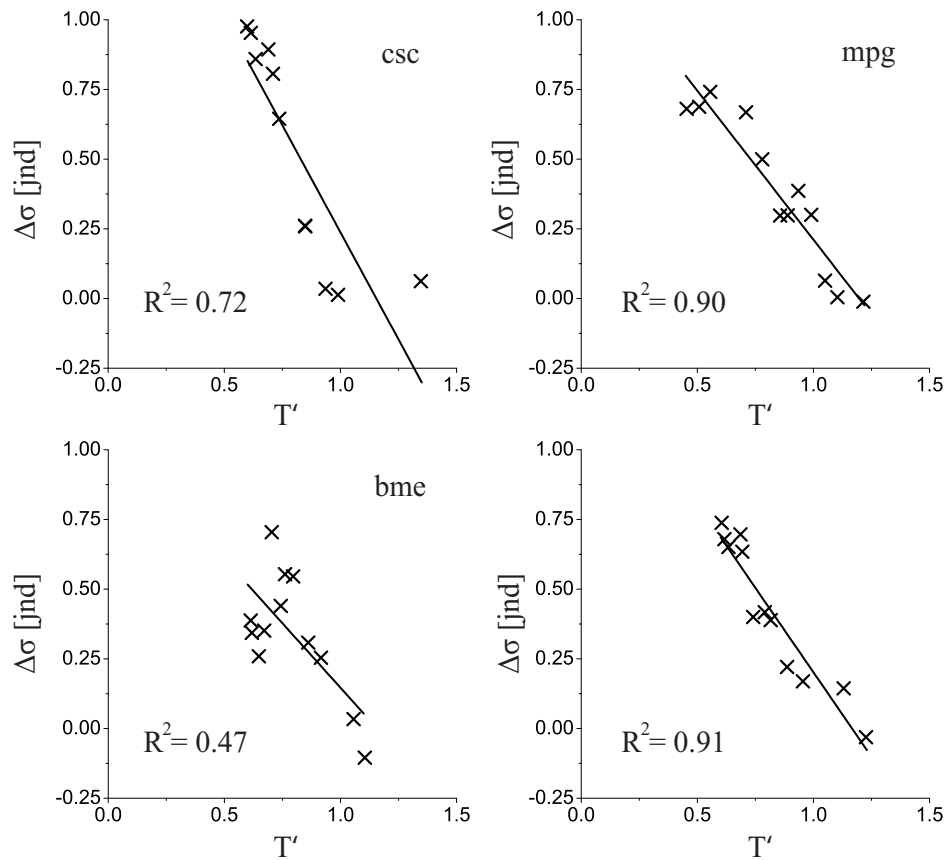
csc			mpg			bme			mittel		
$R_\omega$	$T'$	$\Delta\sigma$	$R_\omega$	$T'$	$\Delta\sigma$	$R_\omega$	$T'$	$\Delta\sigma$	$R_\omega$	$T'$	$\Delta\sigma$
0.35	1.35	0.06	0.44	1.21	-0.01	0.48	1.10	-0.10	0.39	1.23	-0.03
0.84	0.99	0.01	0.70	1.10	0.00	0.56	1.06	0.03	0.51	1.13	0.14
0.99	0.94	0.03	0.89	1.05	0.06	0.92	0.92	0.25	0.86	0.95	0.17
1.30	0.85	0.26	1.14	0.99	0.30	1.14	0.86	0.31	1.08	0.89	0.22
1.30	0.85	0.26	1.41	0.94	0.39	1.49	0.80	0.55	1.40	0.82	0.39
1.94	0.74	0.64	1.64	0.89	0.30	1.74	0.76	0.55	1.55	0.79	0.42
2.16	0.71	0.81	1.81	0.86	0.30	1.89	0.74	0.44	1.90	0.74	0.40
2.34	0.69	0.89	2.18	0.78	0.50	2.27	0.70	0.70	2.32	0.69	0.63
2.95	0.63	0.86	2.49	0.71	0.67	2.67	0.67	0.35	2.41	0.69	0.70
3.23	0.61	0.95	3.10	0.56	0.74	3.02	0.65	0.26	3.07	0.63	0.65
3.49	0.60	0.98	3.27	0.51	0.69	3.55	0.62	0.34	3.35	0.62	0.68
			3.46	0.45	0.68	3.65	0.61	0.39	3.57	0.60	0.74
$R = -0.85$			$R = -0.95$			$R = -0.69$			$R = -0.95$		

ferenzen Streuungswerte der jeweils anderen Matchingbedingung aus den Daten extrapoliert. Die Extrapolation wurde unter Verwendung eines linearen Trends zwischen zwei benachbarten Matchingwerten vorgenommen. In Abb. 10.16 werden die auf diese Weise bestimmten Differenzen der Streuungen der Salienz-Präferenz-Funktionen zwischen den beiden Matchingbedingungen durch die eingezeichneten gestrichelten Linien repräsentiert.

Die Tabelle 10.7 enthält für jede Versuchsperson und für die über alle Versuchspersonen gemittelten Datenpunkte die für die angegebenen Salienz-Matchingwerte  $R_\omega$  berechneten Streuungsdifferenzen  $\Delta\sigma$  sowie die Steigung der CMM-Funktion  $T'$  in diesen Punkten. Zudem ist die Korrelation angegeben, die die Stärke des Zusammenhangs zwischen den berechneten Streuungsdifferenzen und der Steigung angibt. In Abb. 10.17 ist dieser Zusammenhang grafisch veranschaulicht.

**Schlussfolgerungen** Die Höhe der Korrelationen zeigt, dass der Verlauf der CMM-Funktion sehr gut über die berechneten Streuungsdifferenzen der Salienz-Präferenz-Funktionen der beiden Matchingbedingungen erklärt werden kann. Dieses Ergebnis

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.17:** Grafische Veranschaulichung des Zusammenhangs zwischen den Differenzen der Streuungen der Salienz-Präferenz-Funktionen der beiden Matchingbedingungen OR\_konstant und SF\_konstant bei den Salienz-Matchingwerten  $R_\omega$  ( $\Delta\sigma$ ) und der Steigung der CMM-Funktion in diesen Salienz-Matchingwerten ( $T'$ ).

bestätigt, dass der leicht gebogene Verlauf der CMM-Funktion dadurch zustande kommt, dass die über die Schwellenmessungen der Differenzskalierung bestimmten JNDs zu keiner konstanten Zunahme der Salienz in der Versuchsbedingung OR führen. Die Salienzeinheit der in der Versuchsbedingung OR konstruierten Salienzskalen  $R_\phi$  ist nicht konstant. Mit größer werdendem Merkmalskontrast bewirkt 1 jnd eine immer größere Zunahme der Salienz.

Die Streuungen der Salienz-Präferenz-Funktionen der Matchingbedingung OR\_konstant variieren in Abhängigkeit vom Salienz-Matchingwert hingegen kaum, was für eine Konstanz der Salienzeinheit der Salienzskalen  $R_\omega$  der Versuchsbedingung SF spricht. Für die Salienzskalierung des Merkmals Ortsfrequenz kann folglich Verhältnisskalenniveau angenommen werden. Für die hier durchgeführte Skalierung des Merkmals Orientierung kann hingegen kein Verhältnisskalenniveau angenommen werden.

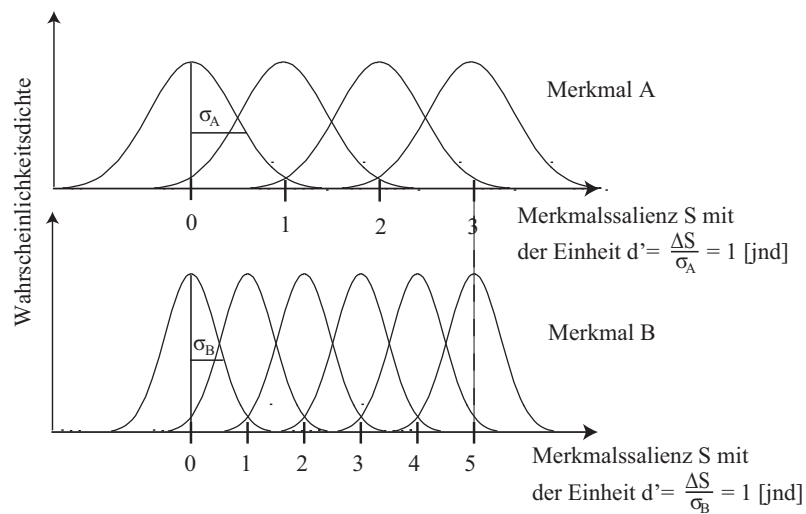
## 10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

Es stellt sich die Frage, warum die hier durchgeführte Differenzskalierung zu der gewünschten Konstanz der Salienzeinheit der für Ortsfrequenzkontrast konstruierten Salienzskalen, aber zu keiner Konstanz der Salienzeinheit der für Orientierungskontrast konstruierten Salienzskalen geführt hat. Eine mögliche Erklärung ist, dass sich das sensorische Rauschen der durch Ortsfrequenz- bzw. Orientierungskontrast aktivierten neuronalen Verarbeitungskanäle mit zunehmendem Merkmalskontrast unterschiedlich verhält. Die Ergebnisse können darüber erklärt werden, dass das sensorische Rauschen der durch Ortsfrequenzkontrast aktivierten Verarbeitungskanäle über den gesamten skalierten Merkmalskontrastbereich hinweg konstant ist und sich das sensorische Rauschen der durch Orientierungskontrast aktivierten neuronalen Kanäle in Abhängigkeit vom Orientierungskontrast verändert. Wie es sich in Abhängigkeit vom Orientierungskontrast verändern muss, damit sich eine Abnahme der Streuung der Salienz-Präferenz-Funktion (bzw. eine Zunahme der Steigung der Salienz-Präferenz-Funktion im Salienz-Matchingwert) mit größer werdendem Salienz-Matchingwert in der Matchingbedingung SF-konstant und damit verbunden auch eine Abnahme der Steigung der CMM-Funktion zeigt, wird im Folgendem diskutiert.

**Sensorisches Rauschen** Im vorangegangenen Experiment wurde das sensorische Rauschen als mögliche Ursache für eine Steigung der CMM-Funktion ungleich eins diskutiert. Das sensorische Rauschen bestimmt die Streuung  $\sigma$  der Salienz eines spezifischen Merkmalskontrast um einen Mittelwert. Es setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Zum einen wird es durch die neuronale Hintergrundaktivität (spontane Entladung von Neuronen) eines Verarbeitungskanals bestimmt, die dazu führt, dass die Salienz eines spezifischen Merkmalskontrasts (Orientierungs- bzw. Ortsfrequenzkontrast) bei einer spezifischen Merkmalsausprägung des anderen Merkmals (Ortsfrequenz bzw. Orientierung) variiert. Zum anderen wird es durch die Variation der Signalstärke eines spezifischen Merkmalskontrasts in Abhängigkeit von der Merkmalsausprägung des zweiten Merkmals bestimmt, also mit anderen Worten durch die Variation der Signalstärke zwischen verschiedenen neuronalen Kanälen.

Im vorangegangenen Experiment wurde gezeigt, dass, je größer das sensorische Rauschen der durch Merkmalskontrast angesprochenen neuronalen Kanäle ist, desto größer muss die Separation der Verteilung von Referenzreiz und Target sein, damit das festgelegte Schwellenkriterium erreicht wird (s. S. 127 f. in Abschnitt 9.4.3). Eine über die Schwellenmessungen bestimmte Zunahme der Salienz in der von allen Merkmalen geteilten Dimension Merkmalssalienz wird folglich umso größer, je größer das sensorische Rauschen ist. Abb. 10.18 zeigt erneut die Grafiken, die diesen Sachverhalt verdeutlichen.

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER



**Abb. 10.18:** Auswirkung des sensorischen Rauschens auf die Skalierung. Ist das sensorische Rauschen der neuronalen Kanäle, die durch Merkmalskontrast in einem Merkmal B aktiviert werden, geringer als das sensorische Rauschen der neuronalen Kanäle, die durch Merkmalskontrast in einem Merkmal A aktiviert werden, wird durch die Messung eines JNDs beim Merkmal A im Vergleich zum Merkmal B ein größerer Schritt auf dem invarianten Bezugscontinuum der Salienz zurückgelegt.

Ist im von zwei Salienskalen aufgespannten Saliensraum auf der Abszisse die Skala des Merkmals Ortsfrequenz abgetragen und auf der Ordinate die Skala des Merkmals Orientierung (so wie in allen Auswertungen dieser Arbeit), ergibt sich eine Steigung der CMM-Funktion kleiner eins, wenn die durch Orientierungskontrast aktivierten neuronalen Kanäle ein vergleichsweise größeres sensorisches Rauschen aufweisen. Wie aus Tabelle 10.7 zu entnehmen ist, nimmt die Steigung der in dem vorliegenden Experiment bestimmten CMM-Funktionen mit größer werdendem Salienswert immer weiter ab und fällt bereits bei einem Salienswert von  $R_\omega = 0.84$  unter eins. Stimmt die Annahme über die Auswirkung des sensorischen Rauschens, so zeigen die Ergebnisse, dass das sensorische Rauschen der neuronalen Kanäle, die durch Orientierungskontrast angesprochen werden, im Vergleich zu denen, die durch Ortsfrequenzkontrast angesprochen werden, mit größer werdendem Merkmalskontrast immer weiter zunimmt. In der Matchingbedingung SF\_konstant, in deren Auswertung der einzelnen Messungen mit der Saliens-Präferenz-Funktion die *Salienswerte* der konstruierten Skala  $R_\Phi$  einfließen, zeigt sich dann entsprechend mit größer werdendem Saliens-Matchingwert eine Zunahme der Steigung der Saliens-Präferenz-Funktion im Saliens-Matchingwert.

Es stellt sich die Frage, warum sich im vorangegangenen Experiment kein gebogener Verlauf der CMM-Funktion gezeigt hat und die Stärke des sensorischen Rauschens der

## 10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

neuronalen Kanäle, die durch Orientierungskontrast angesprochen wurden, genau wie das sensorische Rauschen der neuronalen Kanäle, die durch Ortsfrequenzkontrast angesprochen wurden, unabhängig von der Stärke des Merkmalskontrasts konstant war. Einzige Erklärung dafür ist, dass die Variation des sensorischen Rauschens durch die in dem vorliegenden Experiment größere Variation des Merkmals Ortsfrequenz bei der Skalierung der Salienz durch Orientierungskontrast zustande kommt. Um in dem vorliegenden Experiment die Gleichheit der Grundsalienz der Reizmuster der beiden Versuchsbedingungen zu gewährleisten, wurde die Ortsfrequenz bei der Skalierung des Merkmals Orientierung von 1 bis 5.6 cpd variiert (2.5 Oktaven). Im vorangegangenen Experiment variierte die Ortsfrequenz lediglich zwischen 1.77 und 3.54 cpd (1 Oktave). Die skalierten Orientierungskontraste traten im vorliegenden Experiment somit über einen größeren Bereich von Ortsfrequenzen auf, sind also über mehr Kanäle verarbeitet worden. Ist die größere Variation der Ortsfrequenz für die mit größer werdendem Orientierungskontrast angenommene Zunahme des sensorischen Rauschens verantwortlich, bedeutet das, dass größere Orientierungskontraste innerhalb dieser größeren Bandbreite von Ortsfrequenzen zu einer stärkeren Variation der Merkmalssalienz führen als vergleichsweise kleinere Orientierungskontraste.

Ist diese Erklärung korrekt, kann für den Fall, dass die Variation der Ortsfrequenz bei der Skalierung von Orientierungssalienz stärker begrenzt wird, nach wie vor eine Konstanz der über die Schwellenmessungen bestimmten sensorischen Empfindungsschritte der Skala und damit Verhältnisskalenniveau angenommen werden.

Alle in diesem und im vorangegangenen Experiment über das sensorische Rauschen erklärten Ergebnisse beruhen auf der Annahme, dass die Gültigkeit der Annahme Fechners von der Konstanz des sensorischen Rauschens abhängt. Mit anderen Worten, es wird angenommen, dass über die Schwellenmessung genau dann ein konstanter sensorischer Empfindungsschritt bestimmt wird, wenn sich die Stärke des sensorischen Rauschens nicht zwischen den Schwellenmessungen unterscheidet.

Die in den Experimenten dieser Arbeit durchgeführte Auswertung der Schwellenmessungen ist bzgl. des sensorischen Rauschens an eine Voraussetzung gebunden. Bei den durchgeführten Auswertungen der Schwellenmessungen wurde die Signalentdeckungstheorie angewendet, die die Gleichheit der Varianz von Referenzreiz- und Target-Verteilung voraussetzt (s. Anhang A). Wenn die in diesem Experiment diskutierten Interpretationen korrekt sind, d.h., dass sich das sensorische Rauschen bei Orientierungskontrasten mit der Stärke der Orientierungskontraste verändert, ist es möglich, dass in diesem Fall die Voraussetzung der Gleichheit der Varianz von Referenzreiz- und Target-Verteilung zum Teil verletzt gewesen ist. Bei einer Schwellenmessung werden immer Merkmalskontraste miteinander verglichen, die sich bezüglich der Reizstärke nicht all-



## 10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

zu sehr unterscheiden, so dass jedoch davon ausgegangen werden kann, dass bei den Schwellenmessungen die Voraussetzung der Gleichheit der Varianz von Referenzreiz- und Target-Verteilung nicht besonders stark verletzt gewesen sein kann. Für zukünftige Untersuchungen ist aber für entsprechende Versuchsbedingungen zu empfehlen, dass zur Bestimmung der Schwellen eine Messmethode und Auswertung verwendet wird, die die Voraussetzung der Gleichheit der Varianz von Referenzreiz- und Target-Verteilung nicht benötigt.

### 10.4.3 Merkmalsunabhängige Saliensskalierung

Da die Analyse der Steigung der Saliens-Präferenz-Funktionen im Saliens-Matchingwert darauf schließen lässt, dass die Saliensskala der Versuchsbedingung SF eine konstante Salienseinheit hat und zudem die Ergebnisse der CMM-Messungen zeigen, dass die über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Saliensskalen einen gemeinsamen, festen Nullpunkt haben (s. Abschnitt 10.4.1), kann für die in der Versuchsbedingung SF konstruierte Saliensskala  $R_\omega$  Verhältnisskalenniveau angenommen werden. Auf dieser Skala dürfen folglich Verhältnisse von Salienswerten interpretiert werden.

Salienswerte der in der Versuchsbedingung OR konstruierten Saliensskala  $R_\phi$  können über die Potenzfunktion in Salienswerte der Saliensskala  $R_\omega$  der Versuchsbedingung SF umgerechnet und dadurch auf einer gemeinsamen merkmalsunabhängigen Saliensskala mit Verhältnisskalenniveau abgebildet werden. Auf dieser gemeinsamen Saliensskala dürfen dann Verhältnisse von Salienswerten interpretiert werden, die sowohl die Auffälligkeit einer durch Ortsfrequenzkontrast als auch die Auffälligkeit einer durch Orientierungskontrast erzeugten Texturfigur abbilden.

### 10.4.4 Merkmalsunabhängiger Sättigungsmechanismus

Zur Beantwortung der Untersuchungsfrage, ob es einen merkmalsunabhängigen Mechanismus im visuellen System gibt, der eine weitere Steigerung der internen Antwort durch Merkmalskontrast unterbindet, wenn bereits durch den bestehenden Merkmalskontrast genug Hinweise für die Existenz getrennter Oberflächen vorliegt, wurden die Salienswerte der Saturationspunkte der Versuchsbedingung OR über die bestimmten CMM-Funktionen  $T$  (s. Abb. 10.15) in Salienswerte der Saliensskala  $R_\omega$  der Versuchsbedingung SF umgerechnet<sup>36</sup>. Die resultierenden Salienswerte der Saturationspunkte der Versuchsbedingung OR sowie die Salienswerte der Saturationspunkte der Versuchsbedingung SF sind in Tabelle 10.8 zu sehen.

---

<sup>36</sup>Die Potenzfunktionen mussten dazu nach  $R_\omega$  umgestellt werden.

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

**Tabelle 10.8:** Salienz der Saturationspunkte der Skalen der beiden Versuchsbedingungen OR und SF in der jnd-Einheit der Skala des Merkmals Ortsfrequenz  $R_\omega$ .

	csc	mpg	bme	Mittelwert
OR	1.6	1.6	1.9	1.7
SF	5.5	4.7	4.6	4.9

Wie der Tabelle zu entnehmen ist, liegt der Mittelwert der über Orientierungskontrast erzeugten Salienz der quadratischen Texturfigur des in Abschnitt 10.2.4 definierten Saturationspunktes der Funktion bei einem Salienzwert von 1.7. Wird hingegen die Salienz der quadratischen Texturfigur über Ortsfrequenzkontrast erzeugt, beginnt gemittelt über alle Versuchspersonen die Sättigung der Salienzfunktion erst bei einem merkmalsunabhängigen Salienzwert von 4.9. Die Auffälligkeit der quadratischen Texturfigur in dem Punkt, in dem die Salienzfunktion zu sättigen beginnt, ist somit bei Ortsfrequenzkontrast im Durchschnitt 2.9 mal größer als bei Orientierungskontrast. Daraus lässt sich schließen, dass es keinen merkmalsunabhängigen Mechanismus im visuellen System gibt, der eine weitere Steigerung der internen Antwort durch Merkmalskontrast unterbindet, wenn bereits beim bestehenden Merkmalskontrast die vorliegenden Merkmalsausprägungen des Vorder- und Hintergrundes eines visuellen Reizmusters unterschiedlichen Oberflächen zugeordnet werden können. Was genau die Saturation der internen Antwort auf Merkmalskontrast verursacht, kann mit den Ergebnissen dieser Untersuchung nicht beantwortet werden. Als Ursache für die Saturation der Salienzfunktion kann jedoch entgegen der Annahme von Motoyoshi und Nishida (2001) kein Mechanismus angenommen werden, der Teil eines ökonomisch arbeitenden visuellen Systems ist, in dem keine Prozesse ohne funktionelle Bedeutung ablaufen (s. Abschnitt 10.1.3).

**Salienzvergleich der maximalen Merkmalskontraste** Wichtig ist, dass für den Vergleich des Saturationsverhaltens der Salienzskalen der beiden Versuchsbedingungen ein von den beiden Versuchsbedingungen unabhängiger Punkt auf der Funktion definiert wird (hier der Saturationspunkt). Der maximale Merkmalskontrast der beiden Versuchsbedingungen ist nicht merkmalsunabhängig definierbar und kann deshalb nicht zur Beantwortung der Untersuchungsfrage verwendet werden. Während Orientierungskontrast ein natürliches Maximum bei 90 Grad hat, hat der Ortsfrequenzkontrast hingegen kein natürliches Maximum (s. Kapitel 7.1). Der maximale Ortsfrequenzkontrast wurde in der vorliegenden Untersuchung auf 1.25 Oktaven begrenzt, damit die Bandbreite des Ortsfrequenzbereichs, bei der Orientierungskontrast in der Versuchsbedingung OR generiert

10 EXPERIMENT 4: KREUZVALIDIERUNG DER DIFFERENZSKALIERUNG  
 DER SALIENZ EINER DURCH ORIENTIERUNGS- ODER  
 ORTSFREQUENZKONTRAST GEBILDETEN TEXTURFIGUR BEI GLEICHER  
 GRUNDSALIENZ DER TEXTURREIZMUSTER

**Tabelle 10.9:** Salienz des maximalen Orientierungskontrasts von 90 Grad (OR) und des maximal einstellbaren Ortsfrequenzkontrasts von 1.25 Oktaven (SF) in der jnd-Einheit der Skala des Merkmals Ortsfrequenz  $R_\omega$ .

	csc	mpg	bme	Mittelwert
OR	4.3	5.6	5.3	5.1
SF	5.9	5.7	5.9	5.8

wurde, nicht zu groß wurde (s. Abschnitt 10.2.3).

Interessant ist der Vergleich der Salienz des jeweils maximalen Merkmalskontrasts der beiden Versuchsbedingungen unabhängig von der Beantwortung der Untersuchungsfragen dieses Experiments. Deshalb sind in Tabelle 10.9 die Salienzwerte der maximalen Merkmalskontraste der beiden Versuchsbedingungen in Einheiten der Salienzskala  $R_\omega$  angegeben. Wie der Tabelle zu entnehmen ist, ist die Differenz der Mittelwerte der Salienz der beiden maximal verwendeten Merkmalskontraste nicht allzu groß (5.1 jnd bei 90 Grad Orientierungskontrast und 5.8 jnd bei 1.25 oct Ortsfrequenzkontrast). Das bedeutet, dass die über den jeweils maximalen Merkmalskontrast erzeugte Salienz sich kaum zwischen den beiden Versuchsbedingungen unterschied. Dadurch standen in den CMM-Messungen für große konstant gehaltene Merkmalskontraste in beiden Matchingbedingungen immer Vergleichskontraste der anderen Versuchsbedingung zur Verfügung, die im Vergleich zum konstant gehaltenen Merkmalskontrast auffälliger waren, wodurch auch für diese großen Merkmalskontraste in beiden Matchingbedingungen eine Salienz-Präferenz-Funktion bestimmt werden konnte.

## 11 Modellierung

In Kapitel 5.2 wurde ein Filter-Rectifier-Filter-Modell (FRF-Modell) vorgestellt, von dem zu erwarten ist, dass es alle für die Verarbeitung von Merkmalskontrast relevanten Verarbeitungsstufen des visuellen Systems durch mathematische Funktionen beschreibt. In den beiden folgenden Abschnitten 11.1 und 11.2 wird anhand der in Experiment drei und vier gewonnen Messdaten geprüft, inwieweit die experimentellen Ergebnisse über das FRF-Modell erklärt werden können.

In Abschnitt 11.1 werden Ergebnisse der Simulation von Messdaten des vierten Experiments gezeigt, die dafür sprechen, dass für die nichtlineare Transformation  $R$ , die auf den nichtlinearen Prozess des FRF-Modells folgt (s. Gleichung (5.3) auf S. 51) zur Vorhersage der experimentell bestimmten Salienzfunktionen eine Funktion des Nakarushon-Typs benötigt wird.

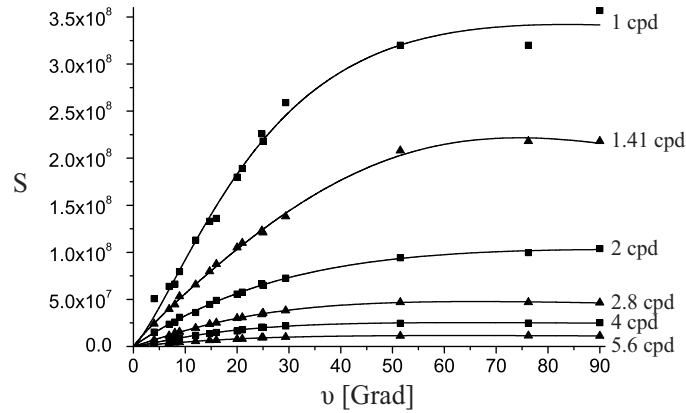
In Abschnitt 11.2 werden die Ergebnisse von Experiment drei und vier miteinander verglichen, um die Auswirkung des Merkmalsjitters im bei der Skalierung variierten und nicht variierten Merkmal auf die experimentell bestimmten Salienzfunktionen zu zeigen. Der Vergleich macht deutlich, dass zwei Gruppen von Verarbeitungspfaden im visuellen System existieren müssen; zum einen eine Gruppe von Verarbeitungspfaden, innerhalb der eine Integration von Orientierungsinformationen über alle Ortsfrequenzen erfolgt, und zum anderen eine Gruppe von Verarbeitungspfaden, innerhalb der eine Integration von Ortsfrequenzinformationen über alle Orientierungen erfolgt. Diese zwei Gruppen von Verarbeitungspfaden wurden bereits von Olzak und Thomas (1999) zur Erklärung ihrer Ergebnisse von Maskierungs- und Merkmalssummutations-Experimenten angenommen (s. Kapitel 5.1). Sie werden hier als Summationskanäle bezeichnet. Das in Kapitel 5.2 vorgestellte FRF-Modell von Meinhardt und Persike (submitted) wurde in einer Version um diese Summationskanäle erweitert (s. Kapitel 5.3). Um zu überprüfen, ob über das ursprüngliche oder das um die Summationskanäle erweiterte FRF-Modell die Auswirkungen des Merkmalsjitters auf die Salienzskalierung besser beschrieben werden können, werden in Unterkapitel 11.2 Ergebnisse von Simulationen beider Versionen gezeigt.

Am Ende dieses Kapitels, in Abschnitt 11.3, sind Modelldetails, wie z.B. die Streuung des second-order Filters, angegeben, die für alle in diesem Kapitel beschriebenen Simulationsbedingungen identisch waren.

### 11.1 Rectifier

**Orientierungskontrast** Für eine Reihe von Orientierungskontrasten, die sich über den gesamten skalierten Merkmalskontrastbereich von 0 bis 90 Grad verteilten, wurde

## 11 MODELLIERUNG



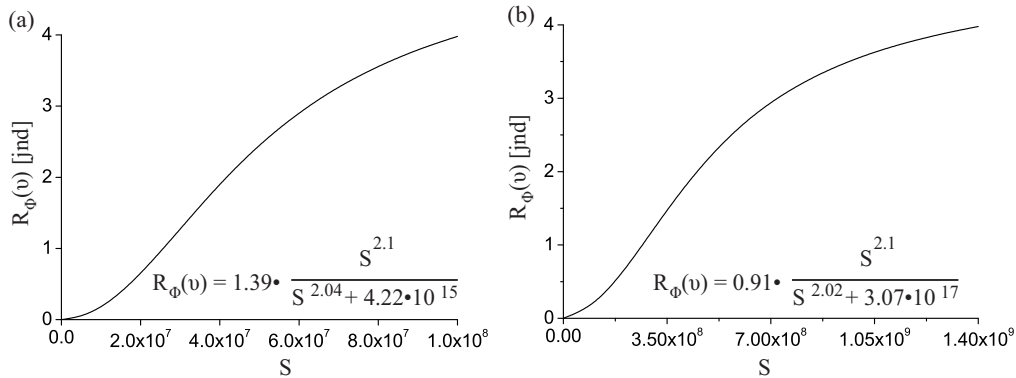
**Abb. 11.1:** Modelloutput  $S$  in Abhängigkeit vom Orientierungskontrast  $v$  für verschiedene Ortsfrequenzen der Gaborreize. Der Exponent der räumlichen Summierung war  $k = 3$ .  $D_{BB}$  und damit auch  $Q_B$  waren gleich null, da kein Merkmalsjitter in den Reizmustern enthalten war. Für  $S$  wurde das Maximum von  $D_{TB}$  bestimmt, d.h. die Ergebnisse entsprechen qualitativ einer Wahl von  $p \rightarrow \infty$ . Der Modelloutput bei jeder Ortsfrequenz wurde mit einer Naka-Rushton-Funktion beschrieben.

der Output  $S$  (Gleichung (5.8) auf S. 53) des FRF-Modells bestimmt, wobei die nicht-lineare Funktion  $R$  in Gleichung (5.3) auf S. 51 nicht zur Berechnung von  $S$  verwendet wurde. Die Ortsfrequenz aller Gaborreize wurde dabei in sechs Stufen variiert und zwar von der niedrigsten experimentell verwendeten Ortsfrequenz von 1 cpd bis zur größten experimentell verwendeten Ortsfrequenz von 5.6 cpd in 0.5 Oktavschritten. Die Orientierung der Hintergrundelemente wurde in allen berechneten Bedingungen konstant gehalten (senkrechte Orientierung). Für jede der sieben Ortsfrequenzen wurde somit eine Funktion bestimmt, die die von dem Modell berechnete Salienz  $S$  in Abhängigkeit von der Stärke des Orientierungskontrasts  $v$  abbildet. Diese Funktionen sind in Abb. 11.1 dargestellt. Zur Berechnung von  $S$  wurde der Exponent der räumlichen Summierung (Gleichung (5.5) auf S. 52) auf  $k = 3$  gesetzt. Da kein Merkmalsjitter in den Reizmustern enthalten war, war die lokale Differenz des Merkmalskontrasts im Hintergrund  $D_{BB}$  immer gleich null und entsprechend war auch die durch Merkmalskontrast erzeugte Salienz des Hintergrunds  $Q_B$  gleich null.  $S$  wurde dann über

$$\text{Max}[D_{TB}(\theta, \lambda)] \quad (11.1)$$

bestimmt, d.h. die Ergebnisse entsprechen qualitativ den Ergebnissen, wenn der Summationsexponent  $p \rightarrow \infty$  geht (Du Buf, 1992; Meinhardt, 1999). In Abb. 11.1 ist zu erkennen, dass sich die Stärke der vom Modell berechneten Salienz  $S$  für einen bestimmten Orientierungskontrast  $v$  in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz der Gaborreize

## 11 MODELLIERUNG



**Abb. 11.2:** Zusammenhang zwischen der vom Modell berechneten Salienz  $S$  und der experimentell bestimmten Salienzfunktion  $R_\phi(v)$ . Der Zusammenhang kann über die angegebene Transducer-Funktion in Form der Naka-Rushton-Funktion beschrieben werden. (a)  $k = 3$  und  $\text{Max}[D_{TB}(\theta, \lambda)]$ , entspricht einer Wahl von  $p \rightarrow \infty$ . (b)  $k = p = 1$ .

unterscheidet. Je niedriger die Ortsfrequenz, je größer die berechnete Salienz. Für den zu zeigenden qualitativen Zusammenhang zwischen dem Output des Modells und der in Experiment vier bestimmten Salienzfunktionen ist dieses Ergebnis nicht von Bedeutung. Für diesen darzustellenden Zusammenhang ist wesentlich, dass alle dargestellten Funktionen den gleichen Verlauf aufweisen. Mit größer werdendem Orientierungs-contrast nimmt zunächst die vom Modell berechnete Salienz zu, bevor sie ab einem je nach Ortsfrequenz spezifischen Merkmalskontrast zu saturieren beginnt. Die dargestellten Funktionen zeigen damit bereits einen Verlauf, der über eine Naka-Rushton-Funktion beschrieben werden kann. Es kann jedoch gezeigt werden, dass zur Beschreibung der experimentell bestimmten Salienzfunktionen eine Transformation dieser Funktionen mit einer Naka-Rushton-Funktion notwendig ist. Dazu wurden die über das Modell bestimmten Salienzfunktionen jeweils mit einer Naka-Rushton-Funktion beschrieben (in Abb. 11.1 bereits dargestellt) und anschließend wurde der Zusammenhang zwischen diesen Funktionen und der in Experiment vier bestimmte Salienzfunktion der Versuchsperson bme betrachtet. Das Ergebnis bei einer Ortsfrequenz der Gaborreize von 2 cpd zeigt Abb. 11.2. In Abb. 11.2 (a) sind zur Bestimmung von  $S$  die bereits oben angegebenen Parameter verwendet worden, d.h. es wurde  $k = 3$  gesetzt und dann wurde das Maximum von  $D_{TB}$  bestimmt, d.h. die Ergebnisse entsprechen qualitativ einer Wahl von  $p \rightarrow \infty$ . In Abb. 11.2 (b) wurde hingegen auf beiden Stufen linear summiert, d.h. es wurde  $k = p = 1$  gesetzt.

Wie den Grafiken entnommen werden kann, ist unabhängig davon, ob (a) sowohl nichtlinear über die je lokale Position eines Filters berechnete Antwortdifferenz auf

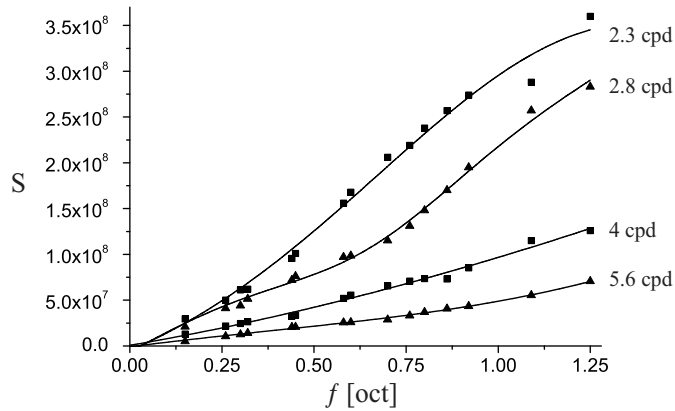
**Tabelle 11.1:** Parameterschätzungen der Transducer-Funktion  $T(x) = A \frac{x^p}{x^q + Z}$  für Orientierungskontrast bei verschiedenen Ortsfrequenzen (in cpd) der Gaborreize.

	1	1.41	2	2.8	4	5.6
A	.21	.4	1.39	.01	3.00E-04	5.00E-04
Z	1.23E+12	1.26E+16	4.22E+15	5.96E+12	1.79E+10	1.79E+11
p	1.65	2.18	2.10	2.11	2.03	2.24
q	1.49	2.05	2.04	1.76	1.46	1.69

ein Target und ein Hintergrundreizmuster räumlich summiert wird ( $k = 3$ ) als auch nichtlinear über die für jeden Filter bestimmte Separation von Target und Hintergrundreizmuster  $D_{TB}(\theta, \lambda)$  summiert wird ( $p \rightarrow \infty$ ) oder (b) über diese beiden Stufen linear summiert wird ( $k = p = 1$ ), für die Transformation der Saliensfunktion des Modells in die experimentell bestimmte Saliensfunktion eine Naka-Rushton-Funktion notwendig. Diese Naka-Rushton-Funktion wird im Folgenden als Transducer-Funktion bezeichnet. Der dargestellte Zusammenhang unterscheidet sich qualitativ nicht in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz, weshalb auf eine einzelne grafische Darstellung verzichtet wird. Tabelle 11.1 enthält die Parameter der Transducer-Funktion für alle in Abb. 11.1 enthaltenen Funktionen.

**Ortsfrequenzkontrast** Analog zum vorangegangenen Abschnitt wurde für eine Reihe von Ortsfrequenzkontrasten, die sich über den gesamten skalierten Merkmalskontrastbereich von 0 bis 1.25 Oktaven verteilten, der Output  $S$  (Gleichung (5.8) auf S. 53) des FRF-Modells bestimmt, wobei erneut die nichtlineare Funktion  $R$  in Gleichung (5.3) auf S. 51 nicht zur Berechnung von  $S$  verwendet wurde. Die Ortsfrequenz der Gaborreize des Hintergrundes der Reizmuster (Basisortsfrequenz) wurde dabei in vier Stufen variiert. Der Ortsfrequenzkontrast wurde durch Verringerung der Ortsfrequenz der Vordergrundelemente im Vergleich zur Ortsfrequenz der Hintergrundelemente des Texturreizmusters realisiert. Als niedrigste Basisortsfrequenz wurde deshalb 2.3 cpd gewählt, so dass auch beim maximal möglichen Merkmalskontrast von 1.25 Oktaven die niedrigste experimentell dargestellte Ortsfrequenz von 1 cpd nicht unterschritten wurde. Die anderen drei Basisortsfrequenzen waren 2.8, 4 und 5 cpd. Die Orientierung der Hintergrundelemente wurde erneut in allen berechneten Bedingungen konstant gehalten (senkrechte Orientierung). Für jede der vier Basisortsfrequenzen wurde somit eine Funktion bestimmt, die die von dem Modell berechnete Saliens  $S$  in Abhängigkeit von der Stärke des Ortsfrequenzkontrasts  $f$  abbildet. Diese Funktionen sind in Abb. 11.3

## 11 MODELLIERUNG



**Abb. 11.3:** Modelloutput  $S$  in Abhängigkeit vom Ortsfrequenzkontrast  $f$  für verschiedene Basisortsfrequenzen der Gaborreize. Der Exponent der räumlichen Summierung war  $k = 3$ .  $D_{BB}$  und damit auch  $Q_B$  waren gleich null, da kein Merkmalsjitter in den Reizmustern enthalten war. Für  $S$  wurde dann das Maximum von  $D_{TB}$  bestimmt, d.h. die Ergebnisse entsprechen qualitativ einer Wahl von  $p \rightarrow \infty$ . Der Modelloutput bei jeder Ortsfrequenz wurde mit einer DoG-Funktion beschrieben.

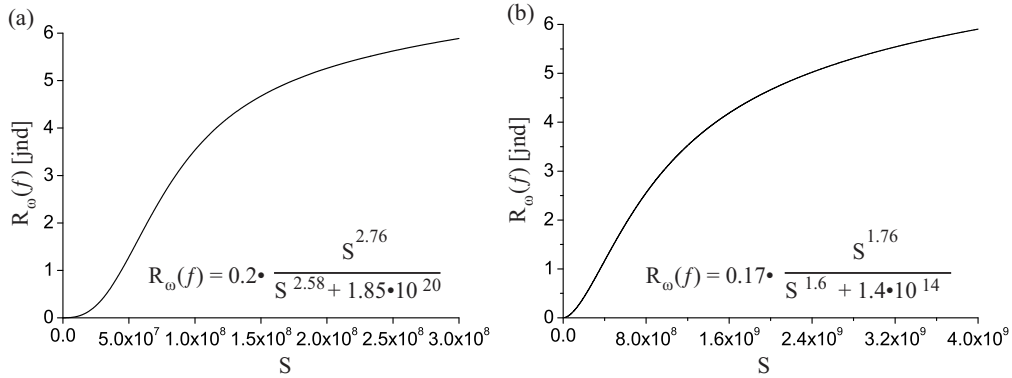
dargestellt. Zur Berechnung von  $S$  wurde wie bei den Orientierungskontrasten der Exponent der räumlichen Summierung (Gleichung (5.5) auf S. 52) auf  $k = 3$  gesetzt und  $S$  wurde dann ebenfalls über  $\text{Max}[D_{TB}(\theta, \lambda)]$  bestimmt, d.h. die Ergebnisse entsprechen qualitativ den Ergebnissen, wenn der Summationsexponent  $p \rightarrow \infty$  geht.

Wie der Abbildung zu entnehmen ist, zeigt sich im Unterschied zu den durch Orientierungskontrast bestimmten Funktionen (s. Abb. 11.1) keine Sättigung der vom Modell berechneten Salienz ab einem spezifischen Merkmalskontrast, sondern es zeigt sich im Gegenteil dazu sogar ab einem spezifischen Merkmalskontrast eine leichte Potenzierung der vom Modell berechneten Salienz. Die Daten wurden deshalb mit einer *Difference-of-Gaussian-Funktion* (DoG-Funktion) beschrieben. Betrachtet man den Zusammenhang zwischen diesen durch das Modell bestimmten Salienzfunktionen und der in Experiment vier bestimmten Salienzfunktion der Versuchsperson bme, so zeigt sich, wie bei den Orientierungskontrasten, dass eine Naka-Rushton-Funktion als Transducer-Funktion notwendig ist. Abb. 11.4 zeigt diesen Zusammenhang beispielhaft für die Basisortsfrequenz von  $2.8$  cpd. In Abb. 11.4 (a) wurden zur Bestimmung von  $S$  die bereits oben angegebenen Parameter verwendet, d.h. es wurde  $k = 3$  gesetzt und es wurde das Maximum von  $D_{TB}(\theta, \lambda)$  bestimmt, was bedeutet, dass die Ergebnisse qualitativ einer Wahl von  $p \rightarrow \infty$  entsprechen. In Abb. 11.4 (b) wurde hingegen auf beiden Stufen linear summiert, d.h. es wurde  $k = p = 1$  gesetzt.

Der Vergleich der Grafiken zeigt, dass wie bei den Orientierungskontrasten unabhängig



## 11 MODELLIERUNG



**Abb. 11.4:** Zusammenhang zwischen der vom Modell berechneten Salienz  $S$  und der experimentell bestimmten Salienzfunktion  $R_\omega(f)$ . Der Zusammenhang kann über die angegebene Transducer-Funktion in Form der Naka-Rushton-Funktion beschrieben werden. (a)  $k = 3$  und  $Max[D_{TB}(\theta, \lambda)]$ , entspricht einer Wahl von  $p \rightarrow \infty$ . (b)  $k = p = 1$ .

**Tabelle 11.2:** Parameterschätzungen der Transducer-Funktion  $T(x) = A \frac{x^p}{x^q + Z}$  für Ortsfrequenzkontrast für verschiedene Basisortsfrequenzen (in cpd) der Gaborreize.

	2.3	2.8	4	5.6
A	118.9	.2	358.4	2452.9
Z	4.48E+12	1.85E+20	2.79E+15	1.01E+17
p	1.37	2.76	1.77	1.93
q	1.50	2.58	1.97	2.26

davon, ob linear ( $k = 1$ ) oder nicht linear ( $k = 3$ ) über die je lokale Position eines Filters berechnete Antwortdifferenz auf ein Target und ein Hintergrundreizmuster räumlich summiert wird und ob linear über die für jeden Filter bestimmte Separation von Target und Hintergrundreizmuster  $D_{TB}(\theta, \lambda)$  summiert wird ( $p = 1$ ) oder das Maximum dieser Werte bestimmt wird ( $p \rightarrow \infty$ ), für die Transformation der Salienzfunktion des Modells in die experimentell bestimmte Salienzfunktion eine Naka-Rushton-Funktion notwendig ist. Tabelle 11.2 enthält die Parameter der Transducer-Funktion für alle in Abb. 11.3 enthaltenen Funktionen.

**Diskussion** Die Ergebnisse sowohl der Modellierung der Ortsfrequenz- als auch der Orientierungskontraste zeigen, dass eine nichtlineare Funktion des Naka-Rushton-Typs notwendig ist, damit mit dem Output des FRF-Modells die experimentell bestimmten Salienzfunktionen beschrieben werden können. Nun wird im Modell angenommen,

## 11 MODELLIERUNG

dass eine nichtlineare Transformation der visuellen Signale innerhalb jedes Kanals vorkommt und nicht erst nach der räumlichen Integration aller Differenzantworten innerhalb eines Filters und der Integration der Differenzantworten über die Filter hinweg auftritt, so wie es in den beiden vorangegangenen Abschnitten zur Modellierung der Ergebnisse der Fall war. Zu diesem Kritikpunkt sei gesagt, dass, auch wenn die nichtlineare Transformation in Form einer Funktion des Naka-Rushton-Typs der Einfachheit halber auf den Output  $S$  angewendet wurde, nicht zu erwarten ist, dass sich filterspezifische nichtlineare Transformationen qualitativ von der zur Vorhersage der experimentellen Ergebnisse verwendeten nichtlinearen Transformation unterscheiden. Dies wird vor allem durch die Ergebnisse gestützt, bei denen  $k = p = 1$  war, d.h. linear über die Differenzantworten innerhalb und über die Filterantworten hinweg summiert wurde. In diesen Fällen folgt keine andere nichtlineare Transformation auf die Berechnung der lokalen Energie der Filter als die nichtlineare Umformung durch die Transducer-Funktion.

Dass die grundsätzliche Annahme von filterspezifischen nichtlinearen Transformationen durch die Ergebnisse gestützt wird, zeigt sich darin, dass sich der Output des Modells und damit auch die bestimmte Transducer-Funktion in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz der Gaborreize unterscheidet. Deshalb ist nach den Ergebnissen anzunehmen, dass sich die nichtlinearen Transformationen zwischen Filtern, die für eine unterschiedliche Bandbreite von Ortsfrequenzen sensitiv sind, quantitativ voneinander unterscheiden.

Dass die dargestellten Simulationen nur für eine konstante Orientierung der Hintergrundelemente bei der Modellierung der Orientierungskontraste und nur für eine generelle Orientierung der Gaborreize bei der Modellierung der Ortsfrequenzkontraste vorgenommen wurde (jeweils senkrecht), ist für die geschilderten Ergebnisse nicht kritisch. Denn im Unterschied zur Variation des Modelloutputs in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz der Gaborreize variiert der Modelloutput nur geringfügig in Abhängigkeit von der Orientierung der Gaborreize. Dies zeigen mit anderen Orientierungen durchgeführte Simulationen.

Ebenfalls nicht kritisch für die Ergebnisse ist, dass nur die Salienzfunktionen der Versuchsperson bme über die Transducer-Funktionen vorhergesagt wurden. Die Ergebnisse der drei Versuchspersonen in Experiment vier waren äußerst homogen (s. Abb. 10.8 und 10.9 auf S. 148 bzw. 149), weshalb sich bei der Vorhersage der Salienzfunktionen der anderen beiden Versuchspersonen keine qualitativ anderen Ergebnisse zeigen können.

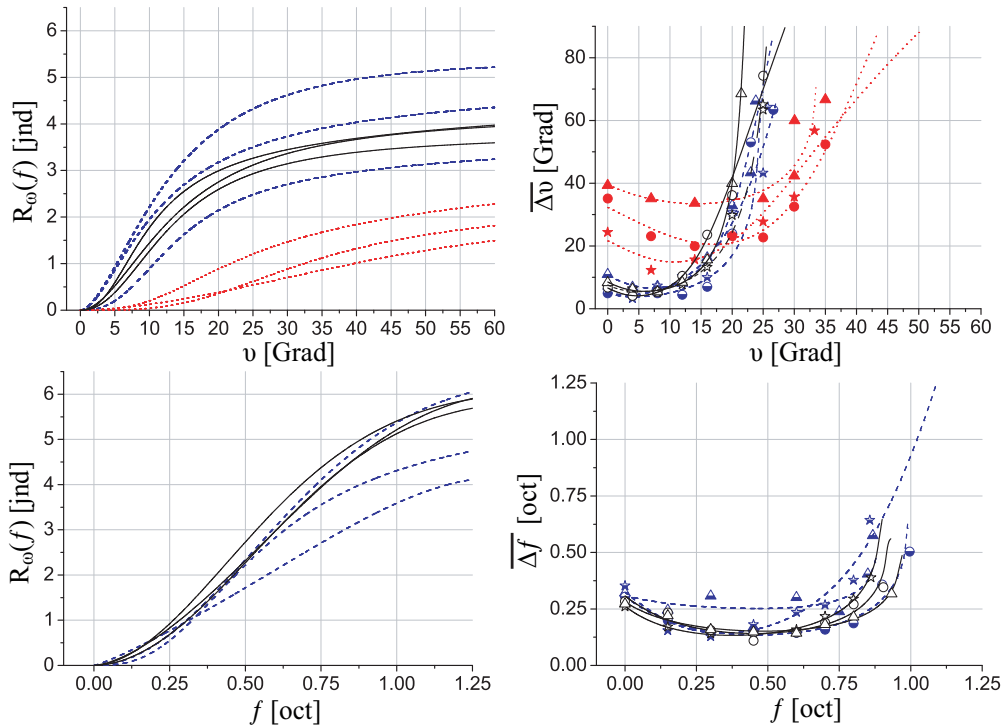
## 11.2 Summationskanäle

Betrachtet man die Auswirkungen des Merkmalsjitters auf die Differenzskalierung von Merkmalssalienz, lassen sich Schlussfolgerungen über die Integration der Antworten der primären linearen Filter auf späteren Stufen der visuellen Informationsverarbeitung ziehen. Im Folgenden werden deshalb zunächst die Ergebnisse von Experiment drei (Merkmalsjitter) und vier (kein Merkmalsjitter) gemeinsam betrachtet und es werden die sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen über die Verarbeitungspfade dargestellt.

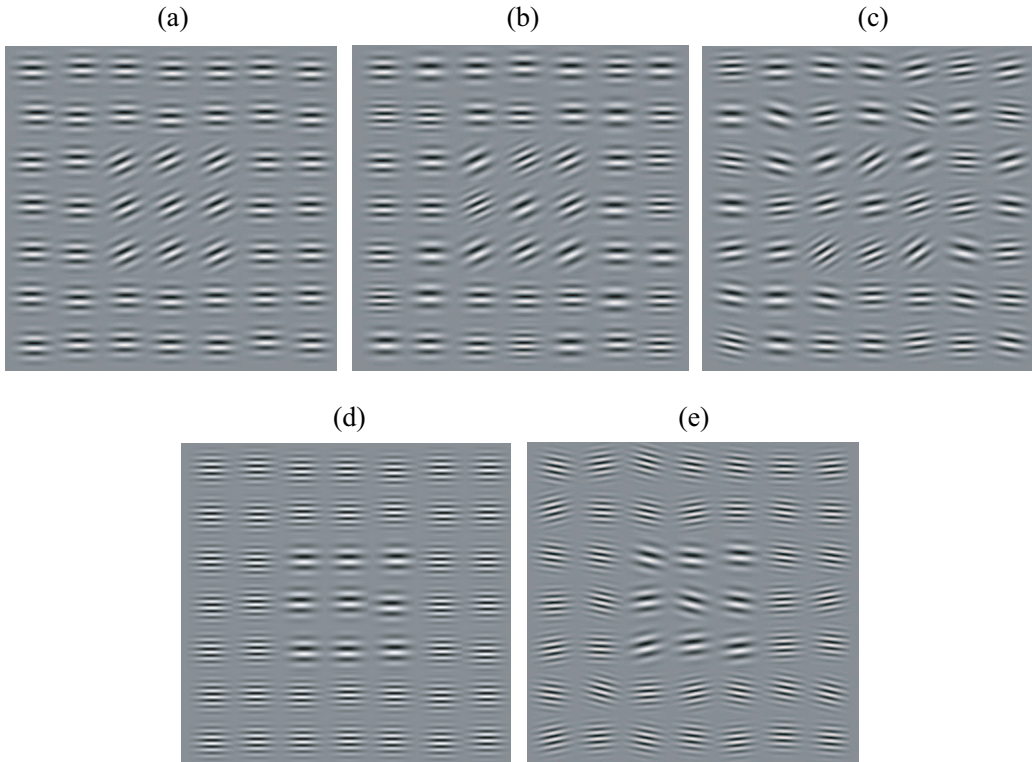
**Ergebnisse von Experiment drei und vier** In Experiment vier wurde kein Merkmalsjitter, in Experiment drei wurde hingegen in allen drei Merkmalsbedingungen Merkmalsjitter verwendet. Zwei dieser drei Merkmalsbedingungen enthielten Merkmalsjitter nur in dem Merkmal (Orientierung bzw. Ortsfrequenz), in dem kein Merkmalskontrast für die Salienzskalierung erzeugt wurde. In der dritten Bedingung war hingegen sowohl in Orientierung als auch in Ortsfrequenz Merkmalsjitter enthalten und die Salienz der durch Orientierungskontrast gebildeten quadratischen Texturfigur wurde skaliert. Abb. 11.5 zeigt getrennt für die Skalierungen der Merkmale Orientierung und Ortsfrequenz alle in Experiment drei und vier bestimmten Salienzfunktionen sowie die zugehörigen Dipperfunktionen. Die Grafiken zeigen, dass sich sowohl bei der Salienzskalierung von Orientierungskontrasten als auch bei der Salienzskalierung von Ortsfrequenzkontrasten der Merkmalsjitter des Merkmals, in dem kein Merkmalskontrast für die Salienzskalierung erzeugt wurde, kaum auf die Skalierung auswirkt. Dies ist durch den Vergleich der durchgezogenen (schwarzen) Funktionen (kein Merkmalsjitter) und der gestrichelten (blauen) Funktionen zu erkennen. Der Merkmalsjitter in dem Merkmal, in dem kein Merkmalskontrast für die Salienzskalierung erzeugt wurde, führt lediglich zu einer größeren interindividuellen Streuung der Salienzfunktionen. Die Salienzstärke bei einem spezifischen Merkmalskontrast bleibt ansonsten jedoch weitestgehend unbeeinflusst. Liegt hingegen Merkmalsjitter auch in dem Merkmal vor, in dem Merkmalskontrast für die Salienzskalierung erzeugt wurde, wie es in der Merkmalsbedingung OR-J des dritten Experiments der Fall war (gepunktete (rote) Funktionen), so zeigt sich im Vergleich zu den anderen Merkmalsbedingungen eine deutliche Vergrößerung der gemessenen Inkremente und entsprechend flach verlaufende Salienzfunktionen. Die Salienzstärke eines spezifischen Orientierungskontrasts wurde somit durch Orientierungsjitter abgeschwächt.

In Abb. 11.6 sind beispielhaft in (a) und (d) Reizmuster ohne Merkmalsjitter, in (b) und (e) mit Merkmalsjitter in dem Merkmal, in dem kein Merkmalskontrast für die Salienzskalierung erzeugt wurde, und in (c) mit Merkmalsjitter in beiden Merkmalen darge-

## 11 MODELLIERUNG



**Abb. 11.5:** Salienz- und Diskriminationsschwellen-Funktionen aus Experiment drei und vier. Rechts oben sind die Diskriminationsschwellen-Funktionen des Merkmals Orientierung, rechts unten die des Merkmals Ortsfrequenz und jeweils links daneben sind die aus den Messdaten bestimmten Salienzfunktionen dargestellt. Die offenen (schwarzen) Symbole und die durchgezogenen (schwarzen) Funktionen sind die Ergebnisse des Merkmals Orientierung bzw. Ortsfrequenz aus Experiment vier (kein Merkmalsjitter). Die halb gefüllten (blauen) Symbole und die gestrichelten (blauen) Funktionen sind Ergebnisse der Merkmalsbedingung OR bzw. SF aus Experiment drei (OR: Merkmalsjitter im Merkmal Ortsfrequenz,  $\mu_{SF} = 2.5$  cpd,  $\sigma_{SF} = 0.5$  oct (gleichverteilt). SF: Merkmalsjitter im Merkmal Orientierung,  $\mu_{OR} = 0$  Grad (horizontal),  $\sigma_{OR} = \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} 45$  Grad (gleichverteilt)). Die gefüllten (roten) Symbole und die gepunkteten (roten) Funktionen sind Ergebnisse der Merkmalsbedingung OR-J aus Experiment drei (Merkmalsjitter im Merkmal Ortsfrequenz und Orientierung,  $\mu_{SF} = 2.5$  cpd,  $\sigma_{SF} = 0.5$  oct (gleichverteilt),  $\sigma_{OR} = 15$  Grad (normalverteilt)).



**Abb. 11.6:** Reizmuster zur Verdeutlichung der Auswirkung des Merkmalsjitters auf die Salienzstärke. (a-c) Orientierungskontrast von 25 Grad. (d,e) Ortsfrequenzkontrast von 0.8 Oktaven. (a,d) Kein Merkmalsjitter. (b)  $\mu_{SF} = 2.5$  cpd,  $\sigma_{SF} = 0.5$  oct (gleichverteilt). (c)  $\mu_{SF} = 2.5$  cpd,  $\sigma_{SF} = 0.5$  oct (gleichverteilt),  $\sigma_{OR} = 15$  Grad (normalverteilt). (e)  $\mu_{OR} = 0$  Grad (horizontal),  $\sigma_{OR} = \pm 45$  Grad (gleichverteilt).

stellt. Diese Beispiele sollen die Auswirkung des Merkmalsjitters auf die Salienzstärke verdeutlichen. Vergleicht man Reizmuster (a) mit (b) und (d) mit (e), so scheint die Salienz des Quadrates nicht durch Merkmalsjitter in dem Merkmal, in dem kein Merkmalskontrast für die Skalierung gebildet wird, beeinflusst zu sein. Merkmalsjitter in dem Merkmal, in dem Merkmalskontrast für die Skalierung gebildet wird (c), reduziert hingegen die wahrgenommene Salienzstärke. Die geschilderten Ergebnisse von Experiment drei und vier werden folglich bereits durch die Betrachtung dieser ausgewählten Beispiele deutlich. Für die Salienzstärke spielt es also keine Rolle, ob z.B. ein Orientierungskontrast von 25 Grad bei Ortsfrequenz homogenen Gaborreizen auftritt (a) oder bei Gaborreizen, die hinsichtlich ihrer Ortsfrequenz variieren (b). Ebenso bleibt die Salienzstärke durch einen Ortsfrequenzkontrast von z.B. 0.8 Oktaven davon unbeeinflusst, ob die Gaborreize hinsichtlich der Orientierung homogen sind (d) oder nicht (e).

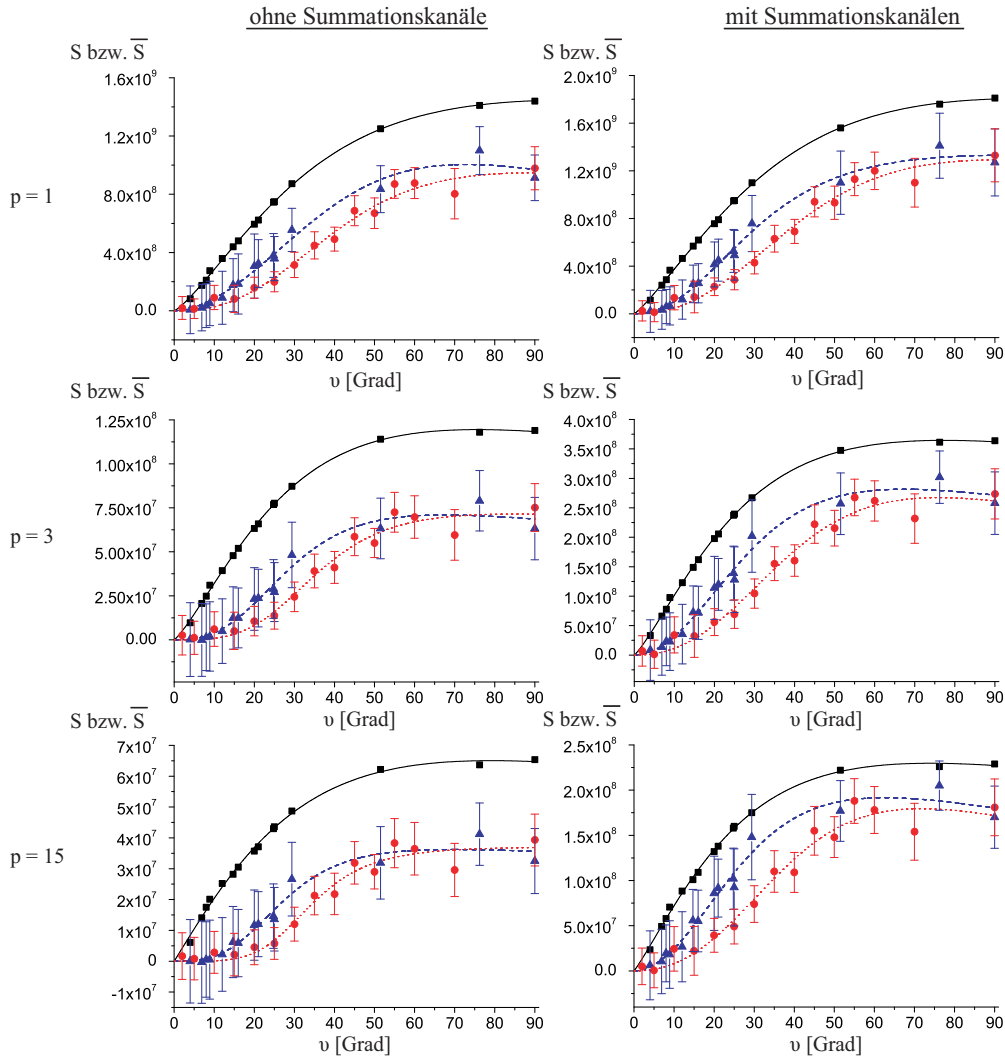
Die Ergebnisse sprechen folglich dafür, dass die Antworten der primären linearen orientierungs- und ortsfrequenzspezifischen Filter auf zwei verschiedenen Verarbei-

tungspfaden integriert werden. Zum einen muss eine Integration der Antworten all jener Filter stattfinden, die für die gleiche Bandbreite an Orientierungen, aber für unterschiedliche Ortsfrequenzen sensitiv sind und zum anderen muss eine Integration der Antworten all jener Filter stattfinden, die für die gleiche Bandbreite an Ortsfrequenzen, aber für unterschiedliche Orientierungen sensitiv sind.

**Vorhersage des FRF-Modells** Mittels des in Kapitel 5.2 vorgestellten FRF-Modells und mittels der um die Summationskanäle erweiterten Version dieses Modells (s. Kapitel 5.3) wurde deshalb geprüft, ob die für die Skalierung des Merkmals Orientierung gefundenen Ergebnisse besser mit oder ohne die zwei Familien der Summationsmechanismen erklärt werden können. Dafür wurde für drei verschiedene Bedingungen des Merkmalsjitters jeweils für eine Reihe von Orientierungskontrasten, die sich über den gesamten skalierten Merkmalskontrastbereich von 0 bis 90 Grad verteilten, der Output  $S$  sowohl über (5.8) als auch über (5.15), also einmal mit und einmal ohne die Summationskanäle berechnet<sup>37</sup>. In der ersten Bedingung wurde kein Merkmalsjitter verwendet (die Ortsfrequenz aller Gaborreize wurde auf 2.5 cpd gesetzt), in der zweiten Bedingung wurde nur Merkmalsjitter im Merkmal Ortsfrequenz ( $\mu_{SF} = 2.5$  cpd,  $\sigma_{SF} = 0.5$  oct (gleichverteilt)) und in der dritten Bedingung wurde in beiden Merkmalen Merkmalsjitter verwendet ( $\mu_{SF} = 2.5$  cpd,  $\sigma_{SF} = 0.5$  oct (gleichverteilt),  $\sigma_{OR} = 15$  Grad (normalverteilt)). Die Orientierung des Hintergrundes wurde in allen Bedingungen konstant gehalten (stets senkrecht). Es wurden somit hinsichtlich des Merkmalsjitters alle in Experiment drei und vier skalierten Merkmalsbedingungen des Merkmals Orientierung mit dem FRF-Modell untersucht. Zur Bestimmung von (5.15) ( $S$  mit Summationskanälen) wurde in (5.10)  $l = 1$  gesetzt, d.h. zur Bildung der orientierungs- bzw. ortsfrequenzspezifischen Mastermaps der lokalen Energien wurde linear über die orientierungs- und ortsfrequenzspezifischen Energiekarten summiert. Sowohl zur Bestimmung von (5.15) ( $S$  mit Summationskanälen) als auch zur Bestimmung von (5.8) ( $S$  ohne Summationskanäle) wurde in (5.12) bzw. (5.5) der räumliche Summationsexponent  $k = 3$  gesetzt. Für die Summation über die Differenzantworten der Filter wurden für den Summationsexponent  $p$  verschiedene Werte ausgewählt und zwar  $p = 1$  (lineare Summation),  $p = 3$  und  $p = 15$  (Maximum Entdeckung). Für die Simulationsbedingungen mit Merkmalsjitter wurde der Modelloutput  $S$  240-mal für jeden Orientierungskontrast berechnet und anschließend wurde arithmetisch über diese Werte gemittelt ( $\bar{S}$ ). Die Ergebnisse der Simulation zeigt Abb. 11.7.

<sup>37</sup>Da der Modelloutput  $S$  zwischen diesen drei Bedingungen verglichen wurde und nicht eine genaue Vorhersage der experimentell bestimmten Salienzfunktionen Ziel der Simulation war, wurde für die nicht-lineare Transformation  $R$  in Gleichung (5.3) erneut keine Funktion eingesetzt.

## 11 MODELLIERUNG



**Abb. 11.7:** Modelloutput  $S$  bzw.  $\bar{S}$  in Abhängigkeit vom Orientierungskontrast  $\nu$  (in Grad) einmal mit und einmal ohne die Verarbeitungsstufe der Summationskanäle jeweils für drei verschiedene Bedingungen des Merkmalsjitters. Zur Bestimmung von  $S$  bzw.  $\bar{S}$  wurde bei den horizontal nebeneinander liegenden Grafiken immer der gleiche angegebene Wert des Summationsexponenten  $p$  verwendet. Die Grafiken in der linken Spalte geben die Ergebnisse ohne die Verarbeitungsstufe der Summationskanäle, die Grafiken der rechten Spalte mit dieser Verarbeitungsstufe an. Der Output jeder Simulationsbedingung wurde mit einer Naka-Rushton-Funktion  $R(x) = A \frac{x^p}{x^q + Z}$  beschrieben. Die Quadrate und die diese Daten beschreibende durchgezogene (schwarze) Funktion sind die Ergebnisse der Simulationsbedingung ohne Merkmalsjitter. Die Dreiecke und die diese Daten beschreibende gestrichelte (blaue) Funktion sind die Ergebnisse der Simulationsbedingung mit Ortsfrequenzjitter ( $\mu_{SF} = 2.5$  cpd,  $\sigma_{SF} = 0.5$  oct (gleichverteilt)). Die Kreise und die diese Daten beschreibende gepunktete (rote) Funktion sind die Ergebnisse der Simulationsbedingung mit Ortsfrequenz- und Orientierungsjitter ( $\mu_{SF} = 2.5$  cpd,  $\sigma_{SF} = 0.5$  oct (gleichverteilt),  $\sigma_{OR} = 15$  Grad (normalverteilt)).

Wie den Grafiken zu entnehmen ist, können über das FRF-Modell weder mit noch ohne die Verarbeitungsstufe der Summationskanäle die gefunden experimentellen Ergebnisse korrekt vorhergesagt werden. Für eine korrekte Vorhersage dürften sich zum einen die Ergebnisse der Simulation zwischen den Bedingungen ohne Merkmalsjitter (Quadrate und durchgezogene (schwarze) Funktionen) und mit Ortsfrequenzjitter (Dreiecke und gestrichelte (blaue) Funktionen) nicht unterscheiden. Zu erkennen ist, dass die Unterschiede zwischen den Ergebnissen ohne Merkmalsjitter und mit Ortsfrequenzjitter für alle Werte von  $p$  unter Einbeziehung der Verarbeitungsstufe der Summationskanäle geringer sind. Für  $p = 1$  (lineare Summation) unterscheiden sich die Ergebnisse mit und ohne die Verarbeitungsstufe der Summationskanäle jedoch nur geringfügig, für  $p = 15$  zeigen sich hingegen die größten Unterschiede zwischen beiden Modellvarianten.

Für eine korrekte Vorhersage der experimentellen Ergebnisse müsste zum anderen nur der in der dritten Simulationsbedingung verwendete Orientierungsjitter (Kreise und gepunktete (rote) Funktionen) zu einer deutlichen Abschwächung der durch das Modell berechneten Salienz führen. Es zeigt sich jedoch mit von null an größer werdendem Orientierungskontrast in allen dargestellten Fällen zunächst nur eine geringfügig stärkere Abschwächung der Salienz durch den zusätzlichen Orientierungsjitter im Vergleich zum alleinigen Ortsfrequenzjitter und für große Orientierungskontraste wird sogar immer das gleiche Maximum bei diesen beiden Simulationsbedingungen erreicht. In beiden Modellvarianten wirkt sich somit der Merkmalsjitter entgegen den experimentellen Befunden auf die Salienzberechnung aus. Am größten ist diese Diskrepanz zwischen den experimentellen Befunden und der Vorhersage des Modells bei der Modellvariante ohne Summationskanäle mit einem Summationsexponenten von  $p = 15$ . Der alleinige Ortsfrequenzjitter führt hier zu einer starken Abschwächung der vom Modell berechneten Salienz im Vergleich zu der Bedingung ohne Merkmalsjitter. Der zusätzliche Orientierungsjitter zeigt hingegen fast gar keine Auswirkung. Diese Vorhersage ist somit genau konträr zu den experimentellen Befunden.

**Diskussion** Die Ergebnisse zeigen, dass die experimentellen Befunde zur Auswirkung des Merkmalsjitters auf die Salienzskalierung nicht durch das von Meinhardt und Persike (submitted) verwendete FRF-Modell korrekt vorhergesagt werden. Eine Modifikation dieses Modells ist notwendig. Die vorgenommene Implementierung der Summationskanäle in das FRF-Modell von Meinhardt und Persike (submitted) führt jedoch nicht dazu, dass die experimentellen Befunde deutlich besser vorhergesagt werden können. Für große Summationsexponenten  $p$  zeigt sich die Modellversion mit den Summationskanälen zwar gegenüber der Version ohne Summationskanäle leicht überlegen, doch die Güte der Prognose ist nicht zufriedenstellend. Betrachtet man die von dem modifi-



zierten Modell berechneten orientierungsspezifischen Mastermaps, zeigt sich, dass trotz gleicher Orientierung tieffrequente Gaborreize einen höheren Energiewert als höherfrequente Gaborreize erhalten. Die vorgenommene Implementierung der Summationskanäle erreicht damit trotz linearer Summierung der orientierungsspezifischen Energiekarten zu den orientierungsspezifischen Mastermaps nicht das gewünschte Ziel. Das Ziel ist, dass in den orientierungsspezifischen Mastermaps nur noch durch die Energiewerte dieser Karte die Orientierung der Gaborreize kodiert ist, nicht aber die Ortsfrequenz. Ein FRF-Modell, das die Auswirkungen des Merkmalsjitters auf die Saliensskalierung von Orientierungscontrast korrekt vorhersagen will, muss dieses Ziel erreichen.

Für eine gültige Vorhersage der Auswirkung des Merkmalsjitters auf die Saliensskalierung von Ortsfrequenzcontrast dürfen entsprechend die Energiewerte der ortsfrequenzspezifischen Mastermaps nur die Ortsfrequenz, nicht aber die Orientierung kodieren. Inwieweit das FRF-Modell bereits mit der Implementierung der Summationskanäle dieses Ziel erreicht, wurde bislang nicht geprüft. Über die Güte der Vorhersage des FRF-Modells mit der Implementierung der Summationskanäle bzgl. der Auswirkung des Merkmalsjitters auf die Ortsfrequenzskalierung kann somit bisher keine Aussage getroffen werden. Dies ist Aufgabe weiterer Forschung.

### 11.3 Modelldetails

Das räumliche Sampling der primären linearen Filter hatte eine hohe Auflösung. Mit räumlichem Sampling der Filter ist der räumliche Abstand zwischen zwei Filterpositionen eines Filters gemeint. Dieser Abstand bestimmt somit die Auflösung, mit der das visuelle Reizmuster zur Bestimmung der Antwortkarte eines Filters gefiltert wird. Der Abstand zwischen zwei Filterpositionen betrug  $1.553 \text{ min(arc)}$  in horizontaler und vertikaler Richtung.

Für die Standardabweichung  $\sigma$  der primären linearen Filter (s. Gleichung (5.1) auf S. 51) wurde

$$\sigma(\lambda) = a \cdot \lambda \quad (11.2)$$

definiert, was in der Literatur unter dem Namen *normal scaling principle* bekannt ist (Du Buf, 1994; Meinhardt, 2001).  $\lambda$  steht für die Wellenlänge eines Filters, für die der Filter am empfindlichsten ist. Die Setzung (11.2) führt dazu, dass alle Filter unabhängig von der Wellenlänge, für die sie am empfindlichsten sind, bei halber Amplitude die gleiche Oktavbandbreite haben.

Zum näheren Verständnis dieses Prinzips: Das Ortsfrequenzspektrum eines Filters (synonym: Detektor) enthält all jene Ortsfrequenzen, für die der Filter empfindlich ist und zeigt zudem an, wie empfindlich der Filter für diese Ortsfrequenzen ist. Wird, wie in

**Tabelle 11.3:** Zentrumsortsfrequenzen der primären linearen Filter.

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$f_i$	0.70	0.93	1.23	1.61	2.08	2.69	3.47	4.45	5.70	7.27	9.26
$\lambda_i$	1.43	1.07	0.81	0.62	0.48	0.37	0.29	0.22	0.18	0.14	0.11

(5.1) auf S. 51, für die Gewichtsfunktion der Filter eine Gabor-Funktion angenommen, so entspricht das Ortsfrequenzspektrum der Filter einer Gauß-Funktion (Weltner, Wiesner, Heinrich, Engelhardt, & Schmidt, 2001). Für jede Gauß-Funktion lässt sich eine Bandbreite (oder auch Streubreite) bestimmen. Und diese Bandbreite ist unter der Annahme (11.2) in Oktaven für alle Filter gleich, d.h. die Bandbreite ist dann gleich, wenn die Ortsfrequenzachse der Ortsfrequenzspektren logarithmiert<sup>38</sup> wird. Diese Bandbreite der Ortsfrequenzspektren entspricht bei halber Amplitude

$$\log_2 \left[ \frac{\pi a + \sqrt{\ln 2}}{\pi a - \sqrt{\ln 2}} \right] \quad (11.3)$$

(Watson, 1982). Die Gleichung verdeutlicht, dass die Bandbreite in logarithmierten Koordinaten nur vom Parameter  $a$  abhängt und damit unter der Annahme (11.2) für alle Filter gleich ist.

In den durchgeführten Berechnungen wurde  $a = 0.61$  gesetzt, was einer Bandbreite von 0.9 Oktaven entspricht. Es zeigte sich, dass die Setzung von  $a = 1.14$ , was einer Bandbreite von 0.5 Oktaven entspricht, zu keiner qualitativen Veränderung der Ergebnisse führt, d.h. für die Ergebnisse ist der genaue Wert der Konstanten  $a$  nicht entscheidend. Der Abstand zwischen zwei Filtern im Ortsfrequenzkontinuum wurde derart gewählt, dass das Zentrum eines Filters genau bei der halben Amplitude des vorangegangenen Filters lag. Dazu musste eine leicht abfallende Funktion der Bandbreite gewählt werden. In Tabelle 11.3 sind die zentralen Ortsfrequenzen und die korrespondierenden Wellenlängen der verwendeten Filter aufgeführt. Für Orientierung wurde als Abstand zwischen zwei Filterzentren 10 Grad im Intervall  $[-30^\circ, 130^\circ]$  ausgewählt. Dabei entsprach 0 Grad einer senkrechten Orientierung und 90 Grad der waagerechten Orientierung der Vordergrundelemente beim maximalen Orientierungscontrast von 90 Grad. Die Wahl der Abstände zwischen den Filterzentren in beiden Dimensionen führt dazu, dass die Funktion

$$R(f, \phi) = \left( \sum_{i,j} |G(f, \phi | \theta_i, \lambda_j)|^k \right)^{1/k} \quad (11.4)$$

<sup>38</sup>Logarithmus zur Basis 2.

## 11 MODELLIERUNG

mit  $k=3$  und  $G$  der Fouriertransformierten der Gaborfilter  $g_{ev}$  bzw.  $g_{od}$  (Gleichungen (5.1) auf S. 51)), ausgedrückt in Polarkoordinaten, ein Plateau im Unterraum der Fourierebene zeigt.

Für den Gaußschen Unschärfefilter  $h(x, y)$  (Gleichungen (5.4) auf S. 52 und (5.11) auf S. 54) wurde eine Streuung von  $\sigma_0 = 0.737^\circ$  gewählt, wobei die genaue Wahl des Wertes nicht kritisch für die erhaltenen Ergebnisse ist.

## 12 Zusammenfassende Diskussion

Die vorliegende Arbeit wurde von der Fragestellung geleitet, ob über eine indirekte Skalierungsmethode die durch Merkmalskontrast erzeugte Salienz einer einfachen visuellen Texturfigur merkmalsunabhängig auf einer allgemeinen Salienzskala erfasst werden kann. Die Zahlenwerte einer solchen allgemeinen Salienzskala sollten die Auffälligkeit einer durch Merkmalskontrast in einem beliebigen Merkmal erzeugten Texturfigur derart abbilden, dass Verhältnisse zwischen diesen Salienzwerten interpretiert werden können. Zum einen müssen folglich bei einer merkmalsunabhängigen allgemeinen Salienzskala Merkmalskontraste in verschiedenen Merkmalen, die jeweils zu einer gleich großen Auffälligkeit der durch sie gebildeten Texturfigur führen, auf den gleichen Zahlenwert  $Z$  der Skala abbilden. Zum anderen muss ein Merkmalskontrast in einem beliebigen Merkmal, der auf einen Zahlenwert  $Z$  der Skala abbildet, zu einer Auffälligkeit der Texturfigur führen, die z.B. doppelt so groß ist, wie bei einem Merkmalskontrast in einem beliebigen Merkmal, der auf den Zahlenwert  $\frac{Z}{2}$  der Skala abbildet.

Die indirekte Skalierungsmethode, für die die Möglichkeit der merkmalsunabhängigen Salienzskalierung überprüft wurde, wurde erstmals in dieser Form zur Bestimmung einer Salienzskala für Merkmalskontrast (Orientierungskontrast) von Motoyoshi und Nishida (2001) verwendet und wird in der vorliegenden Arbeit als *Differenzskalierungsmethode* bezeichnet.

Grundvoraussetzung für die merkmalsunabhängige Salienzskalierung ist, dass Merkmals salienz eine merkmalsunabhängige Eigenschaft ist, wie es von Nothdurft (2000) postuliert wird. Demnach muss die Auffälligkeit eines einzelnen Elementes oder einer Gruppe von Elementen einer visuellen Szene, die durch Merkmalskontrast erzeugt wird, unabhängig davon sein, in welchem Merkmal der Merkmalskontrast gebildet wird. Das bedeutet, dass die Auffälligkeit eines einzelnen Elementes oder einer Gruppe von Elementen, die z.B. durch Orientierungskontrast erzeugt wird, vergleichbar sein muss mit der Auffälligkeit, die z.B. durch Ortsfrequenzkontrast, Farbkontrast oder auch Bewegung erzeugt wird. In Experiment 3 konnte für Orientierungskontrast und Ortsfrequenzkontrast die Vergleichbarkeit der durch sie erzeugten Salienz einer quadratischen Texturfigur nachgewiesen werden. Nach den Ergebnissen kann für die durch Merkmalskontrast der Merkmale Orientierung und Ortsfrequenz erzeugte Salienz von einer merkmalsunabhängigen Eigenschaft gesprochen werden.

Weitere Voraussetzungen für die merkmalsunabhängige Salienzskalierung sind, dass die über die indirekte Skalierungsmethode konstruierten Salienzskalen einen gemeinsamen festen Nullpunkt haben und dass mindestens eine konstruierte Skala eine konstante Einheit der Salienz hat. Zur Untersuchung der Gegebenheit dieser Voraussetzungen

## 12 ZUSAMMENFASSENDER DISKUSSION

wurde über die Differenzskalierungsmethode die durch Orientierungs- bzw. Ortsfrequenzkontrast erzeugte Saliens einer quadratischen Texturfigur skaliert. Anschließend wurde über Cross-Modality-Matching-Messungen (CMM-Messungen) bestimmt, welche Orientierungs- und Ortsfrequenzkontraste als gleich auffällig beurteilt werden. Die zu diesen gleich salienten Orientierungs- und Ortsfrequenzkontrasten korrespondierenden Zahlenwerte (Salienswerte) der für jedes Merkmal konstruierten Saliensskala wurden in einem von den beiden Saliensskalen aufgespannten Saliensraum betrachtet. Der Zusammenhang wurde mit einer sog. CMM-Funktion beschrieben. Der Verlauf dieser Funktion gibt unter der Voraussetzung, dass man weiß, welche Saliens bei einer CMM-Messung beurteilt wird, Aufschluss darüber, ob die beiden Saliensskalen über einen gemeinsamen Nullpunkt und eine konstante Einheit verfügen und sich in Abhängigkeit davon die Merkmalsaliens merkmalsunabhängig auf einer allgemeinen Saliensskala abbilden lässt.

Um diese Form der Kreuzvalidierung durchführen zu können, mussten zunächst die folgenden Fragestellungen untersucht werden:

- Wie muss für ein einseitig gerichtetes Kontinuum, wie es beim Merkmal Ortsfrequenz vorliegt, der Merkmalskontrast für die Schwellenmessungen der Differenzskalierung von Merkmalsaliens generiert werden, damit die gemessene Diskriminationsfähigkeit einer Versuchsperson nur auf die durch den Merkmalskontrast erzeugte Saliens zurückzuführen ist?
- Können Dekrementenschwellenmessungen die bei großen Pedestals stark streuenden Inkrementenschwellenmessungen bei der Differenzskalierung von Merkmalsaliens ersetzen?
- Welche Saliens wird bei einer CMM-Messung beurteilt? Ist dies nur die Saliens, die durch den bei der Skalierung variierten Merkmalskontrast erzeugt wird? Oder fließt die Grundsaliens eines Reizmusters mit in das Saliensurteil ein?

Neben diesen Untersuchungsfragen, die für die Beantwortung der leitenden Fragestellung dieser Arbeit relevant sind, wurden ergänzend folgende Fragestellungen untersucht:

- Gibt es einen merkmalsunabhängigen Mechanismus, der eine weitere Steigerung der internen Antwort mit größer werdendem Merkmalskontrast unterbindet, wenn durch den bestehenden Merkmalskontrast bereits genügend Hinweise für die Existenz getrennter Oberflächen vorliegen?

## 12 ZUSAMMENFASSENDER DISKUSSION

- Können FRF-Modelle die Ergebnisse der Differenzskalierung von Merkmalssali-  
enz vorhersagen?

Im folgenden werden die Ergebnisse der Experimente bzgl. der einzelnen Fragestel-  
lungen dieser Arbeit zusammenfassend diskutiert.

**Generierung des Merkmalskontrasts** Für das periodische Merkmalskontinuum Ori-  
entierung ist aus anderen Studien bekannt, wie der Orientierungskontrast generiert wer-  
den sollte, damit die Diskriminationsleistung bei einer Schwellenmessung der Diffe-  
renzskalierung nur auf die durch Orientierungskontrast erzeugte Sali-  
enz zurückgeführt werden kann (s. z.B. Motoyoshi & Nishida, 2001). Die Orientierung der Elemente eines  
visuellen Reizmusters, die den Hintergrund einer durch Orientierungskontrast erzeugten  
Texturfigur bilden (Hintergrundelemente), wird dazu zufällig aus der gesamten Verteilung  
aller möglichen Orientierungen gezogen. Zur Generierung des Orientierungskon-  
trasts werden anschließend die Elemente, die die durch Orientierungskontrast erzeugte  
Texturfigur bilden (Vordergrundelemente), mit oder entgegen dem Uhrzeigersinn im  
Verhältnis zur Orientierung der Hintergrundelemente gedreht.

Dieses Verfahren zur Generierung des Orientierungskontrasts kann jedoch nicht zur  
Generierung von Ortsfrequenzkontrast verwendet werden, da das Ortsfrequenzkonti-  
nuum einseitig gerichtet ist, d.h. es hat eine obere und eine untere Grenze, über die  
hinaus die Ortsfrequenz z.B. eines Gaborreizes nicht weiter verändert werden kann.  
Ein einseitig gerichtetes Kontinuum, wie das Ortsfrequenzkontinuum, legt nahe, die  
Merkmalsausprägung der Hinter- oder Vordergrundelemente eines visuellen Reizmus-  
ters an einem Ende des Kontinuums konstant zu halten und den Merkmalskontrast durch  
Erhöhung bzw. Verringerung der Merkmalsausprägung der Vorder- bzw. Hintergrunde-  
elemente zu erzeugen. Dieses Verfahren zur Merkmalskontrastgenerierung kann jedoch  
nur dann für die Differenzskalierung von Merkmalssali-  
enz verwendet werden, wenn die bei einer Schwellenmessung der Differenzskalierung von Merkmalssali-  
enz gestellte Diskriminationsaufgabe über die durch den Merkmalskontrast erzeugte Sali-  
enz gelöst wird (Merkmalskontrast-Generierungsproblem (MKG-Problem)). Da bei diesem Ver-  
fahren zur Merkmalskontrastgenerierung jedoch zwei Urteilmöglichkeiten zur Lösung  
der in einer Schwellenmessung gestellten Diskriminationsaufgabe bestehen, wurde im  
ersten Experiment dieser Arbeit untersucht, welche der beiden Urteilmöglichkeiten zur  
Lösung genutzt wird. Es bestätigte sich die Hypothese, dass bei großen Pedestals zur  
Lösung der Diskriminationsaufgabe die absolute Merkmalsausprägung und nicht die  
durch Merkmalskontrast erzeugte Sali-  
enz beachtet wird. Aufgrund dieses Ergebnisses  
wurde ein komplexeres Verfahren zur Lösung des MKG-Problems für das Merkmal

## 12 ZUSAMMENFASSENDER DISKUSSION

Ortsfrequenz entwickelt.

Vergleicht man alle experimentellen Ergebnisse der Differenzskalierung von Merkmalssalienz zwischen den Merkmalen Orientierung und Ortsfrequenz, so ist eine hohe Übereinstimmung festzustellen. Sowohl bei der Salienzskalierung von Orientierungs- kontrast als auch bei der Salienzskalierung von Ortsfrequenzkontrast zeigt sich bei den Schwellenmessungen mit von null an größer werdendem Pedestal zunächst eine Abnahme des Inkrements und dann ein stetiger Anstieg des zur Diskrimination zweier Texturreize notwendigen Merkmalskontrasts (Dipperfunktion). Dass diese Diskriminationsschwellen-Funktionen und entsprechend auch die daraus konstruierten Salienzfunktionen in allen durchgeführten Experimenten bei beiden Merkmalen die gleiche Verlaufsförmigkeit aufweisen, spricht in hohem Maße dafür, dass das MKG-Problem über das entwickelte Verfahren für das Merkmal Ortsfrequenz adäquat gelöst werden kann. Die Ergebnisse sprechen somit dafür, dass auch bei den Schwellenmessungen des Merkmals Ortsfrequenz nur die durch den Merkmalskontrast erzeugte Salienz die alleinige Grundlage des geforderten Diskriminationsurteils bildete.

**Dekrement- versus Inkrement-schwellenmessungen** Ergebnisse von Inkrement-schwellenmessungen (IS-Messungen) bei großen Pedestals streuen stark, d.h. sie sind wenig zuverlässig. Die Ursache liegt in einem Mangel an Vergleichskontrasten, die deutlich auffälliger sind als das Pedestal. Deutlich auffälligere Vergleichskontraste stehen bei bereits großen Pedestals deshalb nicht zur Verfügung, weil sich zum einen im Bereich großer Merkmalskontraste die Salienz kaum noch verändert und weil es zum anderen bei jedem Merkmal einen maximalen Merkmalskontrast gibt, über den hinaus der Merkmalskontrast nicht weiter gesteigert werden kann. Die zur Auswertung der Schwellenmessungen verwendete Weibull-Funktion weist in diesen Fällen eine entsprechend niedrige Steigung im 50%-Punkt der Funktion auf.

Da man jedoch auch auf Schwellenmessungen im Bereich großer Merkmalskontraste für die Differenzskalierung von Merkmalssalienz angewiesen ist, wurde experimentell untersucht, ob die bei großen Pedestals deutlich weniger streuenden Dekrement-schwellenmessungen (DS-Messungen) für die Differenzskalierung von Merkmalssalienz verwendet werden können. Im mittleren Merkmalskontrastbereich zeigte sich, dass durch DS-Messungen der zur Diskrimination zweier Reize notwendige Unterschied im Orientierungskontrast im Vergleich zu IS-Messungen überschätzt wird. Die deutlich geringere Streuung und damit höhere Zuverlässigkeit der DS-Messungen im Bereich großer Merkmalskontraste sprach jedoch dafür, diese zumindest für den maximal einstellbaren Merkmalskontrast für die Differenzskalierung von Merkmalssalienz zu verwenden.

Die experimentellen Ergebnisse zur Differenzskalierung von Merkmalssalienz haben

## 12 ZUSAMMENFASSENDER DISKUSSION

gezeigt, dass in Einzelfällen das für den maximal einstellbaren Merkmalskontrast einer Versuchsbedingung bestimmte Dekrement zu groß oder zu klein im Vergleich zu den für große Pedestals bestimmten Inkrementen ausfiel. In diesen Fällen gibt es zum Teil kein objektives Kriterium, das für die Verwendung der DS- oder der IS-Messungen zur Konstruktion der Saliensskala spricht. Der Vergleich der Saliensskalen, bei denen entweder die IS-Messungen für große Pedestals oder die DS-Messungen des maximal einstellbaren Merkmalskontrasts in die Differenzskalierung einbezogen wurde, zeigt jedoch, dass die Auswirkung der zu treffenden Auswahl auf die Saliensskala äußerst gering ist.

Bei den experimentellen Ergebnissen traten ebenfalls Fälle auf, in denen das durch die Schwellenmessung des größten Inkrementpedestals bestimmte Inkrement deutlich zu groß oder zu klein im Vergleich zum Dekrement und allen anderen bestimmten Inkrementen war. In diesen Fällen stellte das für den maximal einstellbaren Merkmalskontrast bestimmte Dekrement einen für die Differenzskalierung nützlichen Messpunkt im Bereich großer Merkmalskontraste dar.

Betrachtet man die Ergebnisse aller Experimente, bei denen DS-Messungen für die Differenzskalierung verwendet wurden, lässt sich somit festhalten, dass sie eine sinnvolle aber nicht zwangsläufig notwendige Ergänzung der IS-Messungen darstellen.

**Einfluss der Grundsaliens eines Texturreizmusters auf das Saliensurteil** Die Konstanz der Einheit und der Nullpunkt der über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Saliensskalen kann nur dann für beliebige Reizbedingungen über Cross-Modality-Matching-Messungen (CMM-Messungen) untersucht werden, wenn man weiß, welche Saliens das Saliensurteil bei einer CMM-Messung bestimmt. Die Ergebnisse des dritten und vierten Experimentes zeigen, dass das Saliensurteil nicht nur durch die Saliens des bei der Skalierung variierten Merkmalskontrasts, sondern auch durch die Grundsaliens eines Reizmusters, d.h. die Auffälligkeit eines Reizmusters ohne den zu skalierenden Merkmalskontrast, bestimmt wird. Wird z.B. die Saliens von Reizmustern miteinander verglichen, die sich darin unterscheiden, dass in einem Reizmuster alle Vorder- und Hintergrundelemente jeweils bzgl. ihrer Merkmalsausprägung homogen sind, während im zweiten Reizmuster sowohl die Vorder- als auch die Hintergrundelemente um einen Mittelwert in ihrer Merkmalsausprägung streuen (Merkmalsjitter), dann wird bei identischem lokalen Merkmalskontrast an der Texturkante das zweite Reizmuster als auffälliger beurteilt. Der Merkmalsjitter, d.h. der im gesamten Reizmuster verteilte Merkmalskontrast, erzeugt somit eine Saliens, die die Grundsaliens des zweiten Reizmusters im Vergleich zum ersten Reizmuster erhöht und dieser Unterschied in der Grundsaliens der Reizmuster fließt mit in das Saliensurteil ein. Nach den Ergebnissen kann angenommen werden, dass die bei einer CMM-Messung verglichenen Saliensen, die Saliensen der



## 12 ZUSAMMENFASSENDE DISKUSSION

beiden präsentierten Reizmuster sind, wobei sich die Salienz eines präsentierten Reizmusters additiv aus der Salienz des bei der Skalierung variierten Merkmalskontrasts und der Grundsalienz des Reizmusters zusammensetzt.

**Nullpunkt und Konstanz der Einheit der Salienzskala** Die Ergebnisse der Kreuzvalidierung zeigen weiter, dass für die über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Salienzskalen ein gemeinsamer fester Nullpunkt angenommen werden kann. Der Nullpunkt einer jeden Skala wird bei der Differenzskalierungsmethode gleich dem Nullpunkt der physikalischen Reizstärke gesetzt. Die Salienz einer durch Merkmalskontrast erzeugten Texturfigur ist somit dann null, wenn der Merkmalskontrast null ist.

In der Definition des Nullpunktes unterscheidet sich die Differenzskalierungsmethode von der indirekten Skalierungsmethode Fechners. Fechner definierte die Absolutschwelle als Nullpunkt seiner Skala der Empfindungsstärke. Laut seiner Definition ist die Absolutschwelle die größte Reizintensität, bei der noch keine Empfindung ausgelöst wird. Mit den existierenden Methoden zur Schwellenmessung kann eine solche Reizintensität jedoch nicht bestimmt werden. Bei einer über die bekannten Messverfahren bestimmten Absolutschwelle handelt es sich immer um eine Reizintensität, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eine Empfindung auslöst. Da eine solche Reizintensität somit zu bestimmten Zeitpunkten wahrgenommen wird, kann nicht behauptet werden, dass es die größte Reizintensität ist, die noch keine Empfindung auslöst. Wird bei der Differenzskalierungsmethode von der Messung der Absolutschwelle gesprochen, ist deshalb damit nichts anderes gemeint als die Messung einer Unterschiedschwelle für eine Referenzreizintensität von null. Da eine Unterschiedschwelle bei der Differenzskalierungsmethode, wie bei der indirekten Skalierungsmethode Fechners, die Einheit der Salienzskala definiert, wird die Absolutschwelle bei der Differenzskalierungsmethode gleich dem ersten sensorischen Empfindungsschritt der Salienzskala gesetzt.

Ob eine über die Differenzskalierungsmethode konstruierte Salienzskala eine konstante Einheit hat, hängt von der Gültigkeit der Annahme Fechners ab. Fechner nahm an, dass der über eine Unterschiedschwelle bestimmte eben merkliche Unterschied (jnd: just noticeable difference) zwischen zwei Reizen in der subjektiven Wahrnehmung immer einer gleichen Zunahme der Empfindung unabhängig von der absoluten physikalischen Reizintensität der beiden Reize entspricht. Über die Kreuzvalidierung konnte geprüft werden, ob die Annahme Fechners für die Differenzskalierung von Merkmals-salienz zutrifft und damit die über die Differenzskalierungsmethode konstruierten Salienzskalen eine konstante Einheit haben.

Hier zeigt sich ein differenziertes Bild in den Experimenten. Es zeigen sich unter-

## 12 ZUSAMMENFASSENDER DISKUSSION

schiedliche Ergebnisse in Abhängigkeit davon, ob die Merkmalsausprägung des Merkmals (Orientierung bzw. Ortsfrequenz), in dem kein Merkmalskontrast für die Skalierung erzeugt wurde, innerhalb einer großen oder einer kleinen Bandbreite bei den Schwellenmessungen variierte.

Variiert die Merkmalsausprägung des Merkmals, in dem kein Merkmalskontrast für die Skalierung erzeugt wurde, lediglich innerhalb einer kleinen Bandbreite, ist die Salienzeinheit bei einer konstruierten Skala konstant. Die Größe der Salienzeinheit unterscheidet sich in diesem Fall jedoch zwischen Salienzskalen, die die Merkmals-salienz in Abhängigkeit vom Orientierungskontrast abbilden und Salienzskalen, die die Merkmals-salienz in Abhängigkeit vom Ortsfrequenzkontrast abbilden. Nach den Ergebnissen ist die Salienzeinheit der für Orientierungskontrast konstruierten Salienzskalen im Vergleich zu den für Ortsfrequenzkontrast konstruierten Salienzskalen größer. Als Ursache dafür wird unterschiedliches sensorisches Rauschen der durch Orientierungs- bzw. Ortsfrequenzkontrast aktivierten neuronalen Kanäle angenommen.

Das sensorische Rauschen bestimmt die Streuung der Salienz eines spezifischen Merkmalskontrasts um einen Mittelwert. Es setzt sich aus zwei Komponenten zusammen. Zum einen wird es durch die neuronale Hintergrundaktivität (spontane Entladung von Neuronen) eines Verarbeitungskanals bestimmt, die dazu führt, dass die Salienz eines spezifischen Merkmalskontrasts (Orientierungs- bzw. Ortsfrequenzkontrast) bei einer spezifischen Merkmalsausprägung des anderen Merkmals (Ortsfrequenz bzw. Orientierung) variiert. Zum anderen wird es durch die Variation der Signalstärke eines spezifischen Merkmalskontrasts in Abhängigkeit von der Merkmalsausprägung des zweiten Merkmals bestimmt, also mit anderen Worten durch die Variation der Signalstärke zwischen verschiedenen neuronalen Kanälen.

Die unterschiedlich große Salienzeinheit der für Orientierungs- bzw. Ortsfrequenzkontrast konstruierten Salienzskalen kann darüber erklärt werden, dass das sensorische Rauschen der durch Orientierungskontrast aktivierten Merkmalskanäle im Vergleich zu denen, die durch Ortsfrequenzkontrast aktiviert werden, größer ist. Es kann jedoch nicht beantwortet werden, ob dafür eine vergleichsweise höhere neuronale Hintergrundaktivität der durch Orientierungskontrast aktivierten neuronalen Kanäle oder eine vergleichsweise größere Variation der Salienz zwischen verschiedenen durch Orientierungskontrast aktivierten neuronalen Kanälen verantwortlich ist.

Variiert die Merkmalsausprägung des Merkmals, in dem kein Merkmalskontrast für die Skalierung erzeugt wurde, innerhalb einer großen Bandbreite, wie es zur Gewährleistung der Gleichheit der Grundsaliens bei den Versuchsbedingungen des vierten Experiments der Fall war, ist die Konstanz der Salienzeinheit nur für die Salienzskala, die die Salienz der quadratischen Texturfigur in Abhängigkeit vom Ortsfrequenzkontrast

## 12 ZUSAMMENFASSENDER DISKUSSION

abbildet, anzunehmen. Die Konstanz der Salieneinheit einer für Ortsfrequenz konstruierten Salienskala ist somit nicht davon abhängig, ob der Ortsfrequenzkontrast innerhalb einer großen oder kleinen Bandbreite von Orientierungen gebildet wird.

Wird der Orientierungskontrast innerhalb einer großen Bandbreite von Ortsfrequenzen bei den Schwellenmessungen erzeugt, ist die Salieneinheit der unter diesen Bedingungen konstruierten Salienskala hingegen nicht konstant. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass das sensorische Rauschen in Abhängigkeit von der Stärke des Orientierungskontrasts variiert. Die Ergebnisse können konkret darüber erklärt werden, dass größere Orientierungskontraste, die innerhalb einer großen Bandbreite von Ortsfrequenzen erzeugt werden, zu einer stärkeren Variation der Merkmals-saliens führen als vergleichsweise kleinere Orientierungskontraste, die ebenfalls innerhalb einer großen Bandbreite von Ortsfrequenzen erzeugt werden.

**Merkmalsunabhängige Saliensskalierung** Für die merkmalsunabhängige Skalierung von Merkmals-saliens wird nach den Ergebnissen der Untersuchungen eine unter spezifischen Reizbedingungen und damit bei einer spezifischen Grundsaliens eines Reizmusters konstruierte Salienskala benötigt, von der angenommen werden kann, dass sie einen festen Nullpunkt und eine konstante Einheit der Saliens hat und damit die Saliens einer durch Merkmalskontrast erzeugten Texturfigur auf Verhältnisskalenniveau abbildet. Auf dieser Salienskala kann die Saliens der Texturfigur, die durch Merkmalskontrast in einem anderen Merkmal bei gleicher oder abweichender Grundsaliens des Reizmusters erzeugt wird, merkmalsunabhängig abgebildet werden. Dazu muss für diese Saliens ebenfalls mit der Differenzskalierungsmethode eine Salienskala konstruiert werden. Anschließend ist über CMM-Messungen die CMM-Funktion zwischen dieser Salienskala und der Salienskala, auf der die Saliens merkmalsunabhängig abgebildet werden kann, zu bestimmen. Unter Berücksichtigung der Steigung dieser CMM-Funktion können dann die Salienswerte der weiteren Skala in Salienswerte der verhältnisskalierten Salienskala umgerechnet werden und damit merkmalsunabhängig auf einer für beide Merkmale einheitlichen Salienskala abgebildet werden. Auf dieser merkmalsunabhängigen einheitlichen Salienskala können dann Verhältnisse zwischen Salienswerten interpretiert werden, die die Auffälligkeit der Texturfigur durch Merkmalskontrast in beiden Merkmalen abbilden.

**Merkmalsunabhängiger Sättigungsmechanismus** Die merkmalsunabhängige Saliensskalierung ermöglichte die Untersuchung der Frage, ob es einen merkmalsunabhängigen Mechanismus im visuellen System gibt, der eine weitere Steigerung der internen Antwort mit größer werdendem Merkmalskontrast unterbindet, wenn durch den beste-

## 12 ZUSAMMENFASSENDER DISKUSSION

henden Merkmalskontrast bereits genügend Hinweise für die Existenz getrennter Oberflächen vorliegen.

Den Ausgangspunkt dieser Untersuchungsfrage bildete eine von Motoyoshi und Nishida (2001) auf der Basis ihrer Ergebnisse entwickelte Hypothese. Sie bestimmten für unterschiedliche Reize über die Differenzskalierungsmethode die interne Antwort auf Orientierungskontrast. Dabei stellten sie nur bei Reizmustern, die bei hohem Orientierungskontrast zur Wahrnehmung getrennter Oberflächen führen, eine Sättigung der Salienzfunktion fest. Die Autoren vermuteten deshalb, dass es sich bei der Sättigung um einen Mechanismus des visuellen Systems handelt, der eine Steigerung der internen Antwort mit größer werdendem Orientierungskontrast unterbindet, wenn durch den bestehenden Orientierungskontrast bereits genügend Hinweise für die Existenz getrennter Oberflächen vorliegen. Sie nahmen an, dass ein solcher Mechanismus Teil eines ökonomisch arbeitenden visuellen Systems ist, in dem keine Prozesse ohne funktionelle Bedeutung ablaufen.

Wenn diese Vermutung der Autoren zutrifft, sollte ein solcher Mechanismus nicht nur im Falle von Orientierungskontrast, sondern allgemein für Merkmalskontrast existieren. Entsprechend sollten z.B. unabhängig davon, ob die Salienz einer quadratischen Texturfigur durch Orientierungs- oder Ortsfrequenzkontrast erzeugt wird, die für diesen Orientierungs- bzw. Ortsfrequenzkontrast konstruierbaren Salienzskalen bei der gleichen merkmalsunabhängigen Salienz zu sättigen beginnen. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass die Auffälligkeit der quadratischen Texturfigur in dem Punkt, in dem die Salienzfunktion zu sättigen beginnt, bei Ortsfrequenzkontrast im Durchschnitt 2.9 mal größer als bei Orientierungskontrast ist. Daraus lässt sich schließen, dass es keinen merkmalsunabhängigen Mechanismus im visuellen System gibt, der eine weitere Steigerung der internen Antwort durch Merkmalskontrast unterbindet, wenn bereits beim bestehenden Merkmalskontrast die vorliegenden Merkmalsausprägungen des Vorder- und Hintergrundes eines visuellen Reizmusters unterschiedlichen Oberflächen zugeordnet werden können. Was genau die Saturation der internen Antwort auf Merkmalskontrast verursacht, kann mit den Ergebnissen nicht beantwortet werden. Als Ursache für die Saturation der Salienzfunktion kann jedoch entgegen der Annahme von Motoyoshi und Nishida (2001) kein Mechanismus angenommen werden, der Teil eines ökonomisch arbeitenden visuellen Systems ist.

**Verarbeitung von Merkmalskontrast** Die interne Antwort auf Merkmalskontrast kann zu großen Teilen durch bestehende Filter-Rectifier-Filter-Modelle (FRF-Modelle) erklärt werden. Diese Klasse von Modellen geht davon aus, dass die visuellen Eingangssignale zunächst von linearen Filtern, die für eine spezifische Bandbreite von Ori-

## 12 ZUSAMMENFASSENDE DISKUSSION

entierungen und Ortsfrequenzen sensitiv sind, verarbeitet werden. Die Antworten der linearen Filter werden auf der zweiten Verarbeitungsstufe nichtlinear transformiert und schließlich von einem global arbeitenden linearen Filter weiterverarbeitet. Die Simulationsergebnisse lassen darauf schließen, dass einzelne experimentell bestimmte Saliensfunktionen über ein FRF-Modell vorhergesagt werden können. Lediglich bzgl. der Auswirkung von Merkmalsjitter auf die Saliensskalierung macht das für die Simulationen verwendete FRF-Modell von Meinhardt und Persike (submitted) fehlerhafte Vorhersagen.

Nach den experimentellen Ergebnissen wirkt sich Merkmalsjitter in dem Merkmal, in dem kein Merkmalskontrast für die Skalierung gebildet wird, nicht auf die Saliens einer durch Merkmalskontrast erzeugten Texturfigur aus. Die Ergebnisse sprechen deshalb dafür, dass bei der visuellen Informationsverarbeitung zwei Gruppen von globalen Energiekarten (Mastermaps) gebildet werden. In der einen Gruppe von Mastermaps wird in jeder einzelnen Karte eine spezifische Bandbreite von Orientierungen unabhängig von der Ortsfrequenz kodiert und in der anderen Gruppe von Mastermaps wird in jeder einzelnen Karte eine spezifische Bandbreite von Ortsfrequenzen unabhängig von der Orientierung kodiert. Solche zwei Gruppen von Verarbeitungspfaden (oder Summationsmechanismen) wurden bereits von Olzak und Thomas (1999) zur Erklärung ihrer Ergebnisse von Maskierungs- und Merkmalssummutations-Experimenten angenommen.

Eine vorgenommene Integration dieser Summationsmechanismen in das FRF-Modell von Meinhardt und Persike (submitted) führte jedoch zu keiner zufriedenstellenderen Vorhersage der Auswirkung von Merkmalsjitter auf die Differenzskalierung von Merkmalssaliens. Sowohl bei der ursprünglichen als auch bei der um die Summationskanäle erweiterten Version des FRF-Modells führt Ortsfrequenzjitter zu einer zu großen und Orientierungsjitter zu einer zu geringen Abnahme der durch Orientierungskontrast erzeugten Saliens. Eine Analyse der globalen Energiekarten zeigte, dass das Ziel der Kodierung der Orientierung unabhängig von der Ortsfrequenz nicht wie gewünscht durch die vorgenommene Integration der Summationsmechanismen erreicht wurde. Es ist Aufgabe zukünftiger Forschung eine Integrationsform zu finden, mit der das gewünschte Ziel erreicht werden kann.

# Anhang

## A Signalentdeckungstheorie

Die Antwort einer Versuchsperson bei einer Entdeckungs- oder Unterscheidungsaufgabe hängt nicht nur von der Empfindungsstärke ab, die durch die präsentierten Reize ausgelöst wird, sondern wird auch durch ein Entscheidungskriterium der Versuchsperson bestimmt (s. Kapitel 2.1.1). Die Signalentdeckungstheorie enthält Annahmen, die die Bestimmung der sensorischen Empfindlichkeit des Sinnessystems für eine Reizstärke bzw. für den Unterschied zwischen zwei Reizstärken unabhängig vom Entscheidungskriterium einer Versuchsperson ermöglicht.

Diese Annahmen werden im folgenden Abschnitt dargestellt. Im anschließenden Abschnitt A.2 wird die Anwendung der Signalentdeckungstheorie zur Auswertung von Untersuchungsdaten beschrieben, die mit einer Yes-No-Methode gemessen werden. Die Signalentdeckungstheorie wurde ursprünglich zur Auswertung dieser Untersuchungsdaten entwickelt.

Innerhalb dieser Arbeit wurden alle Untersuchungsdaten zur Schwellenbestimmung mit einer sog. Same-Different-Methode gemessen<sup>39</sup>. Die Anwendung der Signalentdeckungstheorie auf Untersuchungsdaten, die mit dieser Methode gemessen werden, wird in Abschnitt A.3 erläutert.

Zur Auswertung der mit der Same-Different-Methode gemessenen Daten wurde jedoch nicht die Empfindlichkeitsberechnung der Same-Different-Methode, sondern die wesentlich bekanntere und verbreitetere Empfindlichkeitsberechnung der Yes-No-Methode verwendet. Der Zusammenhang zwischen den beiden im Folgenden hergeleiteten Empfindlichkeitsberechnungen der Yes-No- und Same-Different-Methode und die daraus resultierende Möglichkeit und Konsequenz der Verwendung der Empfindlichkeitsberechnung der Yes-No-Methode bei einem Same-Different-Experiment wird in Abschnitt A.5 dargestellt.

### A.1 Annahmen der Signalentdeckungstheorie

Die Signalentdeckungstheorie geht davon aus, dass die Antwort eines Probanden von einem sensorischen Prozess und einem davon zu trennenden Entscheidungsprozess abhängt.

---

<sup>39</sup>Die Wahl dieser Methode ist notwendig, damit das entwickelte Verfahren zur Generierung von Ortsfrequenzkontrast für die Differenzskalierung von Saliens durch Ortsfrequenzkontrast verwendet werden kann (s. Kapitel 7)

## A SIGNALENTDECKUNGSTHEORIE

**Sensorischer Prozess:** Es wird angenommen, dass ein physikalischer Reiz eine interne Antwort hervorruft. Diese interne Antwort wird Signal genannt. Die Stärke des Signals steht in direktem Zusammenhang mit der Intensität des physikalischen Reizes, d.h. ein intensiver Reiz verursacht ein stärkeres Signal als ein weniger intensiver Reiz. Es wird des Weiteren angenommen, dass das sensorische System Rauschen zum Signal addiert. Das bedeutet, dass der sensorische Zustand einer Person nicht ausschließlich durch das Signal bestimmt wird, sondern zusätzlich durch eine „zufällig“ variierende Komponente. Dem sensorischen Rauschen werden verschiedene Eigenschaften zugeschrieben: (i) es ist normalverteilt mit einem Mittelwert von null, (ii) es korreliert weder mit der internen Reizantwort (iii) noch mit anderem sensorischen Rauschen.

Die gesamten Annahmen werden im Folgenden formal dargestellt:

**Annahme 1** Es existiert eine monotone sensorische Abbildung  $I_j \mapsto \mu_j$ , die dem Parameter  $I_j$  einen konstanten sensorischen Zustand  $\mu_j$  zuordnet.

**Annahme 2** Der sensorische Zustand  $X_{ij}$ , ausgelöst durch Stimulation mit dem physikalischen Reizparameter  $I_j$  im Trial  $i$ , kann beschrieben werden durch eine Überlagerung der sensorischen Abbildung  $I_j \mapsto \mu_j$  und einer Zufallsvariablen  $\xi_{ij}$ , die den Effekt des sensorischen Rauschens repräsentiert:  $X_{ij} = \mu_j + \xi_{ij}$ .

**Annahme 3** Die Zufallsvariablen  $\xi_{ij}$  sind untereinander unabhängig. Sie sind ebenfalls vom durchschnittlichen sensorischen Zustand  $\mu_j$  unabhängig, unter dem sie auftreten. Für alle  $\mu_j$  ist die Zufallsvariable identisch verteilt. Die Verteilung folgt einer Gauß-Verteilung mit einem Erwartungswert von null ( $N(0|\sigma)$ ).

Wie der Proband basierend auf seinem sensorischen Zustand zu einer Entscheidung kommt, wird im Entscheidungsprozess definiert.

**Entscheidungsprozess:** Es wird angenommen, dass ein Proband sein Urteil auf der Basis eines konstanten Kriteriums fällt. Wenn die Stärke der durch einen physikalischen Reiz ausgelösten Empfindung (sensorischer Zustand) das Kriterium überschreitet, antwortet der Proband z.B. in einem Yes-No-Experiment mit „ja“ („da war ein Reiz“). Wenn die Stärke der Empfindung das Kriterium nicht überschreitet, antwortet der Proband in einem Yes-No-Experiment mit „nein“ („da war kein Reiz“).

## A.2 Yes-No-Methode

Zur Bestimmung einer Schwelle mit einer Yes-No-Methode wird einem Probanden in einer Messung wiederholt entweder ein Referenzreiz oder ein Target präsentiert. Der Referenzreiz bezeichnet den Reiz mit der Reizstärke, für den eine Absolutschwelle (Reizstärke ist dann gleich null) bzw. eine Unterschiedsschwelle bestimmt werden soll. Ein Target ist ein Reiz, der in der Regel eine im Vergleich zum Referenzreiz größere physikalische Reizstärke hat (synonym: Vergleichsreiz)<sup>40</sup>. Bei einer Messung werden Targets mit unterschiedlicher Reizintensität verwendet.<sup>41</sup>

Jedes Target wird dem Probanden mehrfach präsentiert und der Referenzreiz wird genauso oft präsentiert wie alle Targets zusammen. Die Grundwahrscheinlichkeit dafür, dass es sich bei einem präsentierten Reiz um ein Target handelt, ist damit genauso groß, wie die Grundwahrscheinlichkeit dafür, dass der präsenierte Reiz der Referenzreiz ist (jeweils 50%). Die Reihenfolge der Darbietungen wird zufällig variiert, d.h. der Proband weiß vor einer Präsentation nicht, ob ihm ein Target oder ein Referenzreiz dargeboten wird.

Die Aufgabe des Probanden ist zu entscheiden, ob es sich bei einer Reizdarbietung um ein Target handelt. Kommt er zu der Entscheidung, dass es sich um ein Target handelt, antwortet er „ja“ („das war ein Target“). Kommt er zu der Entscheidung, dass der präsenierte Reiz ein Referenzreiz war, antwortet er „nein“ („das war kein Target“).

Wird dem Probanden ein Target präsentiert und er entscheidet sich für „nein“ („das war kein Target“), bezeichnet man diese falsche Antwort als *Miss*. Man spricht von *False-Alarm* (FA), wenn ein Proband antwortet „ja“ („das war ein Target“), obwohl ihm kein Target präsentiert wurde. Die richtige Antwort „ja“ im Fall einer Targetpräsentation wird als *Hit* bezeichnet und die richtige Antwort „nein“ im Fall keiner Targetpräsentation wird als *Correct-Rejection* (CR) bezeichnet. Es lassen sich folglich vier Antwortklassen voneinander unterscheiden. Diese sind in Abb. A.1 dargestellt.

Über das Verhältnis von der Anzahl der Hits zur Anzahl aller Präsentationen eines Targets lässt sich für jedes einzelne Target die Wahrscheinlichkeit für einen Hit ( $P(Hit)$ ) berechnen. Das Verhältnis von der Anzahl der Misses zur Anzahl aller Präsentationen eines Targets bestimmt für jedes einzelne Target die dazu komplementäre Wahrscheinlichkeit für einen Miss ( $P(Miss)$ ). Über die Antworten, die bei allen Präsentationen des Referenzreiz gegeben werden, lässt sich zum einen die Wahrscheinlichkeit

<sup>40</sup>Ausnahmen dieser Regel bilden sog. Dekrementschwellenmessungen, bei denen die Reizintensitäten der Vergleichsreize alle geringer sind als die Reizintensität des Referenzreizes (s. Kapitel 8)

<sup>41</sup>Wie bei allen Varianten der klassischen Konstanzmethode reichen vier bis sechs unterschiedliche Reizintensitäten aus, sofern die schwächste Reizintensität deutlich unterhalb und die stärkste Reizintensität deutlich oberhalb der zu bestimmenden Reizintensität der Schwelle liegt.



## A SIGNALENTDECKUNGSTHEORIE

		Antwort	
		„Ja“	„Nein“
Reize	Target	Hit	Miss
	Referenzreiz	False Alarm	Correct Rejection

**Abb. A.1:** Antwortklassen einer Yes-No-Methode.

für einen False-Alarm ( $P(FA)$ ) über das Verhältnis von der Anzahl der False-Alarms zur Anzahl aller Präsentationen des Referenzreizes berechnen. Zum anderen lässt sich die dazu komplementäre Wahrscheinlichkeit für eine Correct-Rejection ( $P(CR)$ ) über das Verhältnis von der Anzahl der Correct-Rejections zur Anzahl aller Präsentationen des Referenzreizes berechnen.

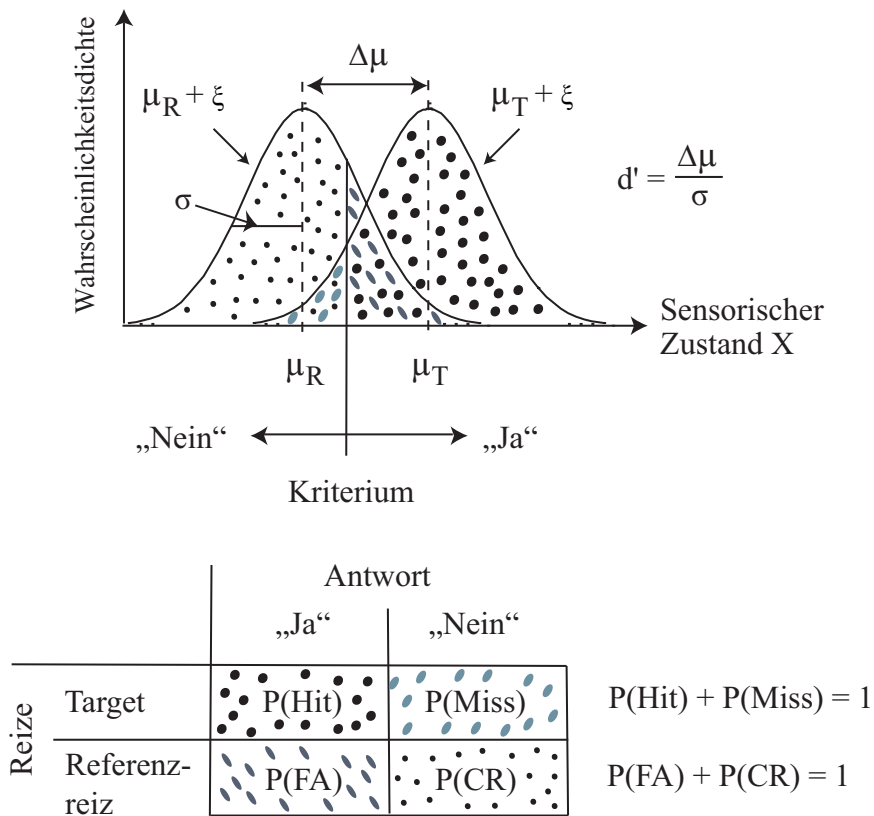
Die Signalentdeckungstheorie ermöglicht es auf der Basis dieser gemessenen Wahrscheinlichkeiten für jede Reizintensität eines Targets die sensorische Empfindlichkeit des Sinnessystems für den Unterschied zwischen der Target- und der Referenzreizintensität zu bestimmen.

Nach der Theorie (s. Anhang A.1) wird davon ausgegangen, dass die durch ein Target ausgelöste sensorische Empfindung  $X_T$  aus der internen Antwort auf das Target plus Rauschen besteht ( $X_T = \mu_T + \xi$ , Target-Verteilung). Wird dem Probanden der Referenzreiz präsentiert, besteht die dadurch ausgelöste sensorische Empfindung  $X_R$  aus der internen Antwort auf den Referenzreiz plus Rauschen ( $X_R = \mu_R + \xi$ , Referenzreiz-Verteilung). Wenn die Target-Verteilung und die Referenzreiz-Verteilung sich überlappen, kann auf der Basis des sensorischen Zustands nicht mit absoluter Sicherheit entschieden werden, ob ein Target präsentiert wurde oder nicht. Es kann folglich zu falschen Entscheidungen des Probanden kommen. Nach der Signalentdeckungstheorie antwortet ein Proband mit „ja“ („das war ein Target“), wenn die Stärke der durch einen Reiz ausgelösten sensorischen Empfindung (sensorischer Zustand) ein vom Probanden festgelegtes konstantes Kriterium überschreitet.

Der Zusammenhang zwischen der Target- und der Referenzreiz-Verteilung, dem Entscheidungskriterium eines Probanden und den über eine Messung bestimmten Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Antwortklassen ist in Abb. A.2 veranschaulicht.

Da die Target-Verteilung und die Referenzreiz-Verteilung durch Gauß-Funktionen mit gleicher Varianz  $\sigma$  beschrieben werden können (s. Annahmen in Anhang A.1), ist eine Standardisierung der Differenz der durch den Referenzreiz und das Target aus-

## A SIGNALENTDECKUNGSTHEORIE



**Abb. A.2:** Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Target-Verteilung ( $X_T = \mu_T + \xi$ ), der Referenzreiz-Verteilung ( $X_R = \mu_R + \xi$ ), dem vom Probanden festgelegten Entscheidungskriterium und den Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Antwortklassen. Die Wahrscheinlichkeit für einen Hit ( $P(\text{Hit})$ ) und die für einen Miss ( $P(\text{Miss})$ ) addieren sich wie auch die Wahrscheinlichkeit für False-Alarm ( $P(\text{FA})$ ) und für Correct-Rejection ( $P(\text{CR})$ ) jeweils zu eins, da sie je zusammen eine Wahrscheinlichkeitsdichte-Verteilung vollständig bestimmen.

## A SIGNALENTDECKUNGSTHEORIE

gelösten internen Antwort möglich:

$$d' = \frac{\mu_T - \mu_R}{\sigma}. \quad (\text{A.1})$$

Diese standardisierte Differenz  $d'$  ist ein Maß für die sensorische Empfindlichkeit des Sinnessystems für den Unterschied zwischen der Target- und der Referenzreizstärke.  $d'$  gibt somit an, wie gut ein Proband Target und Referenzreiz voneinander unterscheiden kann. Ist die Referenzreizstärke null, gibt  $d'$  an, wie empfindlich das Sinnessystem für die Reizstärke des Targets ist.

Auf der Basis der in Abschnitt A.1 dargestellten Annahmen kann  $d'$  für jede Reizintensität eines Targets über die durch eine Messung für das entsprechende Target bestimmte Hit-Wahrscheinlichkeit ( $P(\text{Hit})$ ) und die False-Alarm-Wahrscheinlichkeit ( $P(\text{FA})$ ) geschätzt werden. Für  $P(\text{Hit})$  gilt:

$$\begin{aligned} P(\text{Hit}) &= 1 - P(\text{Miss}) \\ P(\text{Hit}) &= 1 - \Phi\left(\frac{k - \mu_T}{\sigma}\right) \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{k - \mu_R}{\sigma} - \frac{\Delta\mu}{\sigma}\right) \\ &= 1 - \Phi(z(k) - d') \\ P(\text{Hit}) &= \Phi(d' - z(k)), \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

wobei  $\Phi$  für die Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung steht:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{1}{2}t^2\right) dt. \quad (\text{A.3})$$

Für  $P(\text{FA})$  gilt:

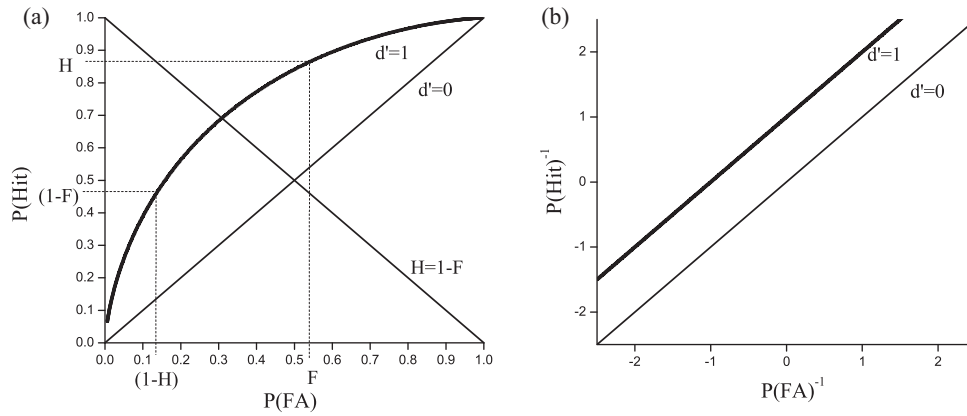
$$\begin{aligned} P(\text{FA}) &= 1 - P(\text{CR}) \\ P(\text{FA}) &= 1 - \Phi\left(\frac{k - \mu_R}{\sigma}\right) \\ &= 1 - \Phi(z(k)) \\ P(\text{FA}) &= \Phi(-z(k)), \end{aligned} \quad (\text{A.4})$$

woraus folgt:

$$d' = \Phi^{-1}(P(\text{Hit})) - \Phi^{-1}(P(\text{FA})), \quad (\text{A.5})$$

wobei  $\Phi^{-1}$  die Inverse der Standardnormalverteilung ist. Das Maß der sensorischen Empfindlichkeit  $d'$  wird somit über die Summe der zu der Hit-Wahrscheinlichkeit und der False- Alarm-Wahrscheinlichkeit korrespondierenden Z-Werte der Standardnormalverteilung berechnet.

## A SIGNALENTDECKUNGSTHEORIE



**Abb. A.3:** (a) ROCs der Yes-No-Methode für  $d'=1$  und  $d'=0$ . Der Punkt  $(F, H)$  liegt auf derselben Kurve wie der Punkt  $(1-H, 1-F)$ . Die Kurve ist somit symmetrisch zu der Achse  $H=1-F$ . (b) ROCs für  $d'=1$  und  $d'=0$  in z-transformierten Koordinaten. Es zeigt sich jeweils ein linearer Verlauf mit einer Steigung von eins.

Wichtig ist, dass dieses Maß der sensorischen Empfindlichkeit nicht von der Position des Entscheidungskriterium eines Probanden abhängt. Man stelle sich dazu vor, dass eine Testperson ein und dieselbe Messung zwei Mal hintereinander durchführt. Sie antwortet in der ersten Messung nur mit „ja“, wenn sie sich sicher ist, dass ein Reiz präsentiert wurde ( $\rightarrow$  konservative Festlegung des Kriteriums). In der anderen Messung antwortet sie hingegen auch dann mit „ja“, wenn sie sich nicht ganz sicher ist, ob ein Reiz präsentiert wurde ( $\rightarrow$  liberale Festlegung des Kriteriums). Diese beiden verschiedenen Antwortstrategien führen selbstverständlich zu unterschiedlichen Hit- und False-Alarm-Häufigkeiten. Die Messung mit einem liberalen Kriterium führt vergleichsweise zu mehr Hits, aber auch zu mehr False-Alarms. Der Wert von  $d'$  ist jedoch in beiden Fällen gleich.

Alle möglichen Paare von Hit- und FA-Wahrscheinlichkeiten, die zum selben  $d'$ -Wert führen, liegen auf einer sog. Isosensitivitätskurve, auch *receiver operating characteristic* (ROC) genannt. Abb. A.3 (a) zeigt eine ROC für einen  $d'$ -Wert von eins und eine ROC für einen  $d'$ -Wert von null. Charakteristisch ist der regelmäßige, symmetrische Verlauf. Die Steigung der Kurve wird systematisch kleiner, je größer die Tendenz ist „ja“ zu sagen. Stellt man die Kurve nicht in linearen, sondern in z-transformierten Koordinaten dar, ergibt sich eine Gerade mit einer Steigung von eins (s. Abb. A.3 (b)). Als algebraische Gleichung ergibt sich dieser Sachverhalt durch Umstellung der Gleichung (A.5):

$$\Phi^{-1}(P(\text{Hit})) = d' + \Phi^{-1}(P(\text{FA})). \quad (\text{A.6})$$

### A.3 Same-Different-Methode

In den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen wurde eine sog. Same-Different-Methode zur Bestimmung der Schwellen verwendet, auf deren Ergebnisse ebenfalls die Signalmentdeckungstheorie angewandt werden kann. Bei dieser Methode werden, wie bei der Two-Alternative-Forced-Choice-Methode, dem Probanden entweder in zeitlicher oder in räumlicher Nähe wiederholt zwei Reize präsentiert. Diese beiden Reize können entweder zwei Referenzreize oder ein Referenzreiz und ein Target sein. Wie bei allen Schwellenmessmethoden werden Targets unterschiedlicher Reizintensität verwendet, wobei auch bei dieser Methode darauf zu achten ist, dass die schwächste Reizintensität deutlich unterhalb und die stärkste Reizintensität deutlich oberhalb der zu bestimmenden Reizintensität der Schwelle liegt. Jedes Target wird mehrfach zusammen mit dem Referenzreiz präsentiert. Die Anzahl der Messdurchgänge, in denen zwei Referenzreize präsentiert werden (Same-Trials), ist genauso groß wie die Anzahl aller Target-Referenzreiz-Durchgänge (Different-Trials). Die Grundwahrscheinlichkeit für einen Same-Trial ist damit genauso groß, wie die Grundwahrscheinlichkeit für einen Different-Trial (jeweils 50%). Die Abfolge von Same- und Different-Trials wird zufällig variiert.

Der Proband hat die Aufgabe jedes Stimuluspaar korrekt zu klassifizieren, d.h. er antwortet „same“, wenn das Stimuluspaar seiner Meinung nach aus zwei Referenzreizen bestand und er antwortet „different“, wenn er meint als ersten oder zweiten Reiz ein Target wahrgenommen zu haben.

Die sich ergebenden Antwortklassen bei einer Same-Different-Methode stimmen mit den Antwortklassen der Yes-No-Methode überein. Sie sind in Abb. A.4 dargestellt. Nach Abschluss einer Messung kann somit über das Verhältnis von der Anzahl der Hits eines Targets (Anzahl der Messdurchgänge, in denen in einem Different-Trial eines der Targets und der Referenzreiz präsentiert wird und der Proband richtig mit „different“ antwortet) zur Anzahl aller Different-Trials, in denen das entsprechende Target präsentiert wurde, für jedes einzelne Target die Wahrscheinlichkeit für einen Hit ( $P(Hit)$ ) berechnet werden. Über das Verhältnis von der Anzahl der Misses eines Targets (Anzahl der Messdurchgänge, in denen in einem Different-Trial eines der Targets und der Referenzreiz präsentiert wird und der Proband falsch mit „same“ antwortet) zur Anzahl aller Different-Trials, in denen das entsprechende Target präsentiert wurde, kann für jedes einzelne Target die dazu komplementäre Wahrscheinlichkeit für einen Miss ( $P(Miss)$ ) bestimmt werden. Über die Antworten, die bei allen Same-Trials gegeben werden, lässt sich zum einen über das Verhältnis von der Anzahl der False-Alarms (Anzahl der Messdurchgänge, in denen zweimal der Referenzreiz präsentiert wird (Same-Trial) und der

## A SIGNALENTDECKUNGSTHEORIE

		Antwort	
		„Different“	„Same“
Reize	Target + Referenzreiz	Hit	Miss
	Referenzreiz + Referenzreiz	False Alarm	Correct Rejection

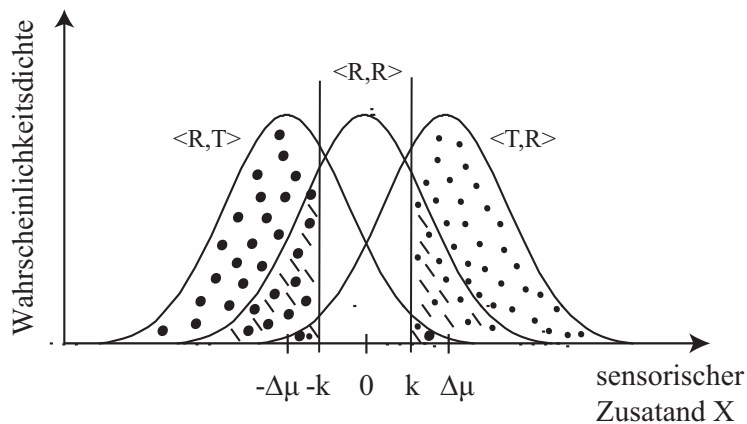
**Abb. A.4:** Antwortklassen einer Same-Different-Methode.

Proband falsch mit „different“ antwortet) zur Anzahl aller Same-Trials die Wahrscheinlichkeit für einen False-Alarm ( $P(FA)$ ) berechnen. Zum anderen lässt sich über das Verhältnis von der Anzahl der Correct-Rejections (Anzahl der Messdurchgänge, in denen zweimal der Referenzreiz präsentiert wird (Same-Trial) und der Proband richtig mit „same“ antwortet) zur Anzahl aller Same-Trials die dazu komplementäre Wahrscheinlichkeit für eine Correct-Rejection ( $P(CR)$ ) berechnen.

Um über diese mit der Same-Different-Methode empirisch bestimmten Wahrscheinlichkeiten das sensorische Empfindlichkeitsmaß  $d'$  (s. Gleichung (A.1)) für jede Reizintensität eines Targets berechnen zu können, muss zusätzlich zu den in Anhang A.1 dargestellten Annahmen der Signalentdeckungstheorie eine Annahme darüber gemacht werden, wie ein Proband bei einer Same-Different-Methode zu seinem Urteil kommt. Die Signalentdeckungstheorie unterscheidet die beiden folgenden Modelle: 1. Das Differenzmodell und 2. Das Modell der unabhängigen Reizverarbeitung (s. Macmillan & Creelman, 1991).

Das Differenzmodell geht davon aus, dass eine Testperson zu ihrem Urteil „same“ oder „different“ kommt, indem sie die Differenz zwischen den beiden Beobachtungen eines Trials bildet und prüft, ob diese eine kritische Grenze (Kriterium) überschreitet (s. Abb. A.5). Durch dieses Modell kommt es jedoch in bestimmten Fällen zu wenig plausiblen Entscheidungen. Zur Verdeutlichung betrachte man folgendes Beispiel: Die Schüler einer Klasse A bekommen durchschnittlich 20 Euro Taschengeld im Monat und die Schüler einer Klasse B bekommen im Durchschnitt 25 Euro monatlich. Nun erhält man Informationen über das monatliche Taschengeld von zwei Schülern und soll beurteilen, ob sie in einer Klasse sind. Der erste Schüler erhält 15 Euro monatlich und der zweite Schüler erhält 20 Euro monatlich. Da die Differenz der beiden Taschengelder genauso groß ist, wie der Abstand der beiden Mittelwerte, würde man nach dem Differenzmodell bei einem neutralen Kriterium zu der Entscheidung kommen, dass die Schüler nicht der gleichen Klasse angehören. Zu dem plausibleren Urteil, dass beide Schüler der Klasse A angehören, würde man kommen, wenn man auf der Basis der einzelnen Infor-

## A SIGNALENTDECKUNGSTHEORIE



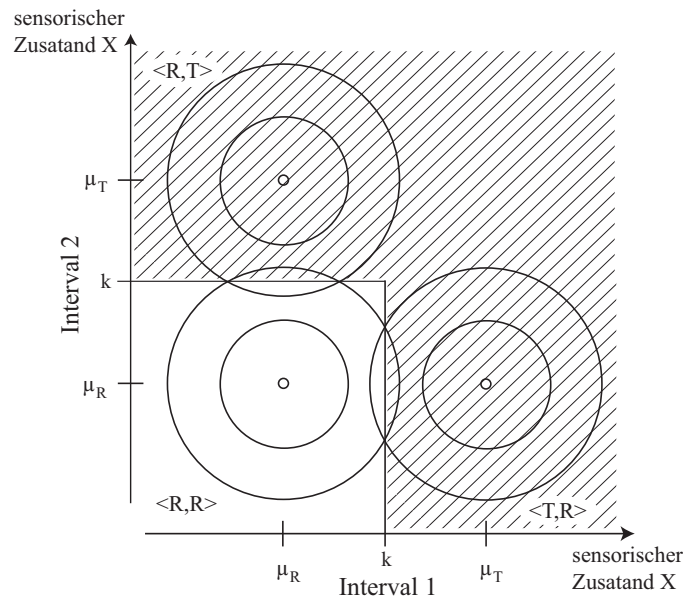
**Abb. A.5:** Entscheidungsraum bei einem Same-Different-Experiment nach dem Differenzmodell. Nach der Entscheidungsregel sagt man „different“ in den markierten Flächen.  $\langle R, T \rangle$  markiert die Verteilung, die sich durch die Stimulussequenz Referenzreiz-Target ergibt.  $\langle R, R \rangle$  markiert entsprechend die Verteilung der Same-Trials und  $\langle T, R \rangle$  die Verteilung der Stimulussequenz Target-Referenzreiz. Die gepunkteten Flächen geben jeweils die Hit-Wahrscheinlichkeit der  $\langle R, T \rangle$  Verteilung (große Punkte) bzw. der  $\langle T, R \rangle$  Verteilung (kleine Punkte) an. Die gestrichelten Flächen markieren die False-Alarm-Wahrscheinlichkeit der  $\langle R, R \rangle$  Verteilung.

mation beide Schüler unabhängig voneinander einer Klasse zuordnet. Genau diese Art der Urteilsbildung wird im Modell der unabhängigen Reizverarbeitung angenommen. Weil dieses Modell den Entscheidungsprozess somit sinnvoller abbildet, wird es hier gegenüber dem Differenzmodell präferiert und im Folgenden näher dargestellt, inklusive der sich daraus ergebenden Berechnung des sensorischen Empfindlichkeitsmaßes  $d'$ .

**Modell der unabhängigen Reizverarbeitung** Es wird davon ausgegangen, dass für beide Reize eines Trials unabhängig voneinander geprüft wird, ob sie einen kritischen Wert  $k$  überschreiten. Wird dieser kritische Wert von einem Reiz überschritten, wird dieser als Target klassifiziert. Ein Proband beurteilt zwei Reize genau dann als „different“, wenn mindestens einer von beiden das eigens festgelegte Kriterium überschreitet und damit als Target klassifiziert wird. Das Modell der unabhängigen Reizverarbeitung ist in Abb. A.6 dargestellt. Jeder Punkt in diesem zweidimensionalen Raum repräsentiert ein mögliches Ergebnis eines Trials. In jedem Intervall<sup>42</sup> ist die interne Antwort auf einen Referenzreiz  $\mu_R$  und die interne Antwort auf ein Target ist  $\mu_T$ . Da angenommen wird, dass die durch einen Reiz ausgelöste sensorische Empfindung durch die interne Antwort

<sup>42</sup>Ein Trial besteht aus zwei Intervallen, dem ersten und dem zweiten Reiz.

## A SIGNALENTDECKUNGSTHEORIE



**Abb. A.6:** Entscheidungsraum bei einem Same-Different-Experiment nach dem Modell der unabhängigen Reizverarbeitung.

plus normalverteiltes Rauschen bestimmt wird und dass das Ausmaß des Gaußschen-Rauschens unabhängig von der Stärke der internen Antwort ist (s. Annahmen in Anhang A.1), ergeben sich für alle drei möglichen Reizsequenzen ( $\langle R,R \rangle, \langle T,R \rangle, \langle R,T \rangle$ ) Wahrscheinlichkeitsverteilungen mit identischer Streuung, die durch die eingezeichneten Kreise repräsentiert werden. Die beiden Kriteriumslinien legen fest, welche Punkte im Raum zu welcher Entscheidung führen. Alle Punkte im schraffierten Bereich führen zu der Antwort „different“, alle anderen Punkte zu der Antwort „same“.

Sind die Unterschiede in der Reizintensität zwischen Target und Referenzreiz klein genug, so dass sich die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der einzelnen Reizsequenzen überlappen, kann der Proband auf der Basis seiner sensorischen Empfindung (sensorischer Zustand) nicht mit absoluter Sicherheit sagen, ob ihm zwei Referenzreize oder ein Referenzreiz und ein Target präsentiert wurden. Dadurch kommt es zu falschen Entscheidungen des Probanden.

Das Maß der sensorischen Empfindlichkeit  $d'$  (s. Gleichung (A.1)) kann nun wie folgt über die mit der Same-Different-Methode bestimmten Wahrscheinlichkeiten geschätzt



## A SIGNALENTDECKUNGSTHEORIE

werden. Für  $P(Hit)$  gilt:

$$\begin{aligned}
 P(Hit) &= 1 - P(Miss) \\
 P(Hit) &= 1 - \left( \Phi \left( \frac{k - \mu_T}{\sigma} \right) \Phi \left( \frac{k - \mu_R}{\sigma} \right) \right) \\
 &= 1 - \left( \Phi \left( \frac{k - \mu_R}{\sigma} - \frac{\Delta\mu}{\sigma} \right) \Phi \left( \frac{k - \mu_R}{\sigma} \right) \right) \\
 P(Hit) &= 1 - (\Phi(z(k) - d') \Phi(z(k))). \tag{A.7}
 \end{aligned}$$

$\Phi(z(k))$  ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die durch den *Referenzreiz* ausgelöste sensorische Erregung unterhalb des vom Probanden festgelegten Entscheidungskriteriums bleibt und  $\Phi(z(k) - d')$  ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die durch ein *Target* ausgelöste sensorische Erregung unterhalb dieses Entscheidungskriteriums bleibt. Die Wahrscheinlichkeit für einen Miss ( $P(Miss)$ ) ergibt sich aus dem Produkt dieser beiden Wahrscheinlichkeiten.

Für  $P(FA)$  gilt:

$$\begin{aligned}
 P(FA) &= 1 - P(CR) \\
 P(FA) &= 1 - [\Phi(z(k))]^2. \tag{A.8}
 \end{aligned}$$

$\Phi(z(k))$  ist erneut die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die durch den Referenzreiz ausgelöste sensorische Erregung unterhalb des vom Probanden festgelegten Entscheidungskriteriums bleibt. Für eine korrekte Ablehnung (Correct-Rejection) muss die durch den Referenzreiz ausgelöste sensorische Erregung sowohl im ersten als auch im zweiten Intervall unterhalb des Entscheidungskriteriums bleiben. Die Wahrscheinlichkeit für eine korrekte Ablehnung  $P(CR)$  ergibt sich folglich durch  $[\Phi(z(k))]^2$ .

Stellt man (A.8) nach  $z(k)$  um, ergibt sich:

$$z(k) = \Phi^{-1} \left( \sqrt{1 - P(FA)} \right). \tag{A.9}$$

Wird nun  $z(k)$  in (A.7) durch (A.9) ersetzt ergibt sich für  $d'$ :

$$d' = \Phi^{-1}(\sqrt{1 - P(FA)}) - \Phi^{-1} \left( \frac{1 - P(Hit)}{\sqrt{1 - P(FA)}} \right). \tag{A.10}$$

### A.4 Bestimmung einer Schwelle

Alle über die Same-Different-Methode (s. Anhang A.3) gemessenen Daten dieser Arbeit wurden zur Bestimmung der Schwellen mit der einfachen und verbreiteten  $d'$ -Berechnung der Yes-No-Methode ( $d'_{YN}$ -Berechnung; s. Gleichung (A.5)) ausgewertet. Die auf diese Weise für die Targets einer Schwellenmessung berechneten  $d'$ -Werte

## A SIGNALENTDECKUNGSTHEORIE

wurden in Percent-Correct-Werte ( $PC$ -Werte) einer Two-Alternative-Forced-Choice-Methode umgerechnet:

$$PC = \Phi\left(\frac{1}{\sqrt{2}}d'\right) \quad (\text{A.11})$$

(s. Macmillan & Creelman, 1991, S. 126). Diese  $PC$ -Werte können zwischen 50% (Zufall) und 100% variieren.  $PC$  ist die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Target, dessen Reizintensität sich um  $\Delta x$  von der Reizintensität des Referenzreizes unterscheidet, vom Referenzreiz diskriminiert werden kann (s. Kapitel 2.1.1.2). Durch

$$PC_{kor} = (PC - 0.5)/0.5 \quad (\text{A.12})$$

(s. Macmillan & Creelman, 1991, S. 127) wurden sie „zufallskorrigiert“, d.h. auf einen Wertebereich zwischen 0 und 100% gestreckt. Anschließend wurden diese korrigierten  $PC$ -Werte mit einer Weibull-Funktion

$$PC_{kor}(\Delta x) = 1 - \exp^{-(g\Delta x)^k} \quad (\text{A.13})$$

beschrieben<sup>43</sup>.  $g$  und  $k$  sind freie Parameter der Funktion, die unter Verwendung des Kleinstquadratkriteriums für die jeweiligen Messdaten bestimmt wurden. Das Schwellenkriterium  $K$  war für alle Messungen dieser Arbeit der 50%-Punkt dieser Weibull-Funktion, d.h. es wurde der Unterschied in der Reizintensität  $\Delta x$  über die Weibull-Funktion extrapoliert, der die Gleichung  $PC_{kor}(\Delta x) = K = 0.5$  erfüllt, d.h.

$$\Delta x(0.5) = \frac{(-\ln[0.5])^{\frac{1}{k}}}{g}. \quad (\text{A.14})$$

gibt den Unterschied in der Reizintensität zwischen Referenzreiz und Target an, der zum Erreichen der Schwelle notwendig ist.

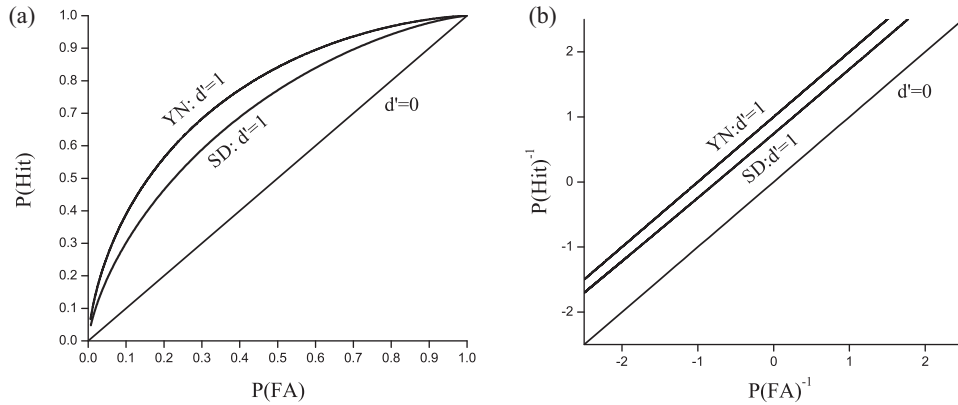
### **A.5 Zusammenhang zwischen der $d'$ -Berechnung der Yes-No-Methode und der $d'$ -Berechnung der Same-Different-Methode**

Im Folgenden wird gezeigt, warum die Daten der Same-Different Experimente mit der  $d'$ -Berechnung der Yes-No-Methode ausgewertet werden dürfen. Zum einen ist theoretisch zu erwarten und zum anderen lässt sich empirisch zeigen, dass die Verwendung der  $d'$ -Berechnung, die sich aus dem Modell der unabhängigen Reizverarbeitung der Same-Different-Methode ergibt ( $d'_{SD}$ -Berechnung; s. Gleichung (A.10)), unter Verwendung eines anderen festen Schwellenkriteriums,  $PC_{SD_{kor}}(\Delta x_{SD}) = 0.6175$ , zu den selben Schwellenmesswerten wie (A.14) führt:

$$\Delta x_{YN}(0.5) = \Delta x_{SD}(0.6175). \quad (\text{A.15})$$

<sup>43</sup>Die Weibull-Funktion wird vor allem deshalb häufig als psychometrische Funktion verwendet, weil sie hervorragend die Messdaten beschreibt (Mortensen, 2002)

## A SIGNALENTDECKUNGSTHEORIE



**Abb. A.7:** (a) ROCs der Same-Different- und der Yes-No-Methode für  $d'=1$  und  $d'=0$ . (b) ROCs für  $d'=1$  und  $d'=0$  in z-transformierten Koordinaten. Es zeigt sich jeweils ein linearer Verlauf mit einer Steigung von eins.

Da die genaue Wahl des Schwellenkriteriums für die Ergebnisse der Experimente nicht entscheidend ist, sondern nur, dass bei allen Schwellenmessungen das gleiche Schwellenkriterium verwendet wird, konnten die Schwellenmessungen mit der  $d'$ -Berechnung der Yes-No-Methode ausgewertet werden.

### A.5.1 Theoretischer Zusammenhang

Im Folgenden wird der Zusammenhang zwischen den beiden Empfindlichkeitsberechnungen dargestellt, der sich aus theoretischen Überlegungen ergibt. Es kann gezeigt werden, dass bei Verwendung gleicher Untersuchungsdaten jedem  $d'$ -Wert der  $d'_{YN}$ -Berechnung genau ein  $d'$ -Wert der  $d'_{SD}$ -Berechnung zugeordnet werden kann. Dazu vergleiche man die ROC der  $d'_{SD}$ -Berechnung für einen  $d'$ -Wert von 1 mit der bereits in Abb. A.3 ebenfalls für einen  $d'$ -Wert von 1 dargestellten ROC der Yes-No-Methode. In Abb. A.7 (a) sind beide Kurven eingezeichnet. Zu erkennen ist, dass beide Kurven einen regelmäßigen symmetrischen Verlauf aufweisen, d.h. auch die ROC der Same-Different-Methode weist einen linearen Verlauf in z-transformierten Koordinaten auf (s. Abb. A.7 (b)). Das bedeutet, dass für jede Kombination von  $P(Hit)$  und  $P(FA)$ , für die ein und derselbe  $d'_{YN}$ -Wert berechnet wird, auch bei Verwendung der  $d'_{SD}$ -Berechnung immer ein und derselbe  $d'_{SD}$ -Wert berechnet wird. Folglich kann bei Verwendung gleicher Untersuchungsdaten jedem  $d'$ -Wert der  $d'_{YN}$ -Berechnung genau ein  $d'$ -Wert der  $d'_{SD}$ -Berechnung zugeordnet werden. In Tabelle A.1 sind die jeweils korrespondierenden  $d'$ -Werte dargestellt.

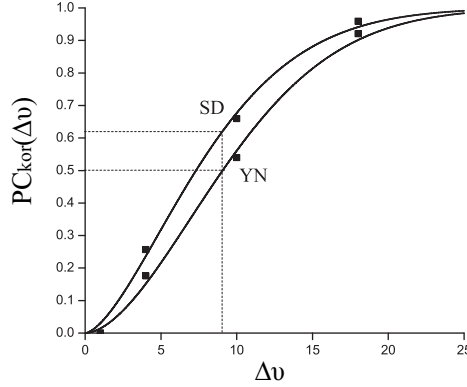
Wenn die Weibull-Funktion die im Vergleich zur Yes-No-Auswertung erhöhten  $PC_{kor}$ -

## A SIGNALENTDECKUNGSTHEORIE

**Tabelle A.1:** Vergleich der  $d'$ -Werte der  $d'_{YN}$ -Berechnung (hier:  $d'_{YN}$ ) mit den sich bei gleichen Messdaten ergebenden  $d'$ -Werten der  $d'_{SD}$ -Berechnung (hier:  $d'_{SD}$ ).

$d'_{YN}$	$d'_{SD}$	$\frac{d'_{SD}}{d'_{YN}}$	$d'_{YN}$	$d'_{SD}$	$\frac{d'_{SD}}{d'_{YN}}$
0.000	0.000		0.856	1.126	1.315
0.029	0.047	1.659	0.883	1.156	1.310
0.057	0.093	1.635	0.910	1.187	1.305
0.084	0.136	1.614	0.937	1.218	1.300
0.112	0.178	1.594	0.964	1.249	1.295
0.139	0.219	1.575	0.992	1.280	1.290
0.166	0.259	1.558	1.020	1.311	1.285
0.193	0.297	1.542	1.049	1.343	1.281
0.219	0.334	1.527	1.078	1.375	1.276
0.245	0.371	1.513	1.107	1.408	1.272
0.271	0.406	1.500	1.137	1.441	1.267
0.297	0.441	1.487	1.168	1.475	1.263
0.323	0.476	1.475	1.199	1.509	1.258
0.348	0.510	1.464	1.231	1.543	1.254
0.373	0.543	1.453	1.263	1.579	1.250
0.399	0.576	1.443	1.297	1.615	1.246
0.424	0.608	1.434	1.331	1.652	1.241
0.449	0.640	1.424	1.366	1.690	1.237
0.474	0.671	1.416	1.402	1.729	1.233
0.499	0.703	1.407	1.440	1.770	1.229
0.524	0.734	1.399	1.479	1.811	1.225
0.549	0.764	1.391	1.519	1.854	1.221
0.575	0.795	1.384	1.561	1.899	1.217
0.600	0.825	1.376	1.605	1.946	1.212
0.625	0.856	1.369	1.651	1.994	1.208
0.650	0.886	1.363	1.699	2.046	1.204
0.675	0.916	1.356	1.751	2.100	1.200
0.701	0.946	1.350	1.806	2.158	1.195
0.726	0.976	1.344	1.865	2.220	1.190
0.752	1.006	1.338	1.929	2.288	1.186
0.778	1.036	1.332	2.000	2.362	1.181
0.804	1.066	1.326	2.079	2.444	1.175
0.830	1.096	1.321	2.169	2.538	1.170

## A SIGNALENTDECKUNGSTHEORIE



**Abb. A.8:** Vergleich einer Weibull-Funktion der Yes-No-Auswertung mit einer Weibull-Funktion der Same-Different-Auswertung. Aufgrund des konstanten Zusammenhangs der beiden  $d'$ -Berechnungen und der in beiden Fällen optimalen Datenbeschreibung durch die Weibull-Funktion gilt:  $\Delta v_{YN}(0.5) = \Delta v_{SD}(0.6175)$

Werte der Same-Different-Auswertung genauso gut beschreiben kann, wie die  $PC_{kor}$ -Werte der Yes-No-Auswertung, dann hängt das festgelegte Schwellenkriterium der Yes-No-Auswertung fest mit einem Prozentwert und damit einem anderen Schwellenkriterium der Same-Different-Auswertung zusammen. Dieser Prozentwert kann wie folgt bestimmt werden: Das in der Arbeit verwendete Schwellenkriterium  $PC_{YN_{kor}} = 0.5$  bzw.  $PC_{YN} = 0.75$  entspricht einem  $d'_{YN}$ -Wert von  $\approx 0.95$ . Dieser  $d'_{YN}$ -Wert entspricht einem  $d'_{SD}$ -Wert von  $\approx 1.24$ , was wiederum einem  $PC_{SD}$ -Wert von 80.875% (bzw.  $PC_{SD_{kor}} = 0.6175$ ) entspricht<sup>44</sup>. Das bedeutet, aufgrund des konstanten Zusammenhangs der  $d'$ -Werte der beiden Methoden ist unter der angesprochenen Voraussetzung – Vergleichbare Güte des Weibull-Fits von beiden Auswertungen – theoretisch zu erwarten, dass sich dieselben Schwellenmesswerte ergeben, wenn man unter Verwendung der  $d'_{YN}$ -Berechnung den 50%-Punkt der Weibull-Funktion als Schwellenkriterium verwendet und unter Verwendung der  $d'_{SD}$ -Berechnung den 61.75%-Punkt.

$$\begin{aligned} \Delta x_{YN}(0.5) &= \Delta x_{SD}(0.6175) \\ \frac{(-\lg[0.5])^{\frac{1}{k_{YN}}}}{g_{YN}} &= \frac{(-\lg[0.3825])^{\frac{1}{k_{SD}}}}{g_{SD}} \end{aligned} \quad (\text{A.16})$$

Beispielhaft ist hier in Abb. A.8 eine Messung dargestellt, die die Güte der Anpassungsfähigkeit der Weibull-Funktion an die  $PC_{YN_{kor}}$ - bzw.  $PC_{SD_{kor}}$ -Daten veranschaulicht.

<sup>44</sup>Der Zusammenhang von PC und  $d'$  ist in Gleichung (A.11) dargestellt.

### A.5.2 Empirischer Zusammenhang

Der theoretisch erwartete Zusammenhang (Gleichung (A.16)) wurde empirisch überprüft und konnte bestätigt werden.

Die empirische Überprüfung wurde anhand der Daten der Bedingung “variabler Hintergrund“ des ersten Experiments vorgenommen. Für alle Messpunkte einer Schwellenmessung wurden sowohl die  $d'$ -Werte berechnet, die sich nach der  $d'_{YN}$ -Berechnung ergeben (s. Gleichung (A.5) auf S. 205), als auch die  $d'$ -Werte, die sich nach der  $d'_{SD}$ -Berechnung ergeben (s. Gleichung (A.9) auf S. 211). Anschließend wurden die so berechneten  $d'$ -Werte in korrigierte  $PC$ -Werte einer Two-Alternative-Forced-Choice-Methode umgerechnet (s. Gleichung (A.11) und (A.12) auf S. 212) und mit einer Weibull-Funktion beschrieben (s. Gleichung (A.13) auf S. 212). Aus der Weibull-Funktion der Yes-No-Auswertung wurde der 50%-Punkt als Schwellenkriterium verwendet ( $\Delta x_{YN}$ ). Dann wurde der Prozentwert  $p$  der Weibull-Funktion der Same-Different-Auswertung nach folgendem Kriterium bestimmt:

$$\sum_{j=1}^{36} \left( \frac{\Delta x_{YN} - \Delta x_{SD}}{\Delta x_{YN}} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (\text{A.17})$$

mit

$$\Delta x_{SD} = \frac{(-\ln[1 - p])^{\frac{1}{k_{SD}}}}{g_{SD}}. \quad (\text{A.18})$$

$p$  wurde also derart bestimmt, dass die Summe der quadrierten prozentualen Abweichungen der sich durch  $p$  ergebenden Inkremente der Same-Different-Auswertung von den Inkrementen der Yes-No-Auswertung minimal wird. Der so bestimmte Wert von  $p$  ist 0.6179 und stimmt damit fast exakt mit dem theoretisch erwarteten Wert von 0.6175 überein. Bei unkorrigierten Prozentwerten entspricht  $p$  einem Wert von 80.9%. In Tabelle A.2 sind für alle einzelnen Schwellenmessungen von der Versuchsperson mpg die prozentualen Abweichungen der über  $p = 0.6179$  bestimmten Inkremente der Same-Different-Auswertung von den Inkrementen der Yes-No-Auswertung dargestellt. Tabelle A.3 enthält die gleichen Daten von der Versuchsperson bme. Aus den Tabellen ist zu entnehmen, dass die mittlere prozentuale Abweichung eines Messdurchgangs nie größer als 4.3% ist. Die Ergebnisse zeigen somit, dass durch die Verwendung der einfachen und verbreiteten  $d'$ -Berechnung der Yes-No-Methode das gewählte Schwellenkriterium (s. Gleichung (A.14) auf S. 212) dem 61.75%-Punkt bzw. bei unkorrigierten  $PC$ -Werten dem 80.9%-Punkt der Weibull-Funktion der Same-Different-Auswertung entspricht. Die Wahl des Schwellenkriteriums bestimmt die Größe eines über eine Schwelle gemessenen Salienzschrittes. Für die Ergebnisse aller durchgeführten Experimente ist die Größe eines einzelnen Salienzschrittes und damit die genaue Wahl

## A SIGNALMENTDECKUNGSTHEORIE

des Schwellenkriteriums nicht von entscheidender Bedeutung. Von entscheidender Bedeutung für die Ergebnisse ist vielmehr, dass das Schwellenkriterium über alle Messungen hinweg konstant gehalten wurde, so dass sich nach der Annahme Fechners der über eine Schwellenmessung bestimmte Saliensschritt zwischen allen Schwellenmessungen nicht unterscheiden sollte (s. Kapitel 2.1).

**Tabelle A.2:** Überblick über die prozentualen Abweichungen der für die Versuchsperson  $mpg$  in der Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“ von Experiment 1 mit der Yes-No-Auswertung bestimmten Inkremente von den über  $PC_{SD_{kor.}}(\Delta x_{SD}) = 0.6179$  bestimmten Inkrementen der Same-Different-Auswertung  $\left(\frac{|\Delta x_{YN}(0.5) - \Delta x_{SD}(0.6179)|}{\Delta x_{YN}(0.5)}\right)$ .

Pedestal	Messdurchgang 1			Messdurchgang 2		
	$\Delta x_{YN}(0.5)$	$\Delta x_{SD}(0.6179)$	$\frac{ \Delta x_{YN}(0.5) - \Delta x_{SD}(0.6179) }{\Delta x_{YN}(0.5)}$	$\Delta x_{YN}(0.5)$	$\Delta x_{SD}(0.6179)$	$\frac{ \Delta x_{YN}(0.5) - \Delta x_{SD}(0.6179) }{\Delta x_{YN}(0.5)}$
0	5.81	5.81	.001	8.18	8.35	.020
2	1.75	1.79	.024	3.72	3.74	.006
4	1.98	1.95	.016	3.01	3.15	.047
8	2.86	2.80	.022	4.71	4.33	.081
12	5.64	5.27	.064	3.86	3.84	.007
14	4.86	4.67	.039	9.07	9.02	.005
18	7.22	7.13	.013	17.07	17.60	.031
22	32.50	32.36	.004	21.70	20.73	.045
25	49.52	48.17	.027	54.18	61.87	.142
Mittelwert			.023			.043



**Table A.3:** Überblick über die prozentualen Abweichungen der für die Versuchsperson bme in der Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“ von Experiment 1 mit der Yes-No-Auswertung bestimmten Inkremente von den über  $PC_{SD_{kor.}}(\Delta x_{SD}) = 0.6179$  bestimmten Inkrementen der Same-Different-Auswertung  $\left( \frac{|\Delta x_{YN}(0.5) - \Delta x_{SD}(0.6179)|}{\Delta x_{YN}(0.5)} \right)$ .

Pedestal	Messdurchgang 1			Messdurchgang 2		
	$\Delta x_{YN}(0.5)$	$\Delta x_{SD}(0.6179)$	$\frac{ \Delta x_{YN}(0.5) - \Delta x_{SD}(0.6179) }{\Delta x_{YN}(0.5)}$	$\Delta x_{YN}(0.5)$	$\Delta x_{SD}(0.6179)$	$\frac{ \Delta x_{YN}(0.5) - \Delta x_{SD}(0.6179) }{\Delta x_{YN}(0.5)}$
0	7.54	7.53	.002	6.40	6.51	.018
2	5.89	5.86	.005	5.88	5.92	.006
4	4.69	4.42	.056	3.57	3.68	.030
8	6.34	6.75	.065	4.91	4.98	.013
12	8.91	8.93	.002	5.94	5.98	.006
14	6.76	6.72	.006	9.25	9.20	.006
18	15.16	15.83	.044	10.94	11.74	.074
22	45.08	44.12	.021	42.53	41.59	.022
25	72.48	65.41	.098	33.17	32.34	.025
Mittelwert			.033			.022

## Literaturverzeichnis

- Blakemore, C., & Campbell, F. W. (1969). On the existence of neurones in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images. *The Journal of Physiology*, *203*, 237–260.
- Bodis-Wollner, I., Hendley, C. D., & Kulikowski, J. J. (1972). Electrophysiological and psychophysical responses to modulation of contrast of a grating pattern. *Perception*, *1*, 341–349.
- Cain, W. S. (1966). *An analysis of the odor properties of the linear aliphatic alcohols by direct psychophysical scaling*. Unpublished M.S. thesis, Brown University.
- Campbell, F. W., & Green, D. G. (1965). Optical and retinal factors affecting visual resolution. *The Journal of Physiology*, *181*, 576–593.
- Campbell, F. W., & Kulikowski, J. J. (1966). Orientational selectivity of the human visual system. *The Journal of Physiology*, *187*, 437–445.
- Campbell, F. W., Kulikowski, J. J., & Levinson, J. (1966). The effect of orientation on the visual resolution of gratings. *The Journal of Physiology*, *187*, 427–436.
- Coren, S., Ward, L., & Enns, J. (1999). Psychophysics. In S. Coren, L. Ward, & J. Enns (Eds.), *Sensation and perception* (pp. 15–49). Fort Worth: Harcourt Brace.
- De Valois, R. L., Albrecht, D. G., & Thorell, L. G. (1982). Spatial frequency selectivity of cells in macaque visual cortex. *Vision Research*, *22*, 545–559.
- Du Buf, J. M. H. (1992). Modelling spatial vision at the threshold level. *Spatial Vision*, *6*, 25–60.
- Du Buf, J. M. H. (1994). Ramp edges, mach bands, and the functional significance of the simple cell assembly. *Biological Cybernetics*, *70*, 449–461.
- Duncan, J. (1984). Selective attention and the organization of visual information. *Journal of Experimental Psychology: General*, *113*, 501–517.
- Fechner, G. T. (1860). *Elemente der Psychophysik*. Leipzig: Breitkopf u. Härtel.
- Fogel, I., & Sagi, D. (1989). Gabor filters as texture discriminator. *Biological Cybernetics*, *61*, 103–113.
- Foley, J. M., & Legge, G. E. (1981). Contrast detection and near-threshold discrimination in human vision. *Vision Research*, *21*, 1041–1053.
- Foster, D. H., & Ward, P. A. (1991). Asymmetries in oriented-line detection indicate two orthogonal filters in early vision. *Proceedings of the Royal Society of London B*, *243*, 75–81.
- Galanter, E., & Messick, S. (1961). The relation between category and magnitude scales of loudness. *Psychological Review*, *68*, 363–372.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Goldstein, E. B. (1997). *Wahrnehmungspsychologie: Eine Einführung*. Heidelberg; Berlin; Oxford: Spektrum.
- Graham, N., Beck, J., & Sutter, A. (1992). Nonlinear processes in spatial-frequency channel models of perceived texture segregation: effects of sign and amount of contrast. *Vision Research*, *32*, 719–743.
- Graham, N., & Sutter, A. (1998). Spatial summation in simple (Fourier) and complex (non-Fourier) texture channels. *Vision Research*, *38*, 231–257.
- Graham, N., & Sutter, A. (2000). Normalization: contrast-gain control in simple (Fourier) and complex (non-Fourier) pathways of pattern vision. *Vision Research*, *40*, 2737–2761.
- Graham, N., & Wolfson, S. S. (2001). A note about preferred orientations at the first and second stages of complex (second-order) texture channels. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics, Image Science, and Vision*, *18*, 2273–2281.
- Gurnsey, R., & Browse, R. A. (1987). Micropattern properties and presentation conditions influencing visual texture discrimination. *Perception & Psychophysics*, *41*, 239–252.
- Hillstrom, A., & Yantis, S. (1994). Visual motion and attentional capture. *Perception and Psychophysics*, *55*, 399–411.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1965). Receptive fields and functional architecture in two nonstriate visual areas (18 and 19) of the cat. *Journal of Neurophysiology*, *28*, 229–289.
- Julesz, B. (1962). Visual pattern discrimination. *IRE Transaction on Information Theory*, *IT-8*, 84–92.
- Kishon-Rabin, L., Roth, D. A., Van Dijk, B., Yinon, T., & Amir, O. (2004). Frequency discrimination thresholds: the effect of increment versus decrement detection of frequency. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, *15*, 29–40.
- Landy, M. S., & Bergen, J. R. (1991). Texture segregation and orientation gradient. *Vision Research*, *31*, 679–691.
- Landy, M. S., & Graham, N. (2002). *Visual perception of texture*.
- Landy, M. S., & Oruc, I. (2002). Properties of second-order spatial frequency channels. *Vision Research*, *42*, 2311–2329.
- Legge, G. E., & Foley, J. M. (1980). Contrast masking in human vision. *Journal of the Optical Society of America*, *70*, 1458–1471.
- Lin, L. M., & Wilson, H. R. (1996). Fourier and non-fourier pattern discrimination compared. *Vision Research*, *36*, 1907–1918.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Macmillan, N. A., & Creelman, C. D. (1991). *Detection theory: A user's guide*. Cambridge; New York; Port Chester; Melbourne; Sydney: Cambridge University Press.
- Malik, J., & Perona, P. (1990). Preattentive texture discrimination with early vision mechanisms. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics and Image Science*, 7, 923–932.
- Meinhardt, G. (1995). *Musterspezifische und stochastische Komponenten bei der Detektion visueller Muster*. Aachen: Verlag Shaker.
- Meinhardt, G. (1999). Evidence for different nonlinear summation schemes for lines and gratings at threshold. *Biological Cybernetics*, 81, 263–277.
- Meinhardt, G. (2001). Learning a grating discrimination task broadens human spatial frequency tuning. *Biological Cybernetics*, 84, 383–400.
- Meinhardt, G., & Persike, M. (submitted). Summation of grating components in texture figure perception. *Vision Research*.
- Mortensen, U. (2002). Additive noise, weibull functions and the approximation of psychometric functions. *Vision Research*, 42, 2371–2393.
- Motoyoshi, I., & Nishida, S. (2001). Visual response saturation to orientation contrast in the perception of texture boundary. *Journal of the Optical Society of America (A)*, 18, 2209–2219.
- Nachmias, J., & Sansbury, R. (1974). Grating contrast: discrimination may be better than detection. *Vision Research*, 14, 1039–1042.
- Nothdurft, H.-C. (1991). Texture segmentation and pop-out from orientation contrast. *Vision Research*, 31, 1073–1078.
- Nothdurft, H.-C. (1992). Feature analysis and the role of similarity in preattentive vision. *Perception & Psychophysics*, 52, 355–375.
- Nothdurft, H.-C. (1993a). The role of features in preattentive vision: comparison of orientation, motion and color cues. *Vision Research*, 14, 1937–1958.
- Nothdurft, H.-C. (1993b). Saliency effects across dimensions in visual search. *Vision Research*, 33, 839–844.
- Nothdurft, H.-C. (2000). Salience from feature contrast: Additivity across dimensions. *Vision Research*, 40, 1183–1201.
- Olzak, L. A., & Thomas, J. P. (1999). Neural recoding in human pattern vision: model and mechanisms. *Vision Research*, 39, 231–256.
- Patel, A. S., & Jones, R. W. (1968). Increment and decrement visual thresholds. *Journal of the Optical Society of America*, 58, 696–699.
- Rubenstein, B. S., & Sagi, D. (1990). Spatial variability as a limiting factor in texture-discrimination tasks: implications for performance asymmetries. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics and Image Science*, 7, 1632–1643.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Sagi, D. (1991). Spatial filters in texture segmentation tasks. In E. Blum (Ed.), *Channels in the visual nervous system: Neurophysiology, psychophysics and models* (pp. 397–424). London: Freund.
- Sagi, D. (1995). The psychophysics of texture segmentation. In C. C. G. A. K. E. Papathomas T.V. (Ed.), *Early vision and beyond* (pp. 69–78). London: MIT press.
- Stevens, S. S. (1959). Cross-modality validation of subjective scales for loudness, vibration and electric shock. *Journal of experimental psychology*, 57, 201–209.
- Stevens, S. S. (1961). The psychophysics of sensory function. In W. A. Rosenblith (Ed.), *Sensory communication* (pp. 1–33). New York: Wiley.
- Stevens, S. S., & Greenbaum, H. B. (1966). Regression effects in psychophysical judgment. *Perception and Psychophysics*, 1, 439–446.
- Taylor, M. M. (1963). Visual discrimination and orientation. *Journal of the Optical Society of America*, 53, 763–765.
- Thurstone, L. L. (1927). A law of comparative judgment. *Psychological Review*, 34, 273–286.
- Tolhurst, D. J., & Barfield, L. P. (1978). Interactions between spatial frequency channels. *Vision Research*, 18, 951–958.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97–136.
- Treisman, A. M., & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, 95, 15–48.
- Trygg, E. (1972a). Psychophysics I. Discrimination. In J. W. Kling (Ed.), *Woodworth & schlossberg's experimental psychology* (pp. 47–86). London: Methuen.
- Trygg, E. (1972b). Psychophysics II. Scaling Methods. In J. W. Kling (Ed.), *Woodworth & schlossberg's experimental psychology* (pp. 47–86). London: Methuen.
- Victor, J. D., & Conte, M. M. (1996). The role of high-order phase correlations in texture processing. *Vision Research*, 36, 1615–1631.
- Watson, A. B. (1982). Summation of grating patches indicates many types of detector at one retinal location. *Vision Research*, 22, 17–25.
- Watson, A. B., & Solomon, J. A. (1997). Model of visual contrast gain control and pattern masking. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics, Image Science, and Vision*, 14, 2379–2391.
- Weltner, K., Wiesner, H., Heinrich, P.-B., Engelhardt, P., & Schmidt, H. (2001). Fourier-Integrale. In K. Weltner (Ed.), *Mathematik für Physiker 2: Basiswissen für das Grundstudium der Experimentalphysik* (pp. 187–198). Berlin: Springer.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Wilson, H. R., McFarlane, D. K., & Phillips, G. C. (1983). Spatial frequency tuning of orientation selective units estimated by oblique masking. *Vision Research*, *23*, 873–882.
- Wolfe, J. M. (1992). Effortless' texture segmentation and 'parallel' visual search are not the same thing. *Vision Research*, *32*, 757–763.
- Wolfe, J. M. (1996). Extending Guided Search: Why Guided Search needs a preattentive "item map". In A. Kramer, G. Cole, & G. Logan (Eds.), *Converging operations in the study of visual selective attention* (pp. 247–270). Washington, DC: American Psychological Association.
- Wolfe, J. M. (1998). Visual search. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 13–74). Hove: Psychological Press Ltd.

## Abkürzungsverzeichnis

$PC_{kor}$ -Wert	‘zufallskorrigierter’ <u>P</u> ercent- <u>C</u> orrect-Wert
$d'_{SD}$ -Berechnung	<u>d</u> '-Berechnung der <u>S</u> ame- <u>D</u> ifferent-Methode
$d'_{YN}$ -Berechnung	<u>d</u> '-Berechnung der <u>Y</u> es- <u>N</u> o-Methode
Abb.	<u>A</u> bbildung
C	<u>C</u> elsius
CMM-Messung	<u>C</u> ross- <u>M</u> odality- <u>M</u> atching-Messung
cpd	<u>c</u> ycles per <u>d</u> egree
CR	<u>C</u> orrect- <u>R</u> ejection
DS-Messung	<u>D</u> ekrements <u>s</u> chwellenmessung
F	<u>F</u> ahrenheit
FA	<u>F</u> alse- <u>A</u> larm
FRF-Modell	<u>F</u> ilter- <u>R</u> ectifier- <u>F</u> ilter-Modell
g	<u>G</u> ramm
IS-Messung	<u>I</u> nkrements <u>s</u> chwellenmessung
jnd	<u>j</u> ust <u>n</u> oticeable <u>d</u> ifference
MKG-Problem	<u>M</u> erkmals <u>k</u> ontrast- <u>G</u> enerierungsproblem
oct	<u>O</u> ktave
PC	<u>P</u> ercent- <u>C</u> orrect
ROC	<u>r</u> eceiver <u>o</u> perating <u>c</u> haracteristic

## Abbildungsverzeichnis

1.1	Ein deutlich zu erkennendes Auto und eine schwer zu erkennende Schnepfe	2
2.1	Veranschaulichung von Fechners Gesetz . . . . .	11
2.2	Psychometrische Funktion und Stufenmodell einer Reizschwelle . . . . .	12
2.3	Psychometrische Funktion . . . . .	15
2.4	Verlaufsform der Stevenschen Potenzfunktion für Potenzen kleiner, gleich und größer eins . . . . .	17
2.5	Funktion gleicher Empfindungsstärke für die Duftintensität von Hexanol und Propanol . . . . .	19
2.6	Größen-Einschätzungen für Lautstärke dargestellt in log-log-Koordinaten .	21
3.1	Visuelle Suche . . . . .	25
3.2	Auswirkung von „Hintergrundrauschen“ auf die Salienz einer Texturfigur .	27
3.3	Auswirkung einer Merkmalskonjunktion auf die Merkmalssalienz . . . . .	28
3.4	Kontrastsensitivitätsfunktion . . . . .	30
3.5	Veränderung der Absolutschwelle von Helligkeitskontrast in Abhängigkeit von der Orientierung der „interference fringes“ bei der Versuchsperson F.W.C. aus Campbell et al. (1966) . . . . .	31
3.6	Faktoren, die die Grundsalienz eines Reizmusters beeinflussen . . . . .	33
4.1	„Dipperfunktionen“, bestimmt von Legge und Foley (1980) . . . . .	36
4.2	Schematische Repräsentation des Helligkeitskontrastverarbeitungsmodells von Legge und Foley (1980) . . . . .	37
4.3	Diskriminationsschwellen-Funktionen und interne Antwortfunktionen (Sa- lienzfunktion) von Motoyoshi und Nishida (2001) . . . . .	40
4.4	Reizmuster von Motoyoshi und Nishida (2001) . . . . .	43
5.1	Schematische Darstellung eines Filter-Rectifier-Filter-Modells . . . . .	45
5.2	Schematische Repräsentation eines Modells für die neuronale Verarbei- tung von Orientierung, Ortsfrequenz und Helligkeitskontrast von Olzak und Thomas (1999) . . . . .	47
5.3	Familien von Summationskanälen . . . . .	50
5.4	Computersimulation der Texturtrennung . . . . .	52
6.1	Konstruktion eines Gaborreizes . . . . .	60
6.2	Ein Beispiel je Versuchsbedingung für Reizmuster eines Different-Trials bei einem Pedestal bzw. einer Orientierung des Referenzreizes von 0 Grad	62
6.3	Ein Beispiel je Messbedingung für Reizmuster eines Different-Trials bei einem Pedestal bzw. einer Orientierung des Referenzreizes von 25 Grad . .	63
6.4	Trialstruktur und Präsentationszeiten der Schwellenmessungen . . . . .	64



## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

6.5	Typische Messdaten . . . . .	65
6.6	Schwellenmessungen je Proband . . . . .	67
6.7	Über die Versuchspersonen gemittelte Schwellenmessungen . . . . .	68
7.1	Erster Verfahrensansatz zur Ortsfrequenzkontrastgenerierung . . . . .	73
7.2	Verfahren zur Ortsfrequenzkontrastgenerierung . . . . .	75
8.1	Trialstruktur und Präsentationszeiten der Schwellenmessungen . . . . .	84
8.2	Typische Messdaten der DS- und IS-Messungen . . . . .	85
8.3	Ergebnisse der DS- und IS-Messungen . . . . .	87
9.1	Merkmalsunabhängige Dimension Salienz . . . . .	93
9.2	CMM-Funktionen, die alle qualitativ unterscheidbaren Ergebnisse der CMM-Messungen repräsentieren . . . . .	95
9.3	Beispiele für Reizmuster eines Different-Trials je Versuchsbedingung . . .	104
9.4	Trialstruktur und Präsentationszeiten der Schwellenmessungen . . . . .	106
9.5	Typische Messdaten der Schwellenmessungen . . . . .	107
9.6	Beispiele für zwei bzgl. der Salienz zu vergleichende Merkmalskontraste in einer Cross-Modality-Matching-Messung . . . . .	110
9.7	Typische Messdaten der Cross-Modality-Matching-Messungen . . . . .	112
9.8	Saliensskalen und Diskriminationsschwellen-Funktionen der Versuchsbedingungen OR und OR-J . . . . .	115
9.9	Saliensskalen und Diskriminationsschwellen-Funktionen der Versuchsbedingung SF . . . . .	116
9.10	Weberquotienten in Abhängigkeit von der Pedestal-Stufe . . . . .	118
9.11	Ergebnisse der Cross-Modality-Matching-Messungen . . . . .	121
9.12	Auswirkung des sensorischen Rauschens auf die Skalierung . . . . .	129
10.1	CMM-Funktionen, die qualitativ unterscheidbare Ergebnisse der CMM-Messungen repräsentieren . . . . .	134
10.2	Beispiele für Reizmuster eines Different-Trials je Versuchsbedingung . . .	139
10.3	Trialstruktur und Präsentationszeiten der Schwellenmessungen . . . . .	141
10.4	Typische Messdaten der Schwellenmessungen . . . . .	142
10.5	Bestimmung des Saturationspunktes der Naka-Rushton-Funktion . . . . .	143
10.6	Beispiele für zwei bzgl. der Salienz zu vergleichende Merkmalskontraste in einer Cross-Modality-Matching-Messung . . . . .	145
10.7	Typische Messdaten der Cross-Modality-Matching-Messungen . . . . .	146
10.8	Saliensskalen und Diskriminationsschwellen-Funktionen der Versuchsbedingung OR . . . . .	148
10.9	Saliensskalen und Diskriminationsschwellen-Funktionen der Versuchsbedingung SF . . . . .	149

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

10.10 Vergleich der Saliensskalen und Diskriminationsschwellen-Funktionen der Versuchsperson mpg in der Versuchsbedingung OR, wenn die beiden Schwellenmessungen der beiden größten Inkrementpedestals oder die Dekrement-schwelle zur Bestimmung der Saliensskala verwendet wird . . . . .	151
10.11 Weberquotienten in Abhängigkeit von der Pedestal-Stufe . . . . .	153
10.12 Ergebnisse der Cross-Modality-Matching-Messungen . . . . .	155
10.13 Zwei beispielhafte Fälle für die Variation der Steigung der Saliens-Präferenz-Funktion in Abhängigkeit von der Saliens . . . . .	158
10.14 Streuung der Saliens-Präferenz-Funktionen . . . . .	160
10.15 Beschreibung der Messdaten der CMM-Messungen mit einer Potenzfunktion	164
10.16 Streuung der Saliens-Präferenz-Funktionen nach Transformation der Saliens-Matchingwerte $\mu$ der Matchingbedingung SF_konstant in Salienswerte der Saliensskala $R_\omega$ . . . . .	165
10.17 Grafische Veranschaulichung des Zusammenhangs zwischen den Differenzen der Streuungen der Saliens-Präferenz-Funktionen der beiden Matchingbedingungen OR_konstant und SF_konstant bei den Saliens-Matchingwerten $R_\omega$ ( $\Delta\sigma$ ) und der Steigung der CMM-Funktion in diesen Salienswerten ( $T'$ ) . . . . .	167
10.18 Auswirkung des sensorischen Rauschens auf die Skalierung . . . . .	169
11.1 Modelloutput $S$ in Abhängigkeit vom Orientierungscontrast $v$ für verschiedene Ortsfrequenzen der Gaborreize . . . . .	175
11.2 Transducer-Funktion bei Orientierungscontrasten . . . . .	176
11.3 Modelloutput $S$ in Abhängigkeit vom Ortsfrequenzcontrast $f$ für verschiedene Basisortsfrequenzen der Gaborreize . . . . .	178
11.4 Transducer-Funktion bei Ortsfrequenzcontrasten . . . . .	179
11.5 Saliens- und Diskriminationsschwellen-Funktionen aus Experiment drei und vier . . . . .	182
11.6 Reizmuster zur Verdeutlichung der Auswirkung des Merkmalsjitters auf die Saliensstärke . . . . .	183
11.7 Modelloutput $S$ bzw. $\bar{S}$ in Abhängigkeit vom Orientierungscontrast einmal mit und einmal ohne die Verarbeitungsstufe der Summationskanäle jeweils für drei verschiedene Bedingungen des Merkmalsjitters . . . . .	185
A.1 Antwortklassen einer Yes-No-Methode . . . . .	203
A.2 Entscheidungsraum bei einem Yes-No-Experiment . . . . .	204
A.3 ROCs der Yes-No-Methode . . . . .	206
A.4 Antwortklassen einer Same-Different-Methode . . . . .	208

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

A.5	Entscheidungsraum bei einem Same-Different-Experiment nach dem Differenzmodell . . . . .	209
A.6	Entscheidungsraum bei einem Same-Different-Experiment nach dem Modell der unabhängigen Reizverarbeitung . . . . .	210
A.7	ROCs der Same-Different- und der Yes-No-Methode . . . . .	213
A.8	Vergleich einer Weibull-Funktion der Yes-No-Auswertung mit einer Weibull-Funktion der Same-Different-Auswertung . . . . .	215

## Tabellenverzeichnis

2.1	Repräsentative Exponenten der Stevenschen Potenzfunktion für verschiedene Reizkontinua . . . . .	17
6.1	Ergebnisse der Schwellenmessungen . . . . .	66
6.2	Über Versuchspersonen gemittelte Ergebnisse der Schwellenmessungen . .	67
8.1	Ergebnisse der DS-Messungen . . . . .	86
8.2	Ergebnisse der IS-Messungen . . . . .	86
9.1	Ergebnisse der Schwellenmessungen in der Versuchsbedingung OR . . . .	113
9.2	Ergebnisse der Schwellenmessungen in der Versuchsbedingung OR-J . . .	114
9.3	Ergebnisse der Schwellenmessungen in der Versuchsbedingung SF . . . .	114
9.4	Weberquotienten in Abhängigkeit von der Pedestal-Stufe . . . . .	119
9.5	Parameterschätzungen der Naka-Rushton-Funktion und Angabe der Korrelation zwischen der Größe der gemessenen Schwellen und der über die Salienskala prognostizierten Inkremente . . . . .	119
9.6	Regressionsparameter der CMM-Funktionen . . . . .	122
10.1	Ergebnisse der Schwellenmessungen in der Versuchsbedingung OR . . . .	147
10.2	Ergebnisse der Schwellenmessungen in der Versuchsbedingung SF . . . .	147
10.3	Saturationspunkte . . . . .	150
10.4	Weberquotienten in Abhängigkeit von der Pedestal-Stufe . . . . .	152
10.5	Parameterschätzungen der Naka-Rushton-Funktion und Angabe der Korrelation zwischen den gemessenen Inkrementen und den über die Salienskala prognostizierten Inkrementen . . . . .	153
10.6	Ergebnisse der Cross-Modality-Matching-Messungen . . . . .	154
10.7	Korrelation zwischen den Differenzen der Streuungen der Saliens-Präferenz-Funktionen der beiden Matchingbedingungen OR_konstant und SF_konstant bei den Saliens-Matchingwerten $R_\omega$ ( $\Delta\sigma$ ) und der Steigung der CMM-Funktion in diesen Salienswerten ( $T'$ ) . . . . .	166
10.8	Saliens der Saturationspunkte in Einheiten der Skala des Merkmals Ortsfrequenz . . . . .	172
10.9	Saliens der maximalen Merkmalskontraste in Einheiten der Skala des Merkmals Ortsfrequenz . . . . .	173
11.1	Parameterschätzungen der Transducer-Funktion für Orientierungskontrast .	177
11.2	Parameterschätzungen der Transducer-Funktion für Ortsfrequenzkontrast . .	179
11.3	Zentrumsortsfrequenzen der primären linearen Filter . . . . .	188
A.1	Vergleich der $d'$ -Werte der $d'_{YN}$ -Berechnung mit denen der $d'_{SD}$ -Berechnung	214

## TABELLENVERZEICHNIS

A.2	Überblick über die prozentualen Abweichungen der für die Versuchsperson mpg in der Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“ von Experiment 1 mit der Yes-No-Auswertung bestimmten Inkremente von den über $PC_{SD_{kor}}(\Delta x_{SD}) = 0.6179$ bestimmten Inkrementen der Same-Different-Auswertung . . . . .	218
A.3	Überblick über die prozentualen Abweichungen der für die Versuchsperson bme in der Versuchsbedingung „variabler Hintergrund“ von Experiment 1 mit der Yes-No-Auswertung bestimmten Inkremente von den über $PC_{SD_{kor}}(\Delta x_{SD}) = 0.6179$ bestimmten Inkrementen der Same-Different-Auswertung . . . . .	219

## Zusammenfassung

Die Messung der Stärke von Empfindungen hat in der Psychologie eine lange Tradition, die bis in die Zeit der Entstehung der Psychologie als eine eigenständige Wissenschaft gegen Ende des 19. Jahrhunderts zurückreicht. Gustav Theodor Fechner verband die Beobachtung Webers der Konstanz des Koeffizienten des eben merklichen Unterschieds zu der Vergleichsintensität (sog. „Weber-Quotient“) mit der Annahme einer sensorischen Schwelle, und entwickelte daraus erstmals eine Skala für die Stärke von Empfindungen. Die Fechner-Skala verwendet die Anzahl sukzessiver Schwellenschritte als natürliche, psychologische Einheit. Die Stärke einer Empfindung für eine gegebene Reizintensität wird ausgedrückt als die Anzahl von Schwellenschritten, die man gehen muss, um von keiner Empfindung bis zur in Frage stehenden Empfindung zu gelangen. Die Funktion, die den Zusammenhang von Reizintensität und der Anzahl nötiger Schwellenschritte beschreibt, ist stets logarithmisch und über sukzessive Schwellenmessungen für Reize aus den verschiedensten Sinnesmodalitäten bestimmbar. Derart sich ergebende Skalierungen heißen „indirekt“, weil die in Frage stehende Reizintensität selbst nicht von der Urteilstperson bewertet wird. Intensitäten sind vom Urteiler nur mit anderen Intensitäten in Bezug auf ein „stärker“ oder „schwächer“, also ordinal, zu vergleichen.

Indirekte Skalierungsmethoden eignen sich insbesondere, wenn der Reizeindruck flüchtig und von der absoluten Stärke her schwer durch den Urteiler zu quantifizieren ist. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Auffälligkeit (Salienz) von visuellen Objekten, die in zufällig wechselnde Hintergründe eingebettet sind und dem Betrachter nur als ein rasches raumzeitliches Aufblitzen präsentiert werden. Die Stärke des Unterschieds in Merkmalen wie Helligkeit, Farbe, Orientierung, Schattierung, Form, Krümmung, oder Bewegung bestimmt das Ausmaß der Salienz von Objekten. Obschon eine Fülle von Arbeiten existiert zu der Frage, welche Merkmale und deren Kombinationen ohne Wissen des Ortes ihrer Präsentation automatisch starke Salienz („Pop-Out“) erzeugen, existieren bislang keine systematischen Versuche, die Salienz von Merkmalen für einen weiten Bereich von Merkmalsunterschieden zu erfassen und vergleichbar zu machen. Indirekte Skalierungen liegen vor für die Merkmale Kontrast (Legge & Foley, 1980) und Orientierung (Motoyoshi & Nishida, 2001). Ein Vergleich der Salienz über mehrere Merkmale und der Nachweis, dass die Salienz eine eigene, von der Merkmalsdimension unabhängige sensorische Qualität ist, steht aber bislang aus.

In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, dass der Unterschied von Objekten zur einbettenden Umgebung hinsichtlich visueller Merkmale zu Salienz führt und diese Salienz unabhängig von dem sie erzeugenden Merkmal der Stärke nach skalierbar ist. Es wird ferner gezeigt, dass die Einheiten der für zwei Merkmale erhobenen indirekten Skalierungsfunktionen in einem absoluten Sinne gleich sind, solange sichergestellt ist, dass (i) keine alternativen Hinweisreize existieren und nur der reine Merkmalsunterschied von Objekt und Umgebung bewertet wird und (ii) das sensorische Rauschen in den aktivierten Merkmalskanälen für beide Merkmale gleich ist.

Für diesen Aufweis wurden exemplarisch die Merkmale Orientierung und Ortsfrequenz ausgewählt und die Salienz ihrer Merkmalskontraste über Naka-Rushton-Funktionen, gewonnen aus den zugrundeliegenden Salienz-Inkrementschwelenmessungen, indirekt skaliert. Für das Merkmal Ortsfrequenz liegt hiermit erstmals eine indirekte Skalierung vor. Hierfür musste eine spezielle Messtechnik entwickelt werden, die die Bewertung reiner Ortsfrequenzunterschiede, frei von konfundierenden absoluten Ausprägungen der Ortsfrequenzen, sicherstellt. Die Methode ist in Kapitel 7 dargestellt. Experimente, die die konfundierende Wirkung absoluter Merkmalsausprägungen auf die Salienzmessung demonstrieren, sind in Kapitel 6 dargestellt. In Kapitel 8 findet sich ein empirischer Abgleich der Ergebnisse von Inkrement- und Dekrementschwelenmessungen, eine Messtechnik, die zur Erfassung von Unterschiedsschwellen im Extrembereich der Orientierungsunterschiede von  $90^\circ$  nötig ist. Kapitel 9 enthält den empirischen Aufweis der Transitivität der Gleichheitsrelation für Salienzmessungen von Orientierung und Ortsfrequenz durch Abgleich mit einem dritten Merkmal und erbringt damit den Beleg der merkmalsunabhängigen Erfassung von Auffälligkeit über die indirekte Skalierungsmethodik. Ferner wird dort die Wirksamkeit der Grundsalienz von Mustern, gegeben über externes Rauschen in den Merkmalen (sog. „Merkmalsjitter“) für die Verschiebung des Nullpunktes der Skalierungsfunktion aufgezeigt. Im letzten Experiment (Kapitel 10) wird dann die Skalierung von Orientierung und Ortsfrequenz bei gleicher Grundsalienz der Muster verglichen und gezeigt, dass beide Skalen in einem absoluten Sinne gleiche Einheiten aufweisen (also gleiche Skalenzahlen gleiche sensorische Auffälligkeiten anzeigen, obwohl sie von verschiedenen Merkmalen stammen), wenn der Effekt des sensorischen Rauschens, der im Merkmal Orientierung nicht über die verschiedenen Schwellenschritte konstant ist, kompensiert wird. Die Inkonzanz des Effektes des sensorischen Rauschens im Merkmal Orientierung wird über die Veränderung der Steigung der psychometrischen Präferenzfunktion für die Vergleichsurteile der Orientierungssalienz für eine fest vorgegebene Ortsfrequenzsalienz greifbar, und der Effekt der Steigungsveränderung kompensiert exakt die Nichtlinearität in der für beide Merkmale erhobenen Salienz-Matchingfunktion. Im letzten Kapitel wird ein Ausblick auf eine mögliche Modellierung der Salienzfunktionen über klassische Multikanal-Feedforwardmodelle gegeben. In den ersten fünf Kapiteln sind einführend die Gebiete der indirekten Skalierung, der Merkmalssalienz und der Texturtrennung im menschlichen visuellen System dargestellt.