

15 Helligkeitswahrnehmung: Der *Crispening*-Effekt

Bettina Laugwitz

Kurzbeschreibung

Die Wahrnehmung der Helligkeit eines Reizes hängt nicht nur von Merkmalen des Reizes selber ab, sondern u. a. auch von den Merkmalen der Umgebung, in der er präsentiert wird. So kann als Effekt des Simultankontrasts eine Fläche je nach Hintergrundhelligkeit unterschiedlich hell wirken (bei dunklem Hintergrund heller, bei hellem dunkler). Wenn Hintergrund- und Reizhelligkeit sehr ähnlich sind, ist der so genannte *Crispening*-Effekt zu beobachten: Der Unterschied zwischen zwei ähnlichen Reizen wird als größer wahrgenommen, wenn die Hintergrundhelligkeit zwischen beiden Reizhelligkeiten liegt, als wenn der Hintergrund heller oder dunkler als beide Reize ist. Der *Crispening*-Effekt kann in einem einfachen Experiment nachgewiesen werden. Hierbei passt der Proband die wahrgenommene Helligkeit eines Testfelds an die eines Standardreizes an. Hat der Hintergrund eine ähnliche Helligkeit wie der Standardreiz, so tritt der *Crispening*-Effekt auf, nicht aber, wenn der Hintergrund schwarz ist. Durch eine einfache Abwandlung des Experiments kann der Einfluss von Konturen oder von unterschiedlichen Farbtönen auf den *Crispening*-Effekt untersucht werden.

Stichwörter: *crispening effect*, Helligkeitswahrnehmung, Kontrastwahrnehmung, Messwiederholungsdesign, Psychophysik

15.1 Einleitung

Psychophysik ist ein Teilgebiet der Wahrnehmungspsychologie, das die Vorhersage von Empfindungen und Verhaltensweisen aufgrund physikalischer Reizbeschreibungen zum Gegenstand hat (Irtel, 1993). Die Hauptfragestellungen der Psychophysik betreffen die Zuordnung von Reizarten zu Empfindungen (z. B. elektromagnetische Strahlung bestimmter Wellenlängen – Farbempfindung), minimale Reizintensität und minimalen Reizunterschied, die eine Empfindung bzw. einen Empfindungsunterschied auslösen können (Empfindungs- bzw. Unterschiedsschwelle), sowie den Zusammenhang zwischen der Ausprägung des Reizes und der Ausprägung einer bestimmten Empfindungsgröße (Skalierung).

Die Empfindung, die ein Reiz auslöst, hängt auch von seinem Kontext ab. So wird die empfundene Helligkeit eines umgrenzten Feldes nicht nur dadurch bestimmt, wie intensiv das von ihm abgestrahlte oder reflektierte Licht ist, sondern auch von Eigenschaften der Umgebung des Feldes. Vor einem dunklen Hintergrund (bzw. falls das Feld von einer dunkleren Farbe umgeben ist) erscheint die Fläche heller als vor ei-

nem helleren Hintergrund. Dieses Phänomen ist als Simultankontrast bekannt. (s. Abb. 15.1)

Abbildung 15.1 *Demonstration des simultanen Helligkeitskontrasts. Das Grau in den mittleren Feldern reflektiert immer gleich viel Licht, die wahrgenommene Helligkeit variiert aber je nach Hintergrundfarbe (heller vor dunklem Hintergrund, dunkler vor hellem Hintergrund).*

In der Wahrnehmung, besonders auch in der visuellen Wahrnehmung, spielen Kontraste eine wichtige Rolle. Sie werden häufig verstärkt, etwa durch laterale Hemmung der Sinneszellen (s. Goldstein, 1996/1997). Leicht zu beobachten ist dieser Effekt auch bei den so genannten Mach-Bändern: Stoßen zwei unterschiedlich helle Flächen aneinander, so erscheint an dieser Kante die hellere Fläche noch heller, die dunklere noch dunkler als im restlichen Bereich der Flächen. Diese helleren bzw. dunkleren Streifen werden als Mach-Bänder bezeichnet (s. Abb. 15.2).

Abbildung 15.2 *Demonstration von Mach-Bändern. Am Rand zur Übergangsfläche erscheint die jeweils hellere Fläche etwas heller, die jeweils dunklere etwas dunkler als im restlichen Feld (weitere Erläuterungen s. Text).*

Die Verstärkung von Kontrasten unterstützt – ebenso wie die Adaptation der Sinne – die Wahrnehmung von Änderungen und Unterschieden in der Umwelt. Diese Fähigkeit ist (überlebens-)wichtig, da gerade solche Änderungen signalisieren können, dass schnelles Handeln notwendig ist. Für die Psychophysik bedeuten diese Effekte, dass bei der Beschreibung des Zusammenhangs zwischen den Eigenschaften eines Reizes und der Empfindung, die er auslöst, auch sein Kontext berücksichtigt werden muss.

Im hier vorgestellten Experiment soll anhand des *Crispening*-Effekts (Takasaki, 1966; s. auch Wyszecki & Stiles, 1982) der Einfluss des Kontrasts zwischen Reiz und Umfeld genauer untersucht werden. Der reine Nachweis dieses Phänomens ist – im Gegensatz zu vielen anderen wahrnehmungspsychologischen Effekten – nicht von der exakten Kontrolle der Umgebungsbedingungen (Beleuchtung, Kalibrierung des

Bildschirms etc.) abhängig und deswegen für die Durchführung im experimentalpsychologischen Praktikum auch mit Web-Technologien geeignet (zu Problemen der Darbietung visueller Reize in Online-Experimenten s. Krantz, 2001).

15.2 Fragestellung und Hypothesen

Wenn Grauabstufungen vor einem grauen Hintergrund so eingestellt werden sollen, dass zwischen ihnen empfindungsmäßig gleiche Abstände liegen, dann tritt der folgende Effekt auf: Sind Hintergrund und graues Feld ähnlich hell, führen feinere Helligkeitsabstufungen zu der gleichen Kontrastempfindung wie größere Unterschiede bei weniger ähnlichen Helligkeiten. Auch wenn – bei anderer Messmethode – die wahrgenommene Helligkeit eines Testfeldes vor unterschiedlich hellen Hintergründen ermittelt werden soll, zeigt sich bei Ähnlichkeit von Reiz und Hintergrund diese Überschätzung des Kontrasts (*crispening effect*, Takasaki, 1966). Der Grund für den Effekt ist vermutlich der, dass sich bei ähnlichen Helligkeiten die Kantenverstärkung am deutlichsten bemerkbar macht und zu einem größeren Flächenkontrast führt.

Während im Originalexperiment von Takasaki das Ziel der Untersuchung darin bestand, eine möglichst gute mathematische Beschreibung des *Crispening*-Effekts bzw. seiner Auswirkungen auf den Zusammenhang zwischen Reiz und empfundener Helligkeit zu erreichen, soll im hier dargestellten Experiment nur sein Nachweis angestrebt werden. Dazu wird der *Unterschied* zwischen der wahrgenommenen Helligkeit zweier Grautöne untersucht. Im Experiment wird der Kontrast dieser Grautöne zum Hintergrund variiert: Liegt die Hintergrundfarbe zwischen den beiden Grautönen und ist ihnen außerdem sehr ähnlich, so soll der *Crispening*-Effekt auftreten. Ist der Hintergrund hingegen schwarz, ist kein *Crispening*-Effekt zu erwarten.

Diese Fragestellung ist auch im Rahmen des experimentalpsychologischen Praktikums einfach zu untersuchen, und die Auswertung setzt weit weniger komplexe Operationen voraus. Außerdem kann die Fragestellung leicht abgewandelt oder ergänzt werden (s. Abschnitt 6).

Der Versuchsaufbau schließt entsprechend dem von Takasaki (1966) folgende Elemente ein (s. Abschnitt 3.2 Versuchsmaterial): Zwei große rechteckige Flächen (Hintergrund), deren Helligkeit vorgegeben ist, die linke stellt den Standardhintergrund, die rechte den Testhintergrund dar; in der Mitte jeder Hintergrundfläche ein kleineres Rechteck, links als Standardreiz von der Versuchssteuerung festgelegt, rechts als Testfeld vom Probanden einzustellen. Aufgabe des Probanden ist es, das Testfeld so einzustellen, dass seine Helligkeit der des Standardreizes entspricht.

Hypothese. Der Unterschied zwischen den wahrgenommenen Helligkeiten zweier ähnlicher grauer Standardreize G1 und G2 ist größer, wenn die Helligkeiten des Standardreizes und des Standardhintergrunds sich ähneln (*Crispening*-Effekt). Dies zeigt sich in einer relativ großen Differenz der zu G1 und G2 äquivalenten Helligkeiten im Testfeld.

Ist der Standardhintergrund dagegen schwarz und damit dunkler als alle Standardreize, wird der Kontrast zwischen beiden Graustufen nicht durch den *Crispening*-

Effekt erhöht. Die Differenz zwischen den angepassten G1 und G2 ist relativ klein. Der Testhintergrund ist schwarz.

Als abhängige Variable wird die eingestellte Helligkeit des Testfeldes registriert.

15.3 Methode

15.3.1 Versuchsteilnehmer

Das Experiment kann mit einem oder auch mit mehreren Probanden durchgeführt werden. Je nachdem ergeben sich Änderungen hinsichtlich des Versuchsdesigns und der Auswertung (s. Abschnitt 3.4). Als Standardversion wird angenommen, dass am Experiment mehrere Personen teilnehmen.

Bei Variationen des Experiments, bei denen der Farbton verändert wird, ist es sinnvoll, Farbfehlsichtigkeiten der Teilnehmer abzufragen und die Daten von farbfehlsichtigen Teilnehmern auszuschließen.

15.3.2 Versuchsmaterial

Auf dem Bildschirm sind nebeneinander zwei große Rechtecke (Hintergründe) zu sehen, in deren Mitte sich jeweils ein Quadrat (Reiz) befindet. Das linke Rechteck ist der Standardhintergrund, das linke Quadrat der Standardreiz. Die Elemente auf der rechten Seite werden als Testhintergrund und Testfeld bezeichnet (Abb. 15.3).

In jedem Durchgang werden vom Programm nach den entsprechenden Vorgaben Standardreiz, Standardhintergrund und Testhintergrund festgelegt, wobei die Helligkeit des Standardreizes für jeden Durchgang zufällig ausgewählt wird, die der Hintergründe hingegen innerhalb eines Erhebungsblocks konstant sind.

Im Grundexperiment kommen als Standardreize zwei Grauabstufungen im mittleren Helligkeitsbereich zum Einsatz. Der Standardhintergrund kann grau oder schwarz sein, der Testhintergrund ist schwarz. Das Testfeld wird vom Probanden eingestellt und hat zu Beginn jedes Trials eine zufällig ausgewählte Ausgangshelligkeit. Dies soll verhindern, dass das Einstellen der Werte vom Ausgangswert systematisch beeinflusst wird.

Abbildung 15.3 Screenshot (Standardhintergrund grau, Testhintergrund schwarz).

Als intervallskaliertes Maß für die Helligkeitsempfindung wird hier die Y-Koordinate des xyY-Farbsystems gewählt¹: Während in diesem dreidimensionalen Beschreibungssystem für Farben die Koordinaten x und y die Farbwertanteile (Farbtonbeschreibung) bezeichnen, gibt die Y-Koordinate die relative Leuchtdichte eines Reizes an und kann so als Maß für die erzeugte Helligkeitsempfindung dienen (zu Farbsystemen s. auch Wyszecki & Stiles, 1982).

Zur Eingabe (Anpassen der Helligkeit des Testfelds) werden die Cursortasten der Tastatur verwendet.

15.3.3 Versuchsablauf

Nach dem Lesen der Instruktion auf dem Bildschirm startet der Proband das Experiment durch Drücken der Eingabetaste.

Die Darbietung der Reize erfolgt in zwei Blöcken. Innerhalb eines Blocks sind die Hintergrundhelligkeiten konstant. Die Reihenfolge der Blöcke ist zufällig.

Innerhalb eines Blocks wird jeder der zwei Standardreize (Hellgrau, Dunkelgrau) je zehnmal dargeboten; die Darbietung erfolgt in randomisierter Reihenfolge. Zu Beginn jedes Trials weist die Helligkeit des Testfelds zunächst einen zufällig ausgewählten Wert auf. Der Proband kann mit Hilfe von Cursor-Tasten (Pfeil nach oben, Pfeil nach unten) die Helligkeit des Testfelds so einstellen, dass die empfundene Helligkeit der des Standardreizes entspricht. Sobald der Proband dies erreicht hat,

¹ Eine Einführung in psychophysische Konzepte wie das Webersche Gesetz oder psychometrische Funktionen bietet z.B. Irtel (1993). Von Campenhausen (1993) erläutert zusätzlich noch physiologische Mechanismen, die für Kontrast und Helligkeitswahrnehmung verantwortlich gemacht werden können.

schließt er durch Drücken der „Ende“-Taste auf der Tastatur den Trial ab. Zwischen den Trials ist der Bildschirm für 2 Sekunden schwarz; danach wird automatisch der nächste Durchgang gestartet. Insgesamt sind von einem Probanden 40 Durchgänge zu bearbeiten. Eine Sitzung dauert ca. 10 Minuten.

15.3.4 Versuchsplan

Wie bei den meisten wahrnehmungspsychologischen Fragestellungen wird im Experiment jeder Proband mit allen Reizausprägungen konfrontiert. Nehmen mehrere Personen am Experiment teil, so liegt ein einfaktorielles Design (Faktor „Ähnlichkeit Hintergrund – Standardreiz“, 2 Stufen) mit Messwiederholung vor. Der Effekt kann aber auch mit den Daten einer einzigen Versuchsperson nachgewiesen werden. In diesem Fall werden allerdings die einzelnen Durchgänge als Untersuchungseinheiten aufgefasst, denen bei Randomisierung zufällig eine Versuchsbedingung zugeordnet ist; die Messungen gelten dann als unabhängig voneinander (s. Irtel, 1993, Kap. 13.4).

15.4 Auswertung

Die Ausgabedatei enthält bei jedem Probanden die Werte für die eingestellte Helligkeit des Testfeldes. Die Werte sind sortiert nach Standardhintergrundfarbe (Schwarz, Grau) und Standardreizfarbe (Hellgrau, Dunkelgrau). Für die Auswertung hinsichtlich der Hypothese müssen zunächst Differenzen zwischen den Werten der hellgrauen und der dunkelgrauen Bedingungen gebildet werden. Dazu wird der Wert der ersten dunkelgrauen Bedingung von dem der ersten hellgrauen Bedingung abgezogen. Alle anderen Bedingungen werden analog behandelt. Die Differenzwerte bei grauem bzw. schwarzem Standardhintergrund können nun pro Person und Bedingung gemittelt und mittels t-Test für abhängige Stichproben verglichen werden. Da eine gerichtete Hypothese vorliegt, wird einseitig getestet.

Wie die Auswertung durchgeführt wird, wenn nur die Daten einer einzelnen Person vorliegen, zeigt das folgende Beispiel:

Tabelle 15.1 Beispieldaten (AV: Y-Wert des Testfeldes).

Ähnlichkeit Hinter- grund – Standardreiz	Y(Standardreiz dun- kelgrau G1)	Y (Standardreiz hell- grau G2)	Y (G2) – Y (G1)
Niedrig (Hintergrund schwarz)	.44	.57	.13
	.41	.52	.11
	.38	.60	.22
	.35	.52	.17
	.37	.62	.25
	.31	.60	.29
	.45	.48	.03
	.50	.54	.04
	.48	.46	-.02
	.38	.64	.26
Hoch (Hintergrund grau)	.17	.42	.25
	.21	.57	.36
	.20	.41	.21
	.28	.40	.12
	.18	.59	.41
	.17	.45	.28
	.16	.37	.21
	.07	.31	.24
	.09	.51	.42
	.12	.31	.19

Verglichen werden die Differenzen der AV bei hellgrauem und dunkelgrauem Standardreiz bei beiden Ähnlichkeitsbedingungen. Der t-Test für *unabhängige* Stichproben mit dem Faktor „Ähnlichkeit Hintergrund – Standardreiz“ mit den Stufen „hoch“ und „niedrig“ ergibt einen t-Wert ($df = 18$) von 2.62, $p = .009$ (bei einseitiger Testung).

15.5 Fragen und Diskussionsthemen

Der *Crispening*-Effekt bei Helligkeitskontrast ist ein sehr stabiles Phänomen, das unter verschiedenen Darbietungsbedingungen (Darbietungsmedium, kurze oder längere Darbietungszeit, räumliche Anordnung) gleichermaßen auftritt (Whittle, 1991). Andererseits sind auch Bedingungen bekannt, die sein Auftreten verhindern (s. a. 6. Extensionen). Vor allem Arend (1994) kritisiert, dass der *Crispening*-Effekt keine Relevanz für das Wahrnehmen unter ‚normalen‘ Bedingungen hat. Seine Ergebnisse zeigen, dass der *Crispening*-Effekt nicht auftritt, wenn die zu beurteilende Fläche in einem komplexen Umfeld (Mondrian-Muster, s. Abb. 15.4) eingebettet ist. Dieses Muster enthält viele unterschiedliche Helligkeiten und erlaubt dem Betrachter dadurch, die (hier: simulierten) Beleuchtungsbedingungen und damit die relative Helligkeit des Reizes einzuschätzen. Derartige Kontextinformationen können anscheinend den *Crispening*-Effekt, der vermutlich auf neuronalen Prozessen beruht, unterdrücken.

Abbildung 15. 4 „Mondrian“-Darbietungsmuster nach Arend (1994)

Häufig wird die Bedeutsamkeit von wahrnehmungspsychologischen Phänomenen im Alltag betrachtet. Der Crispening-Effekt spielt hier keine spürbare Rolle: Dass zwei Flächen, die aneinander grenzen, sich nur in ihrer Helligkeit unterscheiden, kommt in der alltäglichen Umwelt kaum vor, außer an Schattenkanten. Whittle (1991) schließt aus den vorliegenden Befunden, dass der Crispening-Effekt durch seine Kontrastverstärkung bei Schatten die Wahrnehmung von Beleuchtung und dreidimensionalen Objektmerkmalen erleichtert. Ansonsten sind Flächen meist entweder durch eine Kontur oder einen Unterschied in der Farbe voneinander getrennt oder sind sogar in einen ganz inhomogenen Kontext eingebunden. Unter diesen Umständen ist kein Crispening-Effekt zu erwarten.

Dennoch ist es sinnvoll, Phänomene zu untersuchen, deren Auftreten an ganz spezielle Darbietungsbedingungen gebunden sind, auch wenn diese womöglich nur im Labor zu erzeugen sind. Solche Messungen geben Aufschluss über grundlegende Mechanismen der Wahrnehmung, teilweise auch über die Funktionsweise ihrer neuronalen Grundlagen. Der *Crispening*-Effekt zeigt nach Whittle (1991), dass die neuronale Reaktion auf Helligkeit bei kleinen Helligkeitsunterschieden (ΔL) sehr stark von diesen abhängt und weniger von der absoluten Helligkeit (L). Daher muss die Psychophysik den *Crispening*-Effekt bei der Skalierung von Helligkeiten berücksichtigen.

15.6 Extensionen

Simultankontrast. Bei der Auswertung des Grundexperiments kann nebenbei der Effekt des simultanen Helligkeitskontrasts getestet werden: Vergleicht man die Werte der abhängigen Variablen (eingestellte Helligkeit des Testfeldes) bei grauem und schwarzem Standardhintergrund miteinander, lässt sich zeigen, dass die absoluten Werte beim grauen Hintergrund höher sind als beim schwarzen. Dieser Effekt beruht

auf denselben Mechanismen, die für die Helligkeitskonstanz verantwortlich gemacht werden, nämlich auf lateraler Hemmung und dem Verhältnisprinzip des Kontrasts (s. z. B. Goldstein, 1996/1997). Letzteres besagt, dass zwei Flächen, die unterschiedliche Lichtmengen abstrahlen, gleich aussehen, wenn man das Verhältnis ihrer Intensitäten zu den Intensitäten ihrer Umfelder konstant hält, bzw. unterschiedlich, wenn sich das Verhältnis ändert.

Der Crispening-Effekt (Helligkeitskontrast) und Konturen. Whittle (1991) findet, dass der *Crispening*-Effekt deutlich reduziert wird, wenn die Farbfelder (hier: Standardreiz und -hintergrund) durch eine schmale schwarze Kontur getrennt werden. Die neuronalen Mechanismen, die für den *Crispening*-Effekt verantwortlich sind, werden offensichtlich ausgeschaltet, wenn die Flächen mit geringem Helligkeitsunterschied nicht direkt aneinander grenzen (s. Whittle, 1991).

Im Experiment kann dies einfach nachgewiesen werden, indem nicht die Darbietung vor grauem oder schwarzem Hintergrund gegenübergestellt werden, sondern Displays (grauer Hintergrund) mit und ohne schmale Kontur zwischen Feld und Hintergrund. Die Hypothese lautet, dass die Differenz der wahrgenommenen Helligkeit zwischen hellem und dunklem Grau größer ist, wenn keine Kontur das Feld umgibt.

Der Crispening-Effekt (Helligkeitskontrast) und Farbtonunterschiede. Auch ein Farbtonkontrast zwischen Reiz und Hintergrund soll den *Crispening*-Effekt abschwächen. Whittle (1991) zeigt dies in einer Untersuchung, in der die Probanden aus gelben Feldern eine gleichabständig wirkende Helligkeitsskala erzeugen sollten; der Hintergrund der Felder war entweder gelb, grün oder rot. Bei den Untersuchungsbedingungen in unserem Experiment kann der Effekt gezeigt werden, indem Standardreiz und Testfeld denselben Farbton (Gelb) aufweisen, der Standardhintergrund denselben oder einen anderen Farbton aufweisen kann, während der Testhintergrund schwarz ist. Hypothetisch ist zu erwarten, dass die Differenz der wahrgenommenen Helligkeiten der beiden Reize größer ist, wenn Standardreiz und -hintergrund denselben Farbton aufweisen, als wenn sich die Farbtöne von Hintergrund und Reiz unterscheiden.

Der Crispening-Effekt (Farbkontrast). Auch bei Farbkontrasten ist der *Crispening*-Effekt nachweisbar (Takasaki, 1967). Da der Effekt von den Reaktionen der Sinneszellen abhängt, sollten die Farben so variieren, dass sie unterschiedliche Reaktionen nur bei einer der drei Zapfenarten in der Netzhaut erzeugen, die anderen beiden aber unbeeinflusst bleiben. Dies bedeutet, dass eine genaue Wiedergabe bestimmter Farben auf dem Bildschirm erforderlich ist. Hier stoßen die Möglichkeiten des wahrnehmungspsychologischen Online-Experimentierens an ihre Grenzen, da eine entsprechende Kalibrierung aller beteiligten Monitore vermutlich meist praktisch nicht möglich sein wird; eine entsprechende Modifikation des Grundexperiments wird hier daher nicht angeboten.

Literatur

- Arend, L. (1994). Surface colors, illumination, and surface geometry: Intrinsic-image models of human color perception. In A. L. Gilchrist (Ed.), *Lightness, brightness, and transparency* (pp. 159-213). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
Experiment zum *Crispening*-Effekt bei komplexem Darbietungsmuster.
- Campanhausen, C. von (1993). *Die Sinne des Menschen: Einführung in die Psychophysik der Wahrnehmung* (2. völlig neu bearbeitete Auflage). Stuttgart: Georg Thieme.
Beschreibt und erklärt Prozesse und Phänomene der Wahrnehmung mit vielen anschaulichen Demonstrationen und verständlichen Beispielen.
- Goldstein, E. B. (1997). *Wahrnehmungspsychologie: Eine Einführung*. Heidelberg: Spektrum. (Original erschienen 1996: *Sensation and perception*, 4th edition)
Umfassendes und gut verständliches Lehrbuch zur Wahrnehmungspsychologie.
- Irtel, H. (1993). *Experimentalpsychologisches Praktikum*. Berlin: Springer.
Viele ‚klassische‘ allgemeinpsychologische Experimente, vor allem wahrnehmungspsychologische. Dabei auch Definition von Psychophysik und Beschreibung ihrer Methoden.
- Krantz, J. H. (2001). Stimulus delivery on the Web: What can be presented when calibration isn't possible. In U.-D. Reips & M. Bosnjak (Eds.), *Dimensions of Internet Science* (pp. 113-130). Lengerich: Pabst Science Publishers.
Der Beitrag behandelt Probleme und Möglichkeiten der Darbietung von visuellen Reizen in Online-Experimenten.
- Takasaki, H. (1966). Lightness change of grays induced by change in reflectance of gray background. *Journal of the Optical Society of America*, 56, 504-509.
Ursprüngliches Experiment zum *Crispening*-Effekt bei Helligkeitskontrast.
- Takasaki, H. (1967). Chromatic changes induced by changes in chromaticity of background of constant lightness. *Journal of the Optical Society of America*, 57, 93-96.
Experiment zum *Crispening*-Effekt bei Farbkontrast.
- Whittle, P. (1991). Brightness, discriminability, and the „Crispening Effect“. *Vision Research*, 32, 1493-1527.
Untersuchung des *Crispening*-Effekts unter verschiedenen Darbietungsbedingungen (Farbtonunterschied oder Linie zwischen Reiz und Hintergrund). Die Diskussion enthält eine umfassende und interessante Auseinandersetzung mit der theoretischen und praktischen Bedeutsamkeit des *Crispening*-Effekts.
- Wyszecki, G. & Stiles, W. S. (1982). *Color science: Concepts and methods, quantitative data and formulae* (second edition). New York: Wiley.
Umfassender Klassiker zu nahezu allen Fragen der Farbwahrnehmung. Enthält eine gute Beschreibung des *Crispening*-Effekts und von damit verbundenen Phänomenen.