

Synästhetische Wahrnehmung und Geräuschdesign

Grundlagen : Verknüpfung auditiver und visueller Attribute

Dr. Michael Haverkamp, Ford-Werke GmbH Köln

Zuerst veröffentlicht in: Klaus Becker (Hg.): Subjektive Fahreindrücke sichtbar machen II. Haus der Technik Fachbuch 12. Renningen-Malmsheim: expert-Verlag, 2001

Der Text wurde im Jahr 2005 überarbeitet, berücksichtigt jedoch nur Literatur bis Ende 2001.

1 Einleitung

Im modernen Industriedesign kommt der genauen Anpassung des Produktes an die Wünsche des Kunden entscheidende Bedeutung zu. Dazu ist es wichtig, alle vom Kunden wahrnehmbaren Attribute des Produkts möglichst genau auf dessen Erwartungen abzustimmen.

Im Fahrzeugbau wird heute bereits das Geräuschdesign systematischen und – ausgehend von bewährten Verfahren der Psychophysik – methodisch ausgefeilten Prozessen unterworfen. Eine Abstimmung der gewünschten Produkteigenschaften auf andere als auditive Sinnesqualitäten findet dagegen nicht unmittelbar oder nur auf methodisch unzulänglichem Niveau statt. Aus der Wahrnehmungspsychologie ist jedoch die enge Koppelung verschiedener Sinnesmodalitäten und deren Bedeutung für das umfassende Wahrnehmen und Erkennen von Objekten, die Gestaltwahrnehmung, bekannt.

Die Koppelung auditiver und visueller Wahrnehmung ist gegenüber den anderen Sinnen besonders ausgeprägt. Es liegt daher nahe, beide Erscheinungsformen eines Produktes genau aufeinander abzustimmen. Dazu sind viele und sehr verschiedenartige Fragestellungen zu berücksichtigen, wie z.B.: "welches Blinkergeräusch passt am besten zur Optik des Blinkhebels?", "welche Karosseriefarbe passt zum Motorgehäusch?", "welche Farbskala repräsentiert den Höreindruck einer Schallaufzeichnung am besten?" oder "wie wird das Ergebnis eines Hörvergleiches durch die Helligkeit der Umgebung beeinflusst?".

Eine systematische Methodik der Abstimmung visueller und auditiver Attribute bei der Entwicklung industrieller Produkte wurde bislang nicht erarbeitet. Zur Annäherung an dieses Gebiet kann jedoch auf eine Vielzahl psychologischer Studien zurückgegriffen werden, die sich sowohl mit den allen Menschen gemeinsamen Verknüpfungsmöglichkeiten (den intersensoriellen Eigenschaften) beschäftigen, als auch mit speziellen Wahrnehmungs-Phänomenen einzelner Personen. Zu den letztgenannten zählen die "zwangsmäßigen" (genuinen) Synästhesien, d.h. die unwillkürliche Zuordnungen von Farben oder Formen zu wahrgenommen akustischen Phänomenen.

Auch in der bildenden Kunst, Musik und Literatur wurde nach Verbindungen gesucht. Dies geschah jedoch zumeist durch bewusste Zuordnung der Attribute, nur selten spielte die unwillkürliche Empfindung eine entscheidende Rolle. Die häufig beobachtete, allgemeine Akzeptanz solcher künstlerischer Versuche ist jedoch ein Indiz für die weite Verbreitung gleicher oder zumindest ähnlicher Wahrnehmungskonzepte. Daher liefert die Auswertung von Bildern und Plastiken, die eine Visualisierung akustischer Ereignisse anstreben, wichtiges Material zur Erarbeitung ganzheitlicher Designkonzepte. Aus Versuchen der Transformation musikalischer Struktur in Farbe und Form (z.B. als Farblichtmusik oder "musikalische Graphik") kann das beste Vorgehen bei der Ermittlung des zum Fahrzeuggeräusch optimal passenden Designs ebenso abgeleitet werden, wie literarische Vorlagen Hinweise zur verbalen Beschreibung der Schallwahrnehmung liefern.

Es können somit verschiedenen Ebenen der kognitiven Verknüpfung des auditiven mit dem visuellen Bereich unterschieden werden (Bild 1). Die Zuordnung geschieht entweder spontan (intuitiv) oder bewusst (kognitiv). Intermodale Analogie und Assoziation werden zudem vom Kontext der Wahrnehmungssituation beeinflusst.

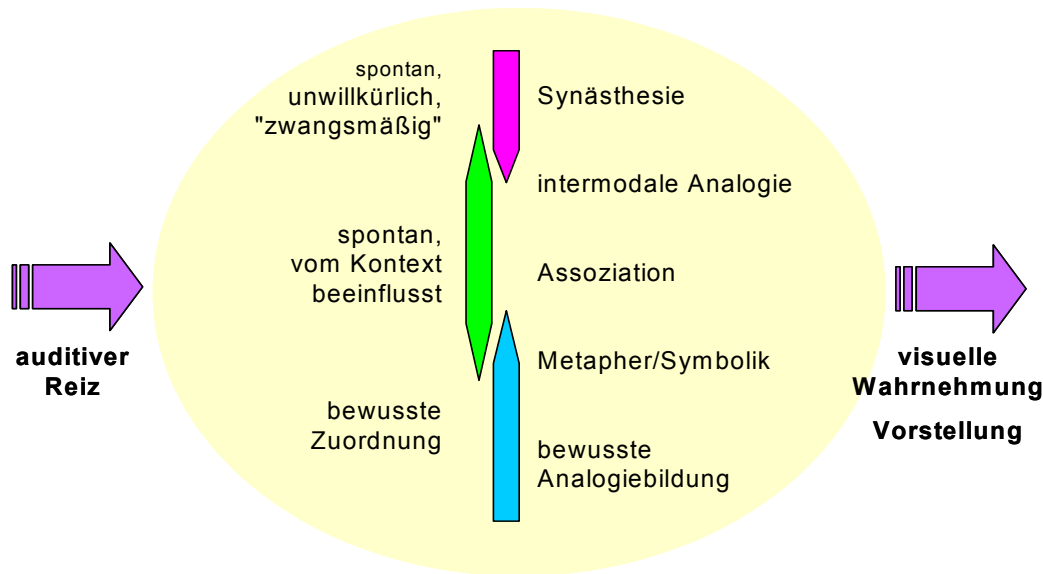


Bild 1: Ebenen der Zuordnung auditiver und visueller Attribute

Das dargestellte Schema erlaubt die grundlegende Klassifizierung der möglichen Verknüpfungsstrategien. Die Zuordnung kann dabei auf verschiedenen Ebenen parallel erfolgen. Die Analyse der vorhandenen Literatur zeigt, dass systematische Verfahren zur Verbindung des auditiven mit dem visuellen Bereich nicht etwa deshalb bislang fehlen, weil es keine Verbindung zwischen beiden gibt, sondern weil gerade die Vielzahl der Verknüpfungsebenen ohne genaue Beachtung ihrer Parallelität Konzepte scheitern lässt, die auf zu starke Vereinfachung gegründet sind.

Der folgende Text bietet zunächst einen komprimierten Überblick über den derzeitigen Wissensstand (2001) in allen mit dem Thema befassten Disziplinen. Daraus ergeben sich erste Anwendungen und konkrete Schlussfolgerungen zur Visualisierung der Geräuschwahrnehmung und zur Durchführung ganzheitlich orientierter Hörversuche.

2 Vorbemerkung: subjektiv und objektiv

Ein Hauptproblem der Wissenschaft war stets die Unterscheidung der den Menschen umgebenden naturgesetzlichen Realität von den durch sie ausgelösten Wahrnehmungserscheinungen. Die größten Erfolge der Wissenschaftsgeschichte wurden erreicht, wenn dies gelang und in einem begrenzten Bereich eine klare Beschreibung der Wirklichkeit möglich wurde. Das Problem der objektiven Beschreibung der Erscheinungen hat daher die Wissenschaft bis heute geprägt. Auch in der Technik stand zunächst die Beschreibung der z.B. physikalischen Eigenschaften eines Produktes im Vordergrund gegenüber den Empfindungen, die es bei den damit konfrontierten Menschen bewirkt.

Geht es jedoch um den Verkaufswert eines Produktes, so lassen sich aus den technischen Merkmalen allein keine hinreichenden Kriterien dafür ableiten. Hier ist die subjektive Bedeutung für den Kunden maßgeblich. Zur optimalen Platzierung eines Produktes im Markt ist die Phänomenologie der Wahrnehmungserscheinungen daher von entscheidender Bedeutung.

Auch die Entwicklung der Psychophysik, insbesondere der Psychoakustik, wurde wesentlich durch den „Zwang zur Objektivierung“ bestimmt. In der Anfangszeit der naturwissenschaftlichen Erforschung der Wahrnehmung wurden auch spezielle Erscheinungen wie die Synästhesien in den Gesamtzusammenhang mit einbezogen, so z.B. von Isaac Newton [35], Hermann von Helmholtz [24], Gustav Theodor Fechner (dem Begründer der Psychophysik [18]), Ernst Mach [31] und anderen. Mit der weiteren Entwicklung ist eine zunehmende Beschränkung auf allgemein verbreitete Phänomene verbunden, die möglichst durch physiologische Untersuchungen unabhängig von den Aussagen des wahrnehmenden Subjekts verifizierbar sind. Diese Vorgaben führten jedoch zu einer zunehmenden Beschränkung der Forschung auf die untersten Ebenen der Wahrnehmungsbahnen, auf denen „fest verschaltete“ Eigenschaften nachweisbar sind. Die Intensität der Schallwahrnehmung kann z.B. auf die Übertragungseigenschaften von Außen-, Mittel- und Innenohr zurückgeführt werden, die spektrale Wahrnehmung auf strukturelle Gegebenheiten der *Basilarmembran* und grundlegende neuronale Eigenschaften (*tuning curves* etc.), die Lokalisation auf elementare Verschaltungen der linken und rechten Hörbahn. Aus den Ansätzen zu einer umfassenden Beschreibung der Wahrnehmung, die z.B. Fechner anstrebte (dem eine „Lehre von der Beziehung zwischen Körper und Geist oder Leib und Seele“ vorschwebte [19]), ist so eine spezialisierte Disziplin entstanden, die sich auf das physiologisch Fixierte beschränkt, den Bereich der Sinnesverknüpfung und der inneren Repräsentation der Wahrnehmung dagegen bewusst ausklammert. Die Psycho-Physik hat sich in mancher Hinsicht in eine "Physio-Physik" gewandelt, die zwar wesentliche Erkenntnisse der elementaren Informationsverarbeitung beim Menschen geliefert hat, dem Anspruch einer umfassenden Beschreibung der Wahrnehmung jedoch nicht gerecht wird. Unterstützt wurde diese Entwicklung durch Denkweisen des Behaviorismus, der zur psychologischen Beschreibung nur Phänomene gelten lässt, die außerhalb des Körpers als Reizgrößen oder als Beschreibungen des ausgelösten Verhaltens messbar sind. Introspektionen, d.h. Beschreibungen innerer Zustände, Bilder, Gefühle etc. wurden als subjektiv aus der wissenschaftlichen Betrachtung ausgeklammert.



Bild 2: Introspektion: visuell-synästhetisches Bild, ausgelöst durch den Glockenton einer Wanduhr, nach Heinrich Heine [3]

Für die Vertreter der „klassischen“ Psychophysik steht eine synästhetische Verbindung der Sinneswahrnehmungen aus den genannten Gründen nicht zur Diskussion, da sie dem Paradigma der strengen Trennung der Sinneswahrnehmungen widerspricht. So ist z.B. für Ernst Terhard die Bedeutung des Begriffes Klangfarbe „selbstverständlich metaphorisch“ zu verstehen [44].

Die Entscheidung des Kunden für ein Produkt steht in engem Zusammenhang mit inneren Bildern, Vorstellungen und Assoziationen. Die introspektive Erforschung innerer Bilder muß wieder ein elementarer Bestandteil der Wahrnehmungspsychologie werden. Eine ganzheitliche Beschreibung der Wahrnehmung ist nur möglich, wenn auch das Spezielle mit in die Betrachtung einbezogen und zunächst Unverständliches nicht ausgeklammert wird.

Zahlreiche Beschreibungen visueller synästhetischer Phänomene sind in der Literatur dokumentiert, so z. B. bereits bei Ch. Ruths [38], Friedrich Mahling [32], Georg Anschütz [4, 5] und Richard Wallascheck [46]. Oft wurde auch versucht, die inneren Bilder in Form von Skizzen und Gemälden darzustellen (Bild (2)). Die synästhetischen Erscheinungen bieten einen geeigneten Ansatz, die Entstehung komplexer Gestaltwahrnehmung aus singulärer Perzeption in Zukunft besser zu verstehen. Daher soll hier zunächst auch auf diese Ausnahme-Erscheinungen näher eingegangen werden.

3 Spezielle Phänomene: Synästhetische Wahrnehmung

Mit dem Begriff Synästhesie (engl.: synaesthesia, am.: synesthesia) wird ein Mitempfinden umschrieben, das durch das zusätzliche Erscheinen eines Sinneseindrucks bei Reizung eines anderen Sinnes charakterisiert ist. Da eine Verbindung verschiedener Sinnesmodalitäten auf sehr verschiedenen Ebenen der Informationsverarbeitung im Gehirn aufgebaut werden kann, ist die Geschichte der Erforschung synästhetischer Vorgänge durch eine ausgeprägte Begriffsverwirrung gekennzeichnet, wie unter anderen Mahling [32] beschreibt. Eine weite Definition des Begriffes umfasst daher alle möglichen Formen des Mitempfindens. Bereits um die Wende zum 20sten Jahrhundert und während dessen ersten Drittels war man jedoch um eine engere Definition bemüht, die ausschließlich das seltene Phänomen der spon-

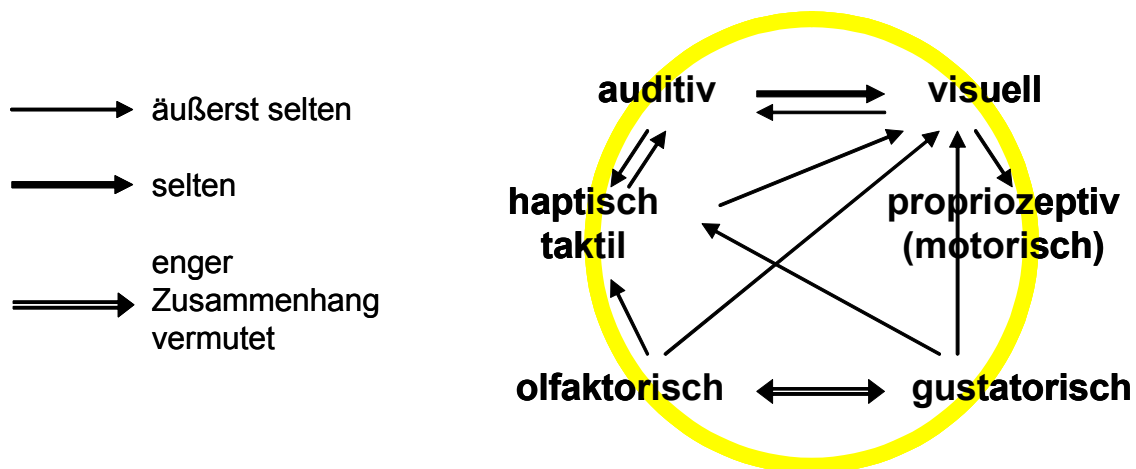


Bild 3: In der Literatur häufiger beschriebene "zwangsmäßige" Zuordnungen der Sinnesgebiete (Synästhesie in der Definition nach Cytowic [13]). Auch alle nicht gezeigten Verbindungen sind möglich.

tanen, unwillkürlichen Anregung umfasst. Im Prinzip können derartige Verknüpfungen zwischen allen Sinnesbereichen vorkommen. Die "zwangsmäßigen" Empfindungen von Lichterscheinungen, Farben und visuellen Formen als Folge auditiver Reize sind unter diesen insgesamt seltenen Erscheinungen die häufigsten (Bild 3). Wegen der auch heute noch geringen Stichprobengrößen kann die Häufigkeit synästhetisch veranlagter Menschen innerhalb der Gesamtbevölkerung nicht exakt erfasst werden; die Angaben liegen zwischen 1:25.000 und 1:2.500 (John Harrison [22], Richard Cytowic [13]).

Synästhesien treten jedoch im Rahmen von "Ersatzfunktionen" deutlich häufiger in Erscheinung. So berichten erblindete Menschen schon kurze Zeit nach dem Verlust der Augenfunktion zu einem erheblichen Prozentsatz von visuellen Wahrnehmungen, die auditiv oder taktil induziert werden. Starr nennt eine Häufigkeit visuell-synästhetischer Wahrnehmung von ca. 50% in einer untersuchten Gruppe von Erblindeten (zitiert bei Harrison [22]). Beispiele auditiv ausgelöster taktiler Wahrnehmung bei Erblindeten werden bei Voss [45] ausführlich diskutiert. Von Geburt an blinde Personen kennen demgegenüber offenbar keine differenzierten visuellen Empfindungen, auch keine Farbwahrnehmung. Das häufige Erscheinen auditiv-visueller Synästhesien als Ersatzfunktion lässt vermuten, dass elementare Verbindungen zwischen beiden Sinnesbereichen bei der Mehrzahl der Menschen möglich sind, in der Regel jedoch nicht in das Bewusstsein dringen.

Zwischen dem olfaktorischen (Geruchswahrnehmung) und gustatorischen Sinnesgebiet (Geschmackswahrnehmung) besteht eine enge Verbindung, die zu einer gegenseitigen verstärkenden Beeinflussung führt. Manche Autoren, wie z. B. Karl Zietz [52], ziehen daraus den Schluss, dass hier eine ausgeprägte, allgemein verbreitete synästhetische Verbindung vorhanden ist. Dies ist jedoch bislang nicht in größerem Umfang systematisch untersucht worden – eine Klassifizierung als Synästhesie setzt den Nachweis einer Wahrnehmung bei Stimulierung ausschließlich eines anderen Sinnesgebietes voraus. In letzter Zeit war besonders Cytowic [13] um eine genaue Definition bemüht: Synästhetische Wahrnehmung ist nach seinen Untersuchungen durch folgende Merkmale gekennzeichnet. Sie ist:

- unwillentlich (spontan) und durch Reize ausgelöst
- projiziert
- dauerhaft (geringe intra-individuelle Varianz)
- gut erinnerbar
- emotional

Synästhetische Wahrnehmungen werden demnach räumlich auf den Reizauslöser bezogen (projiziert). Die Annahme emotionaler Vorgänge als Voraussetzung synästhetischer Wahrnehmung ist jedoch umstritten.

3.1 Farbenhören: Synopsie

Das Farbenhören ist die häufigste Form der "zwangsmäßigen" Mitempfindung. Hierunter ist jedoch nicht das auditive Empfinden beim Sehen von Farben ("Tönesehen") sondern das Farbempfinden beim Hören von Tönen und Geräuschen zu verstehen. Dieses tritt bei Synästhetikern unwillkürlich auf, wobei jede Person ein individuelles Schema der Zuordnung aufweist, das während des gesamten Lebens konstant und vom Kontext der Wahrnehmung, d.h. von der Situation unabhängig ist. Im französischen wird dieses Phänomen als *audition coloreé*, im englischen als *colour hearing* bezeichnet. Im Deutschen hat sich daneben der Begriff *analytische Synopsie* (Anschütz [2]) etabliert; die beobachteten Sichterscheinungen werden als *Photismen* bezeichnet.

Außer den Synästhetikern im engen Sinne (nach Definition von Cytowic [13]) ist es jedoch den meisten Menschen möglich, einem Hörereignis spontan Farben zuzuordnen. Diese Verbindung ist jedoch nicht absolut, sondern erfährt Modifikationen in Abhängigkeit von der Wahrnehmungssituation (dem Kontext) und bedient sich in der Regel weiterer visueller Vergleichsgrößen, wie Helligkeit und Sättigung, um die Zuordnung zu treffen ("tertium comparationis", Klaus-Ernst Behne [10]). Zur verbalen

Unterscheidung beider Phänomene wurden die Begriffspaare *echte/unechte audition coloreé* (Maria Bos [11]) und *Synesthesia/Pseudo-Synesthesia* (Simon Baron-Cohen et al. [9]) herangezogen; Behne [10] spricht von *Synästhesie sensu Cytowic* im Gegensatz zur *intermodalen Analogie*. Die letztgenannten Bezeichnungen sollen in diesem Text beibehalten werden.

Die absolute Koppelung von Farbwahrnehmungen an bestimmte Töne oder Geräuschattribute bei einem Farbenhörer ist vergleichbar mit der Fähigkeit des absoluten musikalischen Gehörs, den wahrgenommenen Tonfrequenzen eine absolute *Höhe* zuzuordnen. Auch die *Höhe* kann als visuell-räumliches Attribut aufgefasst werden. Wie beim Farbenhören, so ist auch beim absoluten Gehör die Koppelung absolut, vom Kontext unabhängig und bleibt in der Regel ein Leben lang bestehen. Der Wirkmechanismus und der Grund des Auftretens nur bei bestimmten Personen ist bis heute ebenfalls ungeklärt.

Jeder Synästhetiker weist ein eigenes Zuordnungsschema auf, das sich nicht nur auf unterschiedliche Farben, sondern auch auf verschiedene Teilaspekte der Wahrnehmung bezieht. So entstehen Farbwahrnehmungen bei manchen Personen aufgrund bestimmter Tonhöhen, bei anderen durch bestimmte Klangfarben, Intervalle, bestimmte zeitliche Struktur oder andere auditive Attribute. Bei Menschen mit absolutem Gehör kommen auch Verbindungen zu bestimmten musikalischen Tönen unabhängig von der Oktavlage vor (Anschütz [2]).

Beispiel einer Farbzurordnung zur musikalischen Tonhöhe einer blinden Versuchsperson, nach Anschütz [1]:

E	Weiß	F	Rot	Fis	Braun
G	Graugrün	As	Rot-orange	A	Gelb
B	Schwarz	H	Rosa	C	Hellblau
Cis	Graugrün	D	Orange	Es	Schwarz

Auch das Wahrnehmen von Farben infolge gesprochener Worte, insbesondere der Vokale, ist innerhalb der Gruppe der Farbenhörer häufig. Oft wird über das farbige Sehen von Buchstaben und Ziffern berichtet, das auch zu Farbwahrnehmungen bei der kognitiven Verarbeitung von Worten und Zahlen, ja ganzer Texte führt. Derartige Phänomene werden oft beobachtet, ohne dass ein akustischer Reiz vorliegt. Da sie jedoch eng mit dem Problem der Geräusch-Synästhesie verknüpft sind und von Farbenhörern häufig beobachtet werden, soll hier ein Beispiel angeführt werden:

Vokalphotismen dreier Schwestern nach dem schwedischen Alphabet, nach: Klinckowström, 1891, zitiert bei Mahling [32]:

Vokal	I. 22 J.	II. 19 J.	III. 17 J.
a	Weiß	Weiß	Weiß
e	Grau (hell)	Gelb (hell)	Orange
i	Gelb	Rot	Gelb (hell)
o	Havannabraun	Schwarz	Grau
u	Dunkelbraun	Braun	Braun
y	unbeschreiblich	-	-
å	Hellrot	-	Blaugrau
ä	Lila	-	Rosa
ö	Dunkelblau	-	Grün

Die feste Koppelung von Farben an Zahlen und Buchstaben kann als Indiz für den engen Zusammenhang dieser Phänomene mit Prozessen der Mustererkennung gewertet werden. Eine Verknüpfung der Mustererkennung auditiver und visueller Attribute stellt damit die elementarste Ebene der Verbindung beider Bereiche dar. Es ist wahrscheinlich, dass auch die Entscheidung des Kunden für ein Produkt bereits auf dieser Ebene vorbereitet wird.

3.2 Formen: Photismen und Phosphene

Zur akustisch induzierten Farb- und Formwahrnehmung kann auch eine ausgeprägte Wahrnehmung von Formen treten. Diese *Photismen* können als im Raum ruhende oder bewegte, zwei- oder dreidimensionale Gebilde erscheinen. Personen, die von derartigen Wahrnehmungen berichten, sind seltener als Farbenhörer, berichten jedoch mit größter Konstanz von genau bestimmten, an spezifische Reize gekoppelten Formen. Die Phänomene treten "zwangsmäßig" auf und können gedanklich nicht beeinflusst werden. Einige Fälle sind in der Literatur ausführlich dokumentiert, häufig mit Bildern, die von den Personen selbst oder nach deren Beschreibungen angefertigt und kritisch beurteilt wurden (Anschütz [3], [4], [5], [6]). Neben den bei auditiver Anregung beobachteten Phänomenen sind auch verschiedene Fälle olfaktorisch induzierter Formwahrnehmungen (visuell und taktil) dokumentiert (Cytowitc [13], [14]; Harrison [22]).

Auch wenn es sich um sehr seltene Einzelfälle handelt, sind die geschilderten Wahrnehmungen von großer Bedeutung für ein Verständnis der Koppelung insbesondere des auditiven mit dem optischen Sinnesbereich und damit für die Gestaltung der an die akustischen Eigenschaften eines Objektes angepassten Form.

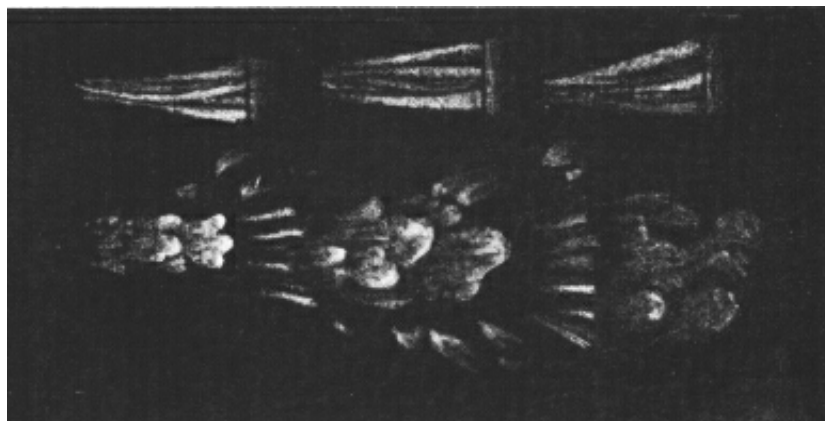


Bild 4: synästhetische Formwahrnehmung, nach Bildern von Hugo Meier-Thur, 1927, [3], [4]

oben: "raue Autohupe"

unten: "kleines Motorrad"

Die Bilder 4 und 5 zeigen einige Beispiele für Formwahrnehmungen, die von Geräuschen technischer Geräte ausgelöst wurden. Die akustischen Reize wurden leider nur grob verbal beschrieben. Weiter ist zu berücksichtigen, dass die Geräusche aus Gründen der technischen Entwicklung mit heutigen Alltagsgeräuschen kaum zu vergleichen sind. Es gehört inzwischen zum experimentellen Standard, für Wahrnehmungsversuche auf die exakte Reproduzierbarkeit der Stimuli zu achten.

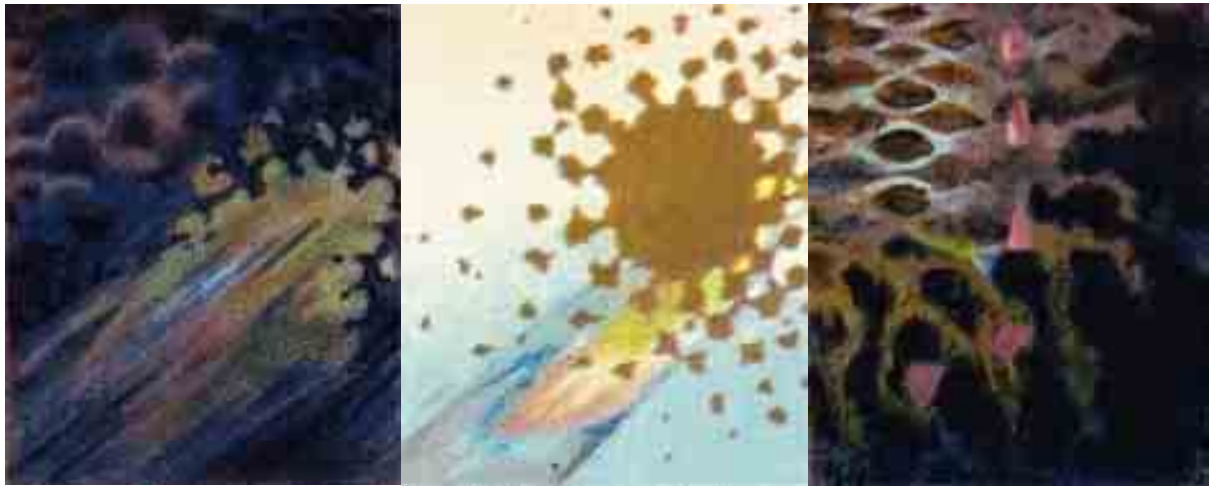


Bild 5: synästhetische Formwahrnehmung, nach Bildern von Heinrich Hein, 1927 [23]

links: Geräusch eines "leise fahrenden" Autos
 mitte: Motorengeräusch eines Fischkutters
 rechts: Weckerrasseln

Häufig wird über eine feste Verbindung zwischen bestimmten Attributen der Photosmen und denen des auslösenden Schallreizes berichtet. So schildert z. B. August Petersen [36] die feste Koppelung der Wahrnehmung heller, fächerförmiger Gebilde an das Hören von Streicherklängen. Auch dieses Beispiel verdeutlicht, dass synästhetische Wahrnehmung mit neuronalen Prozessen der Mustererkennung eng verknüpft ist.

Die beschriebenen Formen zeigen große Ähnlichkeit mit solchen, die im Halbschlafzustand vor oder nach dem Schlaf wahrgenommen werden (*hypnagoger* bzw. *hypnopompischer* Zustand). Auch gibt es Ähnlichkeiten mit Wahrnehmungen bei drogeninduzierten Halluzinationen (vergl. Cytowitc [13], Ronald Siegel [41]) und pathologischen Veränderungen im Gehirn. Formwahrnehmungen sind im Zusammenhang mit Ersatzfunktionen häufig, z.B. nach dem Erblinden (Bild 6).

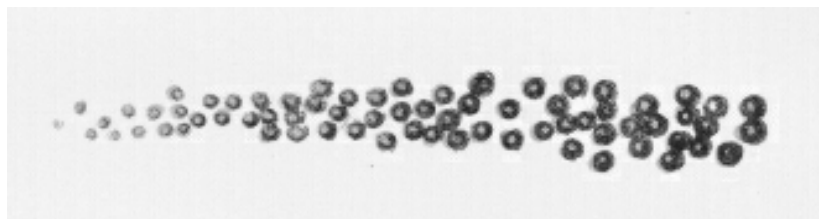
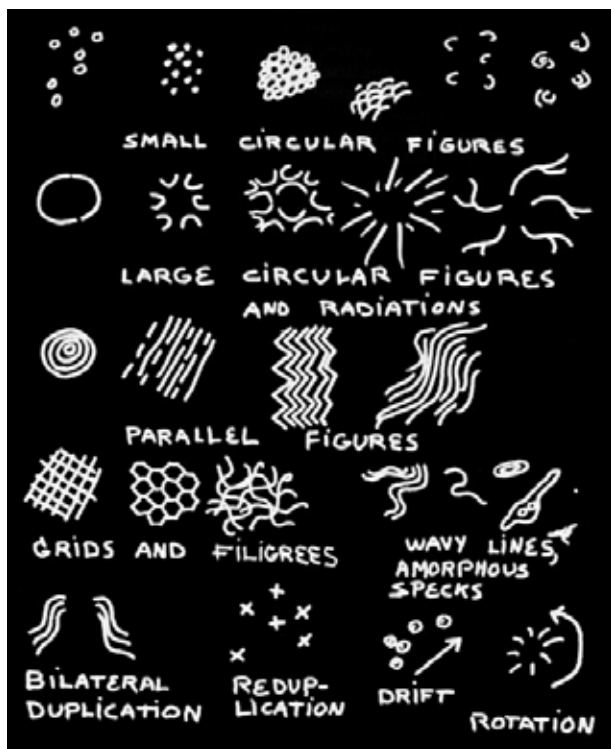


Bild 6: Visuelle Wahrnehmung, ausgelöst durch das Geräusch einer Trommel, nach der Beschreibung eines Erblindeten, 1927 [45]

Die synästhetischen Formwahrnehmungen geben so Aufschluss über die in das visuelle System implementierten Grundformen der Wahrnehmung, die zu Aufbau der komplexen visuellen Bilder benötigt werden, als Formen selbst aber normalerweise nicht in das Bewusstsein treten. Mardi Jon Horowitz [26] gibt eine Übersicht über die häufigsten dieser *endogenen* Bildmuster (Bild 7).

In Fällen, in denen diese Grundformen als leuchtende Strukturen in Erscheinung treten, werde sie als *Phosphene* bezeichnet. Phosphene können auch durch elektrische Stimulierung oder Druckreizung des Sehnervs angeregt werden. Josef Eichmeier und Oskar Höfer [17] haben die Häufigkeit bestimmter Muster bei elektrischer Stimulierung bestimmt und mit dem Vorkommen elementarer Ornamente auf steinzeitlicher Keramik verglichen. Auch wenn die Häufigkeiten stark voneinander abweichen, wurden doch prinzipiell identische Grundformen beobachtet. Unter 17 Grundformen wurde nur ein Ornament gefunden, das nicht als Phosphene induziert werden konnte: die Mäanderstruktur.



Josef Eichmeier und Oskar Höfer [17] haben die Häufigkeit bestimmter Muster bei elektrischer Stimulierung bestimmt und mit dem Vorkommen elementarer Ornamente auf steinzeitlicher Keramik verglichen. Auch wenn die Häufigkeiten stark voneinander abweichen, wurden doch prinzipiell identische Grundformen beobachtet. Unter 17 Grundformen wurde nur ein Ornament gefunden, das nicht als Phosphene induziert werden konnte: die Mäanderstruktur.

Bild 7: Grundformen visueller Wahrnehmung (endogene Bildmuster), zur Verdeutlichung des Phosphenencharakters vom Autor in der Helligkeit invertiert, nach Horowitz [26]

Die von Petersen [36] beschriebenen Fächerstrukturen wurden auch von Eichmeier und Höfer [17] gefunden und in die Phosphenenklasse "Winkel und Fischgrätenmuster" eingeordnet.

Die bei akustisch angeregter visueller Synästhesie beobachteten Formen geben Aufschluss über die für eine elementare Verknüpfung auditiver und visueller Wahrnehmung bedeutenden Formen. Aus der darüber verfügbaren Literatur kann abgeleitet werden, dass solche Grundmuster auch für das Design von besonderer Bedeutung sind. Diese Muster sollten daher in Hörversuche zur Verknüpfung beider Sinnesgebiete integriert werden. Bild 7 stellt ein Detail des Fahrzeugdesigns einer Auswahl endogener Bildmuster (Phosphenenstrukturen) gegenüber.

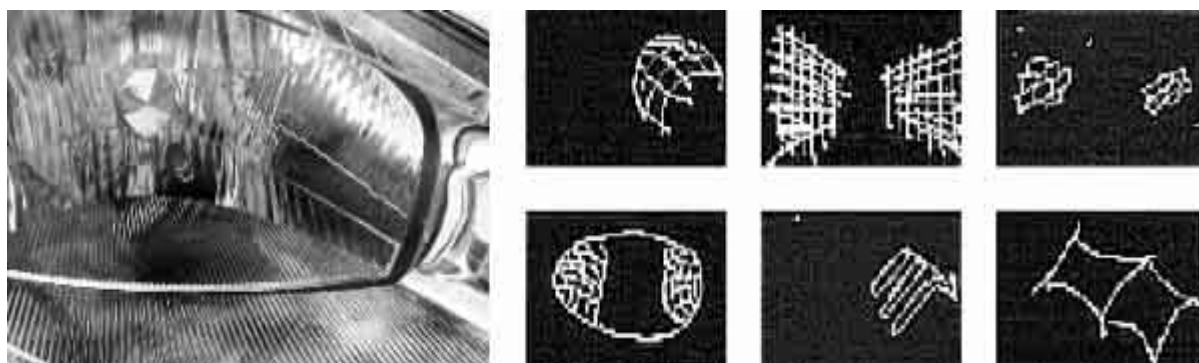


Bild 8: Design eines Frontscheinwerfers verglichen mit endogenen Bildmustern nach Versuchen mit elektrischer Stimulierung des visuellen Systems [17]

4 Allgemeine Phänomene: Intermodale Analogie

Die speziellen synästhetischen Wahrnehmungsphänomene geben einen interessanten Einblick in die in Sonderfällen möglichen Leistungen des menschlichen Sinnesapparates. Auch liegt die Vermutung nahe, dass elementare Verbindungen der Sinne bei vielen Menschen gegeben sind, in der Regel jedoch nicht ins Bewusstsein dringen, sondern unbewusst wesentliche Vorgaben für die Gestalterkennung liefern. Von größerer Bedeutung für die Ableitung allgemeingültiger Gesetzmäßigkeiten sind jedoch die bei allen Menschen nachweisbaren *intermodalen Analogien*.

Behne [10] trifft die folgende Unterscheidung der unwillkürlichen synästhetischen Wahrnehmung in der Definition von Cytowic [13] von der intermodalen Analogie:

<u>Synästhesie</u>	<u>intermodale Analogie</u>
1. reiz-bedingt	frage-bedingt
2. nicht überprüfbar (in größeren Stichproben)	überprüfbar (in größeren Stichproben)
3. intra-personale Varianz sehr klein	intra-personale Varianz klein bis mittelgroß
4. inter-personale Varianz groß	inter-personale Varianz klein bis mittelgroß
5. absolute Zuordnung kontextunabhängig passiv	relative Zuordnung kontextabhängig aktiv
6. selten	häufig
7. (noch) nicht erklärbar	(weitgehend) erklärbar
8. linkshemisphärisch	rechtshemisphärisch

Synästhesien weisen eine feste Koppelung von Reiz und Wahrnehmung auf (absolut und reiz-bedingt), während die Verknüpfung zweier Sinnesbereiche mittels intermodaler Analogie vom Kontext stark beeinflusst wird. So wird die Beschreibung eines Geräusches durch das Attribut *Helligkeit* z.B. durch das Licht im Versuchsraum, die Helligkeit eines wahrgenommenen Versuchsobjektes, das Sonnenlicht vor Betreten des Laborgebäudes etc. mitbestimmt. Bei sorgfältiger Einstellung der Versuchsumgebung sind jedoch Ergebnisse zu erwarten, die allgemeingültige Aussagen zulassen und bei statistischer Auswertung eindeutige Tendenzen erkennen lassen. Synästhetische Wahrnehmungen im engeren Sinne sind dagegen personenspezifisch festgelegt und treten auch nach vielen Jahren unverändert auf; zwischen verschiedenen Personen (inter-personal) existiert dabei keine einheitliche Tendenz. Ansätze, diese prinzipiellen Unterschiede neuro-physiologisch anhand verschiedener struktureller Gegebenheiten im Gehirn zu erklären, z.B. durch Lokalisation der Prozesse in der linken oder rechten Hemisphäre, konnten bislang nicht bestätigt werden.

Heinz Werner [51] führt als *intersensorielle Eigenschaften* Attribute an, mit denen eine Charakterisierung der Wahrnehmung in jedem Sinnesbereich möglich ist:

- Intensität
- Helligkeit
- Volumen
- Dichte
- Rauigkeit

So kann zum Beispiel ein Geräusch durch Intensität (Lautheit), Helligkeit (Brillanz, Silbrigkeit), Volumen (Klangfülle), Dichte und Rauigkeit gekennzeichnet sein. Eine visuelle Wahrnehmung kann über die äquivalenten Attribute Intensität, Helligkeit, Volumen (Ausleuchtung des Raumes), Dichte (Sättigung) und Rauigkeit (Körnigkeit, Flimmern) beschrieben werden. Daher ist es möglich, eine Geräuschbeurteilung durch Vergleich mit visuellen Merkmalen durchzuführen und gegebenenfalls weitere Sinnesbereiche mit einzubeziehen. Es ist zwar noch nicht üblich, z.B. Geruchsmerkmale generell zu berücksichtigen, die Wichtigkeit aller Sinne bei der Gesamtbeurteilung eines Produktes wurde jedoch inzwischen erkannt.

Als intermodale Entsprechungen des Attributes *Helligkeit* zu verschiedenen Wahrnehmungen gibt Erich Moritz von Hornbostel [25] an:

	<u>Hell</u>	<u>Dunkel</u>
Tastvibration	glatt	rau
Druck	hart	weich
Berührung	spitz	stumpf
Kraft	leicht	schwer
Temperatur	kalt	warm
Schmerz	stechend	dumpf
Organ-Empfindung	Hunger	Sattsein

Weitere Versuche zeigten, dass eine Zuordnung auch für gustatorische und olfaktorische Attribute ohne weiteres möglich ist. Zahlreiche Versuche der Beschreibung von Schallattributen mit anderen als auditiven Sinnesmerkmalen belegen, dass die methodischen Möglichkeiten bis heute bei weitem nicht erschöpft sind. Bild 9 gibt ein Beispiel für die Zuordnung taktiler, visueller, propriozeptiver (durch Muskelrezeptoren gegebener) und auditiver Reize zum Schalldruckpegel eines Sinustones (nach Stanley Smith Stevens, zitiert bei Lindsay und Norman [30]).

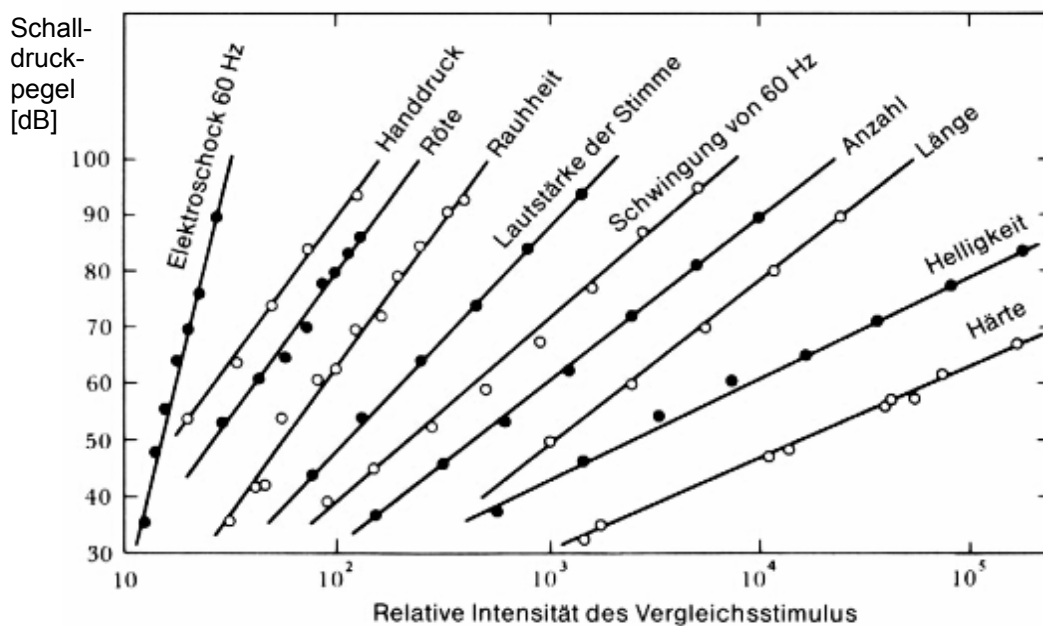


Bild 9: Ergebnis von Versuchen zum *Cross-Modality-Matching* nach Stevens, zitiert in [30].

In allen untersuchten Fällen ergibt sich ein annähernd exponentieller Zusammenhang, der bei doppelt logarithmischer Darstellung zu Geraden führt. Ein solches *Cross-Modality-Matching* bietet somit die Möglichkeit, Wahrnehmungen verschiedener Sinnesbereiche über einfache mathematische Funktionen zu verknüpfen.

4.1 Tonhöhe als intermodale Analogie

Ein Beispiel für allgemein verbreitete intermodale Analogien ist die Verknüpfung von Tonfrequenz und räumlicher Höhe, die für die Entwicklung der musikalischen Notation entscheidende Bedeutung hat. Genaue Details finden sich in zahlreichen Veröffentlichungen von Albert Wellek (zusammengefasst in [50]), der die intermodale Analogie zwischen Tonfrequenz und räumlicher Höhe als eine "Ursynästhesie" ansieht.

Am Beginn der geschichtlichen Entwicklung noch vor der Entwicklung geschriebener Systeme stand die Andeutung der zu spielenden Tonfrequenz anhand von Gesten. So wurde schon im alten Ägypten die Tonfrequenz durch die Höhe der Hand eines "Dirigenten" bestimmt. Die ersten Aufzeichnungen von Musik beinhalteten lediglich den Text von Gesängen. Dieser wurde später durch Striche ergänzt, die eine Änderung der Tonfrequenz im Gesang symbolisieren. Eine Erhöhung wurde dabei stets durch einen nach oben weisenden, eine Verringerung durch einen nach unten weisenden Strich dargestellt. Reste dieser frühesten musikalischen Aufzeichnungen (*Akzentneumen*) finden sich in den Akzenten mancher Sprachen: Im Französischen wird z.B. der nach oben weisende Akzent (´) als *aigu* bezeichnet, was wörtlich mit scharf übersetzt wird, wobei *scharf* in bezug auf die Tonhöhe als Synonym für *hoch* gilt. Im französischen werden auch die Sopran- und Sopranino-Lage als die höchsten Lagen der Blasinstrumente mit *aigu* und *sur-aigu* bezeichnet. Entsprechendes gilt für den *accent grave* (`), der eine Absenkung der Stimme verlangt.

The image displays a musical score for the Gregorian Choral "Pascha nostrum". It is divided into two systems. The top system shows the original Gregorian notation with square neumes on a four-line staff. The bottom system shows the same text with two additional notations: 'L' (Metzer notation) and 'C' (Cantatorium notation). The text includes "L-le-lu-ia", "Pascha nostrum immo-latus est Christus".

L: Handschrift Laon (Metzer Notation)
C: Cantatorium (St. Galler Notation)

Bild 10: Entwicklung der Neumenschrift: Gregorianischer Choral „Pascha nostrum“ ergänzt um zwei Notationen der Karolingerzeit, aus: *Graduale Triplex*, Benediktinerabtei St. Pierre de Solesmes, 1979

Aus den Akzentneumen hat sich im Lauf der Zeit die Technik entwickelt, genauere Angaben zur Tonhöhe durch Zeichen in einem Liniensystem festzuhalten. Zunächst wurde dabei die Bewegung von einer Stufe zur nächsten als Zeichen festgehalten. Allmählich verschwanden die Kennzeichnungen der Bewegung zugunsten von Zeichen, die nur den Einzelton auf einer Stufe, nicht jedoch die Bewegung von einem Ton zum nächsten symbolisieren. Bild 10 zeigt 3 Notationssysteme des Mittelalters im Übergang von der Bewegungsdarstellung zur Kennzeichnung der Stufe.

Die Darstellung der Bewegung hat sich in verschiedenen musikalischen Sonderzeichen erhalten, die Triller, Zu- und Abnahme der Lautheit und Akzente bezeichnen. Die Verknüpfung der Tonfrequenz mit der Höhe erschien im europäischen Kulturkreis zu allen Zeiten als so sinnfällig, dass kein Beispiel für eine grundsätzlich andere Schreibweise existiert. Auch im interkulturellen Vergleich gibt es sehr wenige Ausnahmen [49].

Die Verknüpfung von Tonfrequenz und räumlicher Höhe ist ein Beispiel, wie grundlegend und allgemein verbreitet intermodale Analogien der Wahrnehmung sein können. Darauf basierende intersensorielle Eigenschaften müssen daher bei der Geräuschbeurteilung eine wesentliche Rolle spielen.

4.2 Musikalische Graphik

Auf Analogiebetrachtungen fußt auch der Versuch, formale Aspekte der Musik in graphische Formen und in Farben umzusetzen. Entsprechende Verfahren wurden von Oskar Rainer [37] an Schulen entwickelt und von Hans Sündermann und Berta Ernst systematisiert [43]. Die Untersuchungen führten jedoch nicht zu einer Methodik, die rein formal angewandt werden kann; intuitives Vorgehen unter Beachtung ganzheitlicher Ansätze werden dagegen als wesentlich erachtet. Aus diesem Grund liegen die Anwendungsgebiete dieser Disziplin vorwiegend im pädagogischen Bereich.

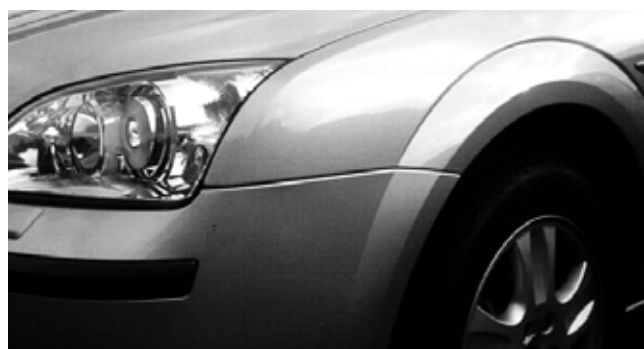
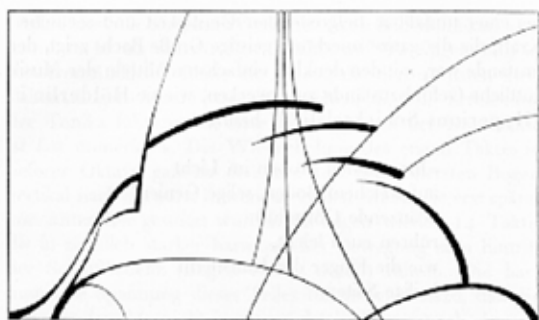


Bild 11: Musikalische Graphik und "Musikalität der Form": Designmerkmale eines modernen Pkw verglichen mit der Visualisierung einer Komposition: J. S. Bach: Präludium C-Dur aus „Das wohltemperierte Klavier“, Nachschrift von Franz Urbach aus: O. Rainer, Musikalische Graphik, 1925 [37]

Ergebnisse zahlreicher Schülerarbeiten zeigen, dass der Gesamtcharakter musikalischer Werke durch unbefangenes Malen gut und - in gewissen Grenzen – reproduzierbar wiedergegeben wird. Es wurden auch Versuche unternommen, anhand von Bildern ohne Kenntnis der zugrunde liegenden Werke wiederum Kompositionen zu erstellen. Dies führte zu Werken mit einem Grundcharakter, der dem Ursprungswerk

annähernd entsprach, jedoch formal auch erhebliche Abweichungen aufwies. Die Verfechter der musikalischen Graphik gehen neben der Annahme allgemeingültiger Formanalogien davon aus, dass bestimmten Tonarten bestimmte Farben zugeordnet werden können.

Insgesamt belegen auch die Erkenntnisse aus diesem Bereich trotz mancher Abweichungen von wissenschaftlichen Befunden, dass bestimmte intermodale Analogien allgemein verbreitet sind und Verknüpfungen des auditiven mit dem visuellen Sinnesbereich ermöglichen. Für die Verknüpfung von Designmerkmalen mit den auditiven Merkmalen zukünftiger Fahrzeuge wird eine Wiederbelebung der Diskussion um die "Musikalität der Form" sicher wichtige Impulse liefern (Bild 11).

In der zweiten Hälfte des 20sten Jahrhunderts wurden Konzepte der Musikalischen Graphik erneut aufgegriffen, um neue Notationsformen als Basis der Aufführung Neuer Musik zu entwickeln. Ziel war dabei, die mit der Anwendung der "klassischen" Notenschrift verbundenen Konventionen zugunsten freier Kompositionsweisen zu überwinden und auch die graphische Gestaltung der Partitur als integralen Bestandteil in das Kunstwerk einzubeziehen. Die so entstandenen *Bildpartituren* können - im klassischen Sinn - als Anleitungen der interpretierenden Musiker verstanden werden, weisen jedoch als *Graphische Musik* auch ohne akustische Umsetzung eine rein bildhafte Musikalität auf. Einige Beispiele: Earle Brown: "December 1952"; Karlheinz Stockhausen: "Elektronische Studien II" (1956); György Ligeti: "Artikulation" (1958, mit nachträglich erstellter Hörpartitur von Rainer Wehinger); John Cage: "Aria for Voice (Any Range)" (1960); Leon Schidlowsky: "Babel" (1976).

5 Assoziation

Eine Verknüpfung visueller Wahrnehmungen zu Schallreizen ist auch assoziativ möglich. In der klassischen Definition als *Assoziationsgesetz* ergibt sich eine Verbindung von Elementen verschiedener Sinnesbereiche dann, wenn diese häufig genug vorkommen oder einander ähneln (Rudolf Arnheimer [8]). Die Art auftretender Assoziationen hängt daher entscheidend von den bisher gespeicherten Wahrnehmungen ab. Bei der Wahrnehmung von Musik wird häufig von Assoziationen von Landschaften und Räumen (z.B. Säulenhallen) berichtet. Lautmalerische (*onomatopoeische*) Elemente der Musik bilden dabei wichtige Auslöser.

Die klassische Definition der Assoziation muss jedoch aus verschiedenen Gründen in Zweifel gezogen werden: Da das Gedächtnis bei der assoziativen Verknüpfung eine wesentliche Rolle spielt, ist der Bezug zwischen den zugrunde liegenden Reizen und den Elementen der Assoziation nur schwer herzustellen. Auch sind die auslösenden Schallattribute und die daran gekoppelten Elemente variabel, d.h. nicht als genau definierbare Einzelstücke zu verstehen [8]. Vielmehr beeinflussen sie sich gegenseitig und bilden jeweils neue, wiederum im Gedächtnis abgelegte Strukturen. Es ist auch möglich, dass eine Verknüpfung über mehrere Stufen erfolgt, die aus verschiedenen Wahrnehmungsbereichen stammen können. Assoziationen lassen sich daher nicht mit einfachen Modellen – wie dem klassischen – erklären. Hier wird unter Assoziation der Fall verstanden, bei dem die Identifikation von Objekten in einem Sinnesbereich (z. B. Glockenklang) zur Verknüpfung von Objekteigenschaften eines anderen Sinnesbereiches (visuelle Erscheinung einer Glocke) führt.

Assoziative Verknüpfungen spielen eine wichtige Rolle bei der Fahrzeugbeurteilung, da verschiedene Betriebszustände sehr häufig vorkommen und die zugehörigen Attribute daher im Gedächtnis in der Regel fest verkoppelt sind. Es ist daher geübten

Fahren zumeist ohne Probleme möglich, einem Geräusch eine bestimmte Fahrsituation zuzuordnen und diese spontan zu visualisieren. Das Problem der Standardisierung der Versuchsbedingungen besteht jedoch darin, eine allen Versuchspersonen gemeinsame Basis zu finden, denn die an den Assoziationen beteiligten Elemente sind über lange, im Versuch nicht erfassbare Zeiträume individuell gesammelt und im Gedächtnis gespeichert worden. Nur durch eine sorgfältige Vorbereitung der Versuchspersonen auf den Versuch können deren assoziative Fähigkeiten pragmatisch auf den gewünschten Kontext abgestimmt werden.

6 Bewusste Verknüpfung

6.1 Eigenschaften der Wahrnehmung visueller und auditiver Signale

Nachdem die physikalische Analyse auditiver und visueller Reize verschiedene Gemeinsamkeiten, insbesondere den Wellencharakter als Grundlage der Übertragung von Energie auf die Sinnesorgane aufzeigt, liegt es nahe, die Sinnesleistungen auf mögliche Analogien hin zu prüfen:

	<u>auditiv</u>	<u>visuell</u>
Frequenzbereich:	16 – 16000 Hz	390 – 790 THz
Wellenlänge:	20 – 0,02 m	780 – 380 nm
Anzahl Oktaven:	10	< 1
räumliche Auflösung:	gering	hoch
spektrale Auflösung:	hoch	sehr gering

Einen wesentlichen Unterschied stellt die geringe relative Breite des Frequenzbereiches sichtbaren Lichtes dar: diese ist etwas geringer als eine Oktave und entspricht etwa einer großen Septime, während der Frequenzbereich hörbaren Schalles mehr als 12 Oktaven umfasst.

Wahrnehmungspsychologisch besteht ein erheblicher Unterschied in der Art, wie die Frequenzinformation ausgewertet wird: Ein komplexes Schallspektrum kann zur simultanen Wahrnehmung mehrerer Grundtöne und entsprechen vieler, diesen Tönen zugeordneter Klangfarben führen, und zudem weitere Produkte der Interaktion einzelner Spektralanteile aufweisen. Dies führt dazu, dass Musik in der Kombination verschiedener Schallquellen (der Musikinstrumente) besondere Reize entfaltet. Demgegenüber führt die visuelle Wahrnehmung beliebiger Spektren stets zur Wahrnehmung einer einzelnen Farbe. Die Wahrnehmung einer bestimmten Farbe kann durch sehr verschiedene Kombinationen einzelner Spektrallinien ausgelöst werden, die Farbwahrnehmung beinhaltet daher im Gegensatz zu Wahrnehmung der Klangfarbe eine elementare Mehrdeutigkeit.

Dieser "Mangel" wird allerdings durch eine im Vergleich zum auditiven Bereich sehr genaue räumliche Wahrnehmung ausgeglichen. Die Zusammenfassung jedes Lichtspektrums zu einer singulären Wahrnehmung ist der entscheidende Grund dafür, dass Schallsignale - wie z. B. Musik - nicht exakt in äquivalente visuelle Strukturen transformiert werden können, wie dies mit der *Farblichtmusik* angestrebt wurde (siehe 6.4).

6.2 Farbsymbolik

Farbsymbolik spielt im Straßenverkehr eine ebenso große Rolle wie in allen Bereichen des täglichen Lebens. Insbesondere erscheinen die Farben der Signallichter (Ampel, Fahrlicht, Blinker) und Verkehrszeichen als Träger lebenswichtiger Bedeutung. Der symbolische Wert der Farbe ist bei der Zuordnung zu Geräuschphänomenen unbedingt zu beachten. Im allgemeinen ist der kognitive und emotionelle Wert der Farbe vom kulturellen Umfeld abhängig, unterliegt also in verschiedenen Ländern ebenso großen Abweichungen wie in verschiedenen Epochen (John Gage [20]). So gilt z.B. in verschiedenen Kulturen weiß als Farbe der Trauer, während in Europa in früheren Jahrhunderten die Heirat in schwarz üblich war.

Einige Beispiele für den symbolischen Gehalt der Farbwahrnehmung:

Gelb	Sonne, Energie, Kraft, Wärme; "Strom ist Gelb" Ampel, Warnblinkleuchte: "Achtung" Mittelalter: Zorn, Eifersucht, Neid
Rot	Verboten, Gefahr, Hitze: "rote Zahlen", "roter Bereich" Verkehrsampel, Fahrzeug-Rücklicht, Bremsleuchte: "Stop" traditionell: Liebe, Erotik: "Rotlichtbezirk" jedoch auch: Blut, Opfer, Kampf: Tuch beim Stierkampf
Grün	Natur, Gesundheit, Umweltschutz, Urlaub: "Grüner Punkt" Verkehrsampel, Signalleuchten: korrekte Funktion: "Go", "grüner Bereich" Mittelalter: Neid Christentum: Hoffnung
Blau	Kälte, Ruhe, Melancholie: "the blues" Signalleuchten: "Blaulicht"
Violett	Christentum: Buße, Passion
Schwarz	Nacht, Tod, Unglück, Hoffnungslosigkeit aber auch: Gewissheit: "schwarze Zahlen", "schwarz auf weiß"
Weiß	Unschuld, Klarheit: "weiße Weste"

Eine Verknüpfung von Farben mit Schallvorgängen kann sich beim Fahrzeugbetrieb durch die Koppelung der Betriebsgeräusche an bestimmte Signale ergeben. Durch gesetzliche Regelungen ist dabei eine längerfristige Konstanz der Zuordnungen gegeben. Möglich sind jedoch kurzfristige "Umwertungen", z.B. wenn sportliches Fahren mit der Farbe populärer Rennfahrzeuge verknüpft wird. Das Rot eines Formel-1 Ferraris steht dann für Dynamik, Geschwindigkeit und Aggressivität, während Rot im Alltagsverkehr "Stop" und Verbote symbolisiert. Bei der Geräuschbeurteilung muss daher ein einheitlicher Kontext hergestellt werden. Gewünschte "Umwertungen" des symbolischen Gehalts von Farben werden durch feine Farbnuancen erleichtert.

6.3 Bildende Kunst

Während bis zum Ende des 19ten Jahrhunderts die Visualisierung von Musik und Geräuschen in der Bildenden Kunst die Ausnahme bildet, kommt es im 20sten Jahrhundert aufgrund der Befreiung der Malerei vom Zwang des Gegenständlichen zu einer Flut von Bildern, die Geräuschphänomene nicht einfach als Quelle der Inspiration beanspruchen, sondern auf visuellem Wege nachempfindbar gestalten sollen. Dies wurde durch die Ausstellung "Vom Klang der Bilder" in der Staatsgalerie Stuttgart im Jahr 1985 eindrucksvoll belegt [33].

Die frühesten Versuche, Geräusche technischer Maschinen künstlerisch darzustellen, gehen auf die italienischen Futuristen zurück. Die futuristische Bewegung war durch eine ungebremste Begeisterung für die Technik, insbesondere die des Automobils gekennzeichnet. Künstlerisch entsprach dem der Wunsch, die wahrnehmbaren Attribute der Maschine – wie Dynamik, Lärm, optische Erscheinung etc. - simultan erfahrbar zu machen. Als Wortführer der Künstlergruppe umschrieb Filippo Tommaso Marinetti dies im Jahr 1909 im "Manifest des Futurismus": "...ein aufheulendes Auto, das auf Kartätschen zu laufen scheint, ist schöner als die *Nike von Samothrake*". Das in Bild 12 dargestellte Gemälde Giacomo Ballas zeigt Formen, die auch nach fast einem Jahrhundert noch als Charakteristika von Dynamik und Fahrleistung empfunden werden, auch wenn die Fahrzeugtechnik seither immense Wandlungen erfahren hat.

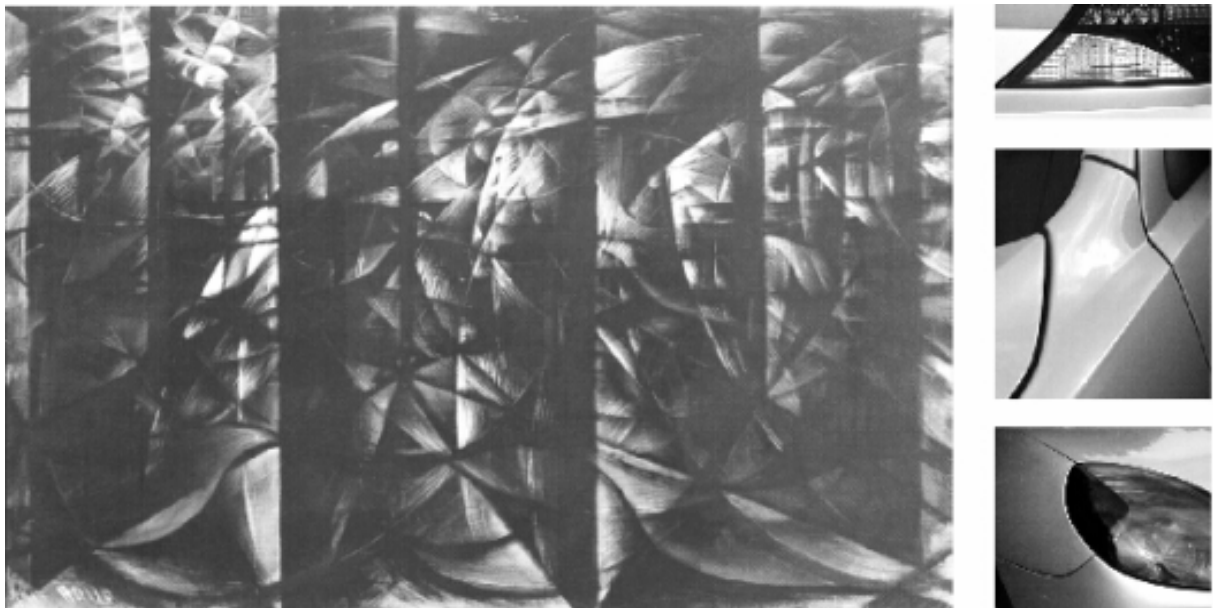


Bild 12: Giacomo Balla: Geschwindigkeit eines Autos + Licht + Ton, 1913, Öl auf Leinwand - verglichen mit Designmerkmalen moderner Pkw



Berühmt ist auch das abgebildete Gemälde Umberto Boccionis, das die Dynamik und Zerrissenheit des Straßenlärms visuell nachvollziehbar macht (Bild 13). Die Aktualität der Darstellung wird auch durch eine Ausstellung zum italienischen Futurismus bezeugt, die im Sommer 2001 vom Sprengel Museum Hannover unter dem Titel "Der Lärm der Straße" gezeigt wurde.

Bild 13: Umberto Boccioni: Der Lärm der Straße dringt in das Haus, 1911, Öl auf Leinwand

6.4 Farblichtmusik

Mit Bezug auf die Aufführung musikalischer Werke und die philosophische Sinn- deutung der Musik hat es immer wieder Versuche gegeben, Töne, Intervalle oder Klänge mit Farben zu verknüpfen. Es ist daher auch für die hier untersuchte Koppe- lung zwischen visueller Wahrnehmung und Geräuschen interessant, diesen Bereich auf mögliche Schlussfolgerungen zu prüfen. Während die Zuordnung von Farben zu Elementen der Musik bis zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts eher Gegenstand theoretischer Betrachtungen war, eröffnen Beleuchtungstechnik und Film heute vielfältige Möglichkeiten der aufführungspraktischen Realisierung. Während bei der Aufführung des klassischen Repertoires - wohl primär aus Gründen der Tradition, d.h. der ritualisierten Gewohnheit - mit Ausnahme der Oper auf die unterstützende Wirkung farbigen Lichtes in der Regel verzichtet wird, sind Aufführungen der Pop- und Jazzmusik ohne aufwendige Lightshows nicht mehr denkbar. Daneben eröffnet der Videoclip weite Möglichkeiten der Visualisierung von der Darbietung abstrakter Formen bis hin zur szenischen Ausdeutung der Musik. Auf einen theoretischen Unterbau der Videoproduktion und eine feste Zuordnung bestimmter Farben und For- men zu bestimmten Elementen der Musik wird dabei zugunsten künstlerisch-prag- matischer Gestaltung verzichtet, da beide Sinnesgebiete hier eher einer emotionalen Verstärkung der Gesamtwahrnehmung dienen.

Von der griechischen Antike bis zum beginnenden 18ten Jahrhundert wurde jedoch das Bestehen fester Farbe-Ton-Beziehungen allgemein akzeptiert. Zu verschiedenen Zeiten wurden in verschiedenen Ländern allerdings unterschiedliche Zuordnungen getroffen (Jörg Jewanski [27]). Häufig wurde mit Bezug auf die magische Zahl Sieben von einer siebenteiligen Farbskala ausgegangen, so erstmals von Aristoteles, der eine nach der Farbhelligkeit geordnete Skala von Weiß über Gelb-Rot-Purpur-Grün- Blau zu Schwarz konstruiert, die bis ins 17ten Jahrhundert hinein bevorzugt wurde. Diese Farbskala wurde auf sieben konsonante musikalische Intervalle (nicht Töne!) bezogen. Über die Zahl Sieben konnte leicht ein Bezug zu kosmologischen Denksystemen hergestellt werden, zum Beispiel zur Zahl der Himmelskörper im Sonnensystem (bis zur Entdeckung des Uranus 1781) im Sinne einer Sphärenhar- monie.

Eine besondere Bedeutung für die Theorie der Farbe-Ton-Beziehung kommt im 18ten Jahrhundert Louis-Bertrand Castel zu. Er stellte ein System der Zuordnung auf, bei dem nicht mehr Intervalle das Pendant zu Farben bilden, sondern jedem chromatischen Ton eine Farbe entspricht:

c Blau; **cis** Celadon; **d** Grün; **dis** Olive; **e** Gelb; **f** Goldgelb; **fis** Incarnat; **g** Rot;
gis Cramoisi; **a** Violett; **ais** Agathe; **h** Blau-violett

Diese Farben wurden in allen 12 Oktaven beibehalten, wobei die Oktavlage tiefer Töne durch geringere, die hoher Töne folgerichtig durch größere Helligkeit charakte- risiert wurde. Castel erlangte Berühmtheit durch Konzeption und erstmalige Ausfüh- rung eines mit *clavecin oculaire* bezeichneten Musikinstrumentes, das zugleich mit dem Anschlagen eines Tones die diesem zugeordnete Farbe präsentierte. Castels Überlegungen lösten im 18ten Jahrhundert eine heftige Diskussion über die Sinnfäl- ligkeit der Zuordnung von Farben zu Tönen aus. Zu Beginn des 19ten Jahrhunderts traten im Zuge der wissenschaftlichen Entwicklung physikalische Analogiebetrachtungen hinzu. Im Hinblick auf den Wellencharakter von Licht und Schall wurde z.B. versucht, das musikalische Oktavschema bis in den Frequenzbe-

reich des sichtbaren Lichtes zu extrapolieren, um so für die Töne einer Oktave analoge Farben berechnen zu können. Young ermittelte so 1801 für den Ton C die Farbe Gelb-grün [27]. Das Ergebnis der Berechnung hängt natürlich von der angenommenen Tonfrequenz ab: als Bezugswert gilt heute $a=440$ Hz, im 18ten Jahrhundert war dagegen $a=415$ Hz verbreitet.

Im Rahmen künstlerischer Bestrebungen, ein Gesamtkunstwerk unter Beteiligung möglichst aller Künste und mit gesellschaftlich umfassendem Anspruch zu realisieren, wurden im ausgehenden 19ten und zu Beginn des 20sten Jahrhunderts weitere Versuche zur Verbindung des visuellen mit dem auditiven Bereich unternommen (siehe z. B. Barbara Kienschnerf [29]). Der russische Symbolist Alexander Scriabin integriert in die symphonische Komposition „Prometheus, Le Poème du feu“, op. 60 eine mit *luce* bezeichnete Lichtstimme, deren in der Partitur notierten Noten das Licht farbiger Scheinwerfer zugeordnet ist (Dorothee Eberlein [16]). Arnold Schönberg übernimmt Farbvorschriften in sein „Drama mit Musik“ op. 18: „Die glückliche Hand“ [29]. Der Maler Wassily Kandinsky entwirft zwischen 1909 und 1914 musikalische Bühnenwerke, bei denen primär die Farbe zum Programm erhoben wird: „Schwarz und Weiß“, „Grüner Klang“, „Der gelbe Klang“, „Violett“. In den zwanziger Jahren komponiert Alexander László „Farblichtmusik“, wobei er die Farben jeweils Akkorden aus 3 und mehr Tönen zuordnet (Sara Selwood [40]). In dem Maße, in dem die technische Realisierung solcher Vorhaben zunehmend möglich ist, sinkt im Verlauf des 20sten Jahrhundert jedoch die Bereitschaft, feste Zuordnungen zwischen Tönen, Klängen und Farben zu treffen. Systematische Konzepte sind zugunsten größerer kreativer Freiheit und Emotionalität in den Hintergrund getreten.

Für die Koppelung visueller und auditiver Attribute im Gerätedesign bleibt festzuhalten, dass eine künstlerisch „wahre“ oder wenigstens optimale Zuordnung im Bereich der Farblichtmusik nicht gefunden wurde.

6.5 Synästhetische Umschreibungen für die Geräuschbeurteilung

In der Literatur des 19ten Jahrhunderts spielen synästhetische Umschreibungen eine wichtige Rolle (Ludwig Schrader [39]). Dies gilt insbesondere für die Lyrik (Petra Wanner-Meyer [47]). Verschiedenen Schriftstellern wurden daraufhin elementar synästhetische Wahrnehmungsfähigkeiten nachgesagt, so E.T.A. Hoffmann, G. Keller, Ch. Baudelaire, A. Rimbaud, J. K. Huysmans und anderen [32]. Dies lässt sich posthum in der Regel nicht klären [22]. Die Vermischung verschiedener Sinnesbereiche entspricht jedoch dem künstlerischen Konzept der Romantik, das letztlich zur Idee des Gesamtkunstwerkes führte (weiterführendes Material dazu bei Hans Günther [21] und in [53]). Synästhetische Umschreibungen sind jedoch in ihrer Funktion als Metaphern in der Regel allgemein verständlich und setzten beim Leser nicht die Fähigkeit eigener synästhetischer Wahrnehmung voraus.

Aus diesem Grund sind intermodale Verbalisierungen bei der Beurteilung von Geräuschen von besonderer Bedeutung. Eine Befragung von Versuchspersonen, welche Gegensatzpaare sie zur Beschreibung des Getrieberassels als besonders geeignet empfänden, führte unter anderen auch auf 5 lautmalerische, 4 taktil-, 4 räumlich- und 7 visuell-synästhetische Paare, darunter auch *hell-dunkel*, *klar-trüb*, *matt-glänzend* und *spitz-stumpf*. Es ist sinnvoll, derartige Umschreibungen als *semantisches Differential* zur Geräuschbeurteilung im Hörversuchen zu verwenden, da so auch elementare Wahrnehmungsanalogien mit einbezogen werden, die sonst ohne

weiteres nicht in das Bewusstsein dringen. Besonders wichtig sind Begriffe, die auf Grundlage inter-sensorieller Eigenschaften mehr als zwei Sinnesbereiche umfassen, wie z.B. *feinkörnig-grobkörnig*, *dünn-dicht* und *hell-dunkel*.

7 Anwendungen im Geräuschdesign

7.1 Visualisierung von Geräuschphänomenen

Bei der Darstellung gemessener oder berechneter Geräuschparameter ist es wichtig, die elementaren Wahrnehmungsanalogien umfassend zu berücksichtigen, um dem Betrachter ein schnelles Verstehen unter Vermeidung von Missverständnissen zu ermöglichen. Bei der Auswahl visueller Attribute der Darstellung ist darauf zu achten, dass diese im Sinne der Skalentheorie den Skalentypen der darzustellenden Schallattribute entsprechen. Es müssen 4 Skalentypen unterschieden werden:

Nominalskala: Elemente benennen

Bremsengeräusche: Quietschen, Knarzen, Heulen
Fahrzeugmarken
Farbtöne

Ordinalskala: Elemente benennen und ordnen

Bremsengeräusche: Quietschen: bei 1.5 kHz, 4 kHz oder 6 kHz
Qualitätsbeurteilung: nicht produktionsfähig, ausreichend, gut, sehr gut
Schulnoten: 1, 2, 3, 4, 5, 6

Intervallskala: zusätzlich gleiche Abstände, Additivität

Temperatur-Skala in C°
Fahrzeug-Bewertungs-Skala: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

Ratioskala: zusätzlicher Nullpunkt

Lautheits-Skala in sone
Temperatur-Skala in Kelvin

Lässt man Unterschiede der Helligkeit außer acht, so bilden Farben eine Nominalskala und können daher nur als Analogie zu nebengeordneten Schallmerkmalen ohne Rangordnung und quantitative Beschreibung verwendet werden. Es existiert keine wahrnehmungspsychologisch optimale bzw. natürliche Farbskala. Die Farbwahl ist eine Frage individueller Präferenzen – wie das Farbenhören als synästhetisches Phänomen zeigt – sowie eine Frage sozio-kultureller Gegebenheiten – die sich auf Assoziationen und die Verständlichkeit der Farbsymbolik beziehen. Als Farbskala wird häufig die Farbreihe des Regenbogens gewählt, die einer Ordnung nach den Wellenlängen monochromatischen Lichtes entspricht. Bevor Isaac Newton [35] durch Prismenzerlegung des weißen Lichtes den Zusammenhang zwischen Wellenlängen und Farben nachgewiesen hat, wurden ganz verschiedene Farbskalen als "natürlich" empfunden.

Im Gegensatz zum reinen Farbton wird die Helligkeit als Ratioskala empfunden, sie weist einen Nullpunkt (Dunkelheit) und quantitativen Bezug auf und eignet sich daher gut zur Visualisierung entsprechender Schallattribute, z.B. der Lautheit. Im allgemeinen wird eine Farbskala zur Beschreibung von Schallphänomenen dann besonders gut akzeptiert, wenn sie mit kontinuierlich zu- oder abnehmender Helligkeit verknüpft ist. Die Helligkeit bzw. Sättigung kann jedoch für einen Farbton nicht beliebig gewählt werden, es gibt vielmehr eine für jeden Farbton charakteristische Helligkeit: z.B. große Helligkeit für gelb, weiß; mittlere für grün, rot und geringe für blau, braun und violett.

Zur Beschreibung eines Schallattributes, das einer Ordinal-, Intervall- oder Ratioskala entspricht, sollte daher eine Farbskala mit daran angepasster charakteristischer Helligkeit verwendet werden. Bild 14 zeigt ein Beispiel für die Darstellung des Schallpegels eines Fahrzeuggeräusches im Campbell-Diagramm mit einer Farbskala, die von schwarz über blau, rot, gelb bis zu weiß reicht. Die Darstellung verdeutlicht die kontinuierlich mit dem Schallpegel zunehmende Farbhelligkeit, die so die intermodale Analogiebildung unterstützt.

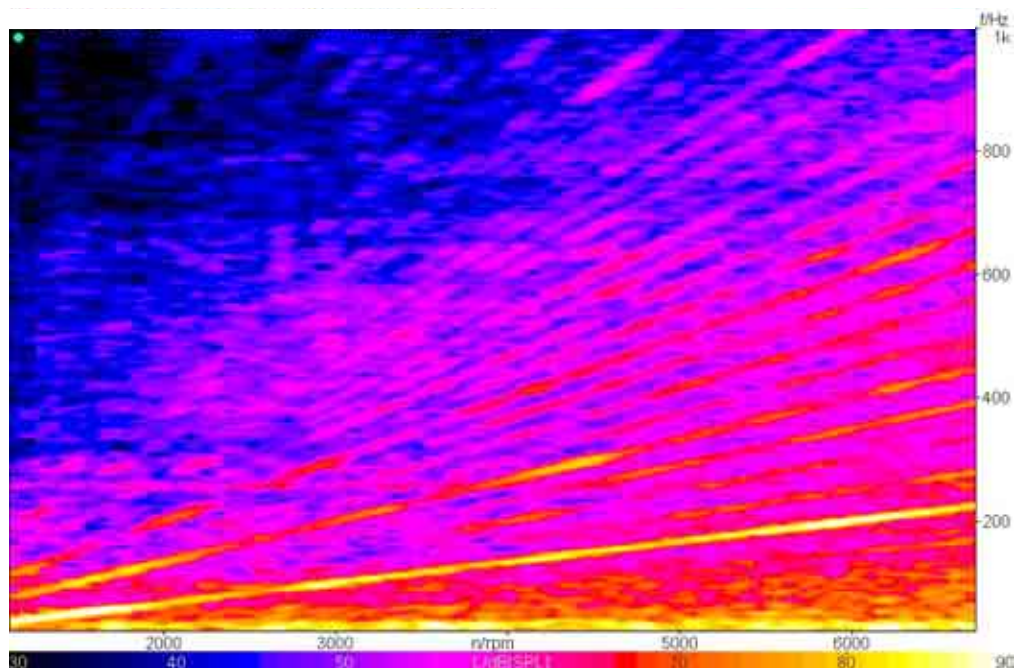


Bild 14: Darstellung eines Motorengeräusches im *Campbell-Diagramm* unter Verwendung einer Farbskala mit monoton zunehmender Helligkeit
 Ordinate: Frequenz in Hz
 Abszisse: Drehzahl *rpm* als Umdrehungen *n* pro Minute
 Farbskala: Schallpegel in dB

Im synästhetischen Zusammenhang weist diese Farbskala weitere Vorteile auf:

- die monotone Zunahme von kalten zu warmen Tönen entspricht der Zunahme thermischer, kinetischer und akustischer Energie
- die dominanten Motorordnungen erscheinen gelb/weiß und symbolisieren die Energie des Verbrennungsprozesses
- die hellen Linien der Motorordnungen auf dunklem Grund ähneln *Phosphenen*, fesseln daher die Aufmerksamkeit und sind als Muster leicht zu identifizieren
- das Gegensatzpaar **Rot – Grün** mit dem ausgeprägten symbolischen Gegensatz positiv – negativ wird vermieden

Aufgrund der genannten Vorteile sollte die beschriebene Skala der Regenbogenskala vorgezogen werden, die keine kontinuierlich zunehmende Helligkeit aufweist. Darüber hinaus kommt das hier diskutierte *Campbell-Diagramm* der intermodalen Analogiebildung durch die aufsteigende Frequenzachse – entsprechend der "Tonhöhe" – und durch die nach rechts weisende Drehzahlachse entgegen. Die in Analo-

gie zur Schreibrichtung von links nach rechts aufgetragene Drehzahlachse suggeriert zudem eine kontinuierliche Zunahme dynamischer Eigenschaften mit der Drehzahl.

7.2 Hörversuch

Die Geräuschbeurteilung im Hörversuch orientiert sich bislang vorwiegend an verbalen Beschreibungen und Zahlenskalen. Verschiedene Grundbegriffe der Psychoakustik sind aus synästhetischen Erfahrungen entstanden, so z.B.:

<u>Begriff</u>	<u>physikalische Eigenschaft</u>	<u>Verbindung zu Wahrnehmungsform</u>
Rauigkeit <i>roughness</i>	Zeitstruktur	taktil und weitere Sinne
Schärfe <i>sharpness</i>	spektral	visuell und taktil
Klangfarbe <i>timbre</i>	spektral	visuell: z.B. rosa & weißes Rauschen
Tonhöhe <i>pitch</i>	spektral	visuell (räumlich)
Verdeckung <i>masking</i>	spektral, Zeitstruktur	visuell: "Sicht verdecken" "Gesicht verdecken"
Schwebung <i>beat</i>	spektral, Zeitstruktur	visuell (räumlich)

Daneben ist es üblich, die Skalierung von Attributen mit Gegensatzpaaren als *semantische Differentiale* vorzunehmen, z. B. die Rauigkeit zwischen den Extremen "sehr rau" und "glatt" zu beurteilen. Die bei solchen Verfahren geforderte Verbalisierung setzt jedoch im Gehirn die komplexe kognitive Verarbeitung von Sprache voraus, während die zur Geräuschbeurteilung maßgeblichen Analogien intuitiv, und damit vermutlich auf niedrigeren Stufen neuronaler Verarbeitung gebildet werden. Die ausschließlich verbale Beschreibung von Geräuschphänomenen beruht daher auf einem "Umweg" der Informationsverarbeitung.

Um diese Ebenen der Analogiebildung direkter anzusprechen, sollte versucht werden, Verbalisierungen möglichst zu vermeiden. Die Beurteilung kann dann mit Hilfe visueller oder taktiler Vergleiche erfolgen. Für den visuellen Vergleich bieten sich elementare Grundformen an. Zur Auswahl geeigneter Formen kann auf die verfügbaren Listen endogener Bildmuster zurückgegriffen werden ([26], [17]). Umfassende Erfahrungen mit dieser Vorgehensweise sind bislang jedoch nicht verfügbar.

Farben sollten in Beurteilungsversuchen im Hinblick auf die vielfältigen – und schwer überschaubaren – sozio-kulturellen Verknüpfungen sehr vorsichtig eingesetzt werden. Dabei ist es besonders wichtig, sicherzustellen, dass alle Versuchspersonen die eingesetzten Farben in gleicher Weise beurteilen. Personen mit synästhetischer Veranlagung in Sinne von Cytowic [13] – d. h. mit fester Verknüpfung bestimmter Geräusche mit bestimmten Farbwahrnehmungen – müssen gegebenenfalls gesondert untersucht werden.

8 Ausblick

Die Verknüpfung visueller Attribute industrieller Produkte mit dem Geräuschverhalten steht noch ganz am Anfang der Entwicklung. Dieser Text stellt einen ersten Versuch dar, die in der Literatur verfügbaren Ansätze aus technischen, psychologischen und künstlerischen Bereichen zusammenzuführen und daraus erste Schlüsse für die Methodenentwicklung zu ziehen. Synästhetische Verknüpfungen in Design und Architektur wurden zwar schon im Rahmen der Tätigkeit des *Bauhauses* in den zwanziger Jahren erprobt [15], seither fehlen jedoch weiterführende Arbeiten, insbesondere auf dem Gebiet des industriellen Produktdesigns.

Die zahlreichen, in viele Wissensgebiete verstreuten Vorarbeiten zeigen, dass es durchaus möglich sein wird, methodisch tragfähige Konzepte zu entwickeln. Dies setzt jedoch eine systematische Trennung der verschiedenen Ebenen der Verknüpfung der Sinnesbereiche voraus. Eine Ausarbeitung genauer Verfahren wurde in der Vergangenheit nicht deshalb verhindert, weil es keine Verknüpfung der Sinnesbereiche gibt, sondern weil die verschiedenen an der Verknüpfung beteiligten Ebenen nicht genau definiert, im Gegenteil eher vermischt wurden. Die Verbindung von Attributen verschiedener Sinnesbereiche im Produktdesign setzt daher ein genaues Schema aller beteiligten Ebenen und eine klare Definition der Begriffe und Mechanismen voraus. Das gegen Ende des 20sten Jahrhunderts neu erwachte wissenschaftliche Interesse an synästhetischen Verknüpfungen sowie neue Entwicklungen neuro-physiologischen Untersuchungsverfahren werden entscheidend dazu beitragen, dass in Zukunft exakte Methoden zur Verfügung stehen.

Anmerkung: Farbige Hervorhebungen im Text wurden vom Autor zugunsten besserer Lesbarkeit eingefügt. Da synästhetische Farbwahrnehmungen im Gegensatz zu den in der Literatur verfügbaren, naturgemäß groben Beschreibungen sehr spezifisch sind, können die gewählten Farbtöne von den gemeinten Farbwahrnehmungen abweichen.

9 Literatur

- [1] Anschütz, Georg: Kurze Einführung in die Farbe-Ton-Forschung. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1927
- [2] Anschütz, Georg: Untersuchungen zur Analyse musikalischer Photismen (Sonderfall Paul Dörken). In: Anschütz, Georg (Hrsg.): Farbe-Ton-Forschungen. Bd.1. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1927
- [3] Anschütz, Georg: Untersuchungen über komplexe musikalische Synopsie (Sonderfälle Max Gehlsen, Hugo Meier und Dr. H. Hein). In: Anschütz, Georg (Hrsg.): Farbe-Ton-Forschungen. Bd.1. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1927
- [4] Anschütz, Georg (Hrsg.): Farbe-Ton-Forschungen. Bd.1. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1927
- [5] Anschütz, Georg. Das Farbe-Ton-Problem im psychischen Gesamtbereich. Sonderphänome komplexer optischer Synästhesien ("Sichtgebilde"). "Deutsche Psychologie", Bd. V, Heft 5. Halle: Marhold, 1929
- [6] Anschütz, Georg (Hrsg.): Farbe-Ton-Forschungen. Bd.3. Bericht über den 2. Kongress für Farbe-Ton-Forschung. Hamburg: Psychologisch=ästhetische Forschungsgesellschaft, 1931
- [7] Argelander, Annelies: Das Farbenhören und der synästhetische Faktor der Wahrnehmung. Jena: Verlag von Gustav Fischer, 1927
- [8] Arnheimer, Rudolf: Anschauliches Denken. Zur Einheit von Bild und Begriff. Köln: DuMont Buchverlag, ⁶1988 (¹1977). Originalausgabe: Visual Thinking. The Regents of the University of California, 1969
- [9] Baron-Cohen, Simon und John E. Harrison (Hg.): Synaesthesia. Classic and Contemporary Readings. Oxford und Cambridge: Blackwell Publishers, 1997
- [10] Behne, Klaus-Ernst: Am Rande der Musik: Synästhesien, Bilder, Farben,...In: Musikpsychologie. Bd. 8. Wilhelmshaven: Noetzel, 1992, S. 94-120
- [11] Bos, Maria C.: Über echte und unechte audition colorée. Leipzig: Johann Ambrosius Barth, 1929
- [12] Campenhausen, Christoph von: Die Sinne des Menschen. Einführung in die Psychophysik der Wahrnehmung. Stuttgart, New York: Thieme, ²1993
- [13] Cytowic, Richard E.: Synesthesia, A Union of Senses. New York: Springer Verlag, 1989
- [14] Cytowic, Richard E.: The Man Who Tasted Shapes. Cambridge: MIT Press, ²1999 (¹1993). Deutsche Ausgabe: Farben hören, Töne schmecken. Die bizarre Welt der Sinne. Berlin: Byblos Verlag, 1995
- [15] Düchting, Hajo: Farbe am Bauhaus. Synthese und Synästhesie. Neue Bauhausbücher. Berlin: Gebr. Mann, 1996

- [16] Eberlein, Dorothee: Čiurlionis, Skrjabin und der osteuropäische Symbolismus, in: Maur, Karin von (Hg.): Vom Klang der Bilder: Die Musik in der Kunst des 20sten Jahrhunderts. München: Prestel, 1985
- [17] Eichmeier, Josef und Höfer, Oskar: Endogene Bildmuster. U & S Taschenbücher, 1004. München: Urban & Schwarzenberg, 1974
- [18] Fechner, Gustav Theodor.: Vorschule der Ästhetik. 2 Teile (in 1 Bd.). Breitkopf & Härtel. Leipzig, 1876
- [19] Fechner, Gustav Theodor.: Elemente der Psychophysik. Leipzig, 1860
- [20] Gage, John: Die Sprache der Farben. Bedeutungswandel der Farbe in der bildenden Kunst. Ravensburg: Ravensburger Buchverlag, 1999
- [21] Günther, Hans (Hrsg.): Gesamtkunstwerk. Zwischen Synästhesie und Mythos. Bielefelder Schriften zu Linguistik und Literaturwissenschaft, Band 3. Bielefeld: Aisthesis Verlag, 1994
- [22] Harrison, John: Synaesthesia. The strangest thing. Oxford: University Press, 2001
- [23] Hein, Heinrich: Untersuchungen über die Gesetzmäßigkeiten der Zuordnung von Farben zu Tönen. In: Anschütz, Georg (Hrsg.): Farbe-Ton-Forschungen. Bd.1. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1927
- [24] Helmholtz, Hermann von: Handbuch der physiologischen Optik - Ergänzt und herausgegeben von A.Gullstrand und J.von Kries. Hamburg und Leipzig. Verlag von Leopold Voss, 1910³
- [25] Hornbostel, Erich Moritz von: Über Geruchshelligkeit. Pflügers Archiv 227, S. 517-538, 1927
- [26] Horowitz, Mardi Jon M.D.: Image Formation And Cognition. London: Butterworths, 1970
- [27] Jewanski, Jörg: Ist C = Rot? Eine Kultur- und Wissenschaftsgeschichte zum Problem der wechselseitigen Beziehung zwischen Ton und Farbe. Von Aristoteles bis Goethe. Berliner Musikstudien. Bd. 17. Sinzig: Studio, Verlag Schewe, 1996
- [28] Kandinsky, Wassily: Über das Geistige in der Kunst. Bern: Benteli Verlag, ¹⁰1952
- [29] Kienscherf, Barbara: Das Auge hört mit. Die Idee der Farblichtmusik und ihre Problematik. Frankfurt am Main: Verlag Peter Lang, 1996
- [30] Lindsay, Peter H. und Norman, Donald A.: Einführung in die Psychologie, Informationsaufnahme und -verarbeitung beim Menschen. Übersetzt von H.-D. Dumpert, F.Schmidt, M.Schuster und M.Steeger. Springer Verlag, 1981

- [31] Mach, Ernst: Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen. Jena: Fischer, 1903
- [32] Mahling, Friedrich: Das Problem der „Audition coloreé“. In: Anschütz, Georg (Hrsg.): Farbe-Ton-Forschungen. Bd.1. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, 1927
- [33] Maur, Karin von (Hg.): Vom Klang der Bilder: Die Musik in der Kunst des 20sten Jahrhunderts. München: Prestel, 1985
- [34] Metzger, Heinz-Klaus und Rainer Riehn (Hg.): Olivier Messiaen. Musik Konzepte. H. 28. München: edition texte + kritik, 1982
- [35] Newton, Isaac: Optics (orig.:Opticks), or a treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light. London, 1721
- [36] Petersen, August: Das individuelle Bauelement in den Photismen. in: Anschütz, Georg (Hrsg.): Farbe-Ton-Forschungen. Bd.3. Bericht über den 2. Kongress für Farbe-Ton-Forschung. Hamburg: Psychologisch=ästhetische Forschungsgesellschaft, 1931
- [37] Rainer, Oskar: Musikalische Graphik. Studien und Versuche über die Wechselbeziehungen zwischen Ton- und Farbharmonien. Wien: Deutscher Verlag für Jugend und Volk, 1925
- [38] Ruths, Ch.: Experimentaluntersuchungen über Musikphantome. Band 1 (Band 2 nicht erschienen). Kommissionsverlag von H. L. Schlapp. Darmstadt, 1898
- [39] Schrader, Ludwig: Sinne und Sinnesverknüpfungen. Heidelberg: Carl Winter Universitätsverlag, 1969
- [40] Selwood, Sara: Farblichtmusik und abstrakter Film, in: Maur, Karin von (Hg.): Vom Klang der Bilder: Die Musik in der Kunst des 20sten Jahrhunderts.München: Prestel, 1985
- [41] Siegel, Ronald K.: Halluzinationen. Expeditionen in eine andere Wirklichkeit. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, 1998
- [42] Spektrum der Wissenschaften Spezial: Farben. H. 4, 2000
- [43] Sündermann, Hans und Ernst, Berta: Klang-Farbe-Gebärde, Musikalische Graphik. Wien: Anton Schroll & Co, 1981
- [44] Terhard, Ernst: Akustische Kommunikation. Grundlagen mit Hörbeispielen. Springer Verlag, 1998
- [45] Voss, Wilhelm: Das Farbenhören bei Erblindeten. Untersuchungen über Wesen und Art der Photismen bei blinden Synoptikern unter besonderer Berücksichtigung des Formproblems. Hamburg: Psychologisch-Ästhetische Forschungsgesellschaft, o.J.
- [46] Wallaschek, Richard: Psychologische Aesthetik. Wien: Rikola Verlag, 1930

- [47] Wanner-Meyer, Petra: Quintett der Sinne. Synästhesie in der Lyrik des 19ten Jahrhunderts. Bielefeld: Aisthesis Verlag, 1998
- [48] Wellek, Albert: Die Entwicklung unserer Notenschrift aus der Synopsie. In: Anschütz, Georg (Hrsg.): Farbe-Ton-Forschungen. Bd.3. Hamburg: Psychologisch=ästhetische Forschungsgesellschaft, 1931
- [49] Wellek, Albert: Das Laut-Sinn-Problem unter dem Gesichtspunkt der Farbe-Ton-Forschung und die Synästhesien der Sprache. In: Anschütz, Georg (Hrsg.): Farbe-Ton-Forschungen. Bd.3. Hamburg: Psychologisch=ästhetische Forschungsgesellschaft, 1931
- [50] Wellek, Albert: Musikpsychologie und Musikästhetik. Grundriss der systematischen Musikwissenschaft. Frankfurt am Main: Akademische Verlagsgesellschaft, 1963
- [51] Werner, Heinz: Intermodale Qualitäten. In: Handbuch der Psychologie. Bd. 1. Der Aufbau des Erkennens. 1. Halbband: Wahrnehmung und Bewusstsein. Göttingen: Verlag für Psychologie. Dr. C.J. Hogrefe, 1966, S. 278-303
- [52] Zietz, Karl: Einführung in die allgemeine Psychologie. Braunschweig: Waisenhaus-Buchdruckerei und Verlag, 1962⁴
- [53] Der Hang zum Gesamtkunstwerk - Europäische Utopien seit 1800. Aarau: Verlag Sauerländer, 1983²