



Klaus Dürschmid
Department für Lebensmittelwissenschaften und -technologie
Universität für Bodenkultur Wien

Inhalt

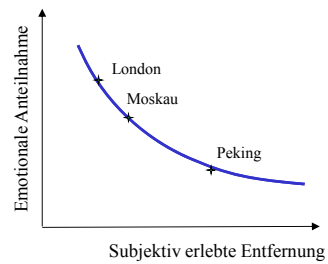
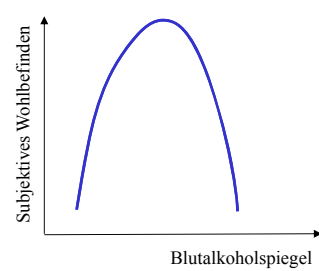
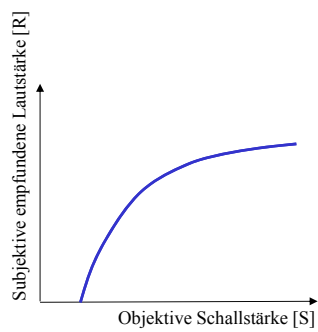


1. Themen der Psychophysik
2. Adaptation – Habituation
3. Schwellwerte
4. Weber
5. Fechner
6. Stevens
7. Beidler
8. Sapir Whorf Hypothese
9. Bezold-Brücke, Zurmühl-Stevens Effekte
10. Klassische psychologische Verzerrungen
11. Kontext Effekte
12. Dumping Bias

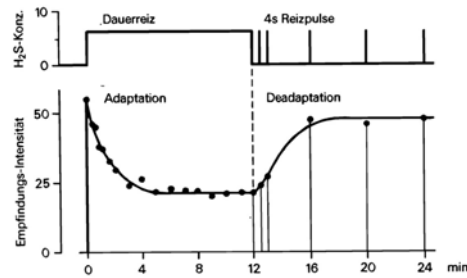
1. Zentrale Themen der Psychophysik

- Funktionseigenschaften des sensorischen Systems
- Messen der Empfindungen:

Beispiele für die drei Problemtypen

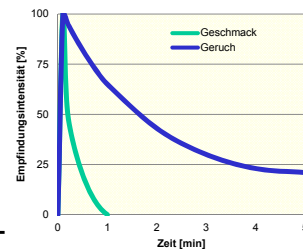


2. Adaptation – Deadaptation



- Dauerreiz – Verminderung der Empfindungsintensität
- Ende des Reizes – langsame Erholung (recovery) des sensorischen Systems
- Zeitlicher Verlauf der Adaptation und Deadaptation sind von Geruchsstoffen und ihrer Konzentration abhängig

Adaptation



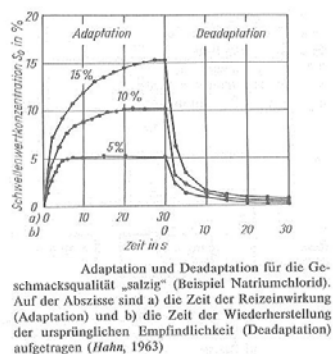
- Im Gegensatz zum Geruch adaptiert der Geschmack rascher und vollständiger
- Wassergeschmack entsteht durch Adaptation an einen Geschmack: z.B. bitter und sauer nach NaCl-Adaptation, süß nach Säure-Adaptation
- Geschmacksintensität von Mischungen ist schwächer als die Summe der Intensitäten der Einzelstoffe – Völliges Zurückdrängen einzelner Komponenten möglich (Zucker im Kaffee, Zucker im Zitronensaft).

Zwei Formen der Adaptation

Selbstadaptation: Geruchsempfindung durch einen Stoff vom Zeitfaktor der Wahrnehmung als auch von der Reizintensität abhängig.

Kreuzadaptation: Gewöhnung an einen Stimulus beeinflusst auch Wahrnehmung anderer Stimuli.

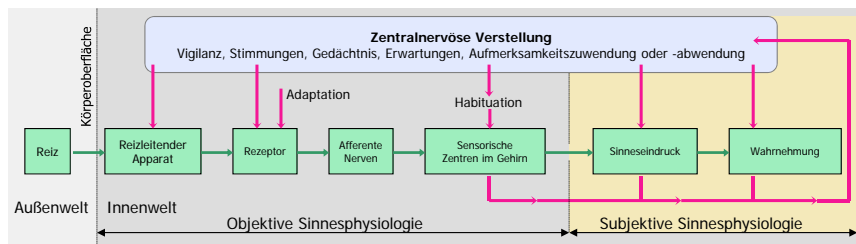
Adaptation - Habituation



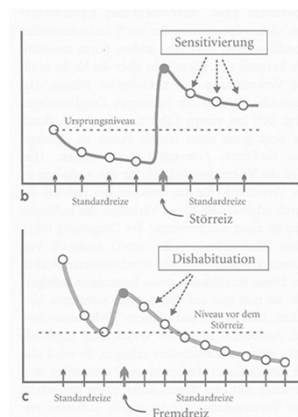
- **Adaptation:** Anpassung der Sinneszellen an die vorhandene Reizstärke (Kreuzadaptation, Selbstadaptation)
- **Habituation:** Anpassung an die Reizstärke im ZNS über neuronale Rückkopplungsschleifen (z.B. Überhören des Uhrtickens).

Adaptation - Habituation

- **Adaptation:** Anpassung der Sinneszellen an die vorhandene Reizstärke
- **Habituation:** Anpassung an die Reizstärke im ZNS über neuronale Rückkoppelungsschleifen (z.B. Überhören des Uhrtickens).



Sensitivierung & Dishabituation

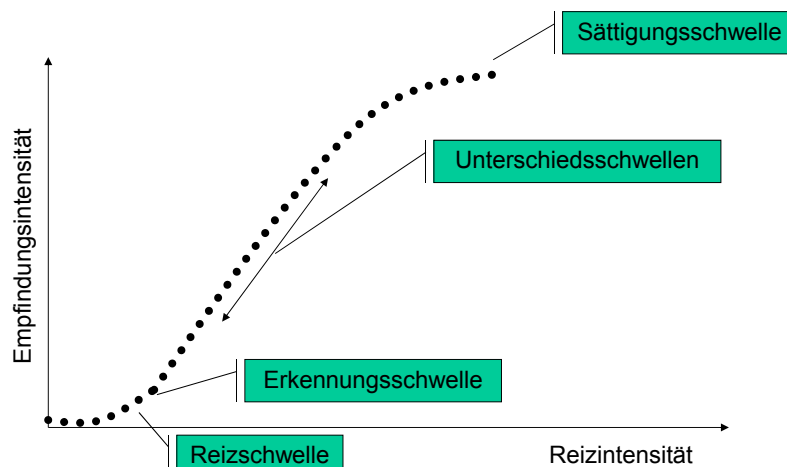


- **Sensitivierung:** Zunahme der Reaktion auf Standardreiz S, der vorher schon mehrfach präsentiert wurde, wenn gleichzeitig mit S oder unmittelbar vor S ein Störreiz auftritt, der aversiv oder noxisch ist, über Ursprungsniveau hinaus.
- **Dishabituation:** Mäßige Zunahme der Reaktion auf Standardreiz durch Einschalten eines nicht-aversiven, aber neuen Fremdreizes.

3. Schwellwerte

- Qualitätsschwelle oder Wahrnehmungsschwelle: steckt jenen Bereich ab, innerhalb dessen Reize Empfindungen auslösen können (z.B. 20 – 20000 Hz Hören, 10^{-7} - 10^{-4} cm Sehen)
- Erkennungsschwelle (untere absolute Schwelle): ebenmerkliche Reizintensität, ab der die Reizqualität richtig erkannt wird
- Unterschiedsschwelle (just noticeable difference oder ebenmerklicher Unterschied): Maß der Empfindlichkeit der Wahrnehmung.
 - Absolute Unterschiedsschwelle: jene minimale Reizdifferenz, die notwendig ist, um einen ebenmerklichen Empfindungsunterschied zwischen zwei Reizen auszulösen. $\Delta S = (S - S_0)$
 - Relative Unterschiedsschwelle: Absolute Schwelle im Verhältnis zum Ausgangsreiz. $= \Delta S / S_0$; Unterschiedsschwellen z.B. für Gerüche 0,1-0,6
- Sättigungsschwelle: Reizintensität, ab der eine weitere Erhöhung des Reizes zu keiner weiteren Erhöhung der Empfindungsintensität führt.
- Schmerzschwelle (obere absolute Schwelle): Reizintensität, ab der Empfindung als schmerzhaft interpretiert wird.

Schwellwerte (schematisch)



Schwellwerte

- Große intra- und interindividuelle Schwankungen
- Bemerkenswert bei der Kohlenwasserstoffkette Methan, Ethan, Propan, Butan etc.: je länger die Kette, desto niedriger ist der Schwellwert.
- Schwellwertverringering durch „Üben“ bei Frauen im reproduktionsfähigen Alter
- Schwellwerte für das trigeminale System ca. um den Faktor 1000 höher als im olfaktorischen System.

Wahrnehmungsschwellwerte verschiedener Lebewesen

Mensch	Moleküle / ml Luft
• Propionsäure	$2,2 \times 10^{10}$
• N-Buttersäure	$2,4 \times 10^9$
• Alpha-Ionon	$8,8 \times 10^7$
• Vanillin	5×10^9
• Methylalkohol	1×10^{16}
Hund	
• Propionsäure	$2,5 \times 10^5$
• Alpha-Ionon	3×10^4
• Diazetyl	1×10^3
Aal	
• β -Phenylethylalkohol	$1,7 \times 10^3$ (pro ml Wasser)
• Alpha-Ionon	1×10^6 (pro ml Wasser)
Biene	
• Propionsäure	$4,3 \times 10^{11}$
• Alpha-Ionon	1×10^{10}
Seidenspinner	
• Sexuallockstoff	2×10^2

4. Weber'sches Gesetz

Ernst Heinrich Weber (1795-1878) Begründer der Psychophysik



1834 führte Weber Experimente mit Gewichten durch: Welche Gewichte sind gerade eben als unterschiedlich erkennbar? Nicht die absolute Gewichts Differenz ist wesentlich, sondern das Verhältnis der beiden Gewichte - ca. 2% müssen Gewichte differieren, damit sie als unterschiedlich erkannt werden – egal, ob es leichte oder schwere Gewichte sind. Gilt nicht für Reize im unteren Bereich, nahe der Wahrnehmungsschwelle.

„Das Verhältnis der unterscheidbaren Gewichte ist unabhängig von der Größe des Grundgewichts“

$$k = \frac{\Delta S}{S}$$

Relative Unterschiedsschwelle ist konstant

Auch für die Geschmacks- und Geruchsempfindungen gilt dieses Gesetz nur bei mittleren Reizstärken. Nicht jede Intensitätssteigerung eines Reizes führt also zu einer Veränderung der Intensität der Wahrnehmung.

k-Werte

$$k = \frac{\Delta S}{S}$$



Diejenige Steigerung der Reizstärke ΔS ($S_2 - S_1$), die einen gerade noch wahrnehmbaren Unterschied in der Wahrnehmung bewirkt, ist ein konstanter Bruchteil jener Reizstärke S , die zuvor auf die Sinnesorgane gewirkt hat.

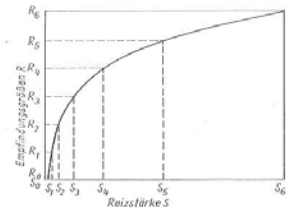
Empfindung	k-Wert (Weber-Quotient)
Bitter (Koffein)	0.30
Sauer (Zitronensäure)	0.22
Salzig (NaCl)	0.20
Süß (Saccharose)	0.17
Gerüche	0,1-0,6 (13 Zehnerpotenzen Umfang)
Lautstärke	0.016 (nur 6 Zehnerpotenzen Umfang)
Tonhöhen	0.003 (nur 4 Zehnerpotenzen Umfang)

5. Weber/Fechner'sches Gesetz

Gustav Theodor Fechner „Elemente der Psychophysik“ 1860



Verknüpfung zwischen Empfindungsstärke (Wahrnehmungsintensität) und physikalischer Reizintensität. Der Anstieg der Wahrnehmung ΔR ist dem Anstieg der Reizstärke ΔS proportional. Zwischen Empfindung und Intensität besteht ein logarithmischer Zusammenhang. Wenn die Reizstärke in geometrischer Reihe zunimmt, wächst die Empfindungsstärke in arithmetischer Reihe.



$$\Delta R = k \cdot \frac{\Delta S}{S}$$

Integrierte Form:

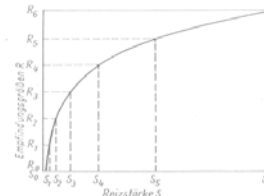
$$R = k \cdot \lg S + \text{Konstante}$$

Wenn die Basisreizstärke für S der Schwellenwert S_0 ist, gilt:

Die Wahrnehmungsgröße R , die mit einem Reiz S korrespondiert, ist die Summe elementarer Empfindungsgrößen vom Ausmaß ΔR (nach Fechner subjektiv gleich große Einheiten).

$$R = k \cdot \lg \frac{S}{S_0}$$

Weber/Fechner-Praxis



Mit Hilfe dieses Gesetzes kann man ermitteln, mit wie vielen Unterscheidungen in einem gegebenen Bereich eines Reizkontinuums S zu rechnen ist.

„Ein Reiz (S) muss gegenüber seinem Schwellenwert (S_0) logarithmisch wachsen, damit er als größer wahrgenommen werden kann.“

Das Weber-Fechner-Gesetz gilt angenähert in den Mittelbereichen fast aller Sinnesgebiete.

6. Psychophysisches Potenz-Gesetz

Stanley Smith Stevens (1906-1973)



Widersprüche zwischen Weber/Fechner-Gesetz und experimentellen Beobachtungen bei Lautstärke. Zusammenhang zwischen Reiz- und Wahrnehmungsstärke (Einschätzung der Intensität durch Prüfpersonen)

$$\log R = a \cdot \log S + \log k$$

$$R = k \cdot S^a$$

R ... Empfindungsgröße, Wahrnehmungsstärke, -intensität

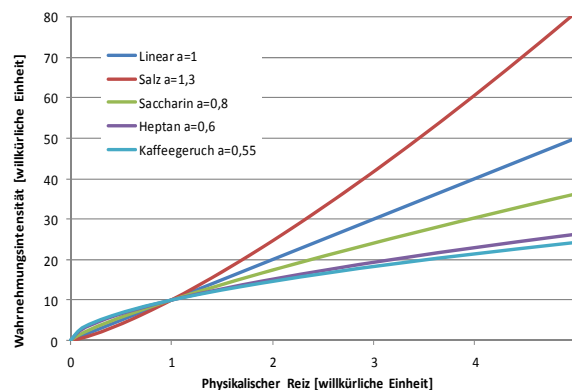
S ... Reizintensität (Reizintensität minus Schwellenreizintensität)

k ... Konstante, die vom Maßstab der Größenskala abhängt

a ... die Reizqualität betreffende charakteristische Konstante
(0.3 Helligkeit bis 3 Schmerz; 0.55 für Kaffeegeruch, 0.60 für Heptangeruch, 0.8 für Saccharin-Geschmack, 1.3 für Salz-Geschmack, 1.3 für Saccharose-Geschmack, Elektrischer Schlag 3.5)

Beispiele für Stevens-Gesetz

Exponentielle Funktionen mit Exponenten für Gerüche und Geschmacksstoffe

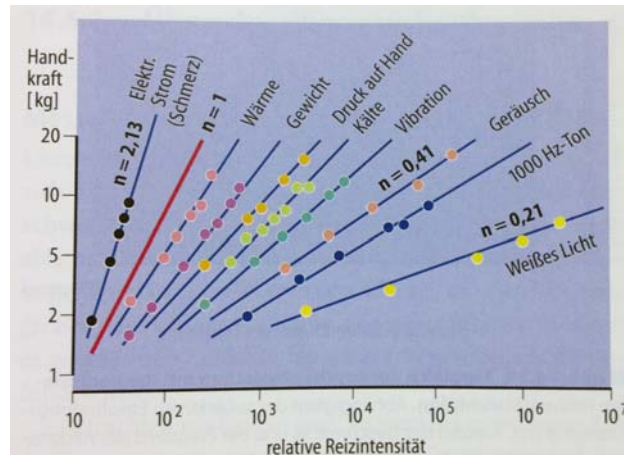


Gerüche haben Exponenten zwischen 0,1 und 0,7.

Beispiele für Stevens-Gesetz

Großes a ($=n$): physiologische Warnreize

Kleines a ($=n$): großer Empfindungsbereich



Aus Birbaumer/Schmidt:
Biologische Psychologie,
Springer 2006

Konsequenzen aus Stevens

Verblüffende Konsequenzen: z.B.: Um den Krach eines LKWs subjektiv zu verdoppeln, müssen nicht 2 sondern 8 LKWs lärmten. Um die subjektive Empfindungsstärke eines Geruchs zu verdoppeln, muss die Reizintensität etwa vervierfacht werden.

Olfaktometer produzieren aufgrund solcher Gesetzmäßigkeiten genau definierte Duftstoffkonzentrationen.

Ein doppeltlogarithmischer Zusammenhang vergrößert den Arbeitsbereich von Sinnessystemen, sie können nicht so leicht schmerzhaft übersteuert werden = die Dynamik der Sensoren wird vergrößert. Das ist keine Sinnestäuschung, sondern typisch für unsere Sinne.

7. Beidlersches Gesetz

Lloyd M. Beidler (1967)



$$R = \frac{R_{\max} \cdot c}{K_c + c}$$

$$\frac{R}{R_{\max}} = \frac{c}{1/k + c}$$

Zur Beschreibung der elektrischen Antwort von Geschmacksnerven und Rezeptorzellen auf das Andocken von chemischen Verbindungen an der Membranoberfläche

R Neurale Antwortgröße in Bezug auf molare Stimuluskonzentration

c Molare Stimuluskonzentration

R_{\max} Maximal mögliche Antwortgröße (Sättigung)

K_c Bindungskonstante, Konzentration bei der Antwort halbmaximal ist.

(Analogie zur Michaelis-Menten Gleichung (1913) – Sättigungskinetik enzym-katalysierter Reaktionen $v = v_{\max}[S]/(K_M + [S])$ K_m ist die Substratkonzentration, bei der die Geschwindigkeit halbe maximale Geschwindigkeit erreicht)

Drei Modelle

zur Beschreibung der Empfindungsintensität als Funktion der Reizintensität

Fechner Gesetz

$$\text{Empfindung} = k \cdot \log(\text{Reiz})$$

Steven Gesetz

$$\text{Empfindung} = k \cdot (\text{Reiz})^n$$

Beidler Model

$$\text{Empfindung}/\text{Empfindung}_{\max} = \text{Reiz} / (1/k + \text{Reiz})$$

Vergleich der drei Modelle

Empirische Prüfung der Performance

Beidler > Steven > Fechner

Beidler am geeignetsten für den Einsatz
in der Sensorik.

8. Sapir/Whorf Hypothese

Edward Sapir (1884-1936) & Benjamin Lee Whorf (1897-1941)



- Wahrnehmung wird mit Hilfe der Sprache geschärft.
- Hat man ein Wort für eine Wahrnehmung, dann ist sie einfacher von anderen Wahrnehmungen zu unterscheiden.
- Zweifache Kodierungstheorie: Informationen prägen sich besser ein, wenn sie doppelt kodiert werden, d.h. sowohl semantisch als auch in der „Sprache“ eines Sinnesorgans selbst. Auch: chemische Sinne fördern einander: z.B. Benzaldehyd (Mandeln, Kirschen) wird in Kombination mit süßem Geschmack bei niedrigeren Dosen bereits wahrgenommen.
- Einen Geruch allein im Gedächtnis zu behalten, ist schwerer, als einen Geruch, der ein passendes Etikett oder eine Bedeutung hat, zu erinnern. Z.B.: Androsteron, ein männliches Pheromon, wird leichter erkannt, wenn sein Geruch mit Namen versehen ist.

9. Bezold-Brücke und Zurmühl-Stevens Phänomen

- Wahrgenommene Farbe variiert bei gleicher Wellenlänge mit der Leuchtdichte
- Bei wechselnder Lautstärke einer Frequenz hört man unterschiedliche Tonhöhen

Geruchsanaloga z.B.:

- Skatol: Fäkaliengeruch; verdünnt - Blumenduft
- Zibet: fäkalisch-animalisch stinkendes Sekret der Analdrüsen der Zibetkatze; verdünnt – moschusartig-ledriger Wohlgeruch
- Tetrahydrothiophen: Erdgaszusatz
- Heptanol: reizend; verdünnt frischer-fettiger Geruch (Nelken-, Jasmin-Düfte)
- Ozon: reizend, trigeminal wirksam; verdünnt frisch

10. Klassische psychologische Fehler

1. Fehler der Gewohnheit (Habituation?)
Tendenz, bei einer sich nur allmählich verändernden Merkmalsausprägung länger als „richtig“ dieselbe Bewertung vorzunehmen
2. Fehler der Erwartung (error of anticipation)
Auffinden von Differenzen, wo keine sind (ansteigende Konz. Z.B. im DIN Schwellwerttest)
3. Stimulus Fehler
Prüfperson kennt oder glaubt, Prüfprodukt zu kennen, und wie es zu schmecken hat.
4. Logische Fehler
Unzulässige Verknüpfung von Merkmalen (Farbe – Verderbszustand)
5. Fehler der Nachsicht
Zugunsten einer bekannten Probe wird bewusst positiver bewertet
6. Fehler der mittleren Tendenz
Scheu, Extreme der Skalen zu meiden
7. Kontrastfehler
8. Fehler der Ähnlichkeit
Wissen, dass zwei Proben ähnlich behandelt wurden, veranlasst Prüfer ähnlich zu bewerten
9. Zeitfehler
Probe am Anfang oder am Ende der Probenfolge – unterschiedliche Beurteilung
10. Positionsfehler
Unterschiedliche Beurteilung je nach Position, an der Probe gereicht wird
11. Fehler der Assoziation
vorhergehende Eindrücke modifizieren Reaktionen auf Reize (Priming)

11. Kontext-Effekte

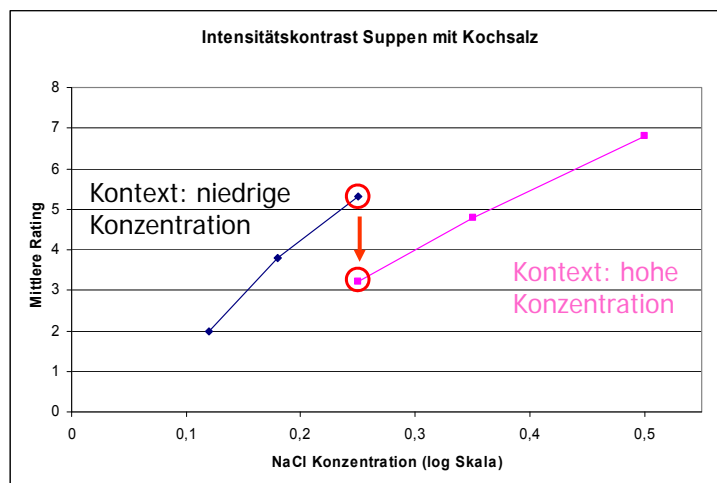
Mensch ist gut im Vergleichen, schlecht im Absolut-Bewerten. (10°C im August erscheinen sehr kalt, 10°C im Jänner sehr warm)

Menschliche Wahrnehmung ist wie ein Messinstrument, das sich entsprechend dem erfahrenen Bezugsrahmen ständig rekaliibriert.

→ Relativität der Bewertungsskalen

- Einfacher Kontrast [Lawless 1983]: unter schwachen Proben erscheint Prüfprobe stark, unter starken schwach.
- Range mapping [Poulton 1989, Parducci 1974]: Prüfpersonen nutzen Skalen auf bestimmte Art
- Häufigkeitsfehler [Parducci 1965]: Antwortklassen werden in gleicher Anzahl verwendet.
- Fehler der mittleren Tendenz (Centering Bias) [Johnson&Vickers 1987]: Mittlerer Stimulus der Testserie mit der Mitte der Antwortskala gleichgesetzt
- Transfer [Poulton 1989]: Kontext oder Erfahrungen aus vorherigen Sitzungen beeinflussen Urteile der jetzigen Sitzung.

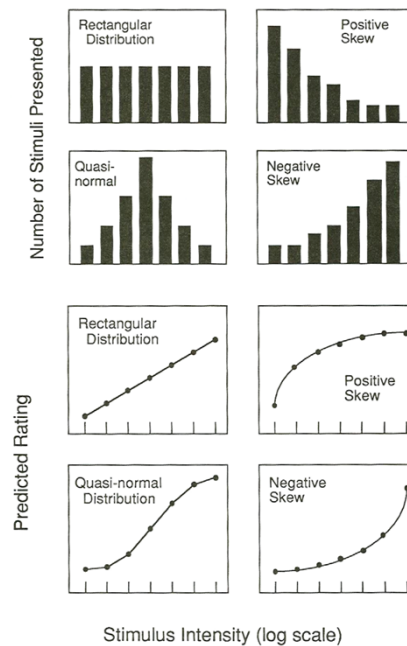
Einfacher Intensitätskontrast



Lawless, 1983

Bereichshäufigkeitstheorie

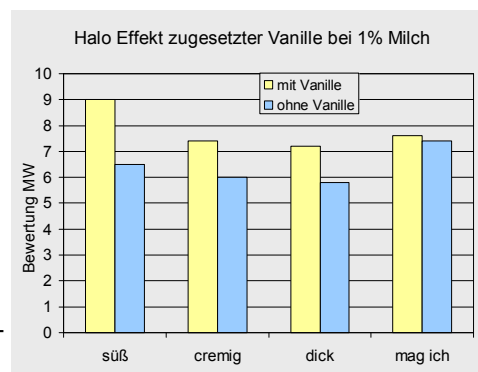
- Parducci 1956, 1964
- Prüfpersonen unterteilen unstrukturierte Skalen in gleich große Wahrnehmungssegmente.
- In einer Testreihe neigen Prüfpersonen dazu, alle diese Segmente gleich oft zu benutzen



Aus Lawless/Heymann, 1999

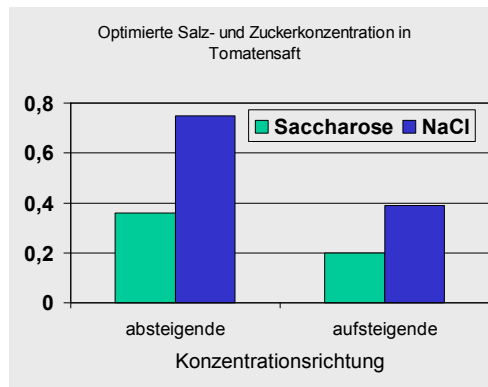
Halo-Effekte

- Ein sehr positives Merkmal beeinflusst Beurteilung der anderen, eigentlich unabhängigen Merkmale positiv.
- Auch negative Beeinflussung möglich.
- Maltol, Vanille erzeugen keinen intensiveren Süßgeschmack, sondern eine intensivere Süß-Bewertung – da bei Verschluss der Nasenlöcher und Verhinderung retronasalen Riechens kein Einfluss feststellbar.



Lawless/Clark, 1994

Affektiver Shift



Mattes&Lawless, 1985

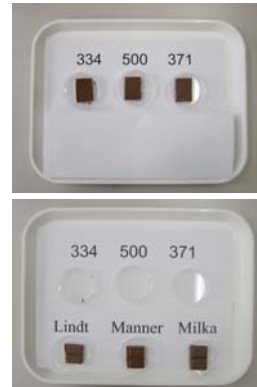
- Im Kontext unbeliebter Proben wird beliebte Probe noch beliebter beurteilt.
- Achtung bei Optimierungen! Gutes Produkt erscheint gegen schlechtes getestet noch besser
- Modell-Lösungen erscheinen besser, wenn sie zwischen unangenehmen bitter-Proben präsentiert werden, und schlechter, wenn sie zwischen angenehmen süß-Proben liegen.

12. Dumping Bias

- Effekt der Beschränkung von Antwortmöglichkeiten beim Profiling
- Ein negatives Merkmal kann Bewertung aller anderen Merkmale negativ beeinflussen (Halo-Effekt). Dieser Effekt ist aber noch größer, wenn es für diese Merkmal keine Skala gibt (= „unterschlagen“ wird).
- Daher müssen alle relevanten Merkmale abgefragt werden.

Gegenmassnahmen

- Kodierung der Proben (mind. dreistellige Ziffern oder Buchstaben; evtl. Farben oder Symbole)
- Randomisation der Prüfproben
- Branded – Non Branded
- Blind – Doppelblind
- Stabilisierung der Prüfumgebung
- „Kalibration“ der Prüfpersonen
- Interpretation der Ergebnisse



Literatur

- Lawless, H.T. / Heymann, H.: Sensory Evaluation of Food. Principles and Practices. Chapman&Hall, New York 1998.
- Burdach, K.: Geschmack und Geruch. Gustatorische, olfaktorische und trigeminale Wahrnehmung. Hans Huber, Bern 1988.
- Maelicke, A.: Vom Reiz der Sinne. VCH, Weinheim 1990.
- Christoph von Campenhausen: Die Sinne des Menschen. Einführung in die Psychophysik der Wahrnehmung. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1993.
- Vroon, Piet: Psychologie der Düfte. Wie Gerüche uns beeinflussen und verführen. Kreuz Verlag, Zürich 1996.
- Silbernagl, Stefan: Lehrbuch der Physiologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1996.
- Goldstein, E.Bruce: Wahrnehmungspsychologie. Spektrum Akademischer Verlag, 2002.