

# VISUELLE STATIK –

## II: Empirische Studien zum Problem von Last und Stütze

*Christoph Piesbergen, Kurt Müller & Wolfgang Tunner*

### Einleitung

Mußte sich die klassische Architektur hinsichtlich der statischen Dimensionierung von Gebäuden und Gebäudeteilen allein schon durch die material-immanenten Beschränkungen der damals vorhandenen Rohstoffe in eng definierten Grenzen halten, so hat die moderne Architektur durch neue Materialien, wie z.B. Stahlbeton, und exakte baustatische Methoden die Möglichkeit zur Verwirklichung von himmelstürmender Kühnheit, gepaart mit funktionaler Ökonomie. Die sich daraus ergebenden Bauten, wie z.B. Wolkenkratzer, vereinen also einerseits den Drang des Architekten zur Realisierung fast megalomaner Dimensionen mit nüchterner Funktionalität, bei der Vorgabe größtmöglicher Ökonomie auf der anderen Seite. Wo aber bleibt bei dieser Mischung aus Ehrgeiz und Zweckorientierung der Sinn für Ästhetik und Harmonie, ganz zu schweigen von den Bedürfnissen der Menschen, für die solche Bauten doch letztendlich gemacht sein sollten? Die Antwort findet sich bei Betrachtung vieler moderner "Zweckbauten": ein Eindruck, zusammengesetzt aus einem Mißtrauen gegen die statische Halt- und Tragfähigkeit, einem Empfinden von einseitiger Über- oder Unterdimensionierung und einer "Beleidigung" eines wie auch immer gearteten Gefühls für Ästhetik drängt sich oftmals auf. Doch gerade diese Summe subjektiver Eindrücke, die sich dann in einem meist undifferenziert unangenehmen Gefühl solchen Bauwerken gegenüber ausdrückt, soll - mit umgekehrtem Vorzeichen versehen - Gegenstand der folgenden Untersuchung sein. Eine empirische Studie zum Problem der anschaulichen Schwere - besser und umfassender als "visuelle Statik" bezeichnet - kann nun versuchen, mit Methoden der experimentellen Wahrnehmungspsychologie zu klären, ob es einen allgemein gültigen Konsens in der Wahrnehmung von Gebäudestrukturen gibt.

### Theorie

Das hier zu behandelnde Problem der visuellen Statik, des Verhältnisses von anschaulicher Last zu anschaulicher Stütze wird in der Gestaltpsychologie vom Kategorienpaar Variabilität und Konstanz berührt. Dies ist in der Vergangenheit besonders von RAUSCH (1949) untersucht worden. Das jeweilige "V/K-Verhältnis" in Wahrnehmungsgebilden bestimmt oft entscheidend den Gesamteindruck. Wenn ein Betrachter z.B. eine Last als zu schwer für eine Stütze empfindet, dann hat er den Variabilitätswert der Last - er drückt sich durch das "zu" aus - in ein Verhältnis zu einer konstanten Stütze gebracht. Wird umgekehrt zu einer gegebenen Last eine geeignete Stütze gesucht, dann nehmen die Stützenwerte Variabilitätscharakter an. Wenn etwa bei der Betrachtung des Dogenpalastes man die Säulen des Erdgeschoßes und der ersten Galerie als "zu schwach" empfindet, gelten diese als phänomenale Varianten, denn man könnte sich "tragfähigere" vorstellen. Der umgekehrte Fall ist gegeben, wenn etwa wuchtige und massive Säulen nicht genügend "ausgelastet" erscheinen und offensichtlich "funktionslos" sich selbst genügen. Architekturkritiker haben diese wohl intendierte Funktionslosigkeit beim Haus der Kunst in München beanstandet. Es wäre jedoch falsch, forderte

man zu jeder Säule eine auf ihr ruhende Last, und dies in einem harmonischen Verhältnis. Die meisten griechischen und römischen Tempel wären, beurteilte man sie allein nach dem Last/Stützen-Verhältnis, unharmonisch und Berninis Kollonaden, welche den Petersplatz in Rom umfassen, wären unter diesen Gesichtspunkten überflüssig. Säulen und Pfeiler haben in der Architektur nicht nur Stützfunktion, sie sollen auch Flächen und Räume gliedern.

In der klassischen Gestalttheorie wird das V/K-Verhältnis dem allgemeineren Zentrierungsproblem (METZGER, 1968, S. 175-199) zugeordnet: ein und dasselbe Gebilde (als Reizvorlage) kann bei verschiedener Zentrierung z.B. als stehendes oder hängendes, als seiten- oder diagonalzentriertes Rechteck aufgefaßt und entsprechend verschieden semantisch interpretiert werden. Es wäre falsch, das Zentrierungsproblem als ein solches des Betrachterverhaltens, speziell der Art seiner Aufmerksamkeitszuwendung zu bewerten; vielmehr bestimmen umgekehrt die sachlichen Zentrierungsverhältnisse, d.h. die rein figuralen Faktoren weitestgehend (wenn auch nicht ausschließlich) den Gesamteindruck. METZGER (S. 189) hat am "Lastkahn-Beispiel" dargestellt, daß selbst das Wissen um die objektiven Verhältnisse visuelle Zentrierungsfaktoren nicht zu überwinden vermag.

Ausführlicher und unter ästhetischen Gesichtspunkten hat dann besonders ARNHEIM (1980) mit seiner Theorie zum "dynamischen Sehen" das Thema behandelt. Aber auch dieser versucht allein durch Demonstrationen und Beispiele zu überzeugen. "Als ausdrucksvoll sieht man die Form eines Objektes nur, wenn man sie dynamisch sieht" (S. 217). Das dynamische Sehen könne vom reinen Verstandeswissen abgeleitet werden, wenn z.B. zylindrische Formen (ein Turm) ihre Ausdruckswirkung durch das Wissen um die Zugehörigkeit zu einem Gebäude mit bestimmtem Zweck wie der "Glockenturm von Sant'Appolinare in Classe" oder der "Getreidesilo einer Farm im Mittleren Westen" (S. 218) erhalten.

### **Annahmen und Methoden**

Gegeben sei ein säulenartiges Gebilde, welches als Stütze dient. In der Horizontalen wird ein Gebilde darübergelegt, welches anschaulich als Last, Balken oder Architrav fungieren soll. Als Problem erwies sich naturgemäß die Darstellung der zu beurteilenden Gegebenheiten. Lasten und Stützen sind immer dreidimensionale Gebilde, also Körper. Es bot sich die Verwendung von Bauklötzchen an, wie sie etwa in Kinderbaukästen vorkamen. Zuerst war jedoch zu klären, ob auch bei zweidimensionalen, flächenausgefüllten Zeichnungen sich der Eindruck eines Last/Stütze-Verhältnisses vermitteln läßt und zwar auch dann, wenn auf eine Darstellung anschaulicher Dreidimensionalität verzichtet wird. Ziel war es, ein quantitatives Maß für Last/Stütze-Harmonie zu finden. Schon in Vorversuchen erwies sich das Flächenverhältnis der Last-Rechtecke zu den Stützen-Rechtecken als ein recht brauchbares Maß. Als Referenz boten sich das symmetrische 1:1-Verhältnis sowie das klassische ästhetische Maß für Streckenteilungen, wie es im Goldenen Schnitt (1.618:1) gegeben ist, und auch andere "ästhetische Maße" (z.B. 2.098:1, 2.791:1, 3.885:1), wie sie damals (z.B. FECHNER, 1871; WITMER, 1894; THORNDYKE, 1917) und heute (z.B. BERLYNE, 1970; McWHINNIE, 1987; DAVIS & JAHNKE, 1991) von der experimentellen Ästhetik untersucht worden sind. Letztere fanden für eine Serie von geteilten Rechtecken eine Bevorzugung des 1:1-Verhältnisses, andere (z.B. BENJAFIELD, 1976) auch eine gleich große Akzeptanz von Figuren im Goldenen Schnitt. Übertragen auf das Konzept der visuellen Statik, müßten somit Rechtecke, deren variierte Parameter innerhalb der Grenzen des Goldenen Schnitts und des 1:1-Verhältnisses liegen, überzufällig oft als last/stützenharmonisch beurteilt werden.

Die verwendeten Darbietungsmethoden gründen sich auf die klassische Psychophysik. Nach dem alten Sprachgebrauch gelten die Versuche als Experimente mit Urteilsfindung: die Versuchspersonen reagieren mit einem Urteil (ausgewogen? ja/nein) auf vorgelegte Muster, welche als Quasi-Reize oder besser als Phänomenreize zu gelten haben. Die Darbietungsweise erfolgt entweder im Sinne der klassischen Konstanzmethode, der Grenzmethode, oder der Herstellungsmethode. Alle diese Methoden haben Vorteile und Nachteile; letztere gleichen sich aber bei Wechsel der Methode weitgehend aus.

## **Vorversuch**

### *Versuchsablauf*

Die Teilnehmer(innen) gaben am PC für jeweils 200 in zufälliger Reihenfolge dargebotenen Bildschirmdarstellungen ihre Meinung zur Ausgewogenheit des Verhältnisses zwischen Last und Stütze ab. Der Versuch wurde eingeleitet durch eine Bildschirmabfrage bezüglich der Personenvariablen Pseudonym, Geschlecht und Alter, die die Versuchspersonen bereits selber über die Tastatur des PC eingaben. Nach der vom Versuchsleiter mündlich gegebenen Instruktion hinsichtlich Harmonie und Ausgewogenheit der Last/Stütze-Elemente, erschien nach Betätigung der Eingabetaste das erste Muster, versehen mit der laufenden Nummer am unteren linken Bildschirmrand und der eingeblendeten Frage: "Sind die Proportionen von Last und Stütze harmonisch? j/n", um an die Aufgabenstellung zu erinnern. Auf eine Zeitbeschränkung wurde verzichtet, wodurch jeder Versuchsperson die Möglichkeit gegeben wurde, in ihrem individuellen Tempo zu arbeiten (selfpaced-tasking). Die Antwort erfolgte nun durch einen Druck auf die "j"- oder "n"-Taste, für "ja" oder "nein" zu der eingeblendeten Frage. Es wurde empfohlen, spontan zu antworten; außerdem wies der Versuchsleiter darauf hin, daß die eingegebenen Antworten unkorrigierbar waren. Die Abmessungen der Muster wurden im Vorfeld durch den Zufallsgenerator festgelegt und abgespeichert, um Art und Anzahl für jede Versuchsperson konstant zu halten.

### *Ergebnisse*

Der Stichprobenumfang betrug  $N=48$  (25 weibliche und 23 männliche Studenten und Nicht-Studenten im Alter von 19 bis 50 Jahren, bei bimodaler Verteilung). Da die Versuchspersonen zu jedem Muster genau ein Urteil abgaben (ja/nein), lag die theoretisch höchste Akzeptanz bei  $N$ , die niedrigste bei 0. Die Verteilungen der Urteile im Vorversuch ließ erkennen, daß die mit dem Zufallsgenerator willkürlich erzeugten Mustermengen (200 Figuren) mit Hilfe eines Binomialtests, (z.B. SCHUBÖ, 1989) bei einem  $\alpha$ -Risiko von 1% auf diejenigen Muster reduziert werden konnten, die eine T-förmige Gestalt (Lastbreite > Stützenbreite) aufwiesen. Hierzu wurden die Summen der Akzeptanzen und Ablehnungen eines jeden Musters mit den errechneten Trennwerten verglichen und daraufhin der jeweiligen Kategorie (ausgewogen, unausgewogen, strittig) zugeschlagen. Im Ergebnis fanden sich dann 28 Muster (Abb. 1), die hinsichtlich der Proportionen von Last und Stütze mehrheitlich als harmonisch angesehen wurden, sowie 84 signifikant unharmonische Muster. Die restlichen 88 Darstellungen überschritten das gewählte Signifikanzniveau, d.h. die Zahl der Ja- und der Neinantworten hielt sich hier ungefähr die Waage (strittige Muster). Die Nullhypothese mußte demnach für 172 Darstellungen beibehalten und konnte für 28 verworfen werden. Diese als ausgewogen kategorisierten Last/Stütze-Muster bestanden aus einer mehr oder weniger schlan-

ken "Säule" und einem breiteren, darauf lastendem Teilstück eines "Architravs" mit nicht zu großer Höhe, wie dies auch in Abb. 1 zu sehen ist.

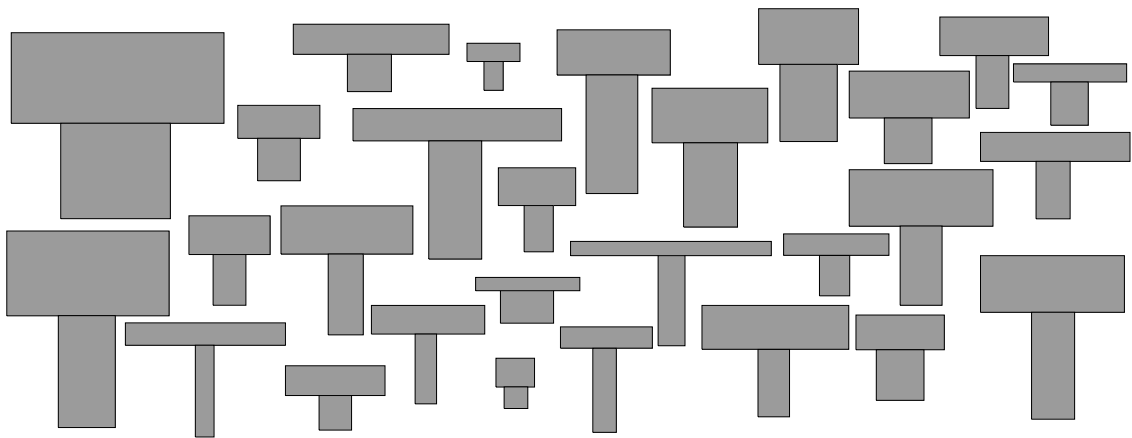


Abbildung 1: Ausgewogene Last/Stütze-Kombinationen des Vorversuchs

## Matrixversuch

### *Versuchsaufbau und Instruktion*

Die Zahl der Darstellungen pro Versuchsablauf wurde auf 256 erhöht, was eine matrixförmige Anordnung der Muster erlaubte (Abb. 2); dadurch war es möglich, zwei Parameter (Zeile und Spalte bzw. Last und Stütze) zu variieren. Als variabler Wert für die Last wurde bei konstanter Länge (160 Pixel, 10 P. = ca. 4 mm) deren Höhe gewählt, weil hierdurch die Eigenschaft der lastenden "Schwere" und des passiven "Getragenwerdens" am besten repräsentiert zu sein schien. Für die Variation der Stütze wurde unter Konstanthaltung der Höhe (80 Pixel) deren "Dicke" oder Breite herangezogen, da der Durchmesser beispielsweise einer Säule am ehesten den Eindruck eines "vertrauenerweckenden" Stützelements und der aktiven Funktion des Tragens vermitteln dürfte. So erhöhte sich in jeder der 16 Matrixzeilen die Last von einer dünnen Platte (5 Pixel) zu einem dicken Klotz (80 Pixel), bei konstant gehaltener Breite der Stütze, die ihrerseits längs der 16 Spalten von einem dünnen Stengel (10 Pixel) zu einem fülligen Fundament (160 Pixel) anwuchs. Um diese systematische Struktur auch für die 49 Vpn erkennbar zu machen, wurde die Größe der Darstellungen soweit verkleinert, daß der Bildschirm einen 4x4-Ausschnitt der 16x16-Matrix zeigen konnte (Abb. 2, Mitte). Um das jeweils aktuell zu bewertende Muster zu kennzeichnen, zeichnete das Steuerprogramm einen verdickten Rahmen darum, der nach jeder "j"- oder "n"-Eingabe um ein Muster weiterrückte. Nach jeweils vier Mustern wurde das Bildschirmfenster nach rechts in den nächsten 4x4-Ausschnitt gerückt. Am Ende einer jeden Zeile sprang das Fenster wieder ganz nach links und eine Reihe tiefer. Folgende Instruktion wurde zu Beginn des Versuchs eingeblendet:

"Es soll Ihre Einstellung zum Verhältnis zwischen einer tragenden STÜTZE (z.B. einer Säule) und der darauf liegenden LAST ermittelt werden. Hierzu erhalten Sie eine ganze Reihe von schematisierten Darstellungen. Betrachten Sie bitte die jeweilige stark umrandete Figur und überlegen Sie ganz kurz, ob Last und Stütze in einem harmonischen Verhältnis zueinander stehen. Geben Sie "j" für ja ein, wenn sie der Meinung sind, daß das Last/Stütze-Verhältnis ausgewogen ist oder aber "n" für nein, wenn Sie den Eindruck haben, daß die Verhältnisse unausgewogen sind. Die Darstellungen sind systematisch variiert und Sie sehen zum Vergleich die be-

nachbarten Figuren, soweit es die Größe des Bildschirms zuläßt. Ihre Daten bleiben anonym. Schreiben Sie sich Ihr Pseudonym auf oder aber prägen Sie es sich gut ein. Auf diese Weise können Sie später Rückmeldung über die Ergebnisse ihres Versuchs bekommen. Bedenken Sie auch, daß es keine richtigen oder falschen Antworten gibt. Antworten Sie deshalb ganz spontan und ohne Hemmungen".

### Ergebnisse

Eine erste Datenanalyse ergab einen Stichprobenumfang von  $N = 49$ , der sich in 22 Frauen und 27 Männer aufteilt. Das Alter der Vpn reichte von 18 bis 57 Jahren, ist annähernd normalverteilt und hat einen Mittelwert von 28.14 bei einer Standardabweichung von 7.45 Jahren. Modalwert und Median liegen mit 25 bzw. 26.2 verteilungsgemäß dem Mittelwert ausreichend nahe. Die Stichprobe bestand etwa zu gleichen Teilen aus Studierenden und Nicht-Studierenden, die auch nicht am vorhergegangenen Versuch teilgenommen hatten.

Die anschließende Matrixdatenauswertung zeigte, daß Muster mit extremen Ausprägungen von Last und Stütze, die an den Rändern der Matrix lokalisiert waren, von den Versuchspersonen mehrheitlich abgelehnt wurden. Hingegen formierte sich ein Cluster von ausgewogenen Mustern erwartungsgemäß mehr in der oberen Mitte der Matrix, innerhalb des abgerundeten Rahmens in Abb. 2. Als inferenzstatistisches Kriterium zur Einteilung und Kennzeichnung wurden wieder Binomialtests mit einem  $\alpha$ -Risiko von 5% herangezogen. In Abb. 2 sind die Orte der signifikant ausgewogenen Muster unterlegt und dunkel beschriftet, die der signifikant unausgewogenen hell beschriftet, die restlichen Felder stehen für nicht signifikante (strittige) Muster.

	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	16.0		
4.0			1.0	1.25	1.2	1.0	1.17	1.33	—	2.5	2.75	3.0	3.25	3.5	3.75	4.0	8.0
6.0			1.5	1.6	1.33	1.14	1.0	1.12	1.25		2.0	2.17	2.34	2.5	2.67		5.33
8.0	4.0			1.6	1.33	1.14	1.0	1.12	1.25					1.87	2.0		4.0
10.0	5.0			1.66				1.11	1.0				1.3		1.6		3.2
12.0	6.0			1			1.5	1.33	1.2		1.0				1.34		2.67
14.0	7.0												1.0		1.15		2.29
16.0	8.0	5.33													1.0		2.0
18.0	9.0	6.0													1.12		1.78
20.0	10.0	6.66													1.25		1.6
22.0	11.0	7.33	5.5												1.37		1.45
24.0	12.0	8.0													1.5		1.33
26.0															1.62		1.23
28.0	14.0													1.87	1.75		1.14
30.0	15.0												2.31	2.14	2.0	1.87	1.07
	16.0	10.7	8.0	6.4	5.33	4.57	4.0	3.55	3.2	2.91	2.67	2.46	2.28	2.13			1.0

Abbildung 2: Muster- und Urteilsverteilung im Matrixversuch

Bei extremerer Ausgangsdimensionierung der Stützen im oberen Teil der Matrix (noch schmalere Stützen in der ersten Zeile) hätte sich das Cluster der ausgewogenen Muster optisch mehr in die Mitte verschoben. Als wichtigstes Ergebnis jedoch wurden Hinweise auf

den vermuteten Bereich gefunden, innerhalb dessen bestimmte Kennzeichen der als ausgewogen beurteilten Muster variierten. Als maßgebender Parameter kristallisierte sich zunächst das eingangs erwähnte Flächenverhältnis von Last und Stütze heraus, das bei einer Spannweite von 0,03 bis 16,0 im Bereich dieser Extremata als unausgewogen angesehen wurde. Hingegen wiesen die ausgewogenen Muster alle eine Flächenverhältniszahl im Bereich von 1,2 bis 3,0 auf. Da die Parameter "Lastbreite" und "Stützhöhe" im Matrixversuch konstant gehalten wurden (Verhältnis 2/1), konnte man sie aus den Berechnungen der Quotienten herausnehmen und zunächst nur Lasthöhe und Stützenbreite zueinander in Beziehung setzen. Diese Quotienten wurden gemäß der Regeln des Goldenen Schnitts berechnet, indem die jeweils längere Strecke durch die kürzere dividiert wurde (z.B. DAVIS & JAHNKE, 1991). Diese sind für die maßgeblichen Matrixzellen in Abb. 2 eingetragen und schwankten somit bei den als ausgewogen beurteilten Mustern in einem Bereich von 1.0 und 1.66, was näherungsweise den Grenzen des 1:1-Verhältnisses und des Goldenen Schnitts (1.618:1) entspricht. Allerdings hätten sich dann alle ausgewogenen Muster konsistent um die gestrichelte Diagonale herum anlagern müssen, was aber nur im Bereich der oberen Mitte der Fall war. Ferner fielen auch zwei als unausgewogen beurteilte Muster der letzten Matrixspalte in den Bereich zwischen 1.0 und 1.66. Es müssen also noch weitere Kriterien bei der Beurteilung zum Tragen gekommen sein. Die Versuchspersonen wurden zwar durch die Instruktion angehalten, den Gesamteindruck eines Musters zu beurteilen, dieser aber wird vom V/K-Verhältnis wesentlich bestimmt. In Frage kommt daher auch das Grundlinienverhältnis von Last (konstant) zu Stütze (variabel), das sich bei den ausgewogenen Mustern von 2.67 bis 8.0 erstreckte, mit den Extremata 1.0 und 16.0 (Spalte 0 in Abb. 2). Bei einem Grundlinienverhältnis von 16:1 (Zeile 1), d.h. die Last ist 16mal so breit wie die Stütze, und unter 2.66 (ab Zeile 7) kommen keine signifikant ausgewogenen Muster mehr vor. Ab dieser Zeile verschwindet auch die T-Form der Muster, d.h. die Stütze wird einfach zu breit, im Sinne etwa einer Pilz- oder Stempelform, um noch als mit der Last harmonisierend empfunden zu werden. Folgerichtig muß dann auch das Höhenverhältnis (Zeile 0 in Abb. 2) von Last (variabel) und Stütze (konstant) betrachtet werden, welches sich für die signifikant ausgewogenen Muster zwischen 1.6 und 4.0 bewegt. Die Schnittmenge beider Bereiche ist in Abb. 2 - mit einer Ausnahme - durch einen abgerundeten Kasten gekennzeichnet. Auffällig ist, daß beide Bereiche (2.66 - 8.0 bzw. 1.6 - 4.0) teilweise deutlich über dem Goldenen Schnitt rangieren. Umgekehrt verhält es sich so, daß im Bereich 1.0 - 1.6, bezogen auf Grundlinien- bzw. Höhenverhältnis, die meisten unharmonischen Muster angesiedelt sind. Als mögliche Fehlerquellen kommen wohl auch noch modulierende Effekte der Vertikalentäuschung hinzu, obwohl zwei der hierfür wirksamen Parameter (s. o.) in dieser Versuchsanlage konstant gehalten worden waren. Auch berichteten einige Versuchsteilnehmer, daß sie in den letzten Zeilen keine Unterschiede mehr zwischen Last und Stütze ausmachen konnten und die Figuren zu prägnanten Gestalten mit neuem assoziativem Inhalt (z.B. Tische, Häuser, Hundehütten) verschmolzen, weswegen die Urteile dort wohl so inkonsistent ausfielen. Nach Angaben einzelner Vpn wurden teilweise auch runde Säulen als Stützen gesehen, die aber bei gleichem Querschnitt tragfähiger als Pfeiler erscheinen (LIPPS, 1897, S. 394).

## Herstellungsexperiment

### *Versuchsmaterial und -ablauf*

Bei diesem Experiment wurde das mehr oder weniger passive Beurteilen vorgegebener Bildreize aufgegeben, zugunsten eines aktiven "Herstellens" und einer dreidimensionalen Variante der Präsentation von Last/Stütze-Kombinationen. Da die Versuchspersonen die Last/Stütze-Kombinationen aus fixer Vorgabe und frei wählbaren Elementen einer Auswahlmenge herstellen sollten, kann man bei der Definition des Versuchstyps von einem Herstellungsexperiment sprechen. Dieses Vorgehen simuliert in etwa die Aufgabenstellung bei Planung und Konstruktion von Bauwerken, wo also z.B. zu einer vorgegebenen Last (Stockwerk, Fassade, Architrav) das zugehörige Tragwerk gefunden und dimensioniert werden soll. Zu diesem Zweck wurde ein Modellschreiner beauftragt, eine fein abgestufte Serie von Holzquadern herzustellen, die einerseits aus einer 15-teiligen Reihe von höher werdenden Lasten bestand und andererseits als Sequenz von 32 Stützen mit ansteigender Breite ausgelegt wurde. Die Höhe der 15 Lastquader variierte bei konstanter Länge (16 cm) und Tiefe (4 cm) von 1 cm bis ca. 8 cm, mit einer Stufung von ca. 5 mm Höhenunterschied von Klötzchen zu Klötzchen. Die Circa-Angaben beruhen auf der Tatsache, daß die Quader nicht so genau gearbeitet waren, wie ursprünglich intendiert. Die beiden umseitigen Abbildungen zeigen eine maßstabsgetreue zweidimensionale Wiedergabe dieser Klötzchen. Die 32 Stützen wiesen die einheitliche Höhe von 8 cm auf, bei einer Tiefe von wiederum 4 cm. Durch die Dreidimensionalität wäre es nun auch möglich gewesen, die Tiefe der Last/Stütze-Modelle zu variieren, worauf aber deswegen verzichtet wurde, weil der Versuch eine gegenständliche Replikation der zweidimensionalen Bildschirmversuche darstellen sollte, um die dort gewonnenen Erkenntnisse zu überprüfen, ohne aber neue Probleme und Fragestellungen aufzuwerfen, die sich zweifellos ergeben hätten. So wurde bei den Stützenquadern nur deren Breite in Schritten von etwa 5 mm erhöht, beginnend bei 0,5 cm und endend bei 16 cm. Die 32 auswählbaren Stützen standen aufrecht und in zufälliger Anordnung auf einem Tisch, die Lastvorgaben lagen in einem Holzkasten. Die Versuchspersonen nahmen die Lastvorgaben selbständig aus dem Kasten und legten sie auf eine Stütze ihrer Wahl, bis sie 16 ausgewogene Last/Stütze-Paare hergestellt hatten. Es wurde auf die Wichtigkeit von Harmonie und Ausgewogenheit der zu erstellenden Kombinationen hingewiesen; ferner, daß jedes Paar als Ausschnitt eines Bauwerks zu sehen war und daß für jede Lastvorgabe, die in die Hand genommen wurde, eine gerade noch tragfähig erscheinende Stütze auszuwählen war. Auf diese Weise sollte via Instruktion eine Gewogenheit zwischen ästhetischem Formempfinden und den Belangen der Statik erreicht werden. Die Versuchspersonen durften sich für die Aufgaben soviel Zeit nehmen, wie sie wollten und bekamen auch die Möglichkeit zur Korrektur eingeräumt.

### *Ergebnisse*

Der Stichprobenumfang von  $N = 40$  setzte sich zusammen aus 28 Frauen und 12 Männern im Alter von 19 bis 53 Jahren. Die Versuchspersonen, die noch an keinem Last/Stütze-Bildschirmexperiment teilgenommen hatten, waren hauptsächlich erstsemestrige Psychologiestudent(inn)en. Im ersten Schritt der Auswertungen die hergestellten Dimensionierungen gemittelt und mit denen der Vorgaben verglichen, sowie Verhältniszahlen (Lasthöhe/Stützenbreite) berechnet (Tab. 1). Es zeigte sich für die 16 vorgegebenen Lasten eine von der Darbietungsreihenfolge unabhängige kontinuierliche Verbreiterung der gewählten Stützen in Relation zur Lastvorgabe. Die Verhältniszahlen bewegen sich fast stetig fallend zwischen 3,8 und 1,25. Zur Stützung dieser auf deskriptivem Wege gewonnenen Ergebnisse

wurden nach Klärung der Voraussetzungen (Varianzhomogenität, Normalverteilung) auf der inferenzstatistischen Ebene multivariat behandelte, univariate Varianzanalysen für Meßwiederholungen als Vergleich von Differenzmittelwerten gegen eine Konstante durchgeführt. Die Differenzwerte wurden gebildet durch Subtraktion des hergestellten Werts (Stützenbreite) vom konstanten Vorgabewert (Lasthöhe) der jeweiligen Paarung. Stimmen also vorgegebener und hergestellter Wert überein, so ist die Differenz gleich null. Zur Beibehaltung der Nullhypothese muß diese also besagen, daß die in der Stichprobe erhaltenen Werte sich nur zufällig von null unterscheiden. Die durchgeführten univariaten Einzelvergleiche zeigen in der letzten Spalte von Tabelle 1 entgegen der Hypothese ausschließlich signifikante Differenzen bei einem  $\alpha$ -Risiko von unter 1%. Inferenzstatistisch ist somit die Inzidenz von Vorgabe und Herstellung (1:1-Verhältnis) nicht belegbar. Zusammenfassend kann man also sagen, daß die Versuchspersonen ausschließlich solche Stützen verwendet hatten, die signifikant breiter als die vorgegebene Lasthöhe waren, wobei 3 Muster (in Tab. 1 hervorgehoben) in die Nähe des Goldenen Schnitts kommen. Einschränkend für die Interpretierbarkeit wirkt sich aber der geringe Umfang und die mangelnde Heterogenität der Stichprobe aus. Weitere Fehlerquellen entsprechen denen des vorangegangenen Experiments.

*Tabelle 1: Varianzanalyse der Differenz von Vorgabe und Herstellung*

Nummer	Lasthöhe	Stützenbreite (MW)	Std.- Abw.	Verhältnis (MW)	Std.- Abw.	F-Wert	Sig. F
1	5 mm	19,0 mm	26,9	3,8	.32	11.63	.002
2	10 mm	21,0 mm	13	2,1	.25	23.48	.000
3	15 mm	29,1 mm	16,5	1,94	.27	24.66	.000
4	18 mm	32,8 mm	15,7	1,82	.28	25.04	.000
5	24 mm	41,5 mm	17,6	1,73	.25	27.88	.000
6	28 mm	46,4 mm	16,6	1,65	.20	36.24	.000
7	32 mm	55,5 mm	24,1	1,73	.22	26.00	.000
8	38 mm	66,8 mm	26,1	1,75	.22	38.31	.000
9	43 mm	65,7 mm	24,8	1,52	.21	22.19	.000
10	47 mm	76,1 mm	26,9	1,62	.22	32.59	.000
11	53 mm	77,8 mm	19,5	1,47	.18	49.98	.000
12	57 mm	77,7 mm	22,2	1,36	.22	32.82	.000
13	62 mm	88,1 mm	25,8	1,42	.23	32.87	.000
14	68 mm	90,0 mm	25,8	1,32	.29	25.67	.000
15	71 mm	88,9 mm	29,4	1,25	.45	11.89	.001
16	77 mm	101,8 mm	30,8	1,32	.33	19.27	.000

*Legende:* MW = Mittelwert; Std.-Abw. = Standardabweichung; Sig F = Signifikanzniveau des angegebenen F-Wertes; Schraffur s. Text

## Diskussion

Der im Matrixexperiment sich abzeichnende Verhältnisbereich mit Grenzen zwischen 1:1 und 1.618:1, bezogen auf Lasthöhe zu Stützenbreite, sowie die Verwerfung des 1:1-Verhältnisses im Herstellungsexperiment sind am ehesten noch mit den Ergebnissen von BENJAFIELD (1976) in Einklang zu bringen, werden aber in der externen Validität auch am jeweiligen kulturellen Hintergrund (z.B. BERLYNE, 1971; BENJAFIELD, POMEROY & SAUNDERS, 1980) und an der Wirksamkeit optischer Täuschungen relativiert werden müs-



sen. Da noch viele andere Faktoren (z.B. Gedrungenheit, Kompaktheit, Gegliedertheit, Färbung) den Lasteindruck eines Körpers bestimmen muß das Ergebnis vorliegender Arbeit als ein notgedrungen vorläufiges gewertet werden. Es müssen immer feinere und elaboriertere experimentelle Methoden gesucht werden, um der Vielfalt der schier unendlich vielen Kombinationsmöglichkeiten des Erscheinungsbilds von Last und Stütze gerecht zu werden. Doch auch dann haben wir es immer noch mit aus dem Zusammenhang gerissenen Einzelementen zu tun; bei Betrachtung eines gesamten Bauwerks könnten sich wohl andere Verhältnisse ergeben.

Eine praktisch umsetzbare Anregung könnte trotz allem im Transfer ästhetischer Maße auf die visuelle Wahrnehmung von Schwere beim Beurteilen statischer Gegebenheiten liegen. Architektur, Baustatik und Industriedesign könnten den Goldenen Schnitt und das Prägnanzprinzip in ihre Planungen miteinbeziehen (CHING, 1979) und beispielsweise statisch einwandfreie Beton- oder Stahlträger, die aber als zu schwach und nicht tragfähig wahrgenommen werden, derart verkleiden oder verblenden, daß die Diskrepanz von berechneter und visueller Statik aufgehoben wird. Andererseits kann auch das bewußte Außerachtlassen der Harmonie von Last und Stütze als architektonisches Stilmittel eingesetzt werden, wie dies z.B. Le Corbusier mit seiner Villa Savoye in Poissy praktiziert, die gleichsam als "Schachtel in der Luft", nur auf dünne Piloten gestützt, über der Wiese schwebt "wie ein gelandetes Raumschiff, das überall und nirgends zuhause ist" (SEDLMAYR, 1948, S. 112-113). Sedlmayr hat aber gegen diese Bauweise polemisiert und sie als "Verlust der Mitte" angeprangert. Es gibt aber auch Beispiele von Last/Stütze-Disharmonien aus früheren Stilepochen. Jacob Burckhardt habe einmal getadelt, beim Dogenpalast in Venedig hafteten die leichten Teile am Boden, während - entgegen allen statischen Gesetzen - die schweren Massen oben in der Luft zu schweben scheinen (HAMANN, 1962, S. 361). Tatsächlich scheint der mächtige Block der Obergeschosse die dünnen Säulchen der Arkaden zu zerbrechen oder in die Lagune hinunterzudrücken. Es sei denn, man begreift visuell den Palast als Riesentisch mit einer herabhängenden fransenverzierten Tischdecke. Genau dieser Eindruck war es, der Spötter veranlaßte, den Dogenpalast und andere venezianische Gebäude als "Teppichgotik" zu verunglimpfen. Von den hier zitierten und anderen Gegenbeispielen abgesehen, scheint also doch der Sinn für visuelle Statik das Harmoniebedürfnis mehr zu befriedigen als gewollte oder ungewollte Exzentrizität. Betrachtet man die wirklich schönen, überdauernden Denkmäler aus Kunst, Architektur und auch der Musik, so überzeugt eigentlich fast immer deren Ausgewogenheit und Harmonie, die sie letztendlich unter Verzicht auf Extremismen zur guten Gestalt machen.

### *Zusammenfassung*

Das subjektive Einschätzen von Tragfähigkeit, also des Verhältnisses von Last und Belastetem, läuft meist intuitiv beim Betrachten von Bauwerken ab und steht oft im Widerspruch zur objektiv errechneten und realisierten Statik. An den Schnittstellen zwischen Ästhetik, Architektur und Psychologie angesiedelt, wird das Konzept einer visuellen Statik exemplarisch am anschaulichen Verhältnis von Last und Stütze untersucht. Die systematische Variation der Verhältnisse soll Aufschluß geben über interindividuelle Gemeinsamkeiten bei der wahrgenommenen Dimensionierung von lastenden und belasteten Strukturen. Nach einem hypothesenerkundenden Vorversuch wurde ein weiteres Bildschirmexperiment durchgeführt, wobei eine 16x16-Matrix von aufeinanderstehenden Rechteckspaaren, systematisch variiert in ihren Dimensionierungen, zur Beurteilung vorgegeben wurde. Als Ergebnis kristallisierte sich eine ausgewogene Proportion von Last zu Stütze im Bereich von 1.0 - 1.66 heraus, bezogen auf den Quotienten aus Höhe der Last und Breite der Stütze. Die Grenzen des gefundenen Verhältnissbereichs entsprechen annähernd dem 1:1-Verhältnis und dem Goldenem Schnitt (1.618:1). Die Replikation mit greifbaren Modellen aus Holz stützte die Ergebnisse des Bildschirmexperiments nur zum Teil. Eine empirisch untermauerte Gültigkeit ist vorerst einzuschränken auf einfache und isolierte Last/Stütze-Muster.

## *Summary*

Individually biased estimation of load capacity, defined as proportion of loading to loaded elements, mostly occurs by intuition when looking at architectural structures and often seems incompatible with objective and calculated statics. Using the example of load and support in systematic variation, interindividual mutualities in the perception of the dimensions of loading and loaded structures shall be uncovered. After a prestudy, more for hypothesis generating purposes, another screen experiment was performed. A 16x16 matrix of systematically varied pairs of rectangles standing on each other was presented for estimation. As a result a ratio of 1.0 to 1.66 emerged, suggesting a harmonic proportion of load and support related on the ratio of the height of the load to the width of its support. The borders of the ratio are according rather exactly with the unity (1:1) and the golden section ratio (1.618:1). A replication with real wooden models partly confirmed the results of the screen experiment. Empirical validation so far is to be reduced on simple and single load/support patterns.

## *Literatur*

ARNHEIM, R. (1980). *Die Dynamik der architektonischen Form*. Köln: DuMont.

BENJAFIELD, J. (1976). The 'golden rectangle': Some new data. *American Journal of Psychology*, 89, 737-743.

BENJAFIELD, J., POMEROY, E. & SAUNDERS, M. (1980). The Golden Section and the accuracy with which proportions are drawn. *Canadian Journal of Psychology*, 34, 253-256.

BERLYNE, D. E. (1970). The Golden Section and hedonic judgements of rectangles: A cross-cultural study. *Sciences de l'Art / Scientific Aesthetics*, 7, 1-16.

BERLYNE, D. E. (1971). *Aesthetics and psychobiology*. New York: Appleton-Century-Crofts.

CHING, F. D. K. (1979). *Architecture: Form, space, and order*. New York: Van Nostrand Reinhold.

DAVIS, S.T. & JAHNKE, J.C. (1991). Unity and the golden section: Rules for aesthetic choice? *American Journal of Psychology*, 104 (2), 257-277.

FECHNER, G. T. (1871). *Zur experimentellen Ästhetik*. Leipzig: S. Hirzel.

HAMANN, R. (1962). *Geschichte der Kunst. Von der altchristlichen Zeit bis zur Gegenwart*. München: Droemer.

LIPPS, T. (1897). *Raumästhetik und geometrisch-optische Täuschungen*. In: Schriften der Gesellschaft für psychologische Forschung. Leipzig: Johann Ambrosius Barth.

McWHINNIE, H. J. (1987). A review of selected research on the golden section hypothesis. *Visual Arts Research*, 13, 73-84.

METZGER, W. (1968). *Psychologie*. Darmstadt: Dr. D. Steinkopff.

RAUSCH, E. (1949). Variabilität und Konstanz als phänomenologische Kategorien. *Psychol. Forschung*, 23.

SCHUBÖ, W., PIESBERGEN, C., BRODBECK, F., RAUH, R. & SCHRÖGER, E. (1989). *Einführung in die Statistik: Wahrscheinlichkeit und Hypothesenprüfung*. München: R. Oldenbourg.

SEDLMAYR, H. (1948). *Verlust der Mitte*. Salzburg: Otto Müller.

THORNDYKE, E. L. (1917). Individual differences in judgements of the beauty of simple forms. *Psychological Review*, 24, 147-153.

WITMER, L. (1894). Zur experimentellen Aesthetik einfacher räumlicher Formverhältnisse. *Philosophische Studien*, 9, 96-144.

**Anschrift der Verfasser:**

Prof. Dr. Kurt Müller (em.)  
Prof. Dr. Wolfgang Tunner  
Dr. Christoph Piesbergen  
Institut für Psychologie  
Leopoldstr. 13  
D-80802 München  
e-mail: [chris@mip.paed.uni-muenchen.de](mailto:chris@mip.paed.uni-muenchen.de)