

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Raumkunst und Lichtgestaltung

„Lichttechnische Untersuchungen von Skulpturen
im Hinblick auf eine optimierte Ausleuchtung“

Dipl.-Ing. Univ. Frank D. Petermann

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Architektur der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieur

(Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Univ.-Prof. Dietrich Fink

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Hannelore Deubzer

2. Hon.-Prof. Dr. h.c. Christian Bartenbach

Die Dissertation wurde am 27.07.2009 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Architektur am 22.10.2010 angenommen.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei einigen Personen bedanken, ohne die meine Arbeit nicht oder nur unter sehr erschwerten Bedingungen abzuschließen gewesen wäre.

Als erstes danke ich meiner Doktormutter Frau Professor Dipl.-Ing. Hannelore Deubzer, die von Anfang an großes Interesse an meiner Promotion und meinem Promotionssthema gezeigt hatte, und mir bei den verschiedensten fachlichen Anliegen jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand.

Ganz besonders möchte ich mich bei meinem Zweitkorrektor Herrn Professor Dr. Christian Bartenbach bedanken, der für mich im Rahmen langer persönlicher Gespräche ein äußerst wertvoller Ansprechpartner war. Insbesondere war die großzügige Nutzung all seiner Forschungseinrichtungen an seinem Firmensitz in Aldrans bei Innsbruck eine Grundlage für das Entstehen und Vollenden meiner Promotion.

Insbesondere im Bereich der Gesteinsuntersuchungen möchte ich mich für die großzügige Überlassung der Labortechnischen Unterlagen bei dem hessischen Institut für Baustoffprüfungen HIB aus Lohfelden und der Prüfungsgesellschaft für Strassen- und Tiefbau mbH & Co. KG aus Bernburg bedanken.

Mein besonderer Dank richtet sich an das Ingenieurbüro Dr. Moll Prüfinstitut und Ingenieurbüro aus Isernhagen, für die zusätzliche, großzügige Überlassung aller Mikroskopischer Aufnahmen.

Für die Sonderanfertigungen aller Natursteinskulpturen und die Überlassung verschiedener Laborunterlagen danke ich dem Geschäftsführer der Hötzendorfer Granitwerke in Passau Herrn Max Merckenschlager.

Abschließend möchte ich noch Herrn Robert Koprivnik von der Abteilung für Modellbau und Modellsimulation und Herrn DI Mag. MSc. Msc. (Psychotherapy) Markus Canazei, Abteilungsleiter der Abteilung für visuelle Wahrnehmung von der Firma Bartenbach LichtLabor, für die gute Zusammenarbeit danken.

Inhaltsverzeichnis

	Danksagung	Seite 1
	Inhaltsverzeichnis	Seite 2-7
1	<u>Einleitung</u>	Seite 8-9
1.1	Hypothese	Seite 9
2.	<u>Entscheidende Komponenten zur visuellen Wahrnehmung räumlicher Strukturen und deren Oberflächen</u>	Seite 10-77
2.1	Licht als zentrales Element	Seite 10
2.1.1	Tageslichtspezifische Eigenschaften	Seite 10-13
2.1.2	Kunstlichtspezifische Eigenschaften	Seite 13
2.1.2.1	Einsetzbare Kunstlichtquellen	Seite 14-15
2.1.2.2	Farben und Farbwiedergabe	Seite 15-16
2.1.3	Quantitative Lichtbetrachtungen	Seite 16-18
2.1.4	Lichtkonzepte	Seite 18-19
2.1.5	Aufgaben lichttechnischer Konzeptionen	Seite 19-20
2.1.6	Lichtverteilung im Innenraum	Seite 21-23
2.2	Raum- und Skulpturoberflächen	Seite 24-30
2.3	Wahrnehmungspsychologische Mechanismen	Seite 31-38
2.3.1	Neurologische Gesetzmäßigkeiten	Seite 31-32
2.3.2	Konstanzleistungen	Seite 32
2.3.2.1	Größenkonstanz	Seite 32-33
2.3.2.2	Formkonstanz	Seite 33
2.3.2.3	Farbkonstanz	Seite 34
2.3.2.4	Helligkeitskonstanz	Seite 35-36
2.3.3	Visuelle Störfaktoren	Seite 36-38
2.3.3.1	Blendung	Seite 36-37
2.3.3.2	Fehlerhafte Abstimmung zwischen Beleuchtung und Skulpturoberflächen	Seite 37-38

2.4	Wahrnehmung auf Grundlage der ökologischen Optik	Seite 39-47
2.5	Labile und stabile Wahrnehmung	Seite 48-53
2.6	Lichtrichtung und Schattigkeit	Seite 54-63
2.6.1	Schattenbildung und Reflexionen	Seite 58-61
2.6.2	Brillanz	Seite 61
2.6.3	Räumliche Positionierung eines Ausstellungsobjektes	Seite 62-63
2.7	Visuelle Objektidentifikation	Seite 64-66
2.8	Größenwahrnehmung	Seite 66-67
2.9	Distanzwahrnehmung	Seite 67-74
2.10	Richtungslokalisierung	Seite 74-75
2.11	Neigungswahrnehmung von Raum- und Körperoberflächen	Seite 75-77
3	<u>Die Skulptur als dreidimensionale Kunstform</u>	Seite 78-89
3.1	Definition	Seite 78
3.2	Die Skulptur in Ihrem künstlerischen Kontext	Seite 78
3.3	Verschiedene Grundformen	Seite 79
3.4	Skulptur und Architektur	Seite 79
3.5	Skulptur und Malerei	Seite 80-82
3.6	Aktuelle Situation	Seite 82-84
3.7	Der Entstehungsprozess	Seite 84-85
3.8	Eine Auswahl bedeutender Granitskulpturen	Seite 85-89
4	<u>Lichtemittierende Dioden</u>	Seite 90-110
4.1	Halbleiterwerkstoffe	Seite 91-92
4.2	Bauformen lichtemittierender Dioden	Seite 92
4.2.1	COB-Chip On Board	Seite 92-93
4.2.2	SMD – Surface Mounted Device	Seite 93
4.2.3	Standard – Led´s	Seite 93
4.2.4	High Flux Led´s	Seite 93-94
4.2.5	High Power Led´s	Seite 94

4.3	Reaktionsprozesse infolge Stromdurchfluss	Seite 94-95
4.4	Auf LED-Technologie basierende Raumbelichtung	Seite 95-98
4.5	Wahrnehmungspsychologische Versuchsreihe auf Basis der Hellempfindlichkeitskurve des menschlichen Auges	Seite 98-100
4.6	Lichtemittierende Dioden in Verbindung mit hocheffizienten optischen Systemen zur Lichtlenkung	Seite 100
4.6.1	Primäroptik	Seite 100-102
4.6.2	Sekundäroptik	Seite 102-104
4.6.3	Freiformoptiken	Seite 105-107
4.7	Aktueller Entwicklungsstand	Seite 107
4.8	Zukunftsperspektiven der LED-Technologie	Seite 107-110
5	<u>Modellkomponenten zur Durchführung der licht-technischen Untersuchungen</u>	Seite 111-161
5.1	Skulpturmodelle	Seite 110
5.1.1	Aufbau	Seite 111-115
5.1.2	Ausgewähltes Skulpturenmaterial	Seite 116-142
5.1.2.1	Padang Cristall „G 603“	Seite 117-129
5.1.2.2	Padang dark „G 654/G 3554“	Seite 129-133
5.1.2.3	Piazza black „G 684/G 3584“	Seite 133-139
5.1.2.4	Materialspezifische, lichttechnische Oberflächeneigenschaften	Seite 139-142
5.1.3	Ausgewählte Oberflächen	Seite 143-145
5.1.3.1	Geschliffene Oberflächen	Seite 143-144
5.1.3.2	Polierte Oberflächen	Seite 144-145
5.1.4	Photographische Dokumentation	Seite 146-153
5.2	Visuelle Raummodelle	Seite 154-161
5.2.1	Aufbau	Seite 154-156
5.2.2	Ausgewählte Oberflächen	Seite 157
5.2.3	Photographische Dokumentation	Seite 158-161

6	<u>Lichttechnische Versuchsreihen mit konstanter Beleuchtungsstärke im direkten Paarvergleich</u>	Seite 162-226
6.1	Ausgewählte lichttechnische Untersuchungsreihen und ihre Raumszenarien	Seite 162-166
6.1.1	Linker Innenraum: cremeweiß + Skulptur: dunkelgrau matt Rechter Innenraum: cremeweiß + Skulptur: dunkelgrau hochglänzend	Seite 167-171
6.1.1.1	Messdatenerfassung (1.- 4. Paarvergleich)	Seite 167
6.1.1.2	Photografische Dokumentation (1.- 4. Paarvergleich)	Seite 168-169
6.1.1.3	Leuchtdichtevertellung (1.- 4. Paarvergleich)	Seite 170-171
6.1.2	Linker Innenraum: cremeweiß + Skulptur: schwarz matt Rechter Innenraum: cremeweiß + Skulptur: schwarz hochglänzend	Seite 172-176
6.1.2.1	Messdatenerfassung (5.- 8. Paarvergleich)	Seite 172
6.1.2.2	Photografische Dokumentation (5.- 8. Paarvergleich)	Seite 173-174
6.1.2.3	Leuchtdichtevertellung (5.- 8. Paarvergleich)	Seite 175-176
6.1.3	Linker Innenraum: platingrau + Skulptur: hellgrau matt Rechter Innenraum: platingrau + Skulptur: hellgrau hochglänzend	Seite 177-181
6.1.3.1	Messdatenerfassung (9.- 12. Paarvergleich)	Seite 177
6.1.3.2	Photografische Dokumentation (9.- 12. Paarvergleich)	Seite 178-179
6.1.3.3	Leuchtdichtevertellung (9.- 12. Paarvergleich)	Seite 180-181
6.1.4	Linker Innenraum: platingrau + Skulptur: schwarz matt Rechter Innenraum: platingrau + Skulptur: schwarz hochglänzend	Seite 182-186
6.1.4.1	Messdatenerfassung (13.- 16. Paarvergleich)	Seite 182
6.1.4.2	Photografische Dokumentation (13.- 16. Paarvergleich)	Seite 183-184
6.1.4.3	Leuchtdichtevertellung (13.- 16. Paarvergleich)	Seite 185-186
6.1.5	Linker Innenraum: tiefschwarz + Skulptur: hellgrau matt Rechter Innenraum: tiefschwarz + Skulptur: hellgrau hochglänzend	Seite 187-191
6.1.5.1	Messdatenerfassung (17.- 20. Paarvergleich)	Seite 187
6.1.5.2	Photografische Dokumentation (17.- 20. Paarvergleich)	Seite 188-189
6.1.5.3	Leuchtdichtevertellung (17.- 20. Paarvergleich)	Seite 190-191

6.1.6	Linker Innenraum: tiefschwarz + Skulptur: dunkelgrau matt Rechter Innenraum: tiefschwarz + Skulptur: dunkelgrau hochglänzend	Seite 192-196
6.1.6.1	Messdatenerfassung (21.- 24. Paarvergleich)	Seite 192
6.1.6.2	Photografische Dokumentation (21.- 24. Paarvergleich)	Seite 193-194
6.1.6.3	Leuchtdichtevertelung (21.- 24. Paarvergleich)	Seite 195-196
6.1.7	Linker Innenraum: cremeweiß + Skulptur: dunkelgrau matt Rechter Innenraum: platingrau + Skulptur: hellgrau hochglänzend	Seite 197-201
6.1.7.1	Messdatenerfassung (25.- 28. Paarvergleich)	Seite 197
6.1.7.2	Photografische Dokumentation (25.- 28. Paarvergleich)	Seite 198-199
6.1.7.3	Leuchtdichtevertelung (25.- 28. Paarvergleich)	Seite 200-201
6.1.8	Linker Innenraum: cremeweiß + Skulptur: schwarz matt Rechter Innenraum: tiefschwarz + Skulptur: dunkelgrau hochglänzend	Seite 202-206
6.1.8.1	Messdatenerfassung (29.- 32. Paarvergleich)	Seite 202
6.1.8.2	Photografische Dokumentation (29.- 32. Paarvergleich)	Seite 203-204
6.1.8.3	Leuchtdichtevertelung (29.- 32. Paarvergleich)	Seite 205-206
6.1.9	Linker Innenraum: platingrau + Skulptur: hellgrau matt Rechter Innenraum: tiefschwarz + Skulptur: dunkelgrau matt	Seite 207-211
6.1.9.1	Messdatenerfassung (33.- 36. Paarvergleich)	Seite 207
6.1.9.2	Photografische Dokumentation (33.- 36. Paarvergleich)	Seite 208-209
6.1.9.3	Leuchtdichtevertelung (33.- 36. Paarvergleich)	Seite 210-211
6.1.10	Linker Innenraum: cremeweiß + Skulptur: dunkelgrau matt Rechter Innenraum: platingrau + Skulptur: hellgrau matt	Seite 212-216
6.1.10.1	Messdatenerfassung (37.- 40. Paarvergleich)	Seite 212
6.1.10.2	Photografische Dokumentation (37.- 40. Paarvergleich)	Seite 213-214
6.1.10.2	Leuchtdichtevertelung (37.- 40. Paarvergleich)	Seite 215-216
6.1.11	Linker Innenraum: platingrau + Skulptur: hellgrau hochglänzend Rechter Innenraum: tiefschwarz + Skulptur: dunkelgrau hochglänzend	Seite 217-221
6.1.11.1	Messdatenerfassung (41.- 44. Paarvergleich)	Seite 217
6.1.11.2	Photografische Dokumentation (41.- 44. Paarvergleich)	Seite 218-219
6.1.11.3	Leuchtdichtevertelung (41.- 44. Paarvergleich)	Seite 220-221

6.1.12	Linker Innenraum: cremeweiß + Skulptur: dunkelgrau hochglänzend Rechter Innenraum: platingrau + Skulptur: hellgrau hochglänzend	Seite 222-226
6.1.12.1	Messdatenerfassung (45.- 48. Paarvergleich)	Seite 222
6.1.12.2	Photografische Dokumentation (45.- 48. Paarvergleich)	Seite 223-224
6.1.12.3	Leuchtdichteverteilung (45.- 48. Paarvergleich)	Seite 225-226
7	<u>Subjektive Bewertung der jeweiligen Licht- und Raumszenarien durch eine Gruppe von 30 Probanden</u>	Seite 227-296
7.1	Durchführung der Probandenbefragung	Seite 227-228
7.2	Der Fragebogen als Bewertungsgrundlage	Seite 228-229
7.3	Darstellung der Untersuchungsergebnisse auf Basis grafischer Auswertungen	Seite 230
7.3.1	Grafische Gesamtauswertung in Anlehnung an den Ablauf der Untersuchungsreihen	Seite 230-277
7.3.2	Grafische Auswertung in Bezug auf das jeweilige Bewertungsadjektiv	Seite 278-290
7.3.3	Grafische Auswertungen des Bewertungsverhaltens in Bezug auf die unterschiedlichen Beleuchtungssituationen innerhalb eines Paarvergleiches	Seite 291-296
8	<u>Darstellung der Paarvergleiche unter Bezugnahme objektiver Messdaten und subjektiver visueller Eindrücke</u>	Seite 297-340
8.1	Berechnung der Leuchtdichteverhältnisse im Bereich der Messpunkte auf Basis des theoretischen Leuchtdichtemodells	Seite 297-309
8.2	Beurteilung und Beschreibung der Paarvergleiche im Hinblick auf ihr visuelles Erscheinungsbild unter Berücksichtigung objektiver Messdaten, Realbild- und Leuchtdichteaufnahmen	Seite 309-340
9	<u>Zusammenfassung und Schlussfolgerung</u>	Seite 341-367
	Quellenhinweise zu den Abbildungen	Seite 368-371
	Quellenhinweise zu den Zitaten	Seite 372-373
	Verwendete Quellen	Seite 374-376

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit setzt sich mit der zentralen Thematik auseinander, inwieweit die visuelle Wahrnehmung mehrflächiger räumlicher Objekte, unter den entscheidenden Komponenten wie Licht, Oberflächenbeschaffenheit und Farbgebung, durch einen Betrachter, beeinflusst wird.

Hierbei wird insbesondere der visuelle Zusammenhang zwischen den inneren Hüllflächen eines Versuchsraumes und den ausgewählten Skulpturcharakteristiken der zur visuellen Bewertung positionierten Objekte betrachtet.

Ein Vorgang, der in der Betrachtung skulpturaler Kunstobjekte unter musealen visuellen Wahrnehmungsbedingungen seinen Bezug zu einer realen Situation aufnimmt. Es wird von entscheidender Bedeutung sein, unter welchen visuellen Randbedingungen eine Raumszenerie von einem Beobachter als optimal eingestuft wird.

Die lichttechnischen Versuchsreihen beinhalten klassische Beleuchtungssituationen, wie sie in vielen musealen Kontexten gegeben sind. Für die Beobachtung der einzelnen Raumszenarien werden zwei visuell identische Modellräume erstellt, in denen die entscheidenden Untersuchungskonstellationen beobachtet werden können.

Um eine hohe Aussagekraft der einzelnen Versuchsergebnisse zu erreichen, konzentrieren sich die Untersuchungen auf eine enge Auswahl von Farb-, Oberflächen- und Beleuchtungsvariationen. Es wurde bei der Auswahl auf einen möglichst direkten Bezug zu realen Licht- und Raummilieus geachtet.

Alle anstehenden Versuchsreihen werden von einer Gruppe ausgewählter Probanden einer subjektiven Bewertung unterzogen. Dies garantiert eine möglichst genaue Beurteilung der jeweiligen visuellen Raumszenerie. Die hieraus gewonnenen Ergebnisse werden den objektiv gewonnenen Messdaten gegenübergestellt und beschrieben.

Es wird darauf hingewiesen, dass bei allen musealen lichttechnischen Raumszenarien die bereits existierenden Erkenntnisse aus dem Bereich des Exponatschutzes beachtet werden müssen. Hierzu gibt die DIN 5035 ausführliche Hinweise. Für die vorliegende Arbeit werden ausschließlich skulpturale Objekte aus Granit, Diorit und Basalt einer visuellen Untersuchung unterzogen. Aus diesem Grunde sind konservatorische Fragestellungen nicht Teil dieser Arbeit.

Alle visuellen Bewertungen basieren auf den gewonnenen Erkenntnissen des theoretischen Leuchtdichtemodells.

Des Weiteren wird im Vorfeld der Untersuchungsreihen ausführlich auf alle Entscheidenden Kriterien und Komponenten in Zusammenhang mit der visuellen Wahrnehmung räumlicher Strukturen eingegangen.

Zudem werden neueste Erkenntnisse in Verbindung mit dem aktuellen technischen Entwicklungsstand im Bereich Lichteimitierender Dioden aufgezeigt.

1.1 Hypothese

Die menschliche, visuelle Wahrnehmung wird in entscheidender Masse von den Oberflächeneigenschaften der Ausstellungsräumlichkeiten und der präsentierten Skulpturen, sowie den eingesetzten Strahlungscharakteristiken bestimmt.

In vielen musealen Ausstellungsräumen ist der Präsentationsrahmen, in dem skulpturale Kunstgegenstände öffentlich gezeigt werden, nicht auf die jeweiligen Oberflächenbeschaffenheiten der einzelnen Skulpturen und deren umgebenden Hüllflächen abgestimmt.

Werden auszustellende Skulpturen verschiedener Oberflächeneigenschaften in ein und demselben Ausstellungsraum einem Beobachter präsentiert, so ist die visuelle Wahrnehmung der einzelnen Skulpturen untereinander Schwankungen unterworfen.

So werden Skulpturen mit unterschiedlichen Farbgebungen und Reflexionsgraden nebeneinander oder Gruppenweise einem Kunstinteressenten gegenüber präsentiert.

Dies hat zur Folge, dass die visuelle Wahrnehmung durch einen Ausstellungsbesucher beeinträchtigt ist und somit wertvolle kunsthistorische Eigenschaften der präsentierten Skulpturen für den Beobachter nicht visuell wahrnehmbar sind.

Würde im Rahmen einer Skulpturenpräsentation in ausreichender Masse auf die Beziehung zwischen den einzelnen Oberflächeneigenschaften der zu präsentierenden Skulpturen, denen sie umgebenden direkten Hüllflächen und den einzelnen Strahlungscharakteristiken geachtet werden, so wäre die visuelle Aufnahme eines Betrachters bedeutend effizienter.

Das heißt, dass mit einer zunehmenden Optimierung von Umfeld und Umfeld in Verbindung mit einer lichttechnischen Inszenierung die visuelle Aufnahme, in Bezug auf bestimmte Vorgaben, entscheidend beeinflusst werden kann.

In denen nun zur Auswahl stehenden visuellen lichttechnischen Untersuchungsreihen soll nun dieser Hypothese nachgegangen werden.

Material, Farbgebung und Beleuchtungssituationen werden einer realen musealen Ausstellungssituation nachempfunden.

2 Entscheidende Komponenten für eine visuelle Wahrnehmung räumlicher Strukturen und deren Oberflächen

2.1 Licht als zentrales Element

Das Element Licht spielt in der Architektur eine entscheidende Rolle. Jedes noch so ausgeklügelte Raumkonzept verweilt im Status einer Theorie, solange der Raum nicht von Lichtstrahlen berührt und somit visuell wahrnehmbar wird. Erst das Licht selbst lässt architektonische Raumqualitäten zur Wirkung kommen und für den Menschen erlebbar werden.

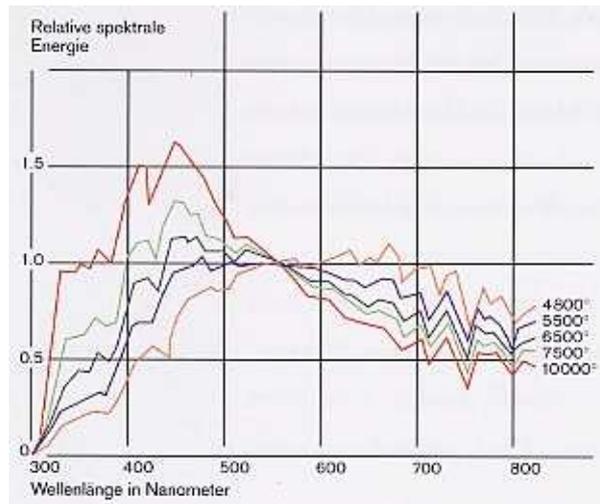
Insbesondere Museen und Ausstellungshallen stellen an die lichttechnische Versorgung in Bezug auf die Quantität und Qualität sehr hohe Anforderungen. Ein Museum stellt als Zentrum für Kunst und Kultur einen hohen Stellenwert in unserer Gesellschaft dar. Die zentrale Aufgabe besteht darin, den Besuchern einen unverfälschten und möglichst natürlichen visuellen Zugang zu kunst- und kulturhistorisch bedeutenden Artefakten zu ermöglichen.

Man geht heute davon aus, dass ca. 80%-90% aller Sinneseindrücke über unser Sinnesorgan, den Augen, aufgenommen werden. Die Besucher müssen somit in die Lage versetzt werden, über ihre eigene visuelle Wahrnehmung möglichst viele Informationen aufnehmen und verarbeiten zu können. Gerade diese Art der Aufnahme, einzelner für das Verständnis der musealen Objekte wichtigen Qualitätsmerkmale, müssen in einer für den Betrachter entspannten Gemütsphase erfolgen. Skulpturen gehören in Verbindung mit ihren dreidimensionalen Außenflächen und in Bezug auf Ihren Präsentationsrahmen zu den anspruchsvollsten Ausstellungsobjekten.

Hier kommt dem Medium Licht eine zentrale Rolle zu. Als oberstes Ziel ist hierbei eine maximale Optimierung der Sehleistung zu nennen. Betrachten wir die menschliche Entwicklungsgeschichte, so liegt es nahe, unser Augenmerk zunächst auf das Tageslicht zu lenken.

2.1.1 Tageslichtspezifische Eigenschaften

Das Tageslicht ist für den Menschen eine lebenswichtige und zugleich sehr vertraute Lichterscheinung. Nur das Tageslicht weist das für eine möglichst naturgetreue Abbildung notwendige breite Tageslichtspektrum auf.



/1/ Tages- und jahreszeitliche Schwankungen der spektralen Zusammensetzung des Tageslichts

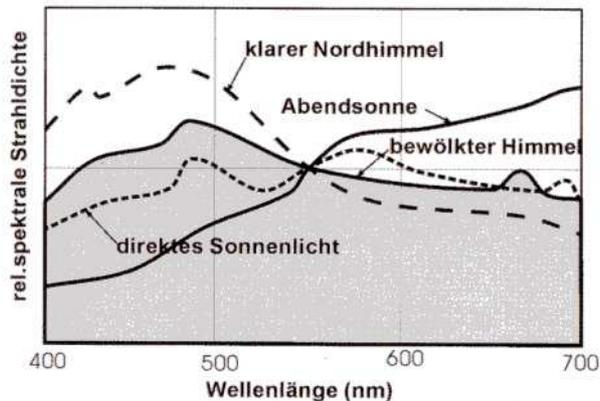
Bei einem Vergleich von Tageslicht und Kunstlicht fällt auf, dass beide Lichtarten durch die jeweils gleichen charakteristischen Komponenten beschrieben werden können. Dennoch besitzt allein das Tageslicht die individuelle Eigenschaft, dass alle vorhandenen Komponenten einem ständigen Wandel unterliegen.

So verfügt die Strahlungsintensität der Sonnenstrahlung je nach aktuell vorherrschenden atmosphärischen Bedingungen über einen ständigen Wandlungsprozess, der sich auch auf die Strahlungseigenschaften auswirkt. Auslöser für den Beginn eines solchen Wandlungsprozesses kann z.B. ein sich änderndes Wettergeschehen in Verbindung mit einer starken Wolkenbildung sein. In diesem Fall werden nur noch 10-5 % des ursprünglichen Helligkeitspotentials die Erdoberfläche erreichen. Ein klarer Himmel hingegen ermöglicht einen primären Lichteinfall mit einem Helligkeitswert von bis zu 100.000 Lx. Zudem verursachen Reflexionsvorgänge einfallender Sonnenstrahlung durch die Erdoberfläche eine erhebliche Variantenbildung optischer Erscheinungen.

Als Folge sich ständig ändernder Strahlungseigenschaften verfügt auch die Schattenausbildung über eine erhebliche Bandbreite. So bewirkt eine rein parallel strahlende Sonneneinstrahlung einen harten und kontrastreichen Schattenwurf. Führt hingegen die atmosphärische Konstellation zu einer stark diffusen Lichtausbreitung, so muss man mit einem nahezu schattenlosen Erscheinungsbild rechnen.

Des Weiteren stellt die spektrale Zusammensetzung eine weitere Komponente dar, wenn es darum geht, eine Lichtquelle näher zu charakterisieren. Das ursprüngliche Strahlenspektrum der Sonne wird bereits auf dem Weg zur Erde durch Filterungsprozesse und Lichtbrechung in seiner Zusammensetzung verändert. So durchläuft das Sonnenlichtspektrum mit seinem ursprünglichen Blau-Grünen-Hochenergiebereich einen Wandlungsprozess hin zu der allgemein vertrauten Tageslichterscheinung mit Ihrem Gelb-Grünen-Hochenergiebereich. Ein weiterer Grund für eine variierende spektrale Zusammensetzung beruht auf der Erddrehung. Nähert sich die un-

tergehende Sonne dem Horizont, so bewirkt ein deutlicher Anstieg des Langwelligen Lichtanteils eine Rotfärbung des wahrnehmbaren Tageslichtes.



/2/ Unterschiedliche spektrale Zusammensetzungen des Tageslichts in Abhängigkeit von Tageszeit, Himmelsrichtung und Bewölkungsgrad

Die Beleuchtungsstärke ist ein weiteres wichtiges Kriterium, mit der sich eine Lichtquelle beschreiben lässt. In den meisten Fällen wird die jeweils vorherrschende Beleuchtungsstärke in horizontaler und vertikaler Ebene gemessen. Aufgrund der bereits beschriebenen natürlichen Dynamik des Tageslichtes, ist auch die Beleuchtungsgröße keine einheitlich konstante Größe. So stellt sich bei einer sonnigen Wetterlage ein relativ ausgewogenes Verhältnis zwischen der horizontalen und vertikalen Beleuchtungsstärke ein. Mit zunehmender Neigung des Sonnenstandes in Richtung Horizont nimmt die vertikale Beleuchtungsstärke zu, während die horizontalen Messwerte absinken. Ein vollständig bedeckter Himmel bewirkt diese Sonnenstandsabhängigen Verschiebungen der Beleuchtungsstärken nicht. Wie vieles in der Natur ist auch die Wetterlage und der damit verbundene Bewölkungsgrad des Himmels nie exakt vorhersagbar. Aus diesem Grund sind Wetterkonstellationen durchaus denkbar, bei denen sich sehr hohe Helligkeitsdifferenzen auf eng begrenzten Territorien begegnen.

Die natürliche Eigendynamik des Tageslichtes ermöglicht also, in Bezug auf das visuelle Erscheinungsbild eines Ausstellungsobjektes eine Vielzahl weiterer Facetten. Entscheidend hierbei ist, dass die wesentlichen individuellen Charaktereigenschaften der Ausstellungsobjekte in Ihrer zentralen Aussage unverfälscht bleiben. Diese, nur unter möglichst unbehandeltem Tageslicht eintretenden Wahrnehmungsvariationen sind für den Betrachter als deutlicher Informationszuwachs zu werten. Die natürliche Eigendynamik des Tageslichtes ermöglicht somit einen direkten Vergleich zu Objekten unter freiem Himmel. „Der Wechsel der globalen und partiellen Leuchtdichtekontraste erfolgt im sekundären Tageslicht nur graduell, womit keine Verfälschung des Aussehens, sondern lediglich verschiedene Spielarten des Erscheinungsbildes hervorgebracht werden“¹

Jede Lichtstrahlung wird in erster Linie über seine individuelle physikalische Zusammensetzung charakterisiert. Gleichzeitig muss darauf hingewiesen werden, dass dieses so genannte Primärlicht für den Betrachter an sich unsichtbar ist. Es ist also zwingend nötig, zwischen dem unsichtbaren Primärlicht und dem für einen Betrachter wahrnehmbaren Sekundärlicht zu differenzieren. Lediglich die durch z.B. eine Skulpturenoberfläche modulierte und anschließend als reflektiertes Sekundärlicht zurückgeworfene Lichtmenge ist für den Betrachter wahrnehmbar. Alleine die individuelle Oberflächencharakteristik einer ausgestellten Skulptur ermöglicht somit aufgrund ihrer spezifischen Helligkeitsverteilungen das Wahrnehmen räumlicher Formen und Strukturen. „Wahrnehmung ist deswegen nichts anderes als Informationsaufnahme.“²

2.1.2 Kunstlichtspezifische Eigenschaften

Kunstlicht weist gegenüber Tageslicht einige grundlegende Unterschiede auf. Der erste auffälligste Unterschied besteht darin, dass Kunstlicht nicht über die natürlich dynamische Wandelbarkeit des Tageslichtes verfügt. Kunstlicht ist in seiner Lichtquellencharakteristik sehr starr.

Der heutige Stand der Beleuchtungstechnik schafft die Voraussetzungen, eine möglichst tageslichtnahe Beleuchtungssituation zu verwirklichen. Eine der zentralsten und zugleich wichtigsten Fragen lautet: „welches Licht und wie viel benötigt man für die Umsetzung einer anstehenden lichttechnischen Aufgabe. Es muss darauf geachtet werden, dass am Ende eines Planungsprozesses ein in sich stimmiges Lichtmilieu erreicht wird.

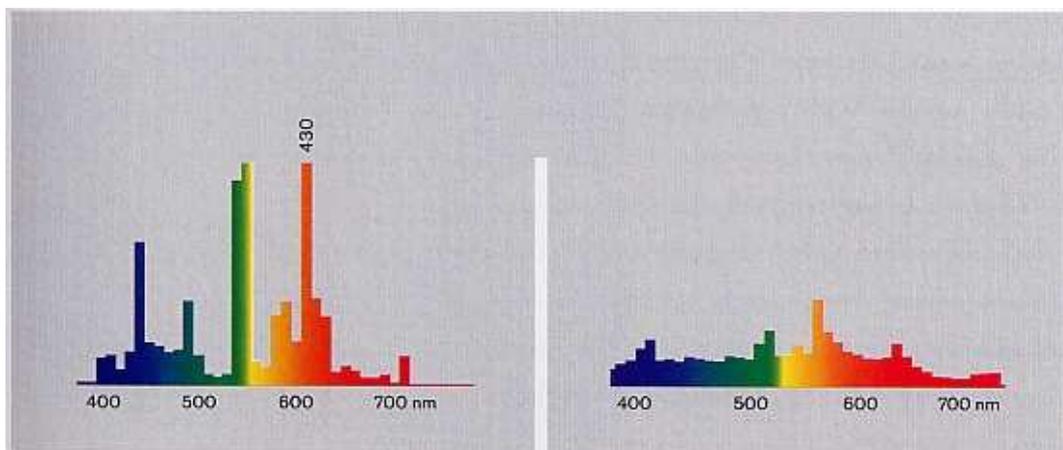
Wie auch im Bereich des Tageslichtes emittiert eine Kunstlichtquelle primäres Licht, welches von einem Betrachter nicht wahrgenommen werden kann. Erst ein Modulationsprozess in Form von Reflektion, Absorption und Transmission wandelt das auf eine Objektoberfläche auftreffende unsichtbare Primärlicht in Sichtbarmachendes Sekundärlicht um.

Der Modulationsprozess selbst besteht aus einem Zusammenspiel verschiedener kunstlichttechnischer Rahmenbedingungen. So ist die Art der verwendeten Kunstlichtquelle und der damit verbundenen Strahlungsart eine wesentliche Komponente. Ebenfalls spielt die eigentliche Form der Kunstlichtquelle eine entscheidende Rolle. Ein weiterer zu nennender Punkt ist die Höhe der Eigenleuchtdichte der verwendeten Kunstlichtquelle. Abschließend muss im Hinblick auf ein in sich stimmiges Lichtmilieu noch die jeweilige Farbtemperatur und die spektrale Verteilung berücksichtigt werden.

2.1.2.1 Einsetzbare Kunstlichtquellen

Wird für eine bestimmte Beleuchtungsaufgabe z. B. eine Leuchtstofflampe als Kunstlichtquelle ausgewählt, so verfügt man in der Regel über eine ausreichend hohe Lichtmenge von ca. 100 lm/W mit einer durchschnittlichen Lebensdauer von 7000 Betriebsstunden.

Über die Veränderbarkeit des Lichtmengenangebotes und der jeweils frei einstellbaren Umrissgeometrie der beleuchteten Fläche kann auf die jeweilige Beleuchtungssituation gut eingegangen werden. Zudem besteht die Möglichkeit, einer Anpassung an bestimmte Tageslichtsituationen. Ein direkter Eingriff in die Leuchtdichtecharakteristik ist allerdings nicht möglich. So ist auch die Qualität der Farbwiedergabe durch die Wahl der Kunstlichtquelle über deren gleich bleibende spektrale Zusammensetzung vorgegeben.



/3/ Spektrale Strahlungsverteilung einer Entladungslampe (Powerstar, rechts) und einer L-Lampe (Osram Lumilux, Lichtfarbe 21-850: hellweiß, links)

Im Wesentlichen kommen Leuchtstofflampen zum Einsatz, wenn eine allgemeine Raumbelichtung gewünscht wird, die über eine horizontal wie vertikal gleichmäßige Lichtverteilung verfügen soll. Auf eine spezielle Akzentuierung einzelner Raum- oder Objektbereiche wird bewusst verzichtet. Eine sich daraus ergebende Schattenarmut und fehlende Brillanz ist gewollt.

Insbesondere bei der Beleuchtung von dreidimensionalen Ausstellungsstücken wie Kunstskulpturen kommen so genannte Engstrahlende Kunstlichtquellen zum Einsatz. In der Regel sind dies Halogen-Metaldampflampen. Eine Verbesserung der Lichtausbeute und Farbwiedergabe ist dadurch mit über 90 lm/W bei einer Lebensdauer von 6000 Betriebsstunden möglich.

Ihr auffälligstes Merkmal ist eine sehr kleine, punktförmige Lichtquelle mit einer sehr hohen Leuchtdichte. Die Höhe dieser Eigenleuchtdichte kann mit 16 Mio. cd/m² angegeben werden. Aufgrund dieser hohen Leuchtdichte ist eine optimale Objektmodula-

tion möglich. Dies bezieht sich vor allen auf eine hervorragende räumliche und brillante optische Inszenierung einer Kunstskulptur mit einem einhergehenden ausdrucksstarken Schattenwurf.

Dieses Kunstlichtsystem ermöglicht es, sehr große Helligkeitspotentiale über größere Entfernungen zu transportieren. Dies ist insbesondere im Bereich von Museen und Ausstellungshallen von entscheidender Wichtigkeit. In Bezug auf Ihre spektrale Beständigkeit und Ihre hervorragende Farbwiedergabe setzt die Halogen-Metaldampflampe Maßstäbe. Über den Ausstrahlungswinkel oder den Lichteinfallswinkel sowie einer Justierung der einstrahlenden Lichtmenge ist eine zusätzliche individuelle Abstimmungsmöglichkeit in Bezug auf das Ausstellungsobjekt möglich. So können bereits sehr kleinflächige Reflektoren als Umlenksysteme eingesetzt werden. Es muss allerdings darauf geachtet werden, dass aufgrund der sehr hohen Eigenleuchtdichte jegliche Art von Blendung unterbunden wird.

Ein Ausstellungsbesucher wird somit in die einmalige Lage versetzt, räumliche Objektqualitäten möglichst authentisch und unverfälscht visuell aufzunehmen und zu verarbeiten. Obwohl mit dieser Kunstlichttechnik ein sehr plastisches und prägnantes Erscheinungsbild einer ausgestellten Skulptur erreicht werden kann, muss dennoch auf einen verbleibenden Unterschied zum Tageslicht hingewiesen werden.

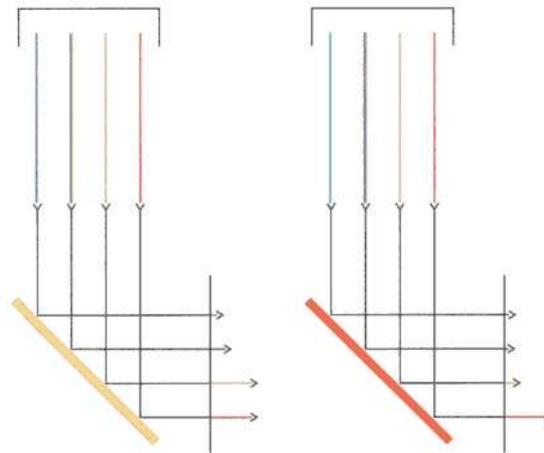
Trotz einer hervorragender Inszenierung, in Form eines sehr aussagefähigen Erscheinungsbildes einer Kunstskulptur, muss somit auf eine ausschließlich dem Tageslicht zuzuordnende natürlichen Dynamik verzichtet werden. Der Betrachter wird zwar mit einer aussagekräftigen visuellen Erscheinung belohnt, muss aber aufgrund eines fehlenden natürlichen Wandlungspotentials des Kunstlichtes vorwiegend dessen Konstanz akzeptieren.

Eine reine Kunstlichtversorgung ist nur insoweit zu einer strukturellen Ausdrucksgebung in der Lage, wie es die individuellen spezifischen Eigenschaften der Kunstlichtquelle zulassen. Streng genommen wäre eine je nach Ausstellungsobjekt abgestimmte Kunstlichtversorgung notwendig.

2.1.2.2 Farben und Farbwiedergabe

Mit dem Einsatz von Kunstlicht muss insbesondere der Forderung nach einer möglichst authentischen und unverfälschten Farbwiedergabe entsprochen werden. Farberscheinungen besitzen einen hohen Wiedererkennungswert und verfügen über große emotionale Eigenschaften. Eine Farbe rot ist an sich nicht existent. Allein der Einsatz einer bestimmten Kunstlichtquelle und die individuellen Materialeigenschaften einer zu beleuchtenden Skulptur entscheiden über eine sich einstellende Farbwahrnehmung durch einen Betrachter.

So fällt ein durch eine Kunstlichtquelle erzeugtes Lichtspektrum auf die Skulpturoberfläche und wird infolge Reflektion und Absorption in seiner Wellencharakteristik verändert. Entscheidend für den finalen Farbeindruck ist also demnach das Zusammenspiel zwischen den materialtypischen Remissionseigenschaften der ausgestellten Skulptur und der tatsächlichen spektralen Zusammensetzung des einfallenden primären Kunstlichts.



/4/ Farbwiedergabe von Gegenständen

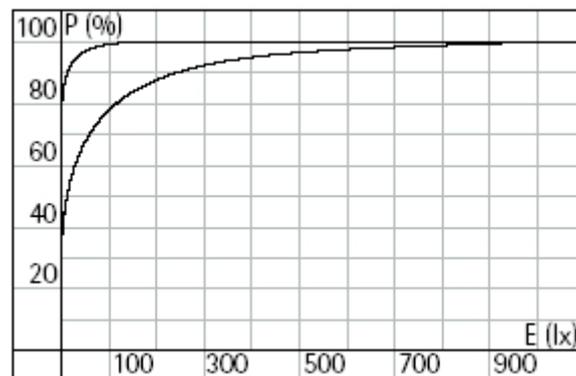
Für das Zustandekommen eines Farbeindruckes sind also zwei Hauptkomponenten verantwortlich. Zum einen die auszuleuchtende Kunstskulptur und zum anderen die ausgewählte Kunstlichtquelle. Während die ausgestellte Skulptur ausschließlich durch das verwendete Material und dessen individueller Oberflächencharakteristik geprägt und somit lichttechnisch unveränderbar ist, bewirkt eine mögliche Veränderung der spektralen Zusammensetzung und einer damit verbundenen Farbtemperatur des Primärlichteinfalls einen jeweils anderen Farbeindruck.

2.1.3 Quantitative Lichtbetrachtungen

Ein wichtiges Thema stellt die Frage nach der erforderlichen Lichtquantität dar. Um eine gestellte Sehaufgabe mit der nötigen Aufmerksamkeit seitens des Betrachters visuell aufnehmen zu können, bedarf es einer angemessenen Quantität an Licht. Durch die Aufteilung in so genannte sehrelevante Elemente wird die Sehaufgabe näher definiert. Ein Ausstellungsraum, dessen Hauptaufgabe die optimale Präsentation von Kunstskulpturen ist, hat in Bezug auf die eigentliche Sehaufgabe spezielle Teilelemente aufzuweisen.

Sehrelevant ist zum einen die reale Größe der ausgestellten Skulpturen. Die Skulptur selbst ist also das Sehobjekt, welches es zu erkennen gilt. Ein weiteres wichtiges Teilelement ist die erforderliche Leuchtdichte und der notwendige Kontrast gegenüber dem vorhandenen oder geplanten Hintergrund. Als letztes Teilelement der Sehaufgabe wäre noch die Ausstellungsdauer zu nennen.

Im Rahmen der DIN EN 12464-1 gilt die fehlerfreie und schnelle Absolvierung einer Sehleistung als bestimmendes Maß für die Beurteilung einer Beleuchtungssituation, die im Wesentlichen über die eingesetzte Beleuchtungsstärke geprägt wird. Betrachtet man den Zusammenhang zwischen einer geforderten Sehleistung und der Beleuchtungsstärke ist festzustellen, dass mit dem Ansteigen der Beleuchtungsstärke die Sehleistung ebenso zunimmt. Nähert sich die Beleuchtungsstärke einem Wert von ca. 1000 Lux an, so ist allerdings nur noch ein sehr langsamer Anstieg der Sehleistung zu verzeichnen. Ein weiterer Anstieg der Beleuchtungsstärke mit der Folge erster Blenderscheinungen markiert einen Wendepunkt, an dem die Sehleistung wieder abnimmt.



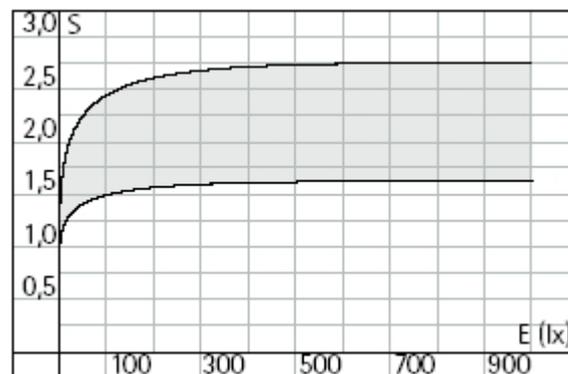
/5/ Einfluss der Beleuchtungsstärke „E“ auf die relative Sehleistung „P“ als einfache (obere Kurve) und schwierige Sehaufgaben (untere Kurve).

Grundsätzlich reicht eine schon geringe Beleuchtungsstärke aus, um Sehaufgaben leichterem Schwierigkeitsgrades, aus visueller Sicht, optimal zu bewältigen. Für komplizierte Sehaufgaben werden aber dementsprechend hohe Lichtmengen benötigt. Betrachtet man die Bandbreite, in der sich die Werte der Beleuchtungsstärken bewegen, so fällt auf, dass bereits bei einer Untergrenze von 20 Lux, die Gesichtszüge eines Menschen gerade noch zu erkennen sind. Im Allgemeinen bestimmen die Größe der Sehaufgabe und deren Kontrast zum Umfeld die einzusetzende Beleuchtungsstärke. Gleichzeitig muss darauf hingewiesen werden, dass gerade sehr kleinteilige und kontrastarme Sehaufgaben sehr hohe Lichtmengen benötigen.

Bestimmte Merkmale einer Skulptur entscheiden letztendlich über das Schwierigkeitspotential als Sehaufgabe. So fordert ein flächenmäßig eher größerer Bereich an Detailinformationen eine höhere Sehleistung. Ein weiterer zu nennender Punkt ist die Größe des existierenden Kontrastes zwischen Skulptur und Hintergrund. Muss eine Skulptur, aufgrund ihres großen Informationsreichtums von einem Betrachter über eine längere Verweildauer visuell in Augenschein genommen werden, so ist die dafür geforderte Sehleistung höher anzusetzen. Verfügt die Skulptur als Sehaufgabe, aufgrund der eingesetzten Beleuchtungsstärke über eine hohe Leuchtdichte, ist gerade die für die Erkennung kleiner Details nötige Sehleistung als überdurchschnittlich hoch einzustufen.

In der DIN EN 12464-1 werden z.B. für Messen und Ausstellungshallen ein Wert für die mittlere Beleuchtungsstärke von $E_m = 300 \text{ Lx}$ vorgeschrieben. Die angegebenen Werte verstehen sich als Mindestanforderungen, der in den Räumlichkeiten herrschenden Lichtquantitäten, welche nicht unterschritten werden dürfen. Es handelt sich hierbei um so genannte Wartungsleuchtstärken. Für Ausstellungsräumlichkeiten in Museen werden auch im Rahmen der ab März 2003 gültigen DIN EN 12464-1 keine Angaben in Bezug auf eine Mindesthöhe der Beleuchtungsstärke angegeben. Es wird darauf hingewiesen, dass die benötigte Beleuchtungsstärke von den jeweils vorherrschenden Anforderungen vor Ort abhängig ist.

Eine weitere entscheidende visuelle Kenngröße, um die Sehleistung näher zu beschreiben, ist die Sehschärfe. So steht die Sehschärfe in direktem Zusammenhang mit der jeweils in dem Ausstellungsraum eingesetzten quantitativen Lichtmenge.



/6/ Einfluss der Beleuchtungsstärke „E“ auf die Sehschärfe „S“ normalsichtiger Beobachter

2.1.4 Lichtkonzepte

Das zu einem bestimmten architektonischen Innenraumkonzept entwickelte Lichtkonzept ist für dessen visuelles Erscheinungsbild von entscheidender Bedeutung. Lichtkonzepte können sich auf die ausschließliche Verwendung von Tageslicht oder Kunstlicht beziehen. Eine Kombination von Tages- und Kunstlicht wird, soweit dies möglich ist, angestrebt.

Eine Beleuchtung ausschließlich mit Tageslicht kann auch als subtraktiver Beleuchtungsprozess verstanden werden. In diesem Fall erreicht nur ein sehr kleiner Teil des tatsächlich zur Verfügung stehenden Tageslichtangebotes das Rauminnere. Ein rein auf Kunstlicht ausgerichtetes Lichtkonzept kann demnach als ein rein additiver Beleuchtungsprozess interpretiert werden. Das gesamte Kunstlicht, welches auf Grundlage des Beleuchtungskonzeptes benötigt wird, hat seine Ursprungsquelle im Inneren des Raumes.

Ferner besteht die Möglichkeit, die verschiedenen Lichtkonzepte dahingegen zu unterscheiden, in dem man eine erste Trennung zwischen horizontalen oder vertikalen

Lichteintrag setzt. Diese Art der Differenzierung erlaubt es, die Zahlreichen realisierten Lichtkonzepte besser und übersichtlicher im Hinblick auf Ihre Wirkungen zu vergleichen.

So verfügt die Gruppe der Seitenlichtkonzepte über eine erhebliche Variantenvielfalt, bei der die Position und Größe der Seitenwandöffnung eine entscheidende Rolle in Bezug auf die zu erwartende Lichtverteilung im Innenraum spielt. Es ist demnach entscheidend, ob eine seitliche Wandöffnung knapp über der Bodebooberkannte, mittig oder unterhalb der Deckenunterseite positioniert ist. Bei genauerem Vergleich realisierter Seitenlichtkonzepte fällt auf, dass sich zwischen den rein seitenlichtgeprägten Konzepten und den oberlichtgeprägten Konzepten ein Übergangsbereich gebildet hat, in dem eine einwandfreie Zuordnung nicht mehr klar zu definieren ist. So gewinnen Seitenlichtkonzepte ihren Lichtanteil über einen vertikal angeordneten Lichtschacht im Bereich des oberen Raumabschlusses. Des Weiteren können Seitenlichtkonzepte über einen atelierartigen Lichteintrag von schräg oben verfügen.

Die Gruppe der Oberlichtkonzepte beinhaltet ebenfalls zahlreich realisierte Ausführungsbeispiele. So hat auch bei den Oberlichtkonzepten die Positionierung der einzelnen Deckenöffnungen einen erheblichen Einfluss auf die sich ergebende Lichtausbreitung. Größe, Anzahl und Position der Deckenöffnungen richten sich nach der jeweiligen Raumform und Raumvolumen. Zusätzlich spielt die spätere Nutzung eine entscheidende Rolle. Die Lage der Positionierung erstreckt sich von einer zentralen, mittigen Anordnung kleinerer bis größerer Deckenausschnitte, bis hin zu einer individuellen Verteilung einzelner Deckenaussparungen. Wie auch bei den Seitenlichtkonzepten existieren auch bei den Oberlichtkonzepten Variationen, bei denen der eigentliche Lichteinfall seitlich erfolgt. Für den Betrachter mag der tatsächlich empfundene Lichteintrag vertikal sein, obwohl der primäre Lichteintrag seitlich erfolgt.

2.1.5 Aufgaben lichttechnischer Konzeptionen

Eine der zentralsten Fragen der Lichtplanung richtet sich an die eigentlich Absicht, die mit einem Lichtkonzept verfolgt werden soll. So besteht eines der vorrangigsten Ziele darin, den eigentlichen Nutzungsschwerpunkt eines Innenraumes heraus zu kristallisieren. In Folge dessen muss der Fokus eines zu realisierenden Lichtkonzeptes darauf gerichtet sein, in wie weit der vorgesehene Nutzungsablauf bestmöglich umgesetzt und optimiert werden kann. Geht man von einem musealen Ausstellungsraum oder einer Ausstellungshalle für Skulpturen aus, so liegt der Nutzungsschwerpunkt in einem visuellen Studium ausgestellter Skulpturen. Das heißt, dass der einzelne Betrachter in die Lage versetzt werden muss, die präsentierten Aufstellungsobjekte in einer möglichst störungsfreien Symbiose aus Licht und Raum zu erleben.

Eine weitere Aufgabe der lichttechnischen Konzeption liegt darin, architektonische Raumqualitäten in Ihrer visuellen Präsenz hervorzuheben und somit dem Raum ein klares und geordnetes Erscheinungsbild zu verleihen. Des Weiteren ermöglicht ein

wohl durchdachtes Lichtkonzept einem Betrachter eine schnelle und unkomplizierte Orientierung innerhalb der Ausstellungsräume. Dazu zählen insbesondere die einzelnen Verbindungsmöglichkeiten der Räumlichkeiten untereinander sowie die für den Ausstellungsablauf gedachte Abfolge einzelner Stationen im Rahmen der visuellen Betrachtung. Da die vorgesehenen Lichtöffnungen in den Wand- und/oder Deckenbereichen das Erscheinungsbild des Raumes maßgeblich mitbestimmen, müssen diese frühzeitig, bereits während der architektonischen Entwurfsplanung, im Hinblick auf ein harmonisches Raumbild, mit einbezogen werden. Infolge der eigenen zum Teil sehr großflächigen Ausführungen wie z.B. bei Lichtdecken, muss berücksichtigt werden, dass Lichteinlässe über eine eigene, visuelle Präsenz verfügen.

Das Zusammenspiel aus dem eigentlichen Raumvolumen, der Raumhülle und dem Lichtkonzept bewirkt durch eine Verschmelzung ein finales Erscheinungsbild. Geht man davon aus, dass das ursprünglich einmal konzipierte Raumvolumen in seiner späteren Wandelbarkeit sehr statisch ist, so verbleiben für eine grundlegende Veränderung der Raumerscheinung nur die Hüllflächen oder das Beleuchtungskonzept übrig.

Da die inneren Hüllflächen eines Raumes permanent als Sekundärstrahler fungieren, bewirkt eine Steigerung oder Absenkung der Beleuchtungsstärke ein jeweils anderes Erscheinungsbild. So kann eine Absenkung des Beleuchtungsniveaus zur Bildung von Schattenzonen führen, die auf einen Betrachter den visuellen Eindruck eines sich verkleinernden Raumvolumens ausüben. Durch eine individuelle und örtlich sehr begrenzte lichttechnische Akzentuierung wird zudem der Raum in einzelne Zonen unterteilt. So besteht die Möglichkeit bestimmte Raumzonen mit Hilfe der Beleuchtung eher in den Hintergrund treten zu lassen, oder infolge einer höheren Beleuchtungsstärke in den Vordergrund zu rücken.

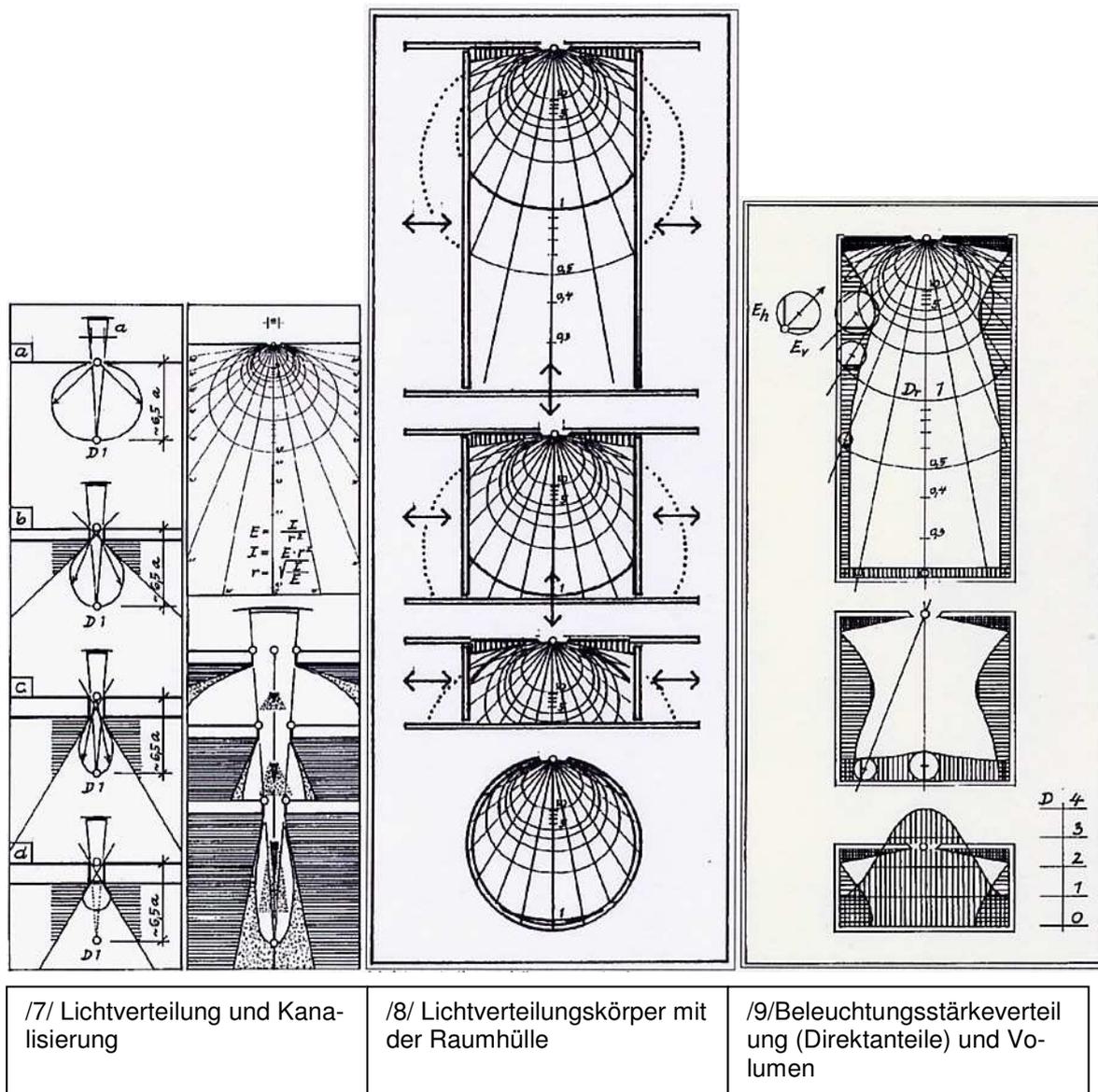
Nicht nur Raumzonen sondern auch das Raumvolumen selbst kann durch den gezielten Einsatz mit Licht einen Ausstellungsraum horizontal oder vertikal schichten. Da stets darauf geachtet werden muss, dass der eigentliche visuelle Ablauf und die damit verbundene Ideallinie durch die Ausstellung möglichst eindeutig erkennbar ist, darf die eingesetzte Lichtverteilung keine sperrende Wirkung in Bezug auf diesen Streckenverlauf haben. Genauer gesagt, darf der Weg zu einer, diese Ideallinie folgende Skulptur, nicht durch eine ausgeprägte Schattzone psychologisch versperrt werden.

Um die Aufmerksamkeit eines Betrachters auf einem möglichst hohen Niveau zu halten bedarf es einem wohl dosierten Gleichgewicht aus einer eintönigen visuellen Gleichförmigkeit und einer unangemessenen inszenierten Dramatik. Es sollte im Rahmen eines Lichtkonzeptes immer darauf geachtet werden, dass der eigentliche Zweck, die Betrachtung von Skulpturen, unter den visuell bestmöglichen Bedingungen erfolgen kann.

2.1.6 Lichtverteilung im Innenraum

Eine ausreichende Lichtverteilung innerhalb eines Raumes ist eines der grundlegendsten Voraussetzungen für eine lichttechnische Inszenierung auszustellender skulpturaler Objekte. Allen Lichtverteilungsaufzeichnungen liegt ein gleichmäßig bedeckter Himmelszustand zu Grunde. Um den tatsächlichen Verlauf der Lichtverteilung aussagekräftig darzustellen empfiehlt es sich, den Tageslichtquotienten „Dr“ als radiale Mantellinie aufzuzeichnen. Der Verlauf einer Mantellinie zeigt, in welchem Abstand zum Mittelpunkt der Lichteintrittsöffnung, der Tageslichtquotient einen stets konstanten Wert aufweist. Die jeweils in exponentialen Abständen verlaufenden Mantellinien geben die Form des jeweils individuellen Lichtverteilungskörper an.

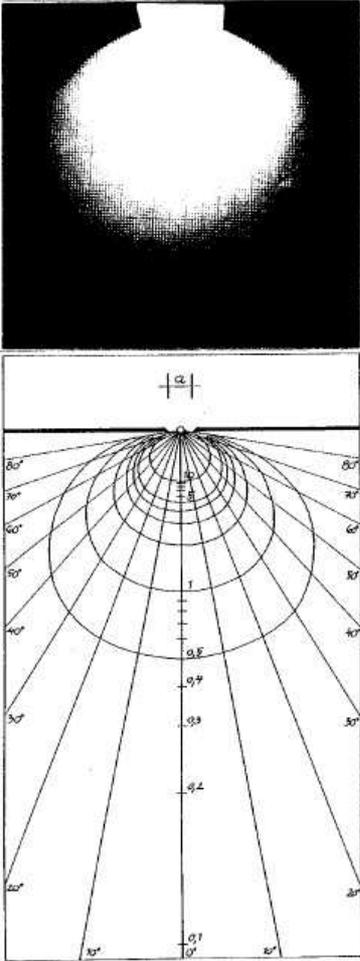
Der Tageslichtquotient entspricht dem numerischen Wert 1 in einem Abstand zum Mittelpunkt der Lichteintrittsöffnung von der ca. 6,5-fachen Seitenlänge einer quadratischen Deckenöffnung. Betrachtet man den Verlauf des Tageslichtquotienten bei Lichteintritt durch eine Öffnung in der Decke, so ist festzustellen, dass je nach Ausführung der Deckenöffnung der sich ergebende Tageslichtquotientenverlauf einen deutlich anderen Verlauf markiert. Die Beobachtung zeigt, dass mit zunehmender Deckenstärke eine deutlich sichtbare Einschnürung der Mantellinien stattfindet. Die graphischen Darstellungen verdeutlichen, dass die maximale Tiefe des einfallenden Lichtes immer konstant bleibt. Der zur Verfügung stehende Lichteinfallswinkel reduziert sich mit zunehmender Deckenstärke.



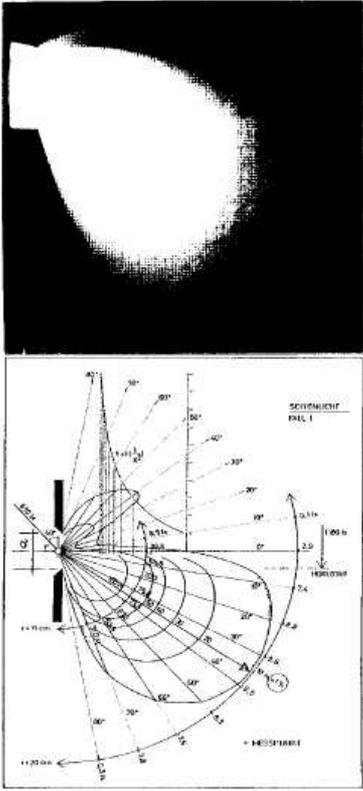
Da in den meisten Fällen die Innenwandformen der Räumlichkeiten mit den Lichtverteilungskurven nicht übereinstimmen, treffen die einzelnen Lichtstrahlen auf die Innenseiten der Raumflächen. Die Innenwandflächen reflektieren die einfallenden Primärlichtstrahlen und wandeln diese in Sekundärlicht um. Es tritt somit ein Modulationsprozess zwischen einfallendem und reflektiertem Licht ein. Mit einer Verringerung des Raumvolumens wird der Anteil des reflektierten Lichts erhöht, was zur Folge hat, dass die ursprünglich durch die Deckeneintrittsöffnung vorgegebene Lichtrichtung zunehmend in den Hintergrund gedrängt wird. Der diffuse Lichtanteil nimmt zu, während der Anteil an gerichtetem Licht abnimmt.

Über den Schnittpunkt der radial verlaufenden Kennlinien des Tageslichtquotienten mit der Innenraumhüllfläche, lassen sich die Beleuchtungsstärke und die Leuchtdichte, über die Kosinusfunktion an genau diesem Punkt berechnen. Die Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichteverteilung kann somit exakt ermittelt werden. Die jeweils berechnete Beleuchtungsstärke beinhaltet ausschließlich nur den Direktanteil. An der

Ausformung des Lichtverteilungskörpers kann eine erste Einschätzung über die tatsächliche Verteilungssituation der Innenraumhelligkeiten vorgenommen werden.



/10/ Oberlicht – Quasistationärer Lichtverteilungskörper



/11/ Seitenlicht – Quasistationärer Lichtverteilungskörper

2.2 Raum- und Skulpturoberflächen

Ein Raum wird im Wesentlichen durch seine ihn auskleidenden Materialien charakterisiert. Insbesondere bewirken starke Verschiedenartigkeiten der jeweils eingesetzten Materialien eine individuelle optische Raumerscheinung.

Durch die gezielte Verwendung authentischer Materialien, wie z.B. Natursteinen, kann durch deren Oberflächenerscheinung eine bewusste Materialhaftigkeit oder auch Authentizität des Innenraumes beim Betrachter erzeugt werden.

Auch bei dem Einsatz von Oberflächenmaterialien mit einer sehr auffälligen Oberflächenstruktur kann einem Raum die gewünschte optische Erscheinung gegeben werden. Hierzu zählen in erster Linie Oberflächenstrukturen, die z.B. auf die tragende Konstruktion eines Raumes hinweisen oder auf reliefartige Ausformungen, welche eine betont künstlerische Absicht unterstreichen.

Das gleiche gilt für den bewussten Einsatz von Farben im Innenbereich. Die eingesetzten Farbtöne können aus rein künstlerischen Überlegungen zum Einsatz gekommen sein, oder man möchte eine besondere Materialkombination mit deren natürlich vorhandener Farbgebung in Szene setzen.

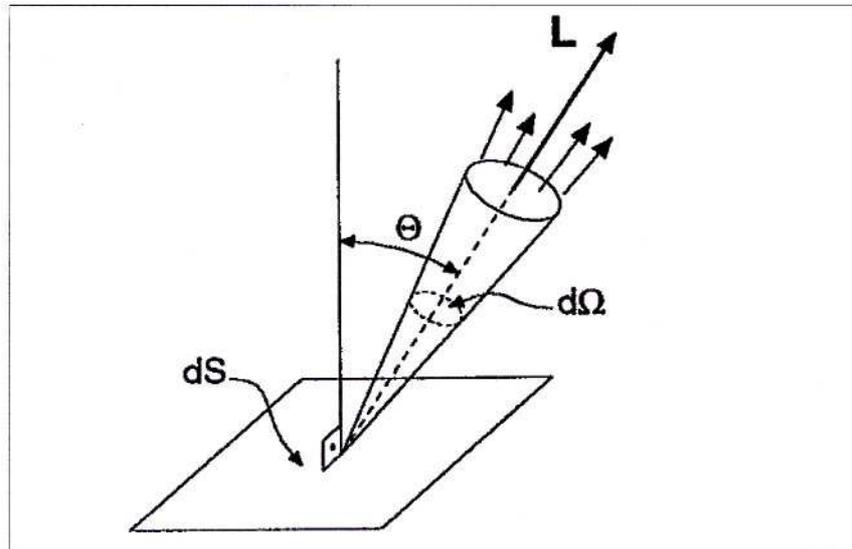
Eine weitere Möglichkeit, eine visuelle Raum- und Oberflächenwahrnehmung bewusst zu gestalten, kann in einer Transparenzwirkung liegen. Transparente Oberflächen und Materialien können z. B. Blickrichtungen in benachbarte Räumlichkeiten oder in Außenräume zulassen. In diesem Falle muss allerdings mit einem erheblichen Anstieg von Oberflächenreflexionen bis hin zu Totalreflexionen gerechnet werden.

Trotz aller Möglichkeiten, die bei der Gestaltung eines Ausstellungsraumes zur Verfügung stehen, muss das Hauptaugenmerk auf den eigentlichen inhaltlichen Zweck des Raumes gelegt werden.

Insbesondere bei Ausstellungsräumen für museale Exponate wie Skulpturen, muss der visuelle Fokus auf die auszustellenden Kunstskulpturen gerichtet werden. Die dem Betrachter präsentierte Raumszenerie hat die Aufgabe, eine detaillierte, visuelle Informationsaufnahme der ausgestellten Exponate zu gewährleisten.

Hier kommt der Auswahl von Oberflächenmaterialien eine entscheidende Schlüsselposition zu. Die für die innere Raumhülle eingesetzten Oberflächenmaterialien wandeln das einfallende Primärlicht infolge ihrer individuellen physikalischen Oberflächeneigenschaften durch Reflektion, Transformation und Absorption in Sekundärlicht um. Dieses oberflächenmodulierte Sekundärlicht ist für eine optimierte Informationsaufnahme von entscheidender Wichtigkeit.

Ausschließlich die infolge einer Materialoberfläche modulierte Sekundärstrahlung wird durch unser optisches System empfangen und als Helligkeit wahrgenommen. Dadurch sind die vorhandenen, räumlichen Oberflächen mit Ihren individuellen Reflexionscharakteristiken von entscheidender Bedeutung. Ausschlaggebende messbare lichttechnische Größe ist hier die Leuchtdichte.



/12/ Lichtstrom pro Raumwinkel pro Quadratmeter
(Lumen pro Steradian pro Quadratmeter)

Die Leuchtdichte ist das Ergebnis einer mathematischen Konstellation aus der in einem Raum herrschenden Beleuchtungsstärke „E“ und dem materialspezifischen Reflexionsgrad des jeweiligen Oberflächenmaterials. Die mathematisch exakte Formulierung lautet:

$$L = \rho \cdot E / \pi$$
 in cd / m²

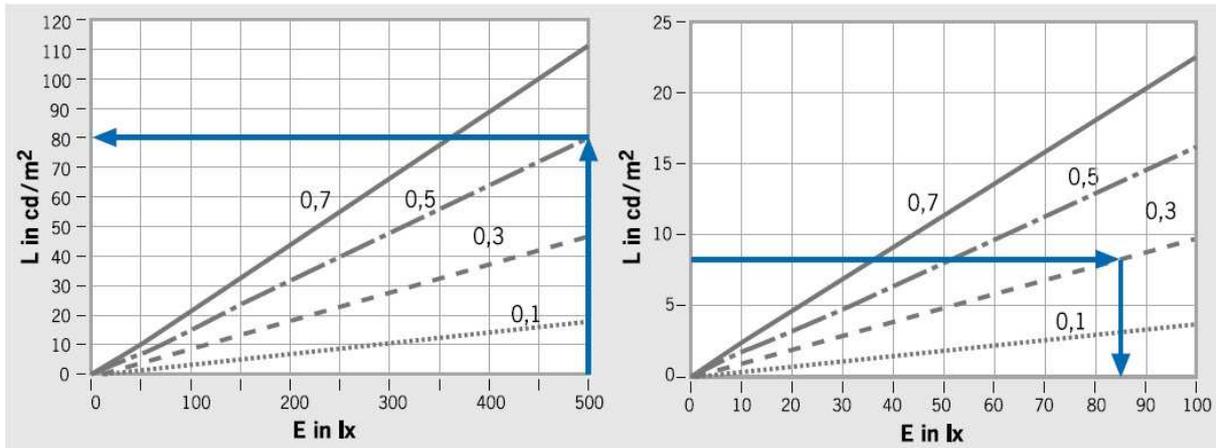
Dabei ist „E“ die Beleuchtungsstärke in Lux (lx) und „rho“ der Reflexionsgrad der zu betrachtenden Materialoberfläche.

Eine weitere mathematische Definition beschreibt den Zusammenhang zwischen der Lichtleistung und deren Lichtquelle als Ursprung.

$$E = \text{Lichtstrom} / A$$
 in Lux

Diese mathematischen Konstellationen zeigen, dass es einen direkten Zusammenhang zwischen der zu erzielenden Helligkeit und den Oberflächeneigenschaften der bestrahlten Oberfläche gibt. Die mathematischen Definitionen zeigen ebenfalls eine direkte Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke und der zu bestrahlenden Materialoberfläche auf. Es ist somit möglich, allein durch die gezielte Variation der Oberflächencharakteristiken, den Helligkeitseindruck zu beeinflussen. Die territorial gebundene

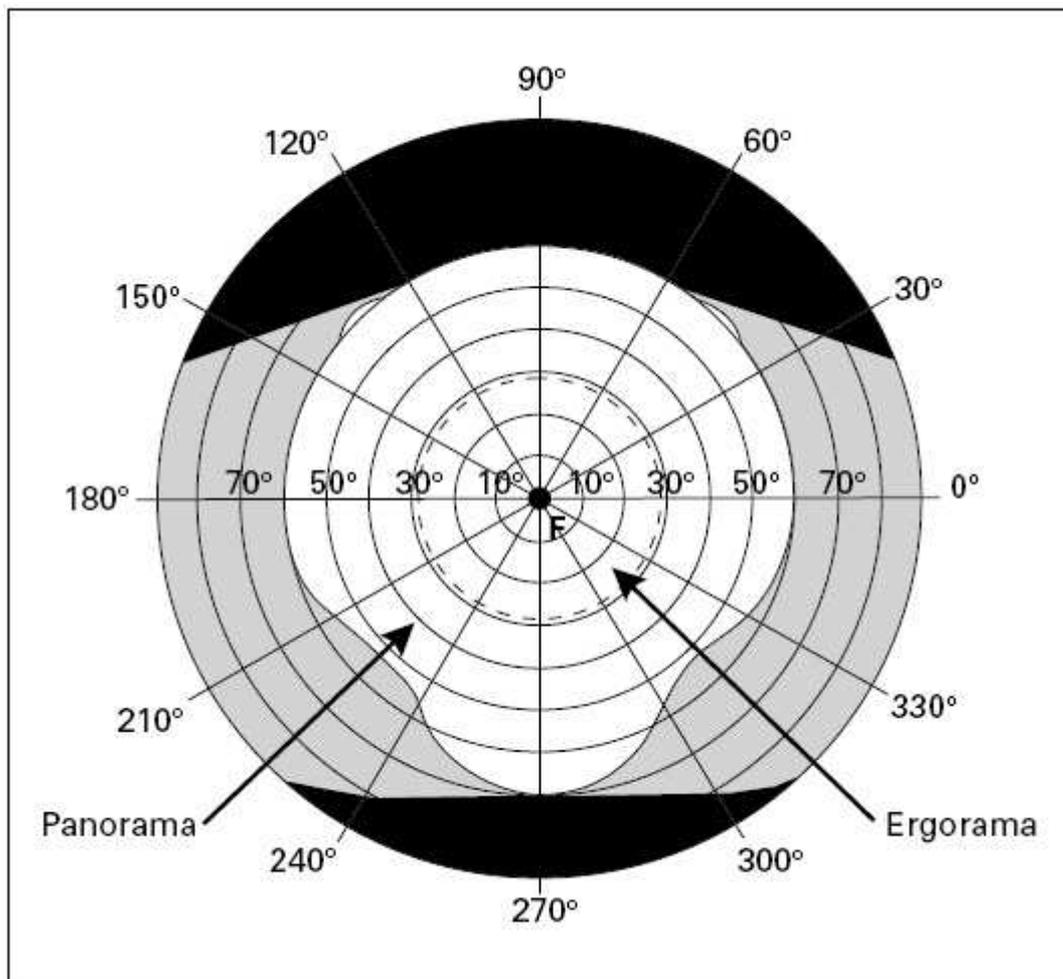
Lichtleistung einer Lichtquelle steht somit in einer direkten Verbindung mit der Helligkeitsausbeute im Rahmen einer diffusen Bestrahlung von Materialoberflächen. Zusammenfassend kann man sagen, dass die empfundene Helligkeit durch die beiden Komponenten von Beleuchtungsstärke und der Auswahl der Materialien steuerbar ist.



/13/ Grafiken zur Umrechnung von Beleuchtungsstärken „E“ in Leuchtdichten „L“ bei Reflexionsgraden von 0,7 bis 0,1.

Bei der Oberflächengestaltung eines Ausstellungs- oder Museumsraumes steht an erster Stelle die Frage nach der geplanten Funktion des Raumes und den daraus resultierenden Sehauflagen. Sämtliche Raumboflächen bestimmen mit Ihren materialtypischen Modellierungseigenschaften infolge Bestrahlung durch Primärlichteinfall die raumtypische Leuchtdichteverteilung. Für den Bereich der Wahrnehmungsphysiologischen und Wahrnehmungspsychologischen Leuchtdichtevoraussetzungen spielen die verschiedenen Leuchtdichtebereiche der Raum- und Skulpturoberflächen eine entscheidende Rolle.

Da der menschliche Sehapparat stets eine Helligkeitskonstanz verfolgt, müssen die Leuchtdichtebereiche der Raum- und Skulpturoberflächen einem bestimmten Bewegungsrahmen entsprechen. Die einzelnen, sich im Gesichtsfeld eines Betrachters befindlichen Leuchtdichtebereiche, dürfen in Bezug auf eine einzuhaltende Helligkeitskonstanz keine zu hohen Helligkeitsgegensätze aufweisen. „Eine ausgewogene, also in bestimmten Grenzen gehaltene Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld trägt ganz wesentlich zur Sehleistung und zum Sehkomfort bei.“³



/14/ Menschliches Gesichtsfeld

weiß: von beiden Augen gleichzeitig eingesehener Bereich

grau: nur von einem Auge eingesehener Bereich

F: Zentralbereich (Fovea, Netzhautgrube)

Betrifft ein Besucher einen Ausstellungsraum, so wird er von einer gewissen Grundhelligkeit empfangen. Dem Ablauf der Helligkeitskonstanz folgend adaptiert sein visuelles Wahrnehmungssystem auf eine allgemein vorherrschende mittlere Leuchtdichteerscheinung. Liegt die aktuelle Beleuchtungsstärke sehr hoch, so ist das dazugehörige Adaptionsniveau ebenfalls sehr hoch. Das heißt, dass auftretende Helligkeitsschwankungen infolge Oberflächenmodulationen für das visuelle System unmerklich bleiben.

Wird der Ausstellungsbesucher dagegen von einem sehr niedrigen Helligkeitsniveau empfangen, sinkt auch sein Adaptionsniveau und die Bandbreite, in der noch eine Helligkeitskonstanz erreicht werden kann, wird immer geringer. Eine Leuchtdichteerscheinung infolge Oberflächenmodulation, welche dem jeweiligen optimalen Adaptionsrahmen nicht entspricht, kann sehr schnell als Blenderscheinung störend wahrgenommen werden.

Nimmt der Betrachter eine bestimmte Kunstskulptur im Rahmen eines vorherrschenden allgemeinen Helligkeitsniveaus in Augenschein, so moduliert z.B. die Oberfläche einer Steinfigur das einfallende Licht mit seinen energetischen und spektralen Anteilen in Sekundärlicht um. Je nach Steinart und Oberflächenbeschaffenheit wird nun die ursprüngliche Primärstrahlung in eine tatsächlich visuell wahrnehmbare und somit informativ sichtbare Lichterscheinung transformiert. Die Oberflächenbeschaffenheit bestimmt die figürliche Erscheinung der ausgestellten Skulptur. Der gleiche visuelle Umwandlungsprozess setzt bei der Betrachtung eines visuell ausgewählten Wand- Decken- oder Bodenbereiches ein. So entscheidet der Einsatz von Oberflächenmaterialien und deren Kombination zueinander über den gesamten visuellen Raumeindruck. Jeder Ausstellungsraum erhält somit seine individuelle Raumszenarie.

Da die eigentliche Sehaufgabe unter möglichst optimalen Sehbedingungen ablaufen sollte, muss die Materialauswahl derart getroffen werden, dass gerade den Anforderungen der In- und Umfeld Betrachtungsweise in Bezug auf deren Leuchtdichtenverteilung Rechnung getragen wird. So muss insbesondere die foveale Sehaufgabe unter optimalsten Bedingungen ablaufen. „Krasse Leuchtdichteunterschiede bedeuten beim Blick in die Umgebung zusätzliche Umadaptionsarbeit, die zu frühzeitiger Ermüdung und zu Konzentrationsschwächen und damit zu Sehfehlern führen kann.“⁴

Die Flächenausdehnung der für die foveale Sehaufgabe zuständigen Infeldleuchtdichte nimmt in Bezug auf die Größe des Gesichtsfeldes eine Teilflächengröße von ca. 2-3° ein. Entscheidend hierbei ist eine genaue Abstimmung der Sehleistung mit den eigentlichen inhaltlichen Anforderungen. Gerade im Bereich eines Ausstellungsraumes muss die Infeldleuchtdichte eine Grundlage für eine detailgetreue Wahrnehmung der ausgestellten Skulpturen bilden. Insbesondere muss der Betrachter in die Lage versetzt werden, dreidimensionale Oberflächenstrukturen schnell zu erkennen und dementsprechend zu bewerten. Ist der Kernpunkt der Sehaufgabe exakt definiert, kann mit der Planung der Leuchtdichtebereiche begonnen werden. In der DIN EN 12464-1 wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Beleuchtung in musealen Bereichen ausschließlich von den Ausstellungsanforderungen bestimmt wird.

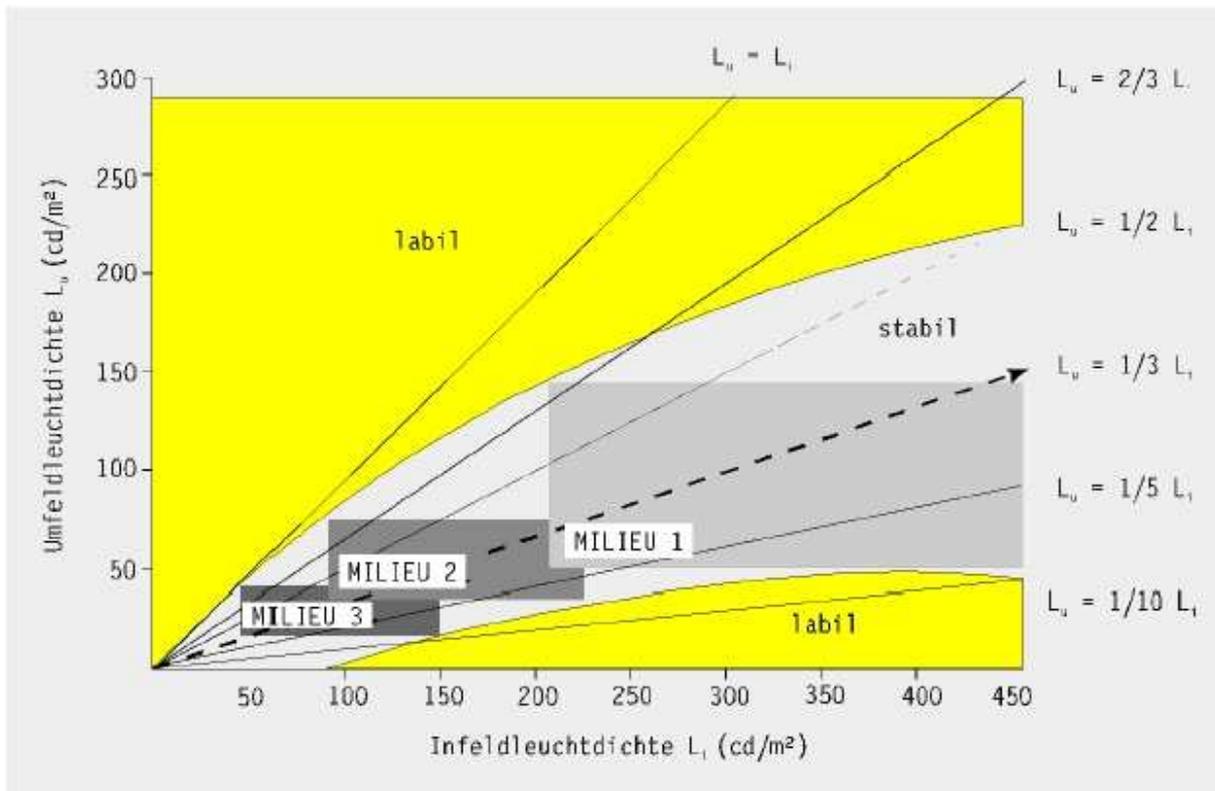
Der durch seine Oberflächenmaterialien infolge Modulation geprägte Ausstellungsraum muss durch seine flächenmäßige Ausdehnung zu einer Stabilisierung der allgemeinen Wahrnehmungssituation beitragen. Die für eine Detailerkennung entscheidende Infeldleuchtdichte kann aufgrund ihrer sehr geringen Flächigkeit diese Aufgabe nicht übernehmen. Hier müssen sich die großflächigen Umgebungsoberflächen des Ausstellungsraumes mit Ihren charakteristischen Reflexionsgraden mit den sehr kleinflächigen Infeltoberflächen visuell ergänzen.

Da jede Oberflächentextur seine individuelle Leuchtdichteerscheinung erzeugt, ist das menschliche Wahrnehmungssystem damit beschäftigt, sämtliche Bereiche unterschiedlicher Leuchtdichten zu einem großen Ganzen zusammenzufügen. Der da-

bei entstehende visuelle Gesamteindruck eines Ausstellungsraumes wird auch Raummilieu genannt.

Das Raummilieu entsteht somit im Wesentlichen durch die Oberflächenbeschaffenheit der den Ausstellungsraum auskleidenden Hüllflächen. Geht man davon aus, dass in einem Ausstellungsraum eine konstante Beleuchtungsstärke für die eigentliche Belichtung eingesetzt wird, bestimmen die Oberflächenmaterialien mit ihren verschiedenen Reflexionsgraden die vorherrschende Grundhelligkeit. Für den Ablauf der visuellen Gegenstandswahrnehmung ist die Infeldleuchtdichte oder auch Arbeitsleuchtdichte maßgebend. Somit muss sich zwischen der Infeldleuchtdichte und der Umgebungsleuchtdichte ein ausgewogenes Helligkeitsverhältnis einstellen. Nur so kann ein für den Adaptionsvorgang entscheidendes stabiles Raummilieu eintreten.

Im Rahmen einer leuchtdichtespezifischen Infeld-Umfeld Betrachtung wird ein Ausstellungsraum bei absolut unveränderten Raum- und Objektflächen mit einer jeweils konstanten Beleuchtungsstärke versorgt. Zur Auswahl stehen drei verschiedene Beleuchtungsstärken: (2000 Lx, 1000 Lx und 500 Lx). Die Oberflächenkomponenten der Innenwandoberflächen und Skulpturoberflächen bewirken nun durch Primärlichtmodulation ein der eingesetzten Beleuchtungsstärke entsprechendes Raummilieu. Das Raummilieu 1 soll einer Beleuchtungsstärke von 2000 Lux zugeordnet werden. Das Raummilieu 2 entsteht durch eine konstante Beleuchtungsstärke von 1000 Lux, während das dritte Raummilieu mit einer Beleuchtungsstärke von 500 Lux versorgt wird.



/15/ Verschiedene Beleuchtungsstärken bewirken verschiedene Lichtmilieus, die über die geeignete Materialwahl die Leuchtdichtebereiche im Infeld und im Umfeld bestimmen, um stabile Wahrnehmungsbedingungen zu schaffen.

Ziel aller Bemühungen ist einen stabilen Adaptionszustand für die eigentliche Sehaufgabe zu erreichen. Auf einen Ausstellungsraum oder Museumsraum umgesetzt bedeutet dies, dass die genaue Betrachtung einer Skulptur durch einen Betrachter aus verhältnismäßig kurzer Distanz die entscheidende Kerntätigkeit darstellt. Diese Kerntätigkeit ist also die eigentliche Sehaufgabe.

Betrachtet man nun den zur Verfügung stehenden Leuchtdichtebereich im Bereich des Infeldes von 50-100 cd/m² bei einer Grundbeleuchtungsstärke von 500 Lux, so fällt auf, dass der zulässige Schwankungsbereich der Umfeldleuchtdichte zwischen 20-50 cd/m² äußerst gering ausfällt. Da auf eine stabile Wahrnehmung unbedingt geachtet werden muss, bleibt rein rechnerisch für die raumbildenden Umgebungsflächen nur mehr ein mittlerer Reflexionsgrad von 0,3 übrig. Dieser Wert entspricht z.B. einer grauen Farbgebung.

Wird nun die Forderung nach einer doppelt so hohen Arbeitleuchtdichte gestellt (200 cd/m²) muss die Grundversorgung der Beleuchtungsstärke deutlich erhöht werden. Das zweite Raummilieu sieht hier eine Beleuchtungsstärke von 1000 Lux vor. Den Vorgaben der stabilen Wahrnehmung entsprechend weicht der Schwankungsbereich der Umfeldleuchtdichten eine kaum größere Bewegungsfreiheit als beim ersten Raummilieu auf. Um einen Grenzwert von ca. 70 cd/m² zu erreichen bleibt in Verbindung mit der höheren Beleuchtungsstärke auch nur ein maximaler Reflexionsgrad von 0,3 übrig.

Wird nun die Umgebungsleuchtdichte durch eine Materialoberfläche mit einem deutlich höheren Reflexionsgrad verändert, so kann der Versuch eine stabile visuelle Wahrnehmung zu erreichen, zu einer zu hohen Grundbeleuchtungsstärke führen. Die Realisierung solcher Beleuchtungsanlagen birgt für den Betrachter die Gefahr einer Blendung, infolge zu hoher Eigenleuchtdichten der eingesetzten Lichtquellen.

2.3 Wahrnehmungspsychologische Mechanismen

2.3.1 Neurologische Gesetzmäßigkeiten

Grundlegende und zentrale Steuereinheit aller visuellen Verarbeitungsprozesse ist das Gehirn. Über das Auge einfallende, mit visuellen Informationen angereicherte Licht, wird durch das Gehirn, im Rahmen eines Abgleichprozesses mit bereits bestehenden Gedächtnisinhalten, einer Bewertung unterzogen. Aufgrund der evolutionären Entwicklungsgeschichte unseres visuellen Wahrnehmungssystems, erreichen neuronale Abläufe Ihr maximales Leistungsvermögen unter reinen Tageslichtbedingungen.

Infolge der visuellen Wahrnehmung räumlicher Objekte wird von einem Betrachter im Wesentlichen eine Verarbeitung und Beurteilung dreidimensionaler Reizinformationen abverlangt. C. Moore und S. A. Engel untersuchten in einem Experiment neuronale Verarbeitungsprozesse als Folge dreidimensionaler optischer Reizinformationen. Den Ausgangspunkt bildeten zwei Bilder, deren Abbildungsinhalt jeweils nicht-räumliche und nur schwer zu erkennende räumliche Objekte beinhalteten.



/16/

Ziel der Untersuchungen war die Messung der Hirnaktivitäten mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRI) der Probanden während der Betrachtung der Abbildungen. Hierbei konzentrierte man sich auf bestimmte Hirnareale des okzipitalen Cortex, die speziell bei der Betrachtung dreidimensionaler Objekte aktiviert werden. Im ersten Schritt betrachteten die Probanden die linke Abbildung ohne einen zusätzlichen Hinweis in Bezug auf deren Inhalt. Danach wurde den Probanden das zugrundeliegende dreidimensionale Objekt (rechte Abbildung) gezeigt. Es folgte nun eine zweite Messung der Hirnaktivitäten, bei der die Probanden wiederum die gleiche Ausgangsabbildung betrachteten.

Trotz der jeweils gleichen retinalen Abbildungen stellte sich eine wesentlich höhere neuronale Aktivität im Vergleich zur ersten Messung ein. Diese höhere Hirnaktivität zeigt, dass aufgrund von kognitiven Einflüssen der Wahrnehmungsvorgang beein-

flusst wird. Diese direkte Einflussnahme auf den Wahrnehmungsprozess erfolgt im Rahmen sog. Top-Down Prozesse.

2.3.2 Konstanzleistungen

Im Bereich der Wahrnehmungspsychologie haben die visuellen Konstanzleistungen unseres Gehirns einen entscheidenden Einfluss auf die eigentliche visuelle Wahrnehmung des Betrachters. Insbesondere bei der Betrachtung mehrflächiger dreidimensionaler Objekte, in einem räumlich fest definierten Ausstellungsgefüge, ist der Betrachter auf eine exakte Gegenstandswahrnehmung angewiesen. Im Verlauf einer bewegungsdynamischen visuellen Betrachtung, nimmt der Besucher je nach Betrachtungsstandort einen anderen Blickwinkel zu den jeweiligen Ausstellungsobjekten ein.

Der Betrachter setzt somit seine Eigenbewegung, die ihm verschiedene optische Bezüge ermöglicht, aktiv ein, um vorhandene, visuelle Informationen möglichst effektiv zu gewinnen. Die gewonnenen visuellen Daten beinhalten demnach nie gleichbleibende Objektinformationen. Trotzdem wird dem Betrachter ein invariantes retinales Abbild präsentiert. Das Gehirn ist somit permanent mit der Aufgabe beschäftigt, die wesentlichen Eigenschaftsmerkmale der ausgestellten Objekte zu konservieren.

2.3.2.1 Größenkonstanz

Um die Größenkonstanz näher zu beschreiben, kann man sich folgende Situation vergegenwärtigen. Ein Beobachter betrachtet eine Skulptur mit einer Betrachtungsdistanz von 1,50 m. Auf die Größe der Skulptur angesprochen wird der Betrachter in der Lage sein die Skulpturengröße zu bestimmen. Stellt man nun die gleiche Skulptur mit einem Abstand von 3,0 m zum Betrachter auf, so reduziert sich dessen retinales Abbild um die Hälfte, während sich aber die Entfernungsdistanz verdoppelt. Trotz einer veränderten Lageposition der Skulptur nennt der Betrachter die schon vormals geäußerte Größeneinschätzung.

Obwohl sich infolge der Zunahme der Entfernungsdistanz der Sehwinkel und somit auch die Netzhautabbildung verkleinert haben, beurteilt der Betrachter die Skulpturengröße als konstant groß. Je weiter die Distanz zwischen Betrachter und Objekt zunimmt, desto weniger nimmt die Entfernung oder die Größe der Netzhautabbildung Einfluss auf die Größeneinschätzung. Der Betrachter geht in den Bereich der vollständigen Größenkonstanz über. Das visuelle Umfeld wird zum alleinigen Informationsgeber im Hinblick auf eine zu treffende Größeneinschätzung.

Um den wahrnehmungspsychologischen Zusammenhang zwischen einer wahrgenommenen Objektgröße und dessen Entfernungsdistanz zum Betrachter näher zu beschreiben, bedarf es der von Emmert 1881 aufgestellten mathematischen Gleichung

chung. Emmert beschreibt in seinem mathematischen Gesetz das Verhältnis der wahrgenommenen Größe eines Nachbildes zu dessen Entfernung. Je weiter eine Fläche auf der das Nachbild gesehen wird entfernt ist, desto größer ist dessen Abbild, wobei die Größe des zugrundeliegenden Netzhautbildes jeweils konstant bleibt.

$$G_w = K \cdot (G_n \cdot D_w)$$

G_w: wahrgenommene Größe, K: Konstante, G_n: Größe des Netzhautbildes
D_w: wahrgenommene Distanz des Netzhautbildes

Bezieht man nun diese mathematische Formulierung auf das Phänomen der Größenkonstanz, so lässt sich folgender Zusammenhang ableiten. Die durch den Betrachter wahrgenommene Objektgröße bleibt trotz zunehmender Entfernungsdistanz und einem sich verkleinernden Netzhautbildes immer konstant. Das heißt, dass sich zwar das Netzhautbild des Betrachters verkleinert, im gleichen Schritt aber die wahrgenommene Entfernungsdistanz zunimmt. Diese Konstellation führt zu einer gegenseitigen Aufhebung oder Kompensation mit dem Ergebnis, dass die wahrgenommene Objektgröße seitens des Betrachters immer als konstant eingeschätzt wird.

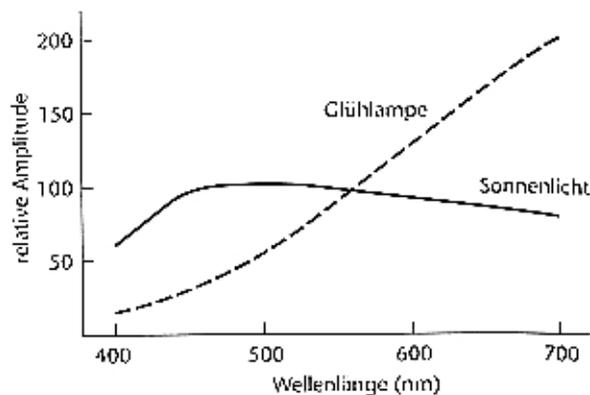
2.3.2.2 Formkonstanz

Im Wesentlichen stützt sich das Phänomen der Formkonstanz auf gleiche Mechanismen, wie sie bereits bei der Größenkonstanz angesprochen wurden. Entscheidende Größe ist hier allerdings nicht die Entfernungsdistanz zu einem bestimmten Objekt, sondern der von dem Betrachter wahrgenommene Winkel den das Objekt zu einer senkrechten Raumebene einnimmt. Wie bei der Größenwahrnehmung wird ein Objekt, trotz eines sich verändernden Netzhautbildes, in seiner Form als konstant angesehen. Als wesentliche, sich verändernde Komponenten kommt die Beobachtungsperspektive oder der Standpunkt des Objektes in einem Raum in Frage. Der dominierende Faktor einer Formkonstanz steigt mit einem zunehmenden Informationsgehalt an räumlichen Lagedetails. Hierbei sind z. B. Informationen über eventuelle Neigungswinkel des Objektes für eine eindeutige visuelle Bewertung von Nutzen.

Wird eine ausgestellte Skulptur in Form eines Quaders von einem Besucher betrachtet, so werden trotz einer eventuell verfremdeten visuellen Erscheinung wesentliche, für den Betrachter sichtbare elementare Objektdetails invariant bleiben. Hierzu zählen insbesondere rechteckige Außenflächen, geometrische Längenverhältnisse und vor allem die Ausstellungsposition des Objektes in einem geschlossenen Ausstellungsraum. Eine weitere, die Konstanz beeinträchtigende Größe, stellt der Bereich an gesammelten Erfahrungen dar.

2.3.2.3 Farbkonstanz

Betrachtet man den Bereich der Farbkonstanz, so geht es hierbei in erster Linie um die visuelle Verarbeitung reflektierter Wellenlängen. Farbe ist ein Charakteristikum, was einem Objekt eine sehr individuelle Erscheinung von hohem Erkennungswert verleiht. Der Betrachter muss sich demnach trotz unterschiedlicher Lichtbedingungen auf eine sichere, visuelle Klassifizierung und Wiedererkennung sichtbarer Objekte verlassen können. So verfügt eine Beleuchtungssituation bei reinem Sonnenlicht über ein völlig anderes Wellencharakteristikum, als eine Beleuchtungssituation bei ausschließlich künstlicher Beleuchtung.



/17/

Die Graphik zeigt, in wie weit die Lichtwellencharakteristik von Kunstlicht und Sonnenlicht differiert. Das Sonnenlicht beschreibt hier eine sehr ausgewogene Lichtwellencharakteristik im sichtbaren Bereich. Diese Art der Lichtwellenverteilung typisiert ein rein weißes Licht. Betrachtet man hingegen den Verlauf der Kunstlichtkurve, so fällt auf, dass der Kurvenverlauf im langwelligen, sichtbaren Bereich deutlich ansteigt. Hier besteht demnach ein deutlicher Überhang des gelb-roten Wellenbereiches.

Physikalische Helligkeitsveränderungen und den damit verbundenen Farbveränderungen auf den verschiedenen Objektoberflächen, werden von unserem visuellen Wahrnehmungssystem kontinuierlich zu einer einheitlichen Farberscheinung verschmolzen. Sich verändernde Tageslichtkomponenten werden von unserem visuellen System permanent ausgeglichen. Betrachtet nun ein Ausstellungsbesucher eine weiße Skulptur, so wird man beobachten, dass selbst bei einer extrem unterschiedlich reflektierenden Lichtwellencharakteristik die Skulptur von dem Betrachter durchgängig als weiß wahrgenommen wird. Die Farbwahrnehmung verläuft demnach unabhängig von der gerade vorherrschenden Beleuchtungssituation. Diesen Vorgang nennt man Farbkonstanz.

2.3.2.4 Helligkeitskonstanz

Bei der visuellen Identifizierung räumlicher Objekte spielt die Helligkeit eine entscheidende Rolle. Hier ist insbesondere die bereits durch Oberflächenmodulation strukturierte und reflektierte Helligkeit, für die visuelle Informationsaufnahme von großer Bedeutung. Zudem bestimmt die objekt- und materialbezogene Oberflächencharakteristik über die Verteilung der Leuchtdichten.

Ein Ausstellungsraum, in dem verschiedene räumliche Objekte präsentiert werden, stellt mit seiner umfangreichen Helligkeitsverteilung eine spezielle visuelle Situation für jeden Betrachter dar. Trotz der beschriebenen Helligkeitsunterschiede erscheinen diese dem Betrachter in ihrem Verhältnis zueinander als räumlich und zeitlich konstant. Die Helligkeitskonstanz ist ein Phänomen, bei dem trotz unterschiedlicher Beleuchtungssituationen achromatische Farben wie weiß, grau oder schwarz für den Betrachter eine konstante Helligkeit aufweisen. Das heißt, die Farben werden von dem Betrachter als gleichbleibend hell wahrgenommen.

Zwei physikalisch unterschiedliche und somit auch unterschiedlich reflektierende achromatische Farben können als identisch wahrgenommen werden, wenn Ihre jeweiligen achromatischen Umgebungsfarben jeweils im gleichen Reflexionsverhältnis zueinander stehen. Diesen visuellen Effekt nennt man das Verhältnisprinzip (Jakobson & Gilchrist 1988).

Betrachtet man z.B. eine schwarze und eine weiße Fläche, die unmittelbar nebeneinander liegen, so wird man feststellen, dass bei unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen die Farben immer eindeutig als jeweils schwarz und weiß wahrgenommen werden. Unser visuelles System berücksichtigt bei seiner Einschätzung das stets gleichbleibende Reflexionsverhältnis der beiden Farben.

Ein zentrales Problem stellt eine stark wechselnde Beleuchtung dar. Unser visuelles System sieht sich mit der Aufgabe konfrontiert, welcher Farbeindruck auf eine physikalisch unterschiedliche Farbgebung basiert, und in welchem Bereich es sich nur um eine Verschattung handelt. Diese Problematik beinhaltet die Fähigkeit des visuellen Systems, Reflektanzstufen von Beleuchtungsstufen effektiv zu unterscheiden.

Grundlegende Überlegungen zur Helligkeitskonstanz gehen davon aus, dass unser visuelles System auf dem Weg zu einer zentralen Farbaussage mehrere Faktoren berücksichtigt. So stellt die Form eine wichtige Komponente dar, in dem unser visuelles System Formen und Oberflächenmuster von Schattenflächen und beleuchteten Flächen miteinander vergleicht.

Fällt z.B. bei einem Schattenfeld der Bereich des Halbschattens weg, so kann die vormals vorhandene Reflektanzstufe visuell als Beleuchtungsstufe interpretiert werden. Es ist also festzuhalten, dass die Wahrnehmung der Helligkeit nicht allein von der Menge der reflektierten Helligkeit abhängt.

Man muss sich bewusst sein, dass sämtliche Konstanzleistungen unseres visuellen Systems generell zur gleichen Zeit und vor allem unbewusst ablaufen. So wird im Rahmen der Hell-Dunkel-Adaption das Auge bei zu hohen Helligkeiten unempfindlicher reagieren, wohingegen bei sehr schwachen Helligkeiten das Auge an Empfindlichkeit zunimmt. Auch hier ist unser visuelles System stets um Ausgleich bemüht.

2.3.3 Visuelle Störfaktoren

Sämtliche bereits beschriebenen Konstanzleistungen verlangen von unserem Gehirn eine ständige Abfolge von Rechenprozessen. Es muss dementsprechend sorgfältig darauf geachtet werden, dass der eigentliche Prozess der visuellen Informationsaufnahme möglichst ungestört und ergebnisoptimiert ablaufen kann.

2.3.3.1 Blendung

Ein Betrachter nimmt im Rahmen einer individuellen Beobachtung ausgestellter Skulpturen und deren Oberflächen visuelle Informationsreize auf und verarbeitet diese zu einer zentralen Erkenntnis. Hierbei verfügen auftretende Blenderscheinungen über ein erhebliches Störpotential mit der Folge, dass die mentale Belastung des Betrachters erheblich ansteigt. Der Betrachter kann somit die eigentlich geforderte visuelle Aufmerksamkeit der ausgestellten Skulptur nicht mehr entgegenbringen und läuft Gefahr, entscheidende optische Informationen, welche für das visuelle Verständnis von grundlegender Bedeutung sind, nur noch unzureichend aufzunehmen.

Ist die visuelle Informationsdichte, wie für einen Ausstellungsraum charakteristisch, sehr hoch, so kann der Prozess einer unzureichenden Aufmerksamkeit infolge Blendung sehr schnell und oftmals vom Betrachter selbst unbemerkt eintreten.

Optimiert ablaufende Wahrnehmungsprozesse verlangen eine höhere Objekthelligkeit im Vergleich zu deren Umfeld. Etwaig auftretende Blendungen aus dem visuellen Betrachtungsumfeld werden somit als sehr störend empfunden, sodass das visuelle System permanent bestrebt ist, das ursprüngliche Helligkeitsverhältnis zwischen der Skulptur und deren Umfeld einzuhalten. Die eigentliche Ursache für eine nachlassende Aufmerksamkeit basiert demnach auf einen zusätzlichen Kompensationsaufwand aufgrund einer erzwungenen Adaptionsleistung infolge auftretender Blendungen.

Eine optimierte Leuchtdichteverteilung zwischen dem eigentlichen Sehobjekt und dessen visuellen Betrachtungsumfeld hat im Bereich einer effektiven Aufnahme objektbezogener Informationsinhalte eine zentrale Bedeutung. So beschreiben sukzessive und simultane Blenderscheinungen eine für den Beobachtungsprozess ungünstige Leuchtdichteverteilung. "Als Richtregel gilt, dass die objektbezogene Umge-

bungsleuchtdichte höchstens im Bereich der halben durchschnittlichen Objektleuchtdichte liegt und diese tunlichst nicht überschreiten soll.“⁵

$$L_{\text{Obj}} > 2 * L_{\text{Um}} \text{g}$$

Bei der Betrachtung einzelner Skulpturen durch einen Beobachter bildet eine optische Ebene in Höhe der Augen eine zentrale Plattform, von wo aus sich die aktivsten Wahrnehmungsbereiche hauptsächlich in horizontaler aber auch in vertikaler Richtung bewegen. Stellt man sich einen Ausstellungsraum vor, in dem der Tageslichteintrag über eine Glaskonstruktion von oben nach unten erfolgt, so kann davon ausgegangen werden, dass trotz vertikaler Augenbewegungen eine Beeinträchtigung der visuellen Informationsaufnahme durch Blenderscheinungen weitestgehend ausbleibt, da die Deckenunterseite außerhalb des Gesichtsfeldes des Beobachters liegt.

2.3.3.2 Fehlerhafte Abstimmung zwischen Beleuchtung und Skulpturoberflächen

Eine ausgestellte Skulptur wird von einem Betrachter stets in engen Zusammenhang mit dessen direkten visuellen Umfeld wahrgenommen. Um eine möglichst ungestörte und direkte Informationsaufnahme durch einen Betrachter zu gewährleisten müssen die individuellen Objekthelligkeiten mit den tatsächlich vorherrschenden Leuchtdichten, der die Skulptur unmittelbar umgebenden Oberflächenmaterialien, sorgfältig abgestimmt werden. Ziel dieses Abstimmungsprozesses muss ein optimiertes Endercheinungsbild sein, welches dem für eine gute Gegenstandswahrnehmung wichtigen gestaltpsychologischen Figur-Hintergrundeffekt Rechnung trägt.

Da die meisten hochwertigen Ausstellungsräumlichkeiten über Tages- oder Kunstlichtdecken verfügen, ist eine ausgewogene Abstimmung der Oberflächencharakteristiken der Hüllflächen zu den einzelnen Ausstellungsexponaten von großer Wichtigkeit. Gerade bei der Präsentation räumlicher Skulpturen mit unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheiten kann eine konstante Beleuchtungsstärke stark unterschiedliche Objekthelligkeiten hervorrufen.

So bewirkt eine ebene Skulpturoberfläche infolge Reflexion eine völlig andere Leuchtdichteerscheinung als eine Skulptur mit einer rauen Oberflächenstruktur. Die Gruppe der hochglanzpolierten oder glänzenden Skulpturen die zudem über Oberflächenbereiche hoher Informationsdichte verfügen, verlangen eine besonders genaue Abstimmung mit den unmittelbaren Umgebungsleuchtdichten. Dem Betrachter muss in jedem Fall die Gelegenheit gegeben werden, die ausgestellte Skulptur unter möglichst optimalen visuellen Betrachtungsumständen zu beurteilen.

Ungenügend abgestimmte Leuchtdichteverteilungen können dagegen zu einer unnötigen mentalen Überlastung führen, was zur Folge hat, dass sich der Betrachter bewusst von der einen oder anderen Skulptur komplett abwendet. Generell muss dar-

auf geachtet werden, dass der visuelle Präsentationsrahmen der zentralen Aufgabe einer störungsfreien visuellen Informationsaufnahme dient.

Die Beleuchtung muss somit der eigentlichen Aufgabe gerecht werden, eine ausgestellte Skulptur möglichst authentisch und mit einer hohen visuellen Detailliertheit dem Betrachter gegenüber zu präsentieren.

Nur eine entspannte visuelle Informationsaufnahme lässt Raum für individuelle Überlegungen. Das Tageslicht bietet zudem in all seinen natürlich dynamischen Variationen beste Wahrnehmungsbedingungen.

2.4 Wahrnehmung auf Grundlage der ökologischen Optik

Das entscheidende und maßgebende Element im Bereich der Ökologischen Optik ist das physikalische Medium Licht. Licht übernimmt hier die Funktion eines Trägermediums elementarer visueller Informationen.

Betrifft ein Besucher im Rahmen einer Skulpturenausstellung einen Ausstellungsraum, so wird der Raum in erster Linie über seine Oberflächen visuell wahrgenommen. Der Ausstellungsraum selbst übernimmt hierbei mit seiner, die Skulpturen bergenden inneren Hüllflächen, die Aufgabe eines optischen Präsentationsrahmens. Dieser muss den Beobachter in die Lage versetzen, die Skulpturen als eigentlichen visuellen Informationskern zu erkennen, und möglichst ungestört wahrzunehmen. Die Skulpturen müssen deshalb mit Ihren charakteristischen Materialoberflächen den visuellen optischen Schwerpunkt bilden.

Im Verlauf der visuellen Wahrnehmung der Skulpturen durch einen Betrachter trennt die Skulpturoberfläche die anliegende Schicht aus Licht und Luft von dem eigentlichen Materialkern der Skulptur.

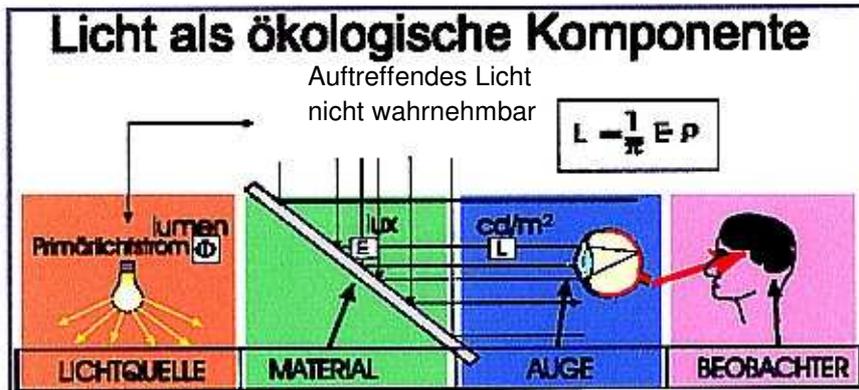
Hauptträger visueller Informationen sind somit ausschließlich die jeweils vorhandenen Oberflächeneigenschaften des zu beobachtenden Objektes. So beinhalten die verschiedenen Materialien aufgrund Ihrer spezifischen Reflexionseigenschaften Informationen über Ihre individuelle Materialbeschaffenheit. In diesem Zusammenhang spricht man auch von einer Indikatrix.

Die physikalische Strahlenoptik kennzeichnet einen Vorgang, bei dem das einfallende Primärlicht auf eine Materialoberfläche auftrifft, reflektiert wird, und als Sekundärlicht in das Auge des Betrachters fällt. Der Betrachter wird somit je nach Beleuchtungsstärke ein unterschiedliches Leuchtdichtemuster wahrnehmen.

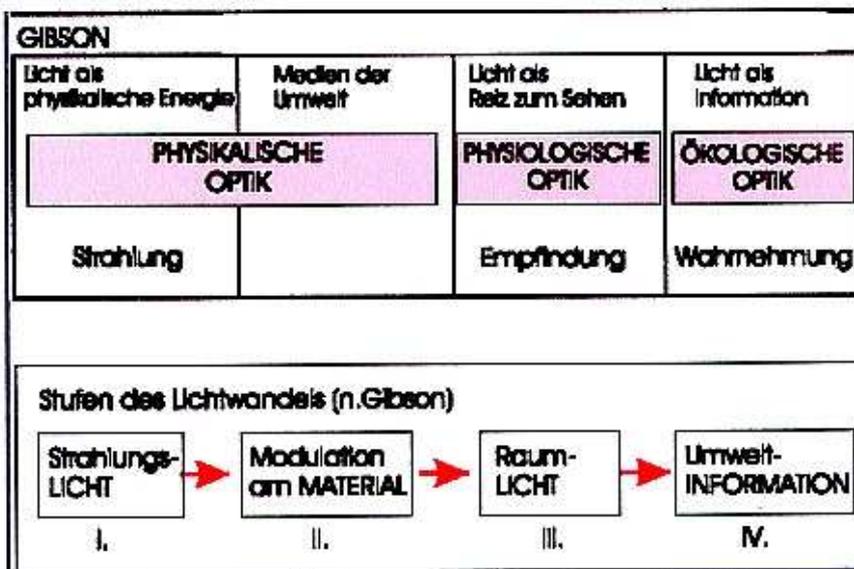
Enthält das zurückgeworfene Sekundärlicht durch Oberflächenmodulation bereits strukturierte Elemente, und ist somit in der Lage, über den Kontakt mit der Netzhaut bestimmte Muster an Reizen zu erzeugen, spricht man von der physiologischen Optik.

Um einen Raum visuell erfassen zu können, bedarf es also raumbegrenzender Oberflächen. Das Licht wird somit zum alleinigen Trägermedium von Oberflächeninformationen ohne dem eine optische Aufnahme und Bewertung visueller Informationen nicht möglich ist. Die ökologische Optik betrachtet das Licht als reine Informationsquelle.

Der Betrachter steht als Individuum mit seiner ihn umgebenden Umwelt in einer ständigen optischen Verbindung. „In der ökologischen Optik ist der Unterschied zwischen leuchtenden und beleuchteten Flächen ganz entscheidend.“⁶

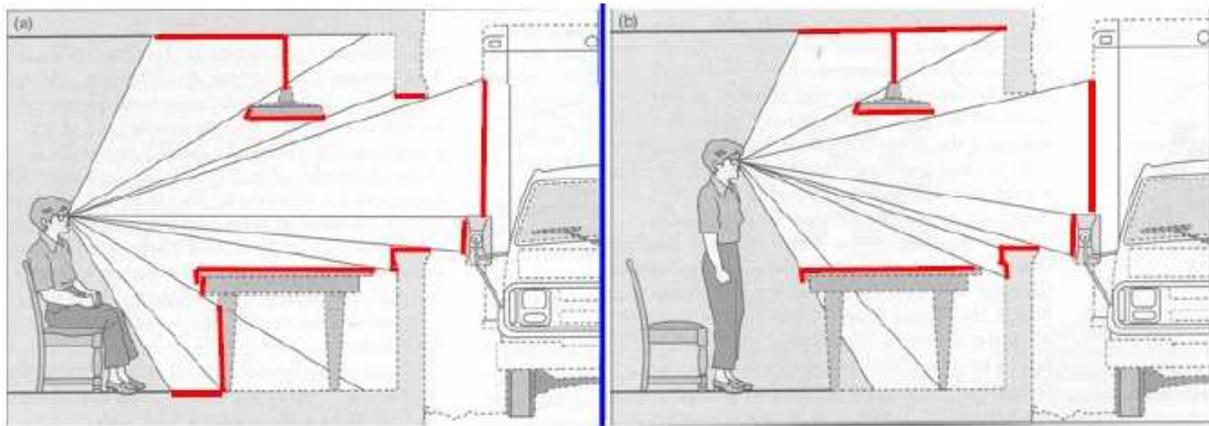


<p>Lichtstrom Spektrale Zusammensetzung</p> <p>Intensität Einfallrichtung Lichtfarbe</p>	<p>Reflexion ρ Absorption α Transparenz τ</p> <p>Farbe, Textur, Form, diffus bis gerichtet; Beschaffenheit der Substanz beinhaltet seine „Aussage“, z.B. Eisen ist schwer, kalt, fest, starr, rostet usw.</p>	<p>Sekundäres Licht Informationslicht</p> <p>Am Material findet die Modulation des Primärlichts statt; es wird mit Information „aufgeladen“ und determiniert das Milieu bzw. die visuellen Wahrnehmungsinhalte</p>	<p>Kognitive Verarbeitung</p> <p>Bewusste und unbewusste Bewertung durch Kurz- und Langzeiterfahrungen; Selektive Verarbeitung des Informationsangebotes zum finalen Raumeindruck (Erscheinungsbild)</p>
--	--	--	---



/18/ Grafik: Interaktion von Material, Licht und Beobachter

Gibsons ökologische Optik beschreibt in diesem Zusammenhang eine Anhäufung von Stimulierungen, welche das Ergebnis einer visuellen Wahrnehmung eines optischen Feldes sind. Je nach Position des Betrachters ändern sich auch die optischen Flächenausschnitte der aktuellen Raumszenerie.



/19/ unterschiedliche optische Felder, abhängig von der Position des Betrachters

Gibson teilt das Licht in drei prägnante Teilsegmente ein. Als erstes wird ein Segmentbereich definiert, in dem das Licht lediglich als ausschließliche Beleuchtung fungiert. Licht als eine rein physikalische Strahlungsenergie. Ein weiterer Teilbereich beschreibt das Licht als „Empfindung“ im Bereich der physiologischen Optik. Im letzten und entscheidenden Teilbereich dient das Licht als Träger visueller Informationen.

Ein entscheidendes Kriterium für die ökologische Wahrnehmung ist die über das Trägermedium Luft zum Betrachter gesendete Reizinformation. Nicht die Reizung verschiedener Rezeptoren selbst ist für die visuelle Wahrnehmung von Bedeutung, sondern der transportierte Informationsgehalt. Alle optischen Eindrücke werden infolge eines bestimmten Reizes von unserem visuellen System aufgefangen. Dies kann z.B. eine Reizung infolge einer Blenderscheinung oder durch eine von einem Objekt ausgelösten Reflexion sein. Folge dieser Reizerscheinungen ist in jedem Fall eine Reaktion der vorhandenen Rezeptoren. Eine Aussage über den Empfang eines bestimmten Informationsgehaltes ist damit jedoch nicht verbunden.

Eine Blenderscheinung kann auch nur im ersten Moment als solche wahrgenommen werden, dann aber infolge einer automatischen Adaptionleistung der Augen zu einer normalen Helligkeitserscheinung werden. Auf die Betrachtung einer Skulptur bezogen kann man sagen, dass die Skulptur selbst nicht nur für eine optische Reizung verantwortlich sein kann. Die Kernfunktion einer ablaufenden visuellen Wahrnehmung ist die optische Aufnahme gegenständlicher Informationen.

Um Oberflächen verschiedener Materialien auf Basis der ökologischen Optik visuell wahrnehmen und bewerten zu können, bedarf es einiger grundlegender Voraussetzungen. Gerade bei der Betrachtung räumlicher Skulpturen ist die Oberflächenbeschaffenheit ein entscheidendes Charakteristikum. Viele kleine Teilflächenbereiche unterschiedlicher Oberflächenkrümmungen sind über Ihre Randzonen miteinander verbunden. Durch das von einem Künstler ausgewählte Material und durch deren unterschiedlichen Bearbeitungsweisen erhält die Außenhaut der Skulptur eine indivi-

duelle Oberflächentextur. Die durch eine künstlerische Bearbeitung entstandene äußere Schale gibt der Skulptur eine eigene visuelle Präsenz.

Im Rahmen einer Ausstellung bewirkt eine lichttechnische Inszenierung durch Primärlicht eine entscheidende Raumszenarie, die für eine visuelle Wahrnehmung auf Basis der ökologischen Optik von entscheidender Wichtigkeit ist. Die jeweiligen Oberflächeneigenschaften sind für das Entstehen lichttechnischer Reize in Form von Reflexionen maßgebend.

Eine wichtige Aussage über eine Skulptur stellt die Wahrnehmung von Farben dar. Die ökologische Optik nennt hier die charakteristische Verteilung der verschiedenen Reflexionseigenschaften. Je nach Art des Grundmaterials und Wellencharakteristikum des einfallenden Lichtes, leitet die das Objekt umhüllende Luftschicht die entstehende Information in Form einer Farberscheinung an den Betrachter weiter.

Wenn das Licht als ausschließliche Informationsquelle fungiert, so verfügen verschiedene Lichtcharakteristika über ein jeweils eigenes Charakteristikum in der Funktion als Trägermedium visueller Informationsdaten.

In der Vorbereitungsphase einer Skulpturenausstellung werden verschiedenartige Ausstellungsobjekte je nach Objektcharakteristik positioniert. Die Skulptur selbst wird aufgrund einer zuvor planerisch ausgearbeiteten lichttechnischen Komposition in Szene gesetzt. So wird u. a. eine plastische, glänzende Kunstskulptur von einer künstlichen Lichtquelle hoher Eigenleuchtdichte angestrahlt.

Die eingesetzte Kunstlichtquelle verfügt über ein vorher bekanntes Lichtspektrum. Entstehende Primärlichtstrahlen treffen aufgrund ihrer kegelförmigen Ausbreitungscharakteristik nicht nur auf die reflektierenden Skulpturoberflächen auf. Weitere Teile des einfallenden Lichtes fallen z. B. auf den Boden, Deckenflächen oder benachbarter Objektflächen. So wird das vorhandene Umgebungslicht durch die Oberflächenbeschaffenheit angrenzender Wand- und Deckenflächen geprägt.

Die optische Verbindungsachse zwischen der eingesetzten Kunstlichtquelle und der zu beleuchtenden Skulptur spielt in Bezug auf das sich einstellende Raumlicht eine weitere Rolle. Ein Teil des einfallenden Primärlichtes wird infolge Reflexion durch die Oberfläche abgestrahlt. Die Oberflächencharakteristischen Remissionseigenschaften sind hingegen für die Farberscheinung verantwortlich. Oberflächenmodulationen des Primärlichtes bestimmen nach herkömmlicher Betrachtung die verschiedenen Leuchtdichteerscheinungen.

Zentraler Baustein der ökologischen Optik bildet, wie bereits ausgeführt, das modellierte und damit strukturierte Sekundärlicht, welches als elementares Trägermedium für Informationen dient. Ohne diese Trägerfunktion wäre eine visuelle Wahrnehmung nicht möglich. Der Entwicklungsprozess der Objekterkennung wird im Gehirn des Betrachters stattfinden und dort auch zu einem visuellen Ergebnis führen. Bedingung

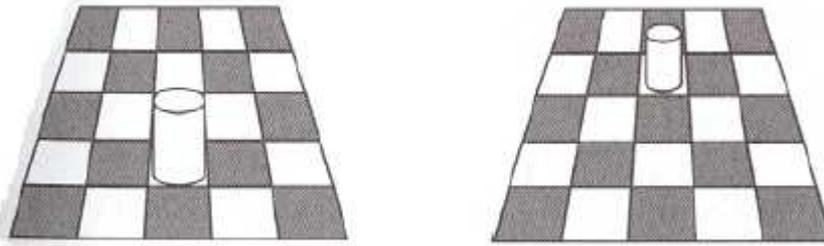
hiefür ist allerdings, dass ein vorheriger Informationstransport über das die Skulptur umhüllende physikalische Medium Licht erfolgt.

Somit stellt das über den Reflexionsvorgang modulierte Sekundärlicht als Informationsträger eine elementare Voraussetzung dar, um einen visuellen Wahrnehmungsvorgang einzuleiten. Die alleinige Bestrahlung einer Skulptur durch Primärlicht bekannter lichttechnische Struktur ist allerdings nicht alleinig ursächlich für die Entstehung eines visuellen Endbildes. Der visuelle Verarbeitungsprozess im Gehirn des Betrachters wird auch auf das, je nach Lebensalter vorhandene visuelle Erfahrungspotential zurückgreifen.

Für Gibson stellt die ökologische Optik eine Wahrnehmung mit direkter Informationsaufnahme dar. Die Forschung geht hierbei von einer Wahrnehmung visueller Informationen aus, bei der eine zusätzliche Ergänzung mit extraretinalen Daten oder speziellem Wissen nicht notwendig ist. Gibson vertritt die Auffassung, dass die zu einem Objekt gehörenden Informationen alle in seiner direkten Umwelt vorhanden sind, und nur visuell aufgenommen werden müssen. Er konzentriert sich demnach stark auf die vorhandenen Umgebungsinformationen die im Rahmen der visuellen Wahrnehmung zur Verfügung stehen.

James Gibson beschreibt in seinem dritten Buch „The Ecological Approach to Visual Perception“ die Frage nach den essentiellen Bestandteilen der unseren Organismus umgebenden Umwelt. Im Gegensatz zur klassischen Wahrnehmungspsychologie, die Ihr Hauptaugenmerk in der Informationsaufnahme über das retinale Bild sieht. Gibson legt fest, dass die Umwelt, in der wir uns bewegen und visuell orientieren, eine Welt bestehend aus Boden, Wasser und Luft ist. Die geologische Betrachtungsweise ersetzt somit die ausschließlich physikalische Betrachtungsweise. Um Objekte in unserer unmittelbaren Umwelt verstehen zu können, bedarf es einer begrifflichen Erklärungsweise, die den Organismus als Bezugsmaß aller Dinge sieht. Energiefelder, welche im Bereich der Ökologie in der Luft und Wasser existent sind, dienen als Träger wichtiger Informationsinhalte über die Zusammensetzung unseres Lebensraumes.

James Gibson betrachtet die Umwelt als eine Anhäufung von Gegenständen, Orten und Ereignissen und deren Affordanzen. Diese sind für jeden jeweils existierenden Organismus von entscheidender Bedeutung. Affordanzen beschreiben hierbei die funktionale Verwendung oder Einsetzbarkeit dieser drei Kategorien. Entscheidende Elemente in unserer Umwelt beinhalten über ihre individuellen Affordanzen, die maßgebenden ökologischen Informationen, die unser Handeln steuern. Wie schon erwähnt, bedarf es lediglich einer Entdeckung dieser Informationen.



/20/

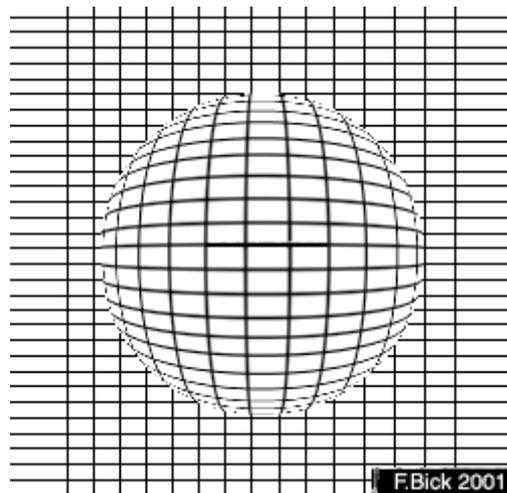
Die Abbildung zeigt, dass bei einer Wahrnehmung, die dem ökologischen Wahrnehmungsansatz entspricht, der Betrachter erkennt, dass die beiden dreidimensionalen Objekte gleich groß sein müssen, da er mit Sicherheit sagen kann, dass von beiden Objekten die exakt gleichgroße Bodenfläche überdeckt wird. Würde man sich auf den Informationsgehalt durch das retinale Abbild stützen, so käme man zu der Überzeugung, dass die Objekte eine unterschiedliche Größe aufweisen.

In der ökologischen Optik ist das umgebende Licht oder auch „ambient Light“ von entscheidender Bedeutung. Das umgebende Licht enthält die für eine visuelle Informationsaufnahme wichtigen Informationsreizmuster. Die Objektoberflächen strukturieren und brechen das einfallende Licht auf eine dem Oberflächenmaterial sehr spezifischen Art und Weise. „Oberflächen haben einen bestimmten Texturgradienten, dessen Wechsel auf einer Oberfläche einer Veränderung der Dichte entspricht. Haben zwei Oberflächen die gleiche Neigung zum Betrachter, so haben sie den gleichen Gradienten.“⁷

James Gibson nennt im Rahmen der Veröffentlichung seines ersten Buches „The Perception of the Visual World“ zum ersten Mal den Begriff des Texturgradienten. Um die Bedeutung eines Texturgradienten näher zu beschreiben, muss man sich eine strukturierte Materialoberfläche vorstellen, die je nach Kippwinkel eine sich aus der Sicht des Betrachters wandelnde Strukturdichte aufweist. Der Texturgradient beschreibt demnach also eine Aneinanderreihung dynamischer Veränderungsprozesse infolge eines sich ändernden Betrachtungswinkels. Ein Texturgradient der den numerischen Wert null erhält, beschreibt eine Oberflächenstruktur, die in einer senkrechten, bildhaften Position vor dem Betrachter positioniert ist. Mit einsetzender Kippbewegung ändert sich der numerische Wert in den positiven Zahlenbereich. Die visuelle Strukturdichte nimmt zu.

Gerade bei der Betrachtung skulpturaler, räumlicher Objekte kann dieser Prozess einer Aneinanderreihung sich verändernder Strukturdichten gut beobachtet werden. So kann eine glatte Skulpturoberfläche in Verbindung mit gerichtetem Primärlicht den Glanz einer polierten Natursteinoberfläche zeigen. Bildet eine Texturoberfläche an Ihrem Ende eine scharfe Kante, so wird dies von dem Betrachter als ein deutlicher Texturabbruch bewertet. Des Weiteren verfügen typische Oberflächenformen auf der Skulpturoberseite über eine eigene Oberflächentextur. Jede Oberflächenform enthält somit Ihre eigene unverwechselbare visuelle Information. Gibson weist darauf hin,

dass alle dem Betrachter zur Verfügung stehenden Informationsinhalte auch zu einem Zeitpunkt zur Verfügung stehen, wo eine visuelle Wahrnehmung durch einen Betrachter nicht stattfindet. Eine zusätzliche Ergänzung durch das Gehirn ist nicht nötig. Nimmt der Betrachter die Skulptur aus mehreren Blickwinkeln auf, und ist er in der Lage, die ihm gebotenen Informationen umzusetzen, so wird die visuelle Informationsaufnahme exakt ablaufen. Der Texturgradient ist für eine räumlich visuelle Bewertung ein wichtiger Baustein.



/21/ Form des Texturgradienten

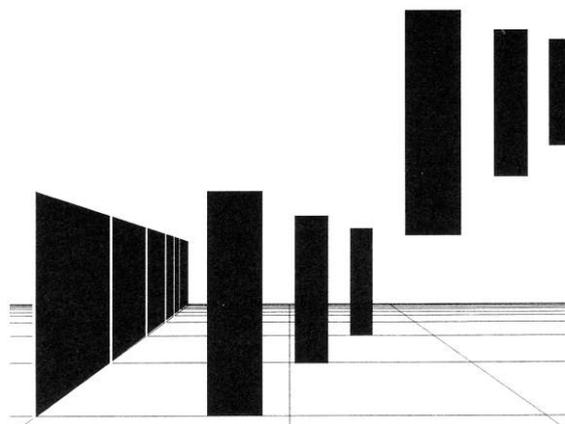
Auf dem Gebiet der ökologischen Wahrnehmung spielt der Begriff der Invarianz eine bedeutende Rolle. Gibsons Ausführung über die Größenkonstanz soll hier als Erläuterungsbasis dienen. Invarianzen stellen Informationen dar, die während einer Bewegung gleich bleiben. Alle Informationen werden von unserem optischen System aufgefangen und verarbeitet.

Betrifft ein Ausstellungsbesucher einen musealen Ausstellungsraum, in dem Skulpturen besichtigt werden können, so verändert der Betrachter je nach Beobachtungsstandpunkt seine Distanz zu den ausgestellten Kunstskulpturen. Eine zunehmende Distanz zu ein und derselben ausgestellten Skulptur bewirkt auf Grundlage der retinalen Abbildung eine Verkleinerung. Der Betrachter selbst bewertet aber im Rahmen seiner visuellen Informationsaufnahme die Skulptur als jeweils gleich groß bleibend.

Der Widerspruch zwischen der retinalen Größenerscheinung und der direkt wahrgenommenen Größenerscheinung wurde mit dem zusätzlichen Ablauf bestimmter Rechenprozessen erklärt. Nach Gibson kann dieses Phänomen erklärt werden, in dem man die ausgestellten Skulpturen im direkten Zusammenhang mit Ihrer Umgebung wahrnimmt. Man geht also davon aus, dass jede einzelne Figur nicht aus Ihrem Kontext losgelöst betrachtet wird, sondern die visuelle Umgebung zur Größeneinschätzung durch den Betrachter beiträgt.

Jede Skulptur steht demnach fest auf dem Boden, der wiederum durch seine Oberflächentextur gekennzeichnet ist. Bewegt sich nun der Betrachter von der Skulptur weg, so verkleinert sich auch die Maschenweite der Oberflächentextur der Bodenoberfläche, die z.B. in Form quadratischer Teilflächen wie bei einem Plattenbelag vorhanden sein kann. Die Größenänderung der Skulptur steht in direktem Verhältnis zur Größenänderung der Teilflächen des Plattenbelages. Dieser direkte Zusammenhang wird über die visuelle Wahrnehmung als Invarianz erkannt und zur Größenbestimmung herangezogen.

Die für eine Wahrnehmung nötigen Informationen werden demnach über eine optische Anordnung dem „optical arrange“ erreicht. Als optische Anordnung kann man sich beliebig viele Varianten vorstellen. Zudem ist es für den Menschen nicht möglich, eine optische Anordnung aus allen Wahrnehmungspositionen heraus wahrzunehmen. Über eine bestimmte Anzahl verschiedener Positionswechsel ist es jedoch möglich, die für eine visuelle Informationsaufnahme wichtigen Invarianzen zu lokalisieren



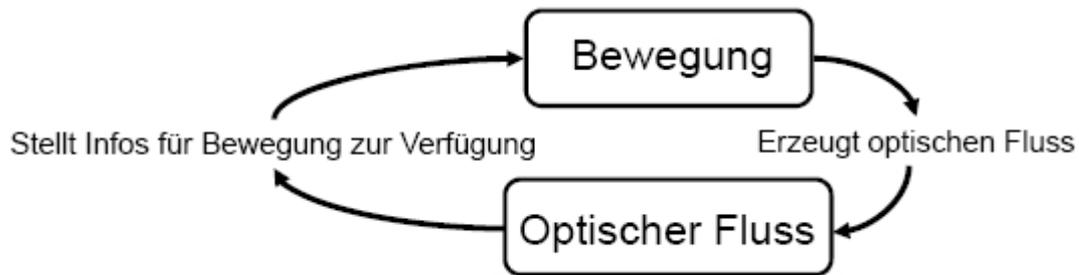
/22/

Eine weitere, wesentliche Information neben den Invarianten Merkmalen, beinhaltet der ökologische Wahrnehmungsansatz des optischen Flusses. Der optische Fluss beschreibt aneinanderhängende Flussfelder, die sich durch verschiedene Bewegungen des Beobachters, als Bewegungen der gesamten visuellen Szenerie zeigen. Die Bewegungsrichtung der Szenerie richtet sich nach der Bewegung des Betrachters. Es besteht demnach ein direkter Zusammenhang.

Bewegt sich also ein Ausstellungsbesucher auf eine Skulptur zu und behält diese während seiner Annäherungsphase im Blick, so entsteht ein zentrifugaler Bewegungsablauf vom Zentrum in die Randzonen seiner Netzhaut. Quantifiziert man die Bewegungsgeschwindigkeiten der einzelnen Bildpunkte, so muss festgestellt werden, dass je stärker man sich dem optischen Fokus nähert, die Fließgeschwindigkeit abnimmt. Dieser Beobachtung entsprechend entsteht ein zentripetales Fließgefüge,

wenn sich der Beobachter von der Skulptur entfernt. Wechselt der Betrachter seinen Blick von einer Skulptur zu einer benachbarten Skulptur, so verschiebt sich die visuelle Abbildung mit gleichbleibender Geschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung.

Es muss festgehalten werden, dass der Beobachter einer Skulptur oder eines anderen beliebigen Objektes durch die Bewegung seiner Augen, seines Kopfes und seines Körpers in die Lage versetzt wird, invariante Strukturen zu erkennen und als visuelle Information zu nutzen.



/23/

2.5 Labile und stabile Wahrnehmung

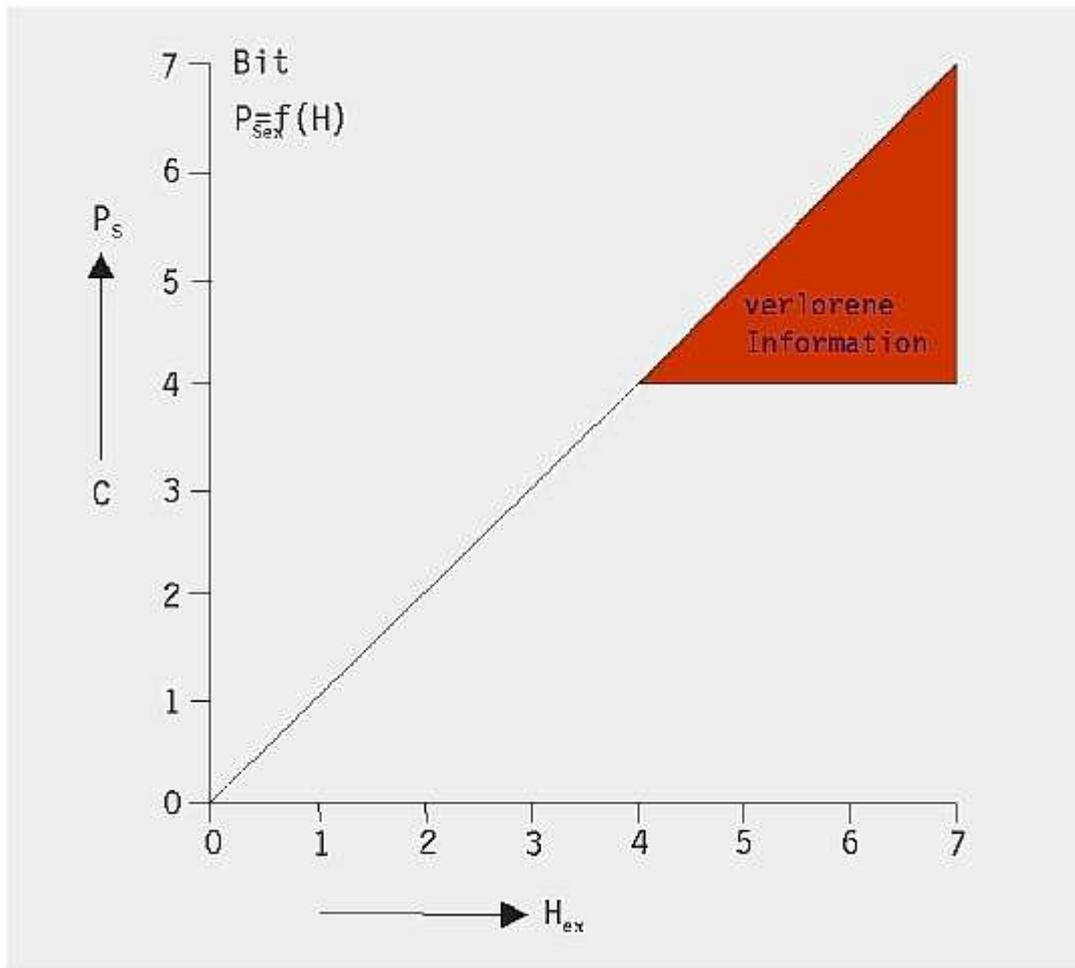
Gerade in dem visuell hochsensiblen Bereich eines Ausstellungsraumes ist eine effektiv ablaufende Verarbeitung visueller Eindrücke für den Betrachter einer Skulptur von äußerster Wichtigkeit. Damit eine visuelle Wahrnehmung möglichst effektiv ablaufen kann, müssen verschiedene Faktoren erfüllt werden.

Im Rahmen der labilen und stabilen Wahrnehmungsbetrachtung geht es in erster Linie um eine exakte Verteilung und Abstimmung der einzelnen Leuchtdichten und Leuchtdichtebereiche zu einander. Man könnte auch von einer gezielt gesteuerten Helligkeitsverteilung sprechen.

Bei dem Betrachtungsprozess einer räumlichen Skulptur empfängt das visuelle System des Beobachters sekundäres Licht, welches zuvor über eine sogenannte Oberflächenmodulation infolge einfallenden Primärlichtes reflektiert wurde. Der natürlichen Reaktion unseres visuellen Systems folgend, beginnt das Auge die vorhandenen unterschiedlichen Leuchtdichteverhältnisse und Helligkeiten zu ordnen und anzugleichen. Dieser Adaptionsvorgang gehört zur Gruppe der Konstanzleistungen. In diesem Fall ist das Ziel der visuellen Wahrnehmung eine optimale Helligkeitskonstanz zu erreichen.

Lässt die vorhandene, unterschiedliche und stark kontrastierende Helligkeitsverteilung des definierten Zieles eine optimale Helligkeitskonstanz nicht zu, kommt es zu einem dauerhaft labilen Wahrnehmungszustand. Dieser Zustand ist das Resultat einer fehlenden Übereinstimmung der Geschwindigkeit der einzelnen, wechselnden Blickrichtungen, mit der Anpassungsleistung unseres optischen Systems. Da die Anpassungsleistung unseres optischen Systems nicht beeinflusst werden kann, müssen die auftretenden Helligkeiten, der Leistungsfähigkeit und Funktionsgrundlage unseres visuellen Systems angeglichen werden.

Eine Aufnahme optischer Informationen ist zwar auch in einem labilen Wahrnehmungszustand möglich, nur muss hier mit erheblichen Einbußen der Aufnahmequalität visueller Informationen gerechnet werden. Zusätzlich wird durch die permanente Zielverfolgung, eine ausgeglichene Helligkeitsverteilung zu erreichen, unser optisches System rasch einer Ermüdung unterliegen. Eine ungestörte und somit optimierte visuelle Informationsaufnahme ist nicht mehr möglich.



/24/ BIT: binary digit, Informationsmenge einer Ja/Nein-Entscheidung
Hex: dargebotene Informationsmenge
C: Kapazitätsgrenze
Ps: Leistung, verarbeitete Informationsmenge
f: Funktion

Eine stabile Wahrnehmung verlangt also eine feine Abstimmung der einzelnen Leuchtdichtebereiche zueinander. Es ist somit absolut notwendig, einen Leuchtdichtebereich zu definieren, innerhalb dessen Grenzen unser natürliches visuelles System einen ruhenden Adaptionsendzustand erreicht. Alle vor diesem Adaptionsendzustand auftretenden Zwischenphasen des eigentlichen Adaptionsverlaufes muss man als instabile oder labile Wahrnehmung bezeichnen.

Stellt sich ein stabiler Wahrnehmungszustand bei der Betrachtung einer Kunstskulptur seitens des Betrachters ein, ist ein Idealzustand in Bezug auf die visuellen Hauptkriterien erreicht. Sehschärfe, Unterschiedsempfindlichkeit und Wahrnehmungsgeschwindigkeit sorgen für eine optimierte und störungsfreie visuelle Informationsaufnahme.

Um die Bedingungen für einen stabilen Wahrnehmungszustand exakt zu definieren, wird der Ausstellungsraum oder auch visuelle Reizraum in verschiedene Komponenten unterteilt. Diese werden als Infeld- und Umfeldkomponenten bezeichnet.



/25/ Zuordnung von Sehfunktionen zu den Infeld- bzw. Umfeldbereichen (erweitertes TLM)

Die Aufteilung des Ausstellungsraumes in einzelne Komponenten hat seinen Ursprung im natürlichen Erkundungsverhalten eines jeden individuellen Besuchers. Im Rahmen der visuellen Informationsaufnahme beginnt der Beobachter nacheinander verschiedene Bereiche des Raumes visuell abzutasten, um mit den dadurch gewonnenen optischen Informationen, durch Verknüpfung, einen ganzheitlichen Raumeindruck zu erstellen. Sämtliche visuellen Raumeindrücke sind somit teil einer zusammengehörigen Raumszenerie.

Den Kernbereich bilden drei verschiedene Erkundungsbereiche. Dem Erkundungsprozess folgend wird der erste Bereich als mobile Ebene bezeichnet. Der Begriff

„mobil“ soll das typische Verhalten eines Besuchers in dieser Situation beschreiben. Dieser Bereich zählt zu dem weiteren Umfeld. Typische Merkmale sind eine sehr schnelle aber detaillose Raumerfassung.

Der mobilen Ebene folgt die lokale Ebene. Der Besucher befindet sich nun auf einem festen Standpunkt und nimmt von diesem einzelne Teilbereiche des Gesamtraumes in Augenschein. Dieser visuelle Teilbereich wird als sekundäres Umfeld bezeichnet. Bei dieser Unterscheidung wird zum erstem mal ein bestimmter Teilbereich territorial eingegrenzt. Eine detailliertere Informationsaufnahme findet statt.

Die letzte und entscheidende Ebene der Wahrnehmung ist die fokussive Erkundungsebene. Sie wird als primäres und sekundäres Infeld bezeichnet. Diese Ebene ist, was die Detailliertheit der visuellen Informationsaufnahme betrifft, die entscheidende. Hier müssen sämtliche Funktionen für eine optimierte Sehleistung gewährleistet werden.

Grundsätzlich muss man davon ausgehen, dass im Verlauf einer visuellen Raumerkundung durch einen Ausstellungsbesucher, alle zuvor isoliert beschriebenen Erkundungsebenen ineinander greifen und den Betrachter vom Zeitpunkt des Eintretens in den Ausstellungsraum bis zu seinem Ziel begleiten. Diese Erkenntnis verdeutlicht die enge funktionelle Verflechtung von Infeld und Umfeld.

Vergleicht man nun die Größenverhältnisse der einzelnen entscheidenden Erkundungsbereiche miteinander, so fällt eine starke Unterschiedlichkeit in der jeweiligen Flächenausdehnung auf. Während das primäre oder sekundäre Umfeld in seiner flächigen Ausdehnung große Teile des visuellen Reizraumes beinhaltet, weist dagegen das primäre Infeld eine fast nur punktförmige Flächenausdehnung auf. Betrachtet man dieses Ergebnis vor dem Hintergrund eines ablaufenden Adaptionsprozesses, so kommt man zu der Erkenntnis, dass das Umfeld durch seine dominierende Flächenausdehnung und der damit verbundenen Leuchtdichtepräsenz zur bestimmenden Größe wird.

Das Adaptionsniveau unseres optischen Systems wird somit primär durch das Umfeld geprägt. Steht nun aber der Betrachter direkt vor einer Skulptur und möchte deren Informationsinhalt visuell aufnehmen, ist der primäre Infeldbereich der alleinige und einzig maßgebende Erkundungsbereich. Das heißt, die Leuchtdichte des punktuell sehr kleinen Infeldbereiches, wird in Bezug auf sein Leuchtdichteniveau, zur maßgebenden Größe. Das primäre Infeld stellt demzufolge einen Endzustand des Adaptionsprozesses dar.

Aufgrund der zuvor beschriebenen stark differierenden Größenverhältnisse der einzelnen Umfeld- und Infeldbereiche bedarf es einer präzisen Leuchtdichteabstimmung untereinander. Die eigentliche, im Zentrum der Bemühungen stehende, unter besten lichttechnischen Verhältnisse zu absolvierende Sehaufgabe, muss ohne große, die

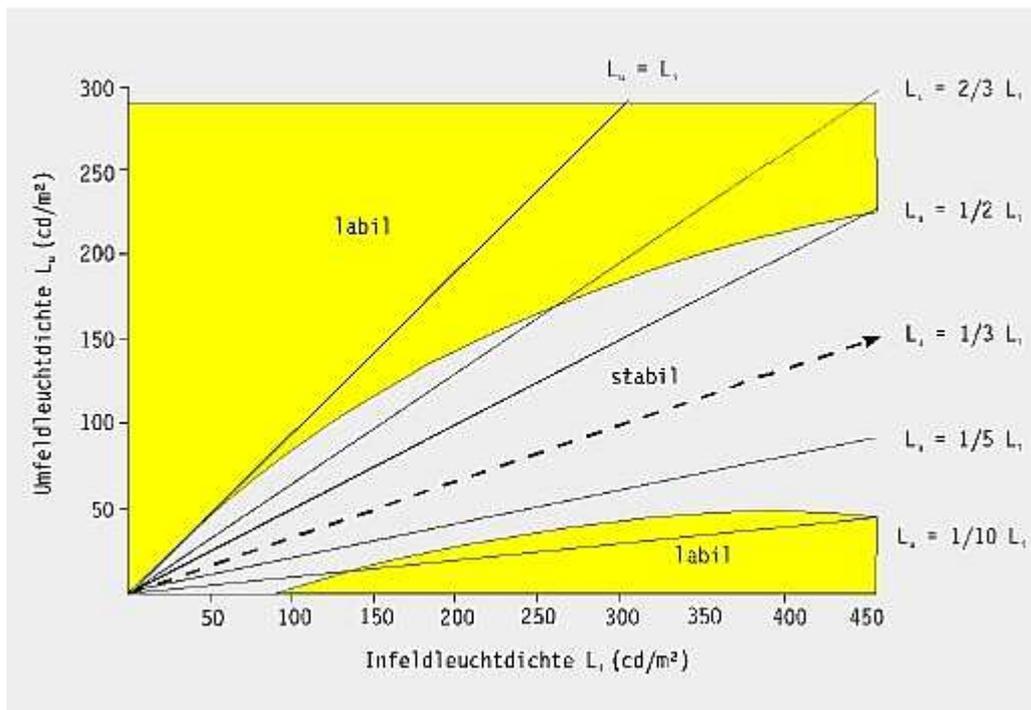
Adaption störender Helligkeitsdifferenzen erfolgen. Dies stellt das zentrale Ziel einer stabilen Wahrnehmung dar.

Beste Lichttechnische Verhältnisse werden also durch eine feine Abstimmung der Leuchtdichteverhältnisse von Infeld- und Umfeldbereich erreicht. Es muss daher gewährleistet sein, dass der Betrachter zur visuellen Orientierung innerhalb des Reizraumes seinen Blick umherwandern lassen kann, ohne dass er Infolge zu hoher Helligkeitssprünge von seiner eigentlichen Sehaufgabe, der Betrachtung von Kunstskulpturen, massiv abgelenkt wird.

Die stabile Wahrnehmung beschreibt also einen Wahrnehmungsprozess, in dem eine visuelle Informationsaufnahme aus dem Umfeld (ambient vision) und ein detailliertes Infeldsehen (focal vision) in ausreichender Sehschärfe gewährleistet ist.

Im Rahmen einer Skulpturenausstellung kann man die Oberflächenleuchtdichte der ausgestellten Skulpturen, dem eigentlichen Interessenszentrum der visuellen Informationsaufnahme, auch als fovealen Arbeitspunkt bezeichnen. Die visuelle Umgebung, welche nur eine optische Rahmung für die eigentliche Sehaufgabe darstellt, wird auch als peripherer Arbeitsraum bezeichnet.

„ Aufgrund der Physiologie des Sehapparates muss das gebotene Leuchtdichteverhältnis zwischen Infeld und Umfeld allerdings der Trägheit, d.h. der Zeitabhängigkeit des Anpassungsmechanismus in Form einer entsprechenden Bandbreite Rechnung tragen, innerhalb derer die Variation der Helligkeitsproportionen zwischen Arbeitspunkt und Arbeitsraum keine gravierende Störung des Sehvorgangs mehr hervorruft.“⁸



/26/ Belastungsfreie stabile Wahrnehmung erfordert optimale Leuchtdichteverhältnisse zwischen Infeld und Umfeld.

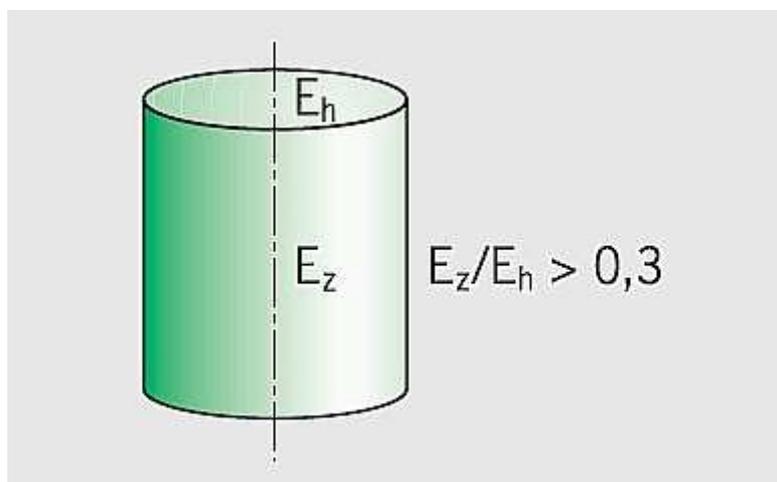
Die abgebildete Grafik verdeutlicht den Zusammenhang zwischen den Leuchtdichtebereichen von Infeld und Umfeld. Die zwei gelben Zonen markieren einen jeweils instabilen sprich labilen Wahrnehmungszustand. Der graue Bereich zeigt in welchen Leuchtdichtekonstellationen von Infeld und Umfeld eine stabile Wahrnehmung möglich ist. Die gestrichelte Linie innerhalb der grau unterlegten Fläche zeigt den Verlauf eines Idealzustandes an. Die Umfeldleuchtdichte L_u beträgt genau ein Drittel der Infeldleuchtdichte L_i .

2.6 Lichtrichtung und Schattigkeit

Besonders bei der genauen Betrachtung dreidimensionaler, räumlicher Strukturen ist eine gute Schattigkeit in Bezug auf eine möglichst ungestört ablaufende Informationsaufnahme ein entscheidendes visuelles Kriterium. Das Spiel von Licht und Schatten und eine damit einhergehende Oberflächenmodellierung stellt das Ergebnis einer feinen Abstimmung von gerichteten und diffusen Licht dar. Einfallswinkel und Ausstrahlungswinkel der eingesetzten Lichtquellen bilden hier die Grundlage für eine aussagefähige Modellierung der Ausstellungsobjekte. So stellt die Schattigkeit einen wichtigen Bestandteil der Sehleistung dar. „Alle Sinneswahrnehmungen beruhen auf der Wirkung von Kontrasten, so auch die Raumwahrnehmung und die Objektwahrnehmung“⁹

Der Begriff der Schattigkeit steht in erster Linie für die Modellierung einer Oberfläche. Ist das Ziel, eine qualitative Aussage über eine momentane Schattigkeitssituation zu treffen, so setzt man die zylindrische Beleuchtungsstärke in das Verhältnis zur horizontalen Beleuchtungsstärke. Es besteht die Möglichkeit, eine zu harte Schattenwirkung zu vermeiden, wenn in einer Höhe von 1,20 m über dem Boden das Verhältnis von E_z/E_h nicht kleiner als ca. 0,3 ist. Der Begriff der zylindrischen Beleuchtungsstärke stellt im Wesentlichen den an einem Punkt existierenden arithmetischen Mittelwert der vertikalen Beleuchtungsstärke E_v dar.

In der DIN EN 12665 wird die zylindrische Beleuchtungsstärke als Gesamtlichtstrom beschrieben der auf die gekrümmte Fläche eines sehr kleinen Zylinders fällt, geteilt durch die Größe der gekrümmten Oberfläche des selbigem Zylinders. Die zentrale Körperachse des Zylinders gilt als senkrecht, solange nicht ausdrücklich etwas anderes vorher festgelegt wird. Die Qualität einer Beleuchtungssituation hängt im Wesentlichen von der Erkennbarkeit räumlicher Objekte und der Helligkeit vertikaler Flächen ab. In der E DIN 5035-7 wird dies ausdrücklich bestätigt. Möchte man diese Raumlightsituation beschreiben, so bedient man sich hier ebenfalls der zylindrischen Beleuchtungsstärke E_z und der vertikalen Beleuchtungsstärke E_v .



/27/ Der Mittelwert der vertikalen Beleuchtungsstärken auf einem Zylinder veranschaulicht den Begriff zylindrische Beleuchtungsstärke

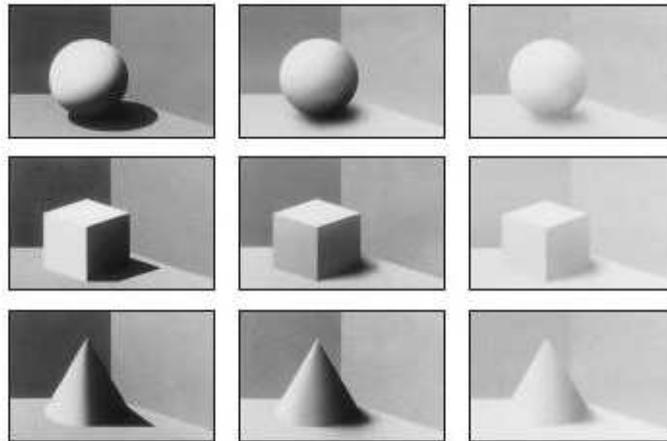
„Die Schattigkeit gehört – wie auch der Kontrastwiedergabefaktor – zu den ergonomisch wichtigsten lichttechnischen Größen, da sie das Erscheinungsbild der Sehobjekte und der Umgebung beschreibt. Der Kontrastwiedergabefaktor erlaubt es, die Güte der Erkennbarkeit zu berechnen.¹⁰

Gerade bei der Betrachtung von Skulpturen ist das Erkennen räumlicher und körperlicher Formensprachen von zentraler Bedeutung. Die Schattigkeit ist dabei ein Gradmesser, in wie weit ein bestehendes Lichtkonzept in der Lage ist, die tatsächlich vorhandene Formgebung möglichst unverfälscht wiederzugeben.

Setzt man nun eine Skulptur einer rein gerichteten Belichtung aus, so wird man als Ergebnis eine sehr starke und kontrastreiche Schattigkeit erreichen. Bei dieser Konstellation besteht allerdings die Gefahr, dass durch den entstehenden, scharf umrissenen Schlagschatten an Objekt und Raum, ein großer Teil des Informationsgehaltes des Ausstellungsobjektes verloren geht. Die stark kontrastierende Wirkung des entstandenen Schattenwurfes überlagert wichtige Detailinformationen und täuscht durch seine optische Präsenz räumliche Körperformen dem Betrachter vor, die real nicht existent sind.

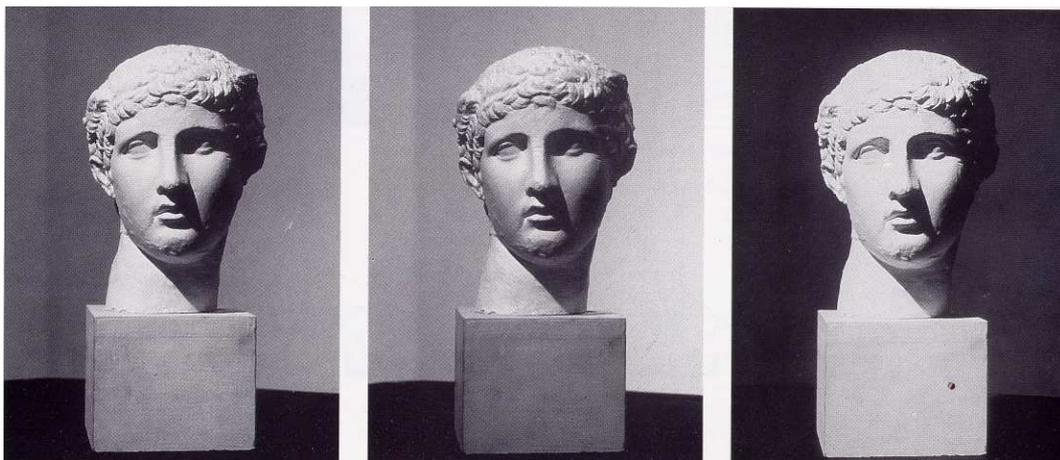
Eine im Gegenzug völlig richtungslose also diffuse Beleuchtung einer Skulptur wäre demnach schattenarm oder gar schattenlos. Eine solche Erscheinung lässt keine Rückschlüsse auf eine räumliche Ausdehnung zu. Objektkanten werden sehr unscharf wahrgenommen. Dieser fehlende Kontrast zwischen Körperkanten und Raumlicht macht eine gute Objektwahrnehmung unmöglich. Ebenso bleibt eine Beurteilung vorhandener Oberflächenqualitäten ergebnislos.

Um eine optimale Schattigkeit zu erzielen bedarf es also einer ausgewogenen Mischung aus einem gerichteten und diffusen Lichtanteil. Körperkonturen und Objektflächen müssen klar und eindeutig wahrgenommen werden können. Die folgenden Abbildungen werden die gerade beschriebenen Raumszenarien noch einmal visuell demonstrieren.



/28/

Die weiteren drei Aufnahmen sollen die Auswirkung einer unterschiedlichen Schattigkeit bei Skulpturalen Ausstellungsobjekten verdeutlichen. Eine Aussage über den Ort der Lichtquelle und Lichtrichtung soll bei diesen Aufnahmen zunächst bewusst ausgeklammert werden.



/29/ Wirkungsweise unterschiedlicher Schattigkeit auf dreidimensionale Objekte wie Gesichter

Die folgenden fünf Aufnahmen zeigen wiederum einen Kopf einer Skulptur die aus verschiedenen Richtungen angestrahlt wird. Zum Einsatz kommt hierbei ein sehr eng strahlender Spot mit einem Ausstrahlungswinkel von 15° . Der Lichtpunkt der einzelnen Aufnahmen liegt in einer Höhe von 2,90m



/30/



/31/



/32/



/33/



/34/

Aufnahme 30 wurde frontal aufgenommen, wobei die Lichtquelle zusätzlich oben mittig positioniert wurde. Aufnahme 31 wurde ebenfalls frontal aufgenommen, wobei hier die Lichtquelle zusätzlich oben links positioniert wurde. Bei der Aufnahme 32 hat man die frontale Leuchtenposition beibehalten, jedoch ist die Lichtquelle dabei nach rechts unten gerückt worden. Die nächste Aufnahme Bild 33 zeigt ebenfalls eine Frontalbeleuchtung allerdings mit einer zusätzlichen Lichtquelle aus der linken unteren Position. Die letzte Bildaufnahme 34 zeigt eine reine Seitenlichtaufnahme von rechts.

2.6.1 Schattenbildung und Reflexionen

Im Rahmen einer Ausstellung von dreidimensionalen Ausstellungsobjekten bilden das Ausstellungsobjekt selbst und der Ausstellungsraum eine optisch wahrnehmbare Einheit. Nicht nur die Schattigkeit des Ausstellungsobjektes sondern auch des Ausstellungsraumes schaffen die für eine visuelle Wahrnehmung nötigen Kontraste. Die Schattigkeit ist somit nicht nur an der Modulation von Objektform und Objektoberfläche beteiligt, sondern sorgt zudem auch noch für eine wahrnehmbare Zusammengehörigkeit von Ausstellungsobjekt und Ausstellungsraum.

Die Schattigkeit tritt in einem Raum genau da auf, wo infolge der architektonischen Raumgeometrie eine direkte Belichtung nicht möglich ist. Wird ein Raum über Seitenlicht belichtet, so bilden sich auf der Wandinnenseite um das Lichteintrittsloch Schattenbereiche aus. Ähnliches gilt für den senkrechten Lichteinfall von oben. Konstant zunehmende oder konstant abnehmende Schattenverläufe auf der Innenseite einer Wandscheibe können ein Indiz für eine Annäherung oder Entfernung von der eigentlichen Lichtquelle sein. Der Schattenverlauf deutet somit auf eine Zu- oder Abnahme der Beleuchtungsstärke hin.

Trifft das in einen Ausstellungsraum einfallende Licht die Wandinnenseiten in einem sehr spitzen Winkel, so wird dies eine hohe Oberflächenmodulation der Wandinnenseiten zur Folge haben. Trifft ein Lichtstrahl wie eben beschrieben auf eine Körperoberfläche, spricht man von einem sogenannten Streiflicht. Komplette Aufhebungen von Schattenfeldern kann es infolge mehrerer Lichtquellen geben. Eine der Lichtquelle exakt zuzuordnende Schattenfläche wird dann nicht mehr vom Betrachter wahrnehmbar sein. Die Schattenflächen verlieren in diesem Fall ihre sich selbst abgrenzende Erscheinung und gehen eine Verbindung mit anderen Schattenfeldern ein. Der Raum geht eine optische Verbindung mit dem ausgestellten Objekt ein. Eine eindeutige Trennung zwischen Objekt und Raumhülle ist nicht mehr gegeben.

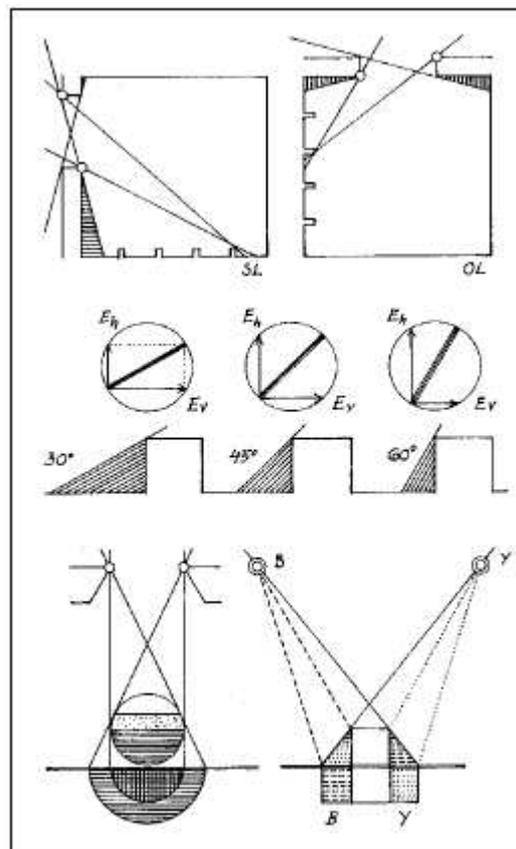
Ähnliche Beobachtungen können wir auch bei der Bildung eines Schlagschattens machen. Wird ein Objekt mit gerichtetem Licht in Szene gesetzt, so können sich auf den Innenseiten der das Ausstellungsobjekt umschließenden Hohlform Schlagschatten bilden. Für den Betrachter entsteht dadurch der visuelle Eindruck einer optischen Symbiose von Raum und Skulptur.

Jeder Schlagschatten erhält durch das ihn auslösende Ausstellungsobjekt eine individuelle charakterliche Erscheinung. Der Schlagschatten beinhaltet somit auch exakte Informationen über die das Ausstellungsobjekt anstrahlende Lichtquelle. An der Länge des Schlagschattens kann man u. a. Rückschlüsse auf die exakte Lage der Lichtquelle ziehen. Verfolgt man einen eintreffenden Lichtstrahl über den Erstkontakt mit einer räumlichen Struktur bis zu seinem Auftreffen auf den Boden, so besteht zudem die Möglichkeit, einer getrennten Betrachtung von horizontaler und vertikaler Beleuchtungsstärke.

Nimmt der Schlagschatten eine ungewöhnliche Färbung an, so liegt das mit hoher Wahrscheinlichkeit an einer fehlenden Angleichung der verwendeten Lichtquellen in Bezug auf deren Farbtemperaturen. Gerade bei der Kombination von Tages- und Kunstlicht kann eine zu niedrige Kunstlichttemperatur mit einer hohen Tageslichttemperatur zu einer Beeinträchtigung der visuellen Information für den Betrachter führen.

Einen wesentlichen Punkt bei der visuellen Wahrnehmung von mehrflächigen Ausstellungsobjekten spielt die Verteilung von Licht und Schatten. Hat der Ausstellungsbesucher ein bestimmtes Objekt in sein inneres Blickfeld aufgenommen, so beurteilt er anhand der individuellen Schattencharakteristik dessen optische Qualitätsmerkmale und Oberflächeneigenschaften.

Fällt demzufolge ein gerichteter Lichtstrom von oben auf eine räumliche Struktur dessen Außenhaut eine konstante Krümmung aufweist, so kann der aufmerksame Museumsbesucher eine Differenzierung im Bereich des Schlagschattens feststellen. Eine eher dunklere Innenzone, welche sich eng um das Objekt schmiegt, grenzt an eine deutlich hellere Schattenzone. Diese umschließt den dunkleren Innenzonenbereich.



/35/ Schlagschatten, Kernschatten und Halbschatten

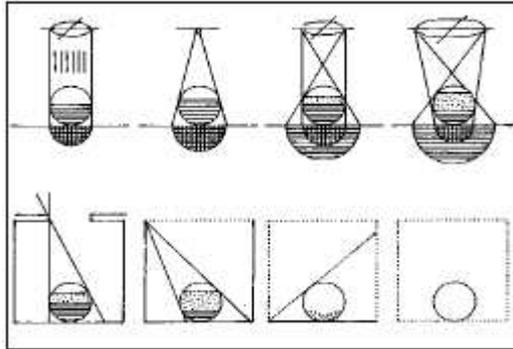
Während des Prozessverlaufes der visuellen Informationsaufnahme durch den Betrachter dürfte allerdings der direkt auf der Objektoberfläche entstehende Schattenwurf eine höhere Gewichtung einnehmen. So können bei der genauen Betrachtung der jeweils entstehenden Schattencharakteristik Zonen verschiedener Helligkeiten beobachtet werden. Des Weiteren besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem auf einer dreidimensionalen Oberflächenstruktur entstehenden Schattenbild und dessen auslösenden Lichtquelle.

Unterziehen wir den Schattenverlauf infolge Lichteinfalls auf eine homogen gekrümmte Objektoberfläche einer exakten Analyse. Als Betrachtungsobjekt wird eine Kugel als geometrische Grundform gewählt. Zuerst wird die Kugel einer parallel verlaufenden gerichteten Strahlung von oben ausgesetzt. Der von der Decke kommende Lichtstrom taucht auf seinem Weg zum Boden die Kugeloberseite in Licht, während die untere Kugeloberfläche im Schatten verschwindet. Den Übergang von belichteter zur verschatteten Seite bildet ein scharfer Grenzverlauf.

Betrachtet man nun den Schattenverlauf, infolge nicht parallel strahlender Lichtquellen, verändert sich die Schattenerscheinung deutlich. Der Betrachter kann nun beobachten, dass sich der vormals homogene Schattenbereich in zwei parallel zueinander verlaufende, von verschiedener Helligkeit geprägte Schattenzonen, wandelt. Die hellere der beiden Objektschattenzonen nennt man Halbschatten, die dunklere Schattenzone Kernschatten. Gerade diese Schattenzone spielt eine wichtige Rolle bei der Erkennung wichtiger Oberflächeneigenschaften. Hieraus werden insbesondere die optischen Informationsgehalte gewonnen.

Verändert man nun die Größe, der die Kugel anstrahlenden Lichtquelle, so verändert sich auch der Bereich des Halbschattens. Während die geometrische Form des Objekthalbschattens erhalten bleibt, vergrößert sich die Fläche der Verschattung. Am auffälligsten wird dies durch den direkten Vergleich, einer fast punktförmigen Lichtquelle mit einer sehr ausgedehnten Deckenöffnung als Objektbelichtung. Die fast punktförmige Lichtquelle gibt dem einfallenden Lichtstrom nur sehr begrenzt die Möglichkeit einer ausreichenden Belichtung der darunter platzierten Kugel. Die Lichtstromverteilung nimmt somit die Form eines Trichters mit einem spitzen Winkel zur Deckenöffnung hin an. Der Betrachter stellt einen fast übergangslosen Objektschattenverlauf vom Halbschatten zum Kernschatten fest. Der zu beobachtende sehr schmale Halbschattenbereich liegt mit seinem oberen und unteren Grenzverlauf deutlich auf der oberen Halbkugel. Eine Oberflächenmodulation ist somit nur sehr eingeschränkt möglich.

Fällt allerdings das einfallende Licht durch eine sehr große Deckenöffnung über das Objekt in den Ausstellungsraum, so ist der das Objekt streifende Lichtanteil wesentlich höher. Die Abbildung zeigt in diesem Falle wie sich der Bereich des Halbschattens sogar über den Bereich des größten Kugelumfangs und darüber hinaus erstreckt. Der Betrachter wird dies in Form einer guten visuellen Wahrnehmung der Oberflächeninformationen bemerken.



/36/ Schatten am Objekt

2.6.2 Brillanz

Das Ziel bei der Präsentation mehrflächiger dreidimensionaler Objekte ist ein möglichst brillantes Abbild zu schaffen. Ein Abbild, das durch seine intensive Erscheinung bei dem Betrachter eines Objektes ein hohes Interesse weckt. Im Wesentlichen entsteht Brillanz durch einen hohen Anteil von gerichtetem Licht, wobei der diffuse Lichtanteil sehr gering ist. Typische Vertreter einer hohen Brillanz sind alle glänzenden Materialien. Brillanz ist also eine optische Erscheinung die aus Brechung und Reflexion des einfallenden, stark gerichteten Lichtes entsteht. Während z. B. Glas das eingefangene Licht bricht, so reflektiert eine polierte Metalloberfläche den gerichteten Lichtstrahl.

Entscheidend für die Entstehung eines Brillanz-Effektes ist aber nicht nur die Quantität der eingesetzten Lichtquelle sondern die individuelle Leuchtdichte der einzelnen Lichtquelle. So kann eine Lichtquelle deren Lichtleistung geringer ist als das einer anderen Lichtquelle ein wesentlich brillanteres Bild erzeugen als eine mit einer wesentlich höheren Lichtleistung. „Bei der Beleuchtung von Objekten verdeutlicht Brillanz – ebenso wie die Modellierung – deren Räumlichkeit und Oberflächenbeschaffenheit, da Brillanz-Effekte vor allem auf Kanten und Wölbungen glänzender Objekte entstehen.“¹¹

Gerade im Rahmen der Präsentation von räumlichen Ausstellungsobjekten wird über den Brillanzeffekt eine sehr hohe räumliche Wirkung erzielt. Dem Betrachter wird somit eine gute Erkennbarkeit gerade der dreidimensionalen Qualitäten eines Objektes ermöglicht.

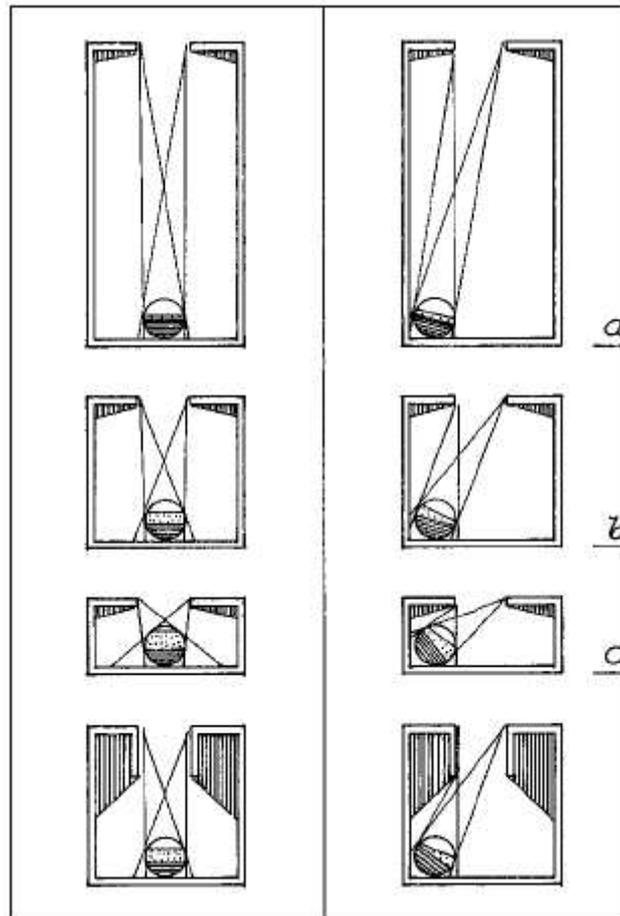
Eine gute Brillanz kann zudem die künstlerisch wertvolle Bedeutung eines Ausstellungsobjektes unterstreichen. Eine inhaltlich informationsreiche Brillanz wird dafür sorgen, dass der Betrachter den Ausstellungsgegenstand wahrnimmt und ihn zügig in sein Inneres Blickfeld aufnimmt. Eine entspannte und ungestörte visuelle Informationsaufnahme sorgt somit für eine gute Sehleistung.

2.6.3 Räumliche Positionierung eines Ausstellungsobjektes

Besteht die Absicht, räumliche Ausstellungsobjekte möglichst naturgetreu zu belichten, so fällt die Wahl auf ein Oberlichtkonzept. Es stellt sich allerdings die Frage, inwieweit sich die Position eines einzelnen Objektes und die damit verbundene Entfernungsdistanz zur Oberlichtöffnung auf die visuelle Qualität auswirken. Geht man davon aus, dass die zu präsentierende Skulptur eine sehr große Entfernungsdistanz zu der Oberlichtöffnung aufweist, so stellt man fest, dass insbesondere der für eine ausgeprägte Modellierung zuständige Bereich des Halbschattens kaum in Erscheinung tritt. Zusätzlich wirken die hohen Raumflächen als Sekundärlichtstrahler was dazu führt, dass die allgemeine Beleuchtung über eine sehr diffuse Lichtverteilungscharakteristik verfügt. Eine aussagekräftige Modellierung der Skulptur ist nicht zu erwarten. Eine Veränderung der Lageposition von der Mitte in den Randbereich des Ausstellungsraumes bleibt ohne einschneidende visuelle Wirkung.

Eine Verringerung der Entfernungsdistanz zu der Oberlichtöffnung bewirkt eine unmittelbare Zunahme der Beleuchtungsstärke. Nicht nur die Beleuchtungsstärke selber ändert sich, sondern auch die Art der Lichtrichtung unterliegt einem Wandel. So nimmt der direkte Lichtanteil deutlich zu, wohingegen der diffuse Lichtanteil stark abnehmend ist. Dies hat in erster Linie zur Folge, dass der Halbschattenbereich mit seiner ausgeprägten Modellierungscharakteristik entscheidend an Fläche gewinnt. Eine ausgeprägte Licht und Schattenverteilung ermöglicht eine sehr plastische Objektwirkung. Bewegt man nun die Skulptur aus einer mittigen Lageposition in den Randbereich des Ausstellungsraumes, so kann der Betrachter beobachten, dass sich der Bereich des Halbschattens seitlich nach unten bewegt, und somit Objektzonen modelliert, die vorher nicht wahrnehmbar waren.

Eine weitere Annäherung zwischen Objekt und Oberlicht schafft keine weitere Verbesserung der visuellen Erscheinung. Wird in diesem Fall die Skulptur aus der zentralen Raumposition bewegt, so verschlechtert sich die plastische Oberflächenmodulation deutlich. Die strenge visuelle Abgrenzung der einzelnen Schattenzonen zueinander lässt eine zusammenhängende Objekterkennung nur unter erschwerten Bedingungen zu. „Beleuchtete Kuppe, modellierte Zwischenzone und Eigen- sowie Kern- und Halbschatten kontrastieren deutlich“. ¹²



/37/ Oberlichtdistanz und Objekt

Aufgrund einer Verkürzung der Entfernungsdistanz zwischen dem Objekt und der Oberlichtöffnung wird der unmittelbare Zusammenhang deutlich. Eine Verschiebung der auszustellenden Skulptur aus der zentralen Mittelachse des Ausstellungsraumes eröffnet dem Betrachter die Möglichkeit, von der erweiterten Modellierung visuell zu profitieren.

2.7 Visuelle Objektidentifikation

Eine schnelle visuelle Identifikationsfähigkeit eines Betrachters ist für eine effektive Verarbeitung und Bewertung visueller Informationen von großer Wichtigkeit. Gerade im Augenblick einer ablaufenden Betrachtung dreidimensionaler figuraler Objekte, muss der Betrachter in der Lage sein, die dabei gewonnenen visuellen Daten zügig zu verarbeiten und zu einer zentralen Aussage zu verknüpfen. Hierbei spielt die Erkennungsleistung des Betrachters eine entscheidende Rolle. Aufgrund einer unendlichen Vielfalt optischer Reize, muss sich der Erkennungsprozess auf das Wesentliche sprich visueller Schlüsselmerkmale konzentrieren. Nur somit wird die visuelle Datenmenge zu bewältigen sein und zu einem gewollten Informationsgewinn beitragen.

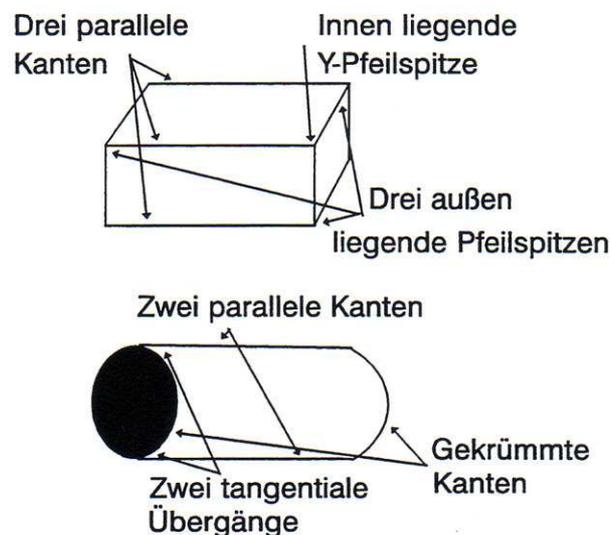
David Marr entwickelte 1982 eine mathematische Analyseverfahren, die auch technische Systeme in die Lage versetzen sollte, dreidimensionale Objekte zu erkennen. Er formulierte hierzu eine Anzahl von grundlegenden Schlüsselbausteinen. Hierzu zählten geschlossene Konturen, Segmente von Kanten, offene Linien und Endpunkte von Kantensegmenten, die eine Abgrenzung des jeweiligen Objektes nach Außen darstellen.

Aufgrund einer vorhandenen unübersichtlichen Formenvielfalt wurde jedes räumliche Objekt in einzelne Bausteine zerlegt. Man kann hier auch von einer modularen Organisation sprechen. Marr & Nishihara (1978) sahen in der Größe der einzelnen Module eine zentrale Ordnungsgröße und unterteilten die einzelnen Teilkörper dementsprechend. Je kleinteiliger die einzelnen Körpermodule wurden, desto genauer konnte eine Aussage über deren Details gemacht werden. Bei der optischen Zerlegung der räumlichen Gebilde musste natürlich ein einheitliches und für alle Module geltendes Erkennungsmerkmal geschaffen werden. Man konzentrierte sich somit auf nahezu rotationssymmetrische Grundmodule wie z. B. Zylinder, die alle über eine mehr oder weniger zentrale Längsachse verfügen. Mit dieser Entscheidung deckte man sowohl die geometrische wie auch die biologische Formensprache ab.

Folgt man der Auffassung von Irving Biederman so ist ein Betrachter in der Lage, räumliche Objekte unabhängig von seinem Betrachtungsstandort zu erkennen und zu identifizieren. Zudem gelingt die vollständige Identifikation auch bei nur eingeschränkter Einsehbarkeit. Der Betrachter ist nach Biederman auch in der Lage, ein aktuell präsentiertes Objekt visuell einzuordnen obwohl ihm das Ausstellungsstück völlig fremd ist. Eine solche visuelle Einordnung gelingt durch eine gedankliche Zerlegung des ausgestellten Objektes in verschiedene Komponenten. Das Hauptmerkmal der einzelnen Komponenten liegt in Ihren Außenkonturen. Biederman nennt diese Komponenten Geons (geometric ions). Die verschiedenen Geons sind zahlenmäßig auf 36 dreidimensionale zentrale Grundbausteine beschränkt.

In einem musealen Ausstellungsraum, in dem verschiedene Skulpturen präsentiert werden, nimmt der Betrachter im Rahmen seiner visuellen Informationsaufnahme unterschiedliche Beobachtungsstandpunkte ein. Das heißt, dass sich mit jedem

wechselnden Standpunkt des Beobachters auch der jeweilige Blickwinkel und die dazugehörige Entfernungsdistanz ändern. Nach Biederman beinhalten die einer Skulptur angehörigen Geons alle maßgebenden Erkennungsmerkmale Ihrer individuellen Gesamterscheinung unabhängig vom Betrachtungsstandpunkt. Die kognitive Verarbeitung der visuell gewonnenen Informationen durch den Betrachter basiert nun auf die Erkennung und richtige Deutung der einzelnen, vorhandenen Geons. Besteht z.B. eine ausgestellte, monolithische Steinskulptur aus einem Quader, oder zeigen sich einzelne Komponenten dieser Skulptur in Form eines Quaders, so erkennt der Betrachter typische, dieser dreidimensionalen Form zugehörigen Geons, anhand derer er in der Lage ist, räumliche und visuelle Qualitäten einzuordnen und zu bewerten.



/38/

Eine exakte Identifikation eines Objektes hängt somit von einer zügigen visuellen Erkennung der vorhandenen Geons ab. Der Betrachter muss dementsprechend für eine schnelle Objektidentifikation über eine gedanklich gespeicherte Anzahl von Geons verfügen.

In einer realen Betrachtungssituation kann es vorkommen, dass ausgestellte räumliche Kunstobjekte von anwesenden Besuchern oder anderen Ausstellungsobjekten teilweise verdeckt werden. Dennoch gelingt auch hier nach Biedermann eine visuelle Objektidentifikation. Allerdings nimmt die Identifikationsleistung des Betrachters immer weiter ab, je mehr der zu einer räumlichen Identifikation notwendigen Merkmale vorhandener Geons durch Verdeckung nicht visuell zur Verfügung stehen. Insbesondere zählen hierzu Bereiche, in denen sich die in einem Objekt vorhandenen Geons treffen. Also vorwiegend Areale, in denen Kanten Ihren Verlauf wechseln, oder in Knotenpunkte münden und danach neue Richtungen einschlagen.

Die Basisüberlegung einer Objektidentifikation durch Geons beinhaltet, dass im Gedächtnis des Betrachters bereits reduzierte Bildfragmente aus Geons und deren infrage kommenden Verknüpfungsmöglichkeiten abgespeichert sind. Das bedeutet, dass parallel zu einem ablaufenden visuellen Wahrnehmungsprozess, die laufend gewonnenen optischen Daten mit der kognitiven Erscheinung verglichen werden. Es muss darauf hingewiesen werden, dass vollständige Geons nur unter einem räumlich günstigen Blickwinkel zu einem ausgestellten Objekt visuell aufgenommen werden können. Blickt der Betrachter z.B. mit einer exakt frontal ausgerichteten Blickrichtung auf eine quaderförmige Skulptur, so wird das entstehende Abbild in Form eines Rechteckes keine räumlichen Geons erhalten. Dieser Betrachtungswinkel wird in der Realität allerdings nur sehr selten vorkommen.

2.8 Größenwahrnehmung

Eine exakte Größenbewertung über dreidimensionale Objekte zu treffen, stellt eine grundlegende und zentrale visuelle Aufgabe dar. Die Wissenschaft widmet sich schon seit längerer Zeit dieser Thematik, auf welcher Grundlage und nach welcher Systematik jeweils eine individuelle Größeneinschätzung getroffen wird. Bereits Euklid vermutete, dass der sich einstellende Sehwinkel als Instrumentarium für eine visuelle Größenbewertung dient.

Verschiedene Untersuchungen haben ergeben, dass die alleinige Orientierung anhand der Größe des Sehwinkels eine nur sehr ungenaue Größeneinschätzung darstellt. So kann ein größeres Objekt den gleichen Sehwinkel zum Betrachter wie ein kleineres Objekt einnehmen, wenn es eine größere Entfernungsdistanz zum Betrachtungsstandort aufweist. Eine sehr bekannte Untersuchung von Holway & Boring aus dem Jahre 1941 ergab, je weniger äußere Hinweise im Hinblick auf eine Größeneinschätzung den Probanden zur Verfügung stehen, desto stärker wurde das retinale Bild als alleinige Entscheidungsgrundlage eingesetzt. Das heißt, dass mit einer völligen Eliminierung von äußeren Entfernungsinformationen die Einschätzung der Objektgröße exakt der Größe des Sehwinkels entspricht. Konnten die Probanden im Hinblick auf die Größeneinschätzung des räumlichen Objektes auf eine volle binokulare oder monokulare Betrachtungsweise zurückgreifen, so spielte die jeweilige Objektentfernung zum Betrachterstandpunkt eine immer entscheidendere Rolle. Die Probanden verhielten sich hier den Regeln der Größenkonstanz entsprechend.

In den meisten Fällen werden Skulpturenausstellungen den Besuchern in gesonderten Räumlichkeiten präsentiert. Hierzu dienen je nach Skulpturenart Museen, private oder öffentliche Bauten oder Ausstellungshallen. In allen Fällen handelt es sich um geschlossene Räumlichkeiten, die über jeweils individuelle Oberflächentexturen und perspektivische Linienverläufe in Form von Raumkanten verfügen. Anhand dieser Oberflächeninformationen ist es dem Betrachter möglich, die Größe einer Ausgestellten Skulptur einzuschätzen. Handelt es sich z. B. um eine sehr längliche und flache Skulpturenform, deren Unterseite über die gesamte Objektlänge Kontakt zum Aus-

stellungsboden hat, so kann die Skulpturenlänge, sprich Skulpturengröße anhand der überdeckten Texturelemente abgeschätzt werden. Diese Ausformung wird allerdings eine eher seltenere Formensprache sein. Häufig verfügen Skulpturen über eine eher nach oben gerichtete, schlanke Ausformung. Hier besteht für einen Betrachter die Möglichkeit, visuelle Größeninformationen mit Hilfe einer zur Verfügung stehender Oberflächentextur der Innenwandflächen zu bestimmen. Diese Art der Größeneinschätzung verlangt allerdings einen eher zu den Innenwänden positionierten Objektstandort, wodurch der Betrachter in die Lage versetzt wird, eine optische Überlappung der Skulptur mit der Seitenwandtextur visuell wahrzunehmen, und zu einer Größenskalierung einzusetzen.

Verschieden Untersuchungen kamen zu dem Ergebnis, dass die Größeneinschätzung von abstrakten Objekten von Oberflächentexturen bestimmt wird. Insbesondere haben perspektivisch verlaufende Texturelemente eine große Auswirkung auf die Bewertung der Objektgröße. Vogel & Teghtsoonian haben sich 1972 im Rahmen eines Experimentes mit künstlichen Raumperspektiven mit dem Thema der Größeneinschätzungen befasst. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass es keine direkte Proportionalität zwischen einer Größeneinschätzung und der entsprechenden Entfernungseinschätzung gebe. Vielmehr steht die Größeneinschätzung in direktem Zusammenhang mit der visuellen Information aus der perspektivischen Umgebung.

2.9 Distanzwahrnehmung

Insbesondere bei der Betrachtung von Skulpturen unter musealen Bedingungen spielt die Wahrnehmung und Bewertung der Distanz zwischen dem Betrachter und der ausgestellten Skulptur sowie die räumliche Distanz der einzelnen Skulpturen zueinander eine wichtige Rolle.

Im Wesentlichen werden hier zwei Hautgruppierungen unterschieden. Die vorhandene Distanz zwischen dem Standpunkt des Betrachters und der direkt anvisierten Skulptur stellt die sogenannte egozentrische Entfernung dar. Das Distanzverhältnis zwischen den einzelnen Objekten untereinander wird durch die exozentrische Entfernung beschrieben.

Äußert sich der Wahrnehmende über die Größe der von ihm einzuschätzenden Entfernung, so bedient er sich einer metrischen oder nichtmetrischen Längenaussage.

Um die Entfernung zu einem Objekt bewerten und einschätzen zu können, muss der Betrachter in der Lage sein, die ihm zur Verfügung stehenden optischen und physiologischen Informationen zu verarbeiten, und diese zu einer Aussage über die Größe einer zu bewertenden Distanz zu bündeln. Die Quantität an vorhandenen Informationen kann hier in vier unterschiedliche Gruppierungen aufgeteilt werden.

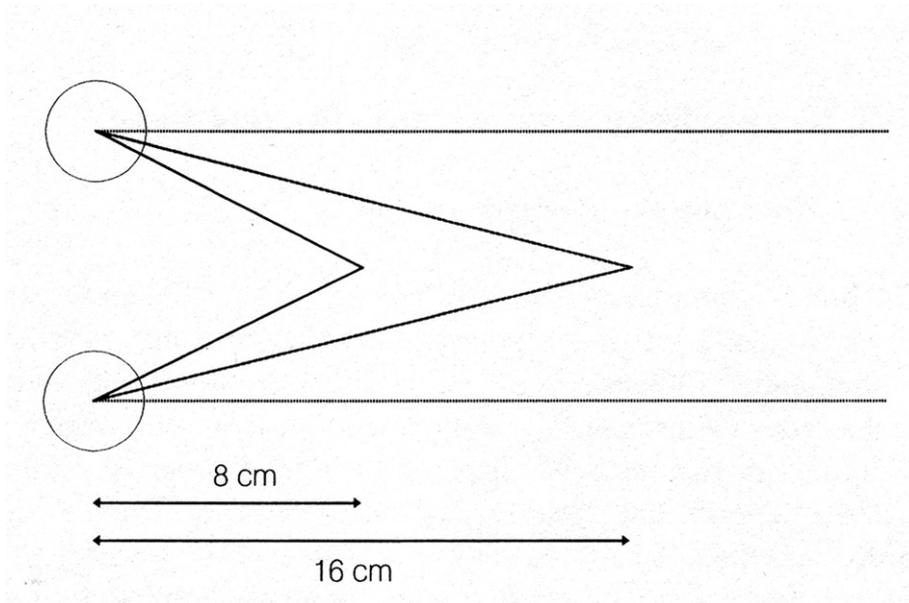
Die erste Gruppe bilden die okulomotorischen Informationen. Diese Informationsinhalte beziehen sich auf die jeweils vorherrschende Stellungsposition unserer Augen. So stellt sich infolge einer ablaufenden Distanzwahrnehmung eine Spannung der Augenmuskulatur ein. Als wichtigster Vertreter okulomotorischer Informationsgeber sind hier die Konvergenz und die Akkomodation zu nennen.

Eine weitere wichtige Informationsgruppe bilden Informationen, welche über die visuelle Wahrnehmung eines zweidimensionalen Bildes gewonnen werden. Diese Bildinformationen können z.B. Aussagen über Textur, Größe, oder einzelner Überlappungsbereiche dargestellter Objekte enthalten.

Die dritte Gruppe beinhaltet Informationen, die über Eigenbewegung im Gesichtsfeld des Betrachters entstehen. Geht der Bewegungsreiz im Rahmen einer visuellen Wahrnehmung von statischen Skulpturen vom Betrachter selbst aus, so werden auch die hierdurch gewonnenen Daten dieser Gruppierung zugeordnet. Als entscheidende Informationsgeber sind hier die Bewegungsparallaxe, das jeweilige Auf- und Verdecken von Objektkanten, oder die durch Bewegung entstehenden Flussfelder zu nennen.

Das Feld der binokularen Informationen bildet den Abschluss der zur Verfügung stehenden Informationsgruppierungen. Werden die optisch gewonnenen Informationsdaten, welche über beide Augen gewonnen werden, zu einem zentralen visuellen Gesamtabbild zusammengefügt, so spricht man von einem binokularen Informationsergebnis.

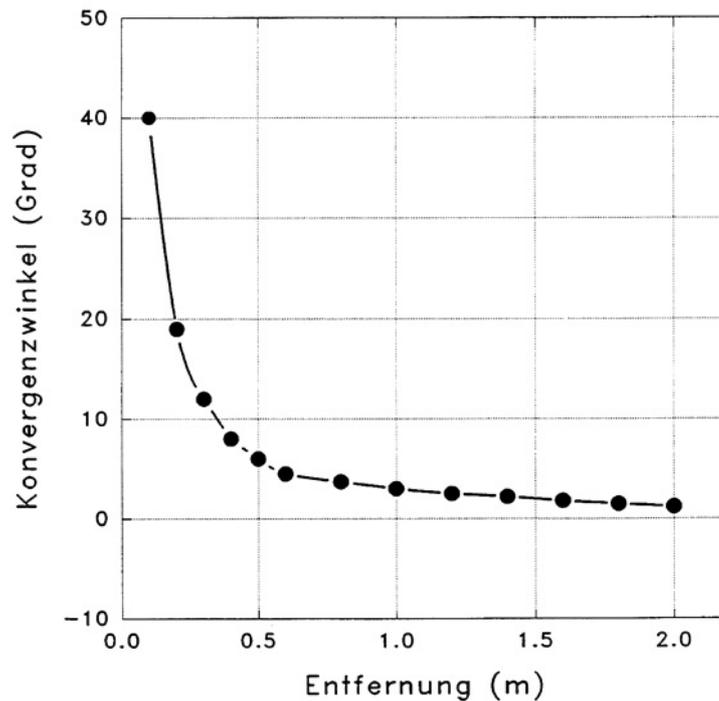
Betrachtet ein Ausstellungsbesucher eine Skulptur, so fixiert er diese infolge der visuellen Informationsaufnahme mit seinen Augen. Je nach Standpunkt und somit Entfernung des ausgestellten Objektes im Raum, nehmen die Augen des Betrachters einen je nach Distanz bestimmten Winkel zueinander ein. Man nennt diese Augenbewegungen Vergenzbewegungen. Die jeweils eintretenden Winkelstellungen bewegen sich auf einer horizontalen Ebene. Fixiert der Betrachter eine weiter entfernte Skulptur und richtet anschließend sein visuelles Interesse auf eine näher positionierte Skulptur, so konvergieren seine Augen. Das heißt, der Vergenzwinkel in horizontaler Ebene vergrößert sich. Richtet dagegen der Betrachter sein Augenmerk wieder auf eine entfernt liegende Skulptur, so führen seine Augen eine Divergenzbewegung aus. Demzufolge richten sich die Augenachsen bei der visuellen Wahrnehmung eines weit entfernten Objektes parallel aus.



/39/

Bei der Betrachtung eines Ausstellungsobjektes nehmen aber nicht nur die Augenachsen einen bestimmten Konvergenzwinkel zueinander ein, sondern auch die Augenlinsen reagieren mit einer Krümmungsänderung infolge Akkomodation. Je näher der Ausstellungsstandpunkt einer Skulptur zum Standpunkt des Betrachters gerückt wird, umso stärker fällt die Linsenkrümmung aus. Da die beschriebenen Reaktionen unserer Augen einer muskulären Steuerung unterliegen, kann man durchaus davon ausgehen, dass der Intensivierungsgrad an muskulärer Steuerung auch ein Gradmesser für die Entfernungseinschätzung zu der fixierten Skulptur darstellt.

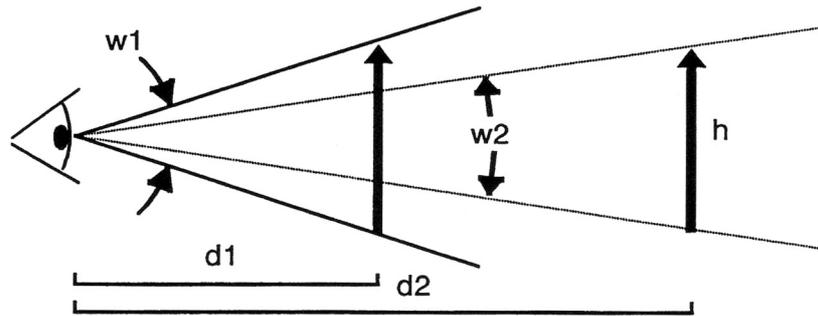
Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass in einem Entfernungsbereich zwischen 1-2 m und einer Entfernung von bis zu 3 km der Konvergenzwinkel kaum Veränderungen zeigt. Allein in einem Bereich von bis zu einem Meter Distanz zwischen Betrachter und Skulptur kann von einer deutlichen Konvergenzwinkelveränderung gesprochen werden. Es ist somit fraglich, ob der Konvergenzwinkel ein Instrument als Tiefeninformation darstellt.



/40/

Betrifft ein Besucher einen Ausstellungsraum, in dem verschiedene Skulpturale Objekte im Rahmen ihrer Präsentation räumlich positioniert sind, so beginnt der Betrachter u. a. die Distanzen zu den verschiedenen Objektstandpunkten zu schätzen. Er versucht das sich ihm bietende visuelle Raumbild zu ordnen. Aufgrund der unterschiedlichen Objektstandpunkte werden sich manche Skulpturen gegenseitig teilweise oder vollständig verdecken. Die Skulptur, welche die Sicht auf eine weitere Skulptur verdeckt, wird von der betrachtenden Person als weiter vorne liegend wahrgenommen. Diese visuelle Erkenntnis ermöglicht es aber dem Betrachter nicht, eine qualitative Distanzschätzung abzugeben.

Das Fixieren der einzelnen Ausstellungsobjekte durch den Betrachter führt bei jedem einzelnen Objekt zu einer jeweils individuellen vom Standort abhängigen Abbildungsgröße auf der Retina. Es liegt somit die Vermutung nahe, dass über die Größe der retinalen Abbildung eine qualitative Distanzschätzung möglich ist. In diesem Zusammenhang muss auf Euklid hingewiesen werden, der herausgefunden hat, dass bei zunehmender Entfernung zwischen Betrachter und Objekt der Sehwinkel abnimmt. In gleichem Maße wie sich der Sehwinkel verringert, nimmt die dazugehörige Distanz zu. Es wurde also eine umgekehrte Proportionalität festgestellt. Der Sehwinkel entsteht durch eine Projektion zwischen dem Auge des Betrachters und dem fixierten Objekt. Er beschreibt ein zweidimensionales Flächensegment, welches je nach Objektentfernung ein bestimmtes Streckenmaß auf der Retina abbildet. In einer Untersuchungsreihe von Ittelson & Ames beschäftigt man sich mit dem Zusammenhang aus dem jeweils entstehenden Raumwinkel und der daraus resultierenden Entfernungseinschätzung.



/41/

Im Laufe seines Lebens sammelt der Mensch visuelle Eindrücke von Lebewesen und Gegenständen. U. a. merkt sich unser visuelles Wahrnehmungssystem die Größe verschiedener Lebewesen und Objekten. Es stellt sich also die Frage, in wie weit spielt ein exaktes Wissen über die Größe eines Gegenstandes oder eines Lebewesens eine Rolle bei der Entfernungsschätzung. Ein Erwachsener Betrachter weiß z.B. wie groß ein erwachsener Mensch, ein Kind oder ein Säugling ist. Unseren Artgenossen begegnen wir täglich in unserem Leben. Wir sind es also gewöhnt, die Größe von unseren Mitmenschen aus verschiedenen Winkeln und Distanzen heraus unbemerkt einzuschätzen. Würde nun eine ausgestellte Skulptur dem Abbild eines erwachsenen Menschen entsprechen, so wäre der Betrachter in der Lage die Distanz zu dieser Figur schnell und einfach zu schätzen. Bei einer rein abstrakten Skulptur wäre dies nur unter erschwerten Bedingungen oder gar nicht möglich.

Hierzu wurde von William Epstein 1965 ein sehr interessantes Experiment durchgeführt. Als Beobachtungsgegenstand dienten drei Münzen, welche zwar in Wirklichkeit unterschiedliche Durchmesser hatten, aber sich für den Versuchsablauf in Ihrer Größe nicht unterschieden. Das Resultat erwies, dass bei einer ausschließlich monokularen Betrachtung das Wissen über die jeweils realen Größen als Grundlage für die Distanzeinschätzung diene. Bei einer binokularen Betrachtungsweise konnte dieser Effekt nicht nachgewiesen werden.

Ein weiteres wichtiges Instrument zur Distanzwahrnehmung stellt die Oberflächen-textur verschiedener Materialoberflächen dar. Die meisten Oberflächen verfügen über eine sie typisierende Oberflächenbeschaffenheit, die es einem Betrachter erleichtert, bestehende Entfernungsausdehnungen zu schätzen. Betrachtet man z.B. einen Ausstellungsraum, der über einen Steinboden verfügt, so besitzt die Bodenoberfläche infolge der verlegten Steinplatten über eine sie charakterisierende Oberflächentextur. Das bestehende Texturmuster setzt sich im Wesentlichen aus horizontalen und vertikalen Linien zusammen, die in einem bestimmten Abstandsverhältnis zueinander stehen. Die durch die Oberflächengeometrie vorbestimmten Verbindungslinien beinhalten für den Betrachter perspektivische Informationsinhalte.

Die Linearperspektive beinhaltet die zentrale Aussage, wonach parallel verlaufende Linien oder Innenraumkanten, umgesetzt in ein zweidimensionales Abbild, als zwei sich in einem Punkt treffenden Linien darstellen. Diese Aussage bezieht sich auf die Tatsache, dass sich bei einem Betrachter im Rahmen der visuellen Wahrnehmung zweier parallel verlaufender Linien, die Sehwinkel mit zunehmender Entfernungsdistanz immer kleiner werden, bis sich die beiden Linien optisch in einem Punkt berühren.

Blickt nun ein Ausstellungsbesucher in einen sehr ausgedehnten Ausstellungsraum oder Ausstellungshalle, mit einer visuell wahrnehmbaren Oberflächentextur, so lässt sich feststellen, dass sich mit einer zunehmenden Entfernung vom Betrachter die vertikalen und horizontalen Texturabstände verringern. Anhand des sich mit zunehmender Entfernung verdichtenden Texturmusters kann der Betrachter die räumlich positionierten Skulpturen besser egozentrisch und exozentrisch einschätzen. Zudem bieten die Innenraumkanten durch ihren perspektivischen Verlauf zusätzliche Distanzinformationen.

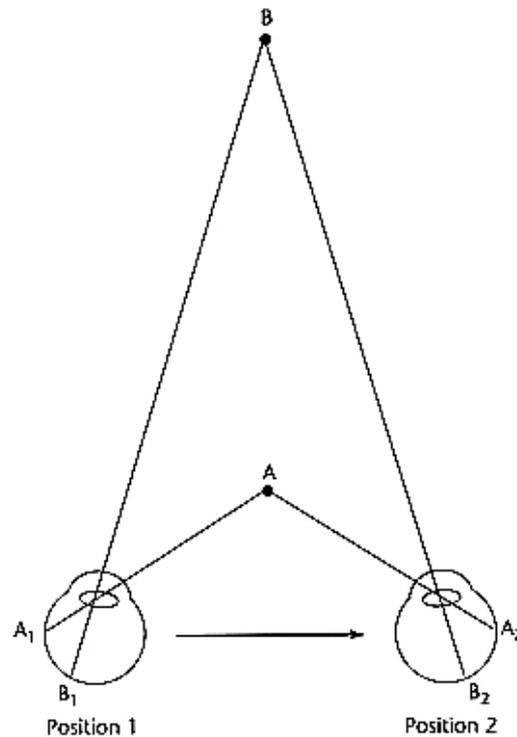
Beinhaltet das Ausstellungskonzept Teilbereiche, in denen Skulpturen auf Flächenteilstücke mit gleicher Oberflächentextur aber unterschiedlicher Flächenneigung präsentiert werden, so positionieren sich diese Objekte mit steigender Oberflächenneigung näher zum Betrachter. Der Betrachter wird diese Flächensegmente anhand eines anderen Texturdichteverlaufes visuell erkennen und für seine Distanzeinschätzung verwenden.

Es stellte sich also die zentrale Frage, welche Textureigenschaften im Wesentlichen einen Einfluss auf die Distanzschätzung haben. 1959 stellte Gibson die Vermutung an, dass die visuell Wahrgenommene Distanzlänge mit der Texturdichte zusammenhängt. 1971 überprüfte Newman diese Hypothese von Gibson in dem er eine Versuchsanordnung wählte, in dem sechs verschiedene Texturdichten zum Einsatz kamen. Es bestätigte die Vermutung von Gibson, indem man herausfand, dass die Probanden deutlich von einer vorhandenen Oberflächentextur in ihrer Distanzwahrnehmung beeinflusst wurden.

Der erste visuelle Blickkontakt des Ausstellungsbesuchers mit den Skulpturen tritt mit dem Eintreten in die Ausstellungshalle ein. Der Besucher wird in diesem Moment mit einer weitläufigen Ausstellungshalle konfrontiert, in der in regelmäßigen oder unregelmäßigen Abständen die Skulpturen räumlich positioniert sind. Bleibt der Besucher seinem augenblicklichen Standort statisch verbunden, so wird es für ihn schwer sein, sich durch erste Distanzeinschätzungen einen räumlichen Überblick zu verschaffen.

Beginnt der Ausstellungsbesucher allerdings seinen visuellen Beobachtungsstandort zu verlagern und bewegt sich an dem Feld der ausgestellten Skulpturen vorbei, so ist er in der Lage, ein plastisches Bild aufzunehmen und erste Distanzen zu einzelnen Skulpturen zu schätzen. Der Betrachter erzeugt somit durch seine Eigenbewegung eine räumliche Tiefenordnung. Durch die Eigenbewegung des Betrachters entlang

des Skulpturenfeldes werden die zum Betrachter näher positionierten Skulpturen visuell schneller vorbeiziehen, als die weiter weg positionierten Objekte. Dieser visuelle Effekt beruht auf dem Ablauf der Bewegungsparallaxe.



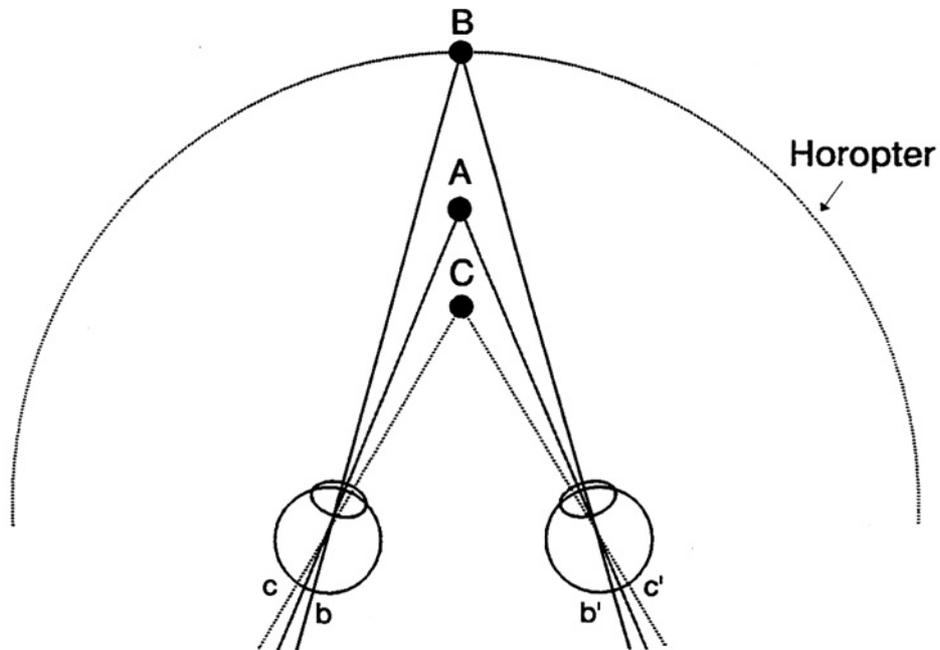
/42/

Infolge der Eigenbewegung des Betrachters verschieben sich die einzelnen Skulpturstandorte in Bezug zum Betrachterstandort zueinander. Die näher positionierten Objekte schieben sich vor die dahinterliegenden Skulpturen. So werden Skulpturoberflächen, die für den Betrachter gerade noch nicht sichtbar waren freigelegt, und andere zugedeckt. Infolge dieser optischen Verschiebung überschneiden sich die Umrisskanten der Skulpturen. Diese gegenseitige Überschneidung stellt für den Betrachter eine wichtige Tiefeninformation dar.

Bei der Betrachtung frei stehender, räumlicher Objekte stellt die visuelle Bewertung der jeweils vorherrschenden Entfernungsdistanz zwischen Objekt und Betrachter ein wesentliches Informationskriterium dar. Steht ein Betrachter vor einer Skulpturengruppe, so wird sich sein optischer Fokus auf zunächst eine Skulptur richten. Da der Betrachter seine fokussierte Skulptur mit beiden Augen visuell wahrnimmt, fallen demzufolge die dabei entstehenden Abbildungen auf sogenannte Netzhautpunkte. Die Netzhautpunkte liegen somit im fovealen Bereich. Man spricht in diesem Zusammenhang von Korrespondierenden Netzhautpunkten. Diese zusammengehörigen Netzhautpunkte des visuellen Cortex beinhalten jeweils die identischen Lageinformationen über den Ausstellungsstandpunkt der Skulptur.

Liegen auf einem gedachten Kreisradius, welcher die fixierte Skulptur und die optischen Mittelpunkte der Augen schneidet noch weitere Skulpturen, so erzeugen auch

diese korrespondierenden Netzhautpunkte. Andere, ebenfalls anwesende Skulpturen werden zwar vom Betrachter wahrgenommen, erzeugen aber auf der Netzhaut keine korrespondierenden Netzhautpunkte d.h., die retinalen Abbildungen befinden sich bei beiden Augen nicht auf der gleichen Netzhautstelle. Wir sprechen in diesem Zusammenhang auch von disparaten Netzhautpunkten.



/43/

Dieser, zu der ursprünglich fixierten Skulptur abweichende Winkel zwischen den retinalen Abbildungsstellen nennt man Querdisparation. Dieser Winkel nimmt mit zunehmender Entfernungsdistanz zum Horopter zu. Die Skulptur beginnt aus dem Netzhautfeld zu wandern. Im Bereich der binokularen Distanzwahrnehmung stellt dieser Zusammenhang einen zentralen Baustein für die Bewertung einer vorliegenden Entfernungsdistanz dar.

2.10 Richtungslokalisierung

Der Begriff „Lokalisation“ beschreibt das Wahrnehmen eines Objektes in Bezug auf seine räumliche Lage. Eine entscheidende Komponente hierbei stellt die Richtung dar, welche ein ausgestelltes Objekt zu einem Betrachter einnimmt. Im Laufe des Wahrnehmungsprozesses fixiert der Betrachter ein für ihn visuell interessantes Objekt. Es kommt eine Sichtachse zwischen dem Betrachter und seinem Objekt zustande. Gleichzeitig entsteht ein horizontaler Bezugshorizont, der in seiner angesetzten Höhe der Sehachse der Hauptblickrichtung gleicht. Taucht nun ein anderes Objekt im Blickfeld des Betrachters auf, so zieht das neue Objekt die ganze visuelle Aufmerksamkeit auf sich. Der optische Fokus des Betrachters schwenkt somit von

der ursprünglichen Ausrichtung der Hauptblickachse in eine durch das neue Objekt bestimmte Ausrichtung. Der hierbei horizontal überstrichene Winkel zur Hauptblickrichtung verweist auf die veränderte räumliche Lage des neuen Objektes.

Die Schnelligkeit oder Leistungsstärke der visuellen Lokalisation des anderen Objektes hängt in der Regel von mehreren Faktoren ab. Entscheidend für die visuelle Reaktionsgeschwindigkeit ist das individuelle Reaktionsverhalten des Betrachters. Des Weiteren spielt natürlich auch die Objektgröße eine entscheidende Rolle.

Die wohl allerdings entschiedenste Größe für eine effektive visuelle Reaktion ist die Entfernung zum bestehenden fixierten Objekt. Je näher der optische Reiz an den bestehenden Fixationspunkt heranrückt, desto schneller wird der visuelle Wahrnehmungsreiz ausgelöst. Infolge einer bestehenden Beleuchtung kann ein neu positioniertes Objekt in z.B. einem hellen Lichtkegel eintauchen und somit im Vergleich zu dem bereits lokalisierten Objekt einen höheren Helligkeitskontrast aufweisen, der eine unverzügliche Richtungslokalisierung beim Betrachter auslöst. Weitere Untersuchungen über die Genauigkeit von Lokalisationen existieren von Chua, Carson, Goodman & Elliot (1992).

2.11 Neigungswahrnehmung von Raum- und Körperoberflächen

Eine möglichst genaue visuelle Einschätzung der Neigung einer Wand- oder Körperoberfläche ist für eine optische Informationsverwertung von entscheidender Bedeutung. Generell können verschiedene Neigungsverhältnisse, je nach Bezugsebene unterschieden werden.

Dient die Blickrichtung des Betrachters als Bezugsebene für die Bestimmung einer vorherrschenden Flächenneigung, handelt es sich um eine optische Neigung. Wird bei der Betrachtung z.B. eines Ausstellungsraumes der Fußboden als Bezugsebene herangezogen, so spricht man von einer geografischen Neigung. Eine Bezugsebene kann natürlich auch eine frei gewählte, geneigte Fläche sein, welche im Gesichtsfeld des Betrachters positioniert sein muss. In diesem Falle nimmt eine einzuschätzende Oberfläche eine relative Neigung zu dieser gewählten Bezugsneigung ein.

Wie bereits im Bereich der ökologischen Optik erwähnt beinhaltet eine vorhandene Oberflächentextur wichtige Hinweise auf real existierende Oberflächenkrümmungen oder Oberflächenneigungen.

Erste theoretische Grundlagen von James Gibson im Jahre 1950 sahen das retinale Bild noch als alleinigen Pulsgeber für eine qualitative Neigungsbeurteilung einer Fläche. Weitere sich anschließende Versuche kamen zu dem Ergebnis, dass der Mensch über gute Neigungsbeurteilung hinsichtlich optischer und geografischer Neigungssituationen besitzt. Allerdings stellte man fest, dass im Bereich der geografischen Neigung Einschätzungen getroffen werden konnten, bei denen die Blickrich-

tung nicht ausschlaggebend war (Gibson & Cornsweet 1952). Es mussten demzufolge auch noch andere Kriterien existieren, die eine Neigungsbeurteilung möglich machten.

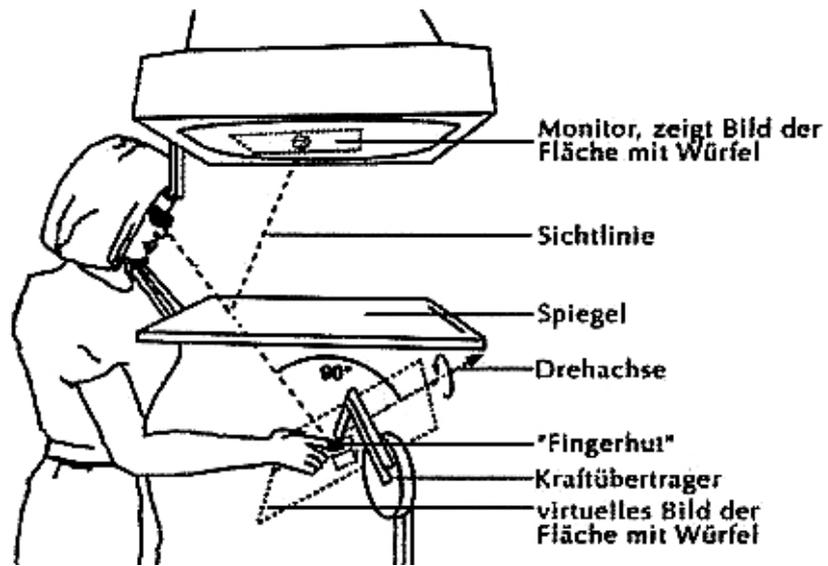
Weitaus wichtiger ist für einen Betrachter die richtige Einschätzung geografischer Neigungen. Ein Besucher betritt eine Ausstellungshalle, in der das Ausstellungskonzept für die Präsentation von räumlichen Objekten verschiedene Neigungsverhältnisse des Bodens vorsieht. Um nun Größe, Entfernung und Standpunkt einer Skulptur visuell wahrzunehmen und richtig beurteilen zu können, muss sich der Betrachter auf seine Neigungseinschätzung verlassen können. Hierzu wurde von Kinsella-Shaw, Shaw & Turvey 1992 ein Experiment durchgeführt, was zu dem Ergebnis kommt, dass nicht nur ein sich verändernder Texturdichteverlauf sondern insbesondere auch eine mit dem Fuß wahrgenommene Flächenneigung zu einer sehr effektiven Aussage über den Neigungsgrad einer schiefen Fläche führt.

Wissenschaftler des Tübinger Max-Planck-Instituts für biologische Kybernetik haben gemeinsam mit Forschern der University of California in Berkeley herausgefunden, dass manuelles Abtasten die visuelle Wahrnehmung beeinflussen kann.

Speziell in Bereichen nicht eindeutiger optischen Situationen bedient sich das menschliche Gehirn noch weiteren Informationsquellen, um ein vollständiges dreidimensionales Gesamtbild aufzubauen. Es wurden hierzu zwei verschiedene Untersuchungsabschnitte durchgeführt.

Zuerst wurden den Versuchspersonen geneigte Flächen präsentiert, bei denen der Texturgradient in Form von perspektivisch konvergierenden Fluchtlinien und zum anderen der Disparitäts-Gradient unabhängig voneinander gesteuert werden konnte. Absichtlich herbeigeführte Konfliktsituationen löste das Gehirn auf, indem es im Hinblick auf ein einheitlich visuelles Endergebnis die beiden Signale je nach Bedeutung wichtete.

Im darauf folgenden Versuchsabschnitt war es möglich, mit einem virtuellen Würfel die simulierte Fläche abzufahren. Je nach Neigungsverhältnis war der Gleitwiderstand größer oder kleiner. Die Versuchspersonen konnten somit ihren Tastsinn zur Ergebnisfindung mit einbeziehen. Das Ergebnis zeigte, dass die Gewichtung in Richtung des ertasteten Signals um 15 bis maximal 40 % höher lag als mit der zuvor rein visuellen Testphase.



/44/

3 Die Skulptur als dreidimensionale Kunstform

3.1 Definition

Der Begriff „Skulptur“ kommt von dem lateinischen Wort „sculptura“ oder dem dazugehörigen Verb „sculpere“, was mit dem Begriff „schneiden“ übersetzt werden kann. Die englische Übersetzung lautet „sculpture“.

Im Allgemeinen wird die Skulptur als künstlerisches Werk eines Bildhauers betrachtet. Die in den meisten Fällen verarbeiteten Materialien sind sehr langlebig und verlangen Kenntnis über den Umgang und die damit verbundenen Arbeitsweisen spezieller Werkzeuge.

Skulpturen sind dreidimensionale Kunstwerke, die das Ergebnis besonderer künstlerischer Fähigkeiten in der Bearbeitung fester Materialien darstellen.

3.2 Die Skulptur in ihrem künstlerischen Kontext

Eine der individuellsten Charakteristiken einer Skulptur ist ihre räumliche, dreidimensionale visuelle Präsenz. Jede Skulptur verfügt somit über eine völlig eigene Formensprache. Im Allgemeinen bezieht sich der künstlerische Inhalt einer Skulptur auf die menschliche Darstellung, der Natur entspringenden Formen oder rein abstrakter Gebilde.

Eine Skulptur beinhaltet die Fähigkeit, eine Verbindung zwischen ihrem eigentlichen räumlichen Darstellungsinhalt und dem sie beherbergenden Ausstellungsraum einzugehen. Die Symbiose aus Skulptur und Ausstellungsraum bewirkt eine Veränderung der visuellen Wahrnehmung des Raumes.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass eine ausgestellte Skulptur direkten Einfluss auf die visuellen Grundlagen des Betrachters nimmt. Diese direkte Beeinflussung der visuellen Wahrnehmung ist unabhängig von dem künstlerischen Inhalt der präsentierten Skulptur. Es ist also ohne Relevanz, ob die Skulptur ein eher gegenständliches Abbild repräsentiert oder eine abstrakte Formensprache aufweist.

Skulpturen stellen durch Ihre räumliche Gesamterscheinung eine weitaus größere visuelle Herausforderung für einen Betrachter dar, als lediglich zweidimensionale Bilder. Die Skulptur verlangt von einem Kunstinteressierten eine intensive Betrachtungsweise, die von mehreren Wechseln der eigenen Standortposition gekennzeichnet ist. Um eine Skulptur mit all Ihren material- und formtypischen Charakteren erleben zu können, ist es notwendig, Sie im Original zu betrachten.

3.3 Verschiedene Grundformen

Betrachtet man die Kunstgattung der Skulpturen so sind drei wesentliche Hauptkategorien zu unterscheiden. Als Vertreter der ersten Gruppe sind die sogenannten frei positionierten Rundplastiken zu nennen. Die Reliefkunst, bestehend aus dem Hoch- und Flachrelief, bildet eine weitere Gruppierung.

Als letzte Kategorie sind die Skulpturen zu nennen, die im festen Verbund mit dem architektonischen Kontext stehen. „Dazu kommen in neuerer Zeit Objekte und Gegenstände, die allein oder im Zusammenhang von Installationen oder durch einen ungewohnten Zusammenhang so inszeniert werden, dass von Ihnen neue Bedeutungen und Wahrnehmungen der Welt ausgehen können.“¹³

3.4 Skulptur und Architektur

In den verschiedenen Kunstepochen, angefangen mit dem alten Ägypten über die griechisch-römische Antike bis hin zu den sich anschließenden Kunstepochen, wurden Skulpturen verwendet, um Bauten eine lebendige Gesamterscheinung zu verleihen.

Insbesondere im Zeitalter des Barocks war es möglich, dass sich die Skulptur durch ihre zahlreichen Verwendungszwecke in die Malerei oder in die Architektur verwandeln konnte. So schuf der Künstler Antonio Gherardi für die Stadt Rom zwei Skulpturentheater. Antonio Gherardi war von seiner eigentlichen Bestimmung her Maler. In seinem ersten Werk in der Capella Santa Cecilia in San Carlo kann man eine Verschmelzung von Skulptur und Architektur beobachten, die sich in einem Wechselspiel aus einzelnen Öffnungen und Trennwänden in den Seitenwandbereichen zeigen. Die Kuppelausführung seiner zweiten Kappelle zeigt eine Metamorphose aus den eingesetzten Skulpturen und der Malerei. So halten vier Engel eine im Zentrum der Deckenkuppel befindliche Lichtquelle. (s. Abb. Kuppeluntersicht)

Diese Art der Metamorphose und Dynamik von Skulptur und Architektur ist für das barocke Zeitalter charakterisierend. Mit dem Beginn des 19. Jahrhunderts beginnt sich die enge Verbindung aus Skulptur und Architektur zu lösen.

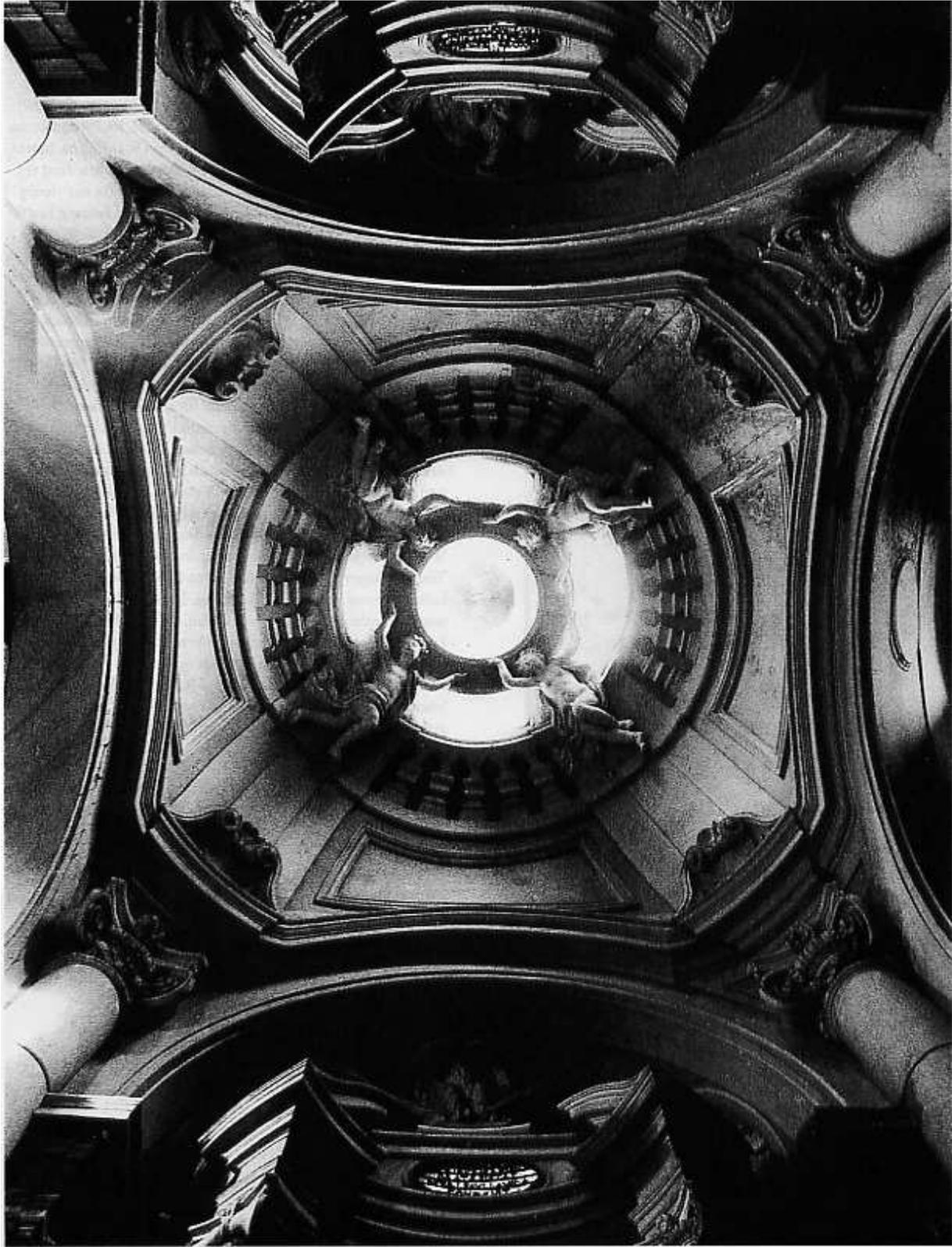
Auf der anderen Seite existieren in der heutigen Zeit Werke renommierter Architekten wie Frank O. Gehry, die in Ihrer äußeren Erscheinung eine Symbiose aus Skulptur und Architektur darstellen. Die äußere Formgebung stellt sich dem Betrachter ausgeprägt modelliert und plastisch geformt dar.

3.5 Skulptur und Malerei

Betrachtet man das Spannungsverhältnis zwischen der Malerei und der Bildhauerei, so liegt der Ursprung dieser Auseinandersetzung im Zeitalter der italienischen Renaissance. Der Grund für die Auseinandersetzungen zwischen den beiden Kunstgattungen war ein Wettstreit, der sogenannte „Paragone“.

Die grundlegende Auffassung war, dass sich die damaligen Künstler nicht mehr als Handwerker sahen, die Auftragsarbeiten erfüllten. Nach Cennino Cennini bestand die Hauptaufgabe des Künstlers darin, die Malerei als Kunstform aufzuwerten. Man vertrat die Meinung, dass intelligente Menschen einen Maler auf die Stufe eines Gelehrten der „Artes liberales“ setzen.

Leon Battista Alberti und Leonardo da Vinci übernahmen die Aufgabe, neue Definitionen und Schwerpunkte für die Künstler zu formulieren. Der Künstler wurde in den Rang eines Gelehrten erhoben. Zu diesem Zeitpunkt wurde ein Bildhauer weiterhin mit einem Handwerker gleichgesetzt. Leonardo da Vinci begründete seine Auffassung mit der Aussage, dass es sich bei der Erschaffung einer Skulptur lediglich um die Wiedergabe eines äußeren Erscheinungsbildes handele.



/45/ Antonio Gherardi (1644-1702), Kuppeldekoration der Capella Avila, 1680, Stuck, Rom
Santa Maria in Trastevere

Michelangelo war ein entschiedener Gegner dieser Auffassung und betrachtete den Streit als völlig sinnlos, da durch ihn wertvolle Zeit verloren geht, in der man herausragende Werke schaffen könne. Vasari vertrat die Meinung dass sowohl die Bildhau-

erei wie auch die Malerei einer Zeichnung entspringen. Dadurch waren beide Künste untrennbar miteinander verbunden.

3.6 Aktuelle Situation

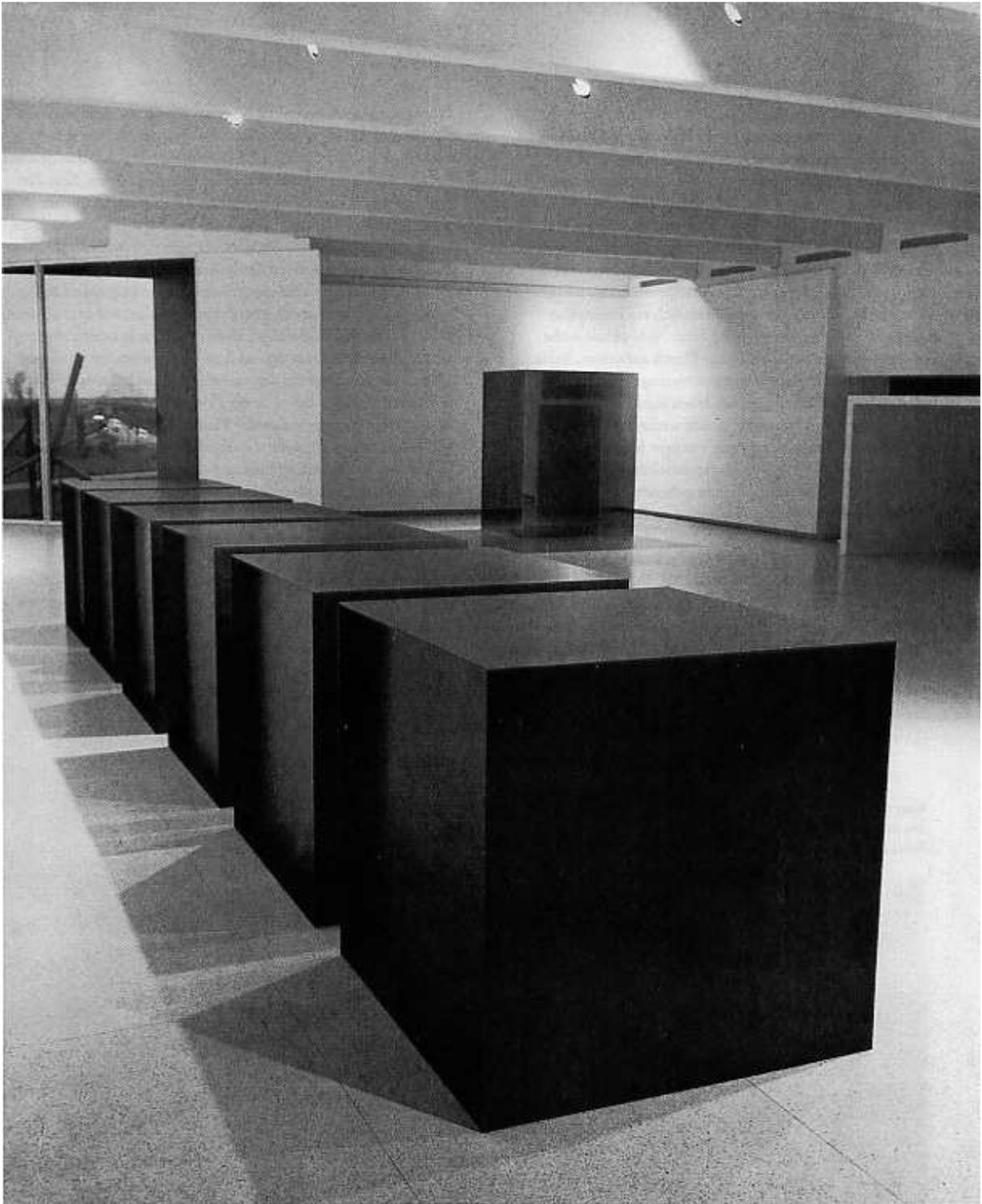
„Die gegenseitige Herausforderung von Malerei, Skulptur und Objektkunst sowie anderer künstlerischer Medien – von der Fotografie über Collagen bis zum Einsatz elektronischer Medien – prägt auch die zeitgenössische Kunst bei Ihrer Suche nach geeigneten künstlerischen Ausdrucksmitteln.“¹⁴

Einen sehr radikalen Einschnitt im Bereich der Skulpturenkunst leitete Ellsworth Kelly ein. Für seine künstlerische Ausdrucksweise trennte er erstmals den Sockel bzw. die Basis von der eigentlichen Plastik und verwendete einfache geometrische Formen. Zudem prägte Ellsworth Kelly eine neue Richtung, in der die bildhauerische Formensprache ihre Impulse aus der Malerei schöpfte.

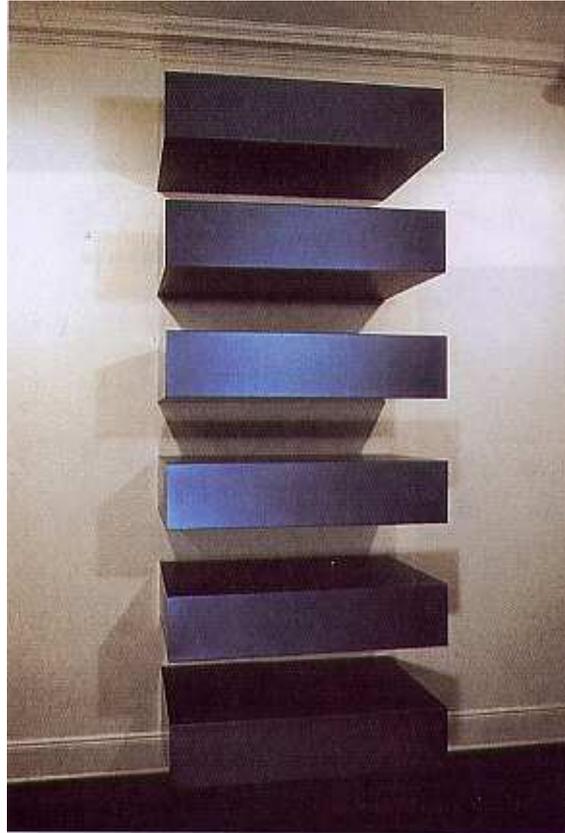
Als einer der bedeutendsten künstlerischen Vertreter der „Minimal Art“ gilt der Maler und Kunsthistoriker Donald Judd. In einem richtungsweisenden Artikel der Zeitschrift „Arts“ titulierte Donald Judd die neue Kunstform als „specific objects“. In seinem Studium bei Meyer Schapiro an der Columbia University entstanden erste Kontakte zu John Dewey, der über eine sehr pragmatische Sichtweise verfügte. Judd`s künstlerische Hauptaussage war, dass er in Form, Struktur, Farbe und Material eine untrennbare Einheit sah.

Für Donald Judd war entscheidend, dass die farbliche Wahrnehmung und die Reflexionseigenschaften seiner Kunstobjekte von deren ursprünglich verwendeten Material bestimmt wurden. Ein zusätzliches Hinzufügen oder Auftragen zusätzlicher Schichten auf die jeweiligen Objektoberflächen war nicht erlaubt. Mit dieser klaren Bedingung stellte sich Donald Judd gegen die alte europäische illusionistische Kunst. Die Objekte von Donald Judd beinhalten somit eine Verbindung aus den Eigenschaften des verwendeten Materials und den räumlichen Qualitäten der Gesamtskulptur in einer absoluten Reinheit.

In den Arbeiten von Donald Judd kann man sehr gut das einheitliche Prinzip einer seriellen Aneinanderreihung erkennen. Diese Komposition lässt eine einseitige Gewichtung einzelner Teilobjekte nicht zu. Durch die offensichtliche Zusammengehörigkeit der einzelnen Teilobjekte schuf Donald Judd eine völlig neue skulpturale Ausdrucksweise. (s. Abb. Eloxiertes Aluminium, blaue Kuben)



/46/ Donald Judd (1928-1994), ohne Titel, 1971, Eloxiertes Aluminium, jeder Würfel 122X122X122 cm



/47/ Donald Judd (1928-1994), ohne Titel, 1970, Eloxiertes Aluminium, blaues Plexiglas
jeder Kasten 22,8X101,7X79,8 cm

Andere Künstler wie Picasso schlugen neue Wege ein, indem Sie Skulpturen durch eher profane Gegenstände aus dem Alltag ergänzen und somit zu einer Erweiterung beitragen. So kommen in den künstlerischen Werken von Jean Tinguely sogar Maschinen zur Verwendung. Grundlegend kann gesagt werden, dass gerade in der Kunstperiode des 20. Jahrhunderts das Material eine entscheidende Rolle spielt. Das Material ist Teil der künstlerischen Aussage. Als typische Vertreter solcher Kunstwerke sind insbesondere die Arbeiten von Joseph Beuys zu nennen.

3.7 Der Entstehungsprozess

Prinzipiell spielt der Entstehungsprozess einer Skulptur eine wichtige Rolle. Sämtliche für das Entstehen einer Skulptur erforderlichen Einzelschritte sind Teil einer bedeutenden künstlerischen Gesamtleistung. Somit kann der Entstehungsprozess mit einem Wachstumsablauf verglichen werden, an dessen Ende ein künstlerisch vollendetes Gesamtkunstwerk steht.

Hierbei ist es unerheblich, ob es sich bei der Schaffung einer Skulptur eher um eine Skulptur im klassischen Sinne von dem lateinischen Begriff „sculpere“ (schneiden, schneiden) handelt, oder ob es um eine Plastik geht, welche ihren Ursprung in dem griechischen Wort „plassein“ (formen, bilden) hat. Während nach dem klassischen

Verständnis eher sehr harte Materialien wie verschiedene Gesteinsarten und Hölzer infrage kommen, werden bei der Erschaffung von Plastiken eher weiche Ausgangsmaterialien wie Wachse und Tone Verwendung finden. Durch den Einsatz sehr weicher und plastischer Materialien besteht zudem die Möglichkeit, das Kunstobjekt anschließend in Bronze zu gießen.

Berühmte Künstler wie Michelangelo machten den eigentlichen Entstehungsprozess zu einem Teil Ihrer künstlerischen Gesamtaussage. So titulierte Michelangelo bestimmte Werke als „nonfinito“ was soviel wie „das unvollendete“ bedeuten soll. Derlei Kunstwerke wiesen dann einen für jeden Betrachter sichtbaren grob bossierten Teilbereich auf.

3.8 Eine Auswahl bedeutender Granitskulpturen

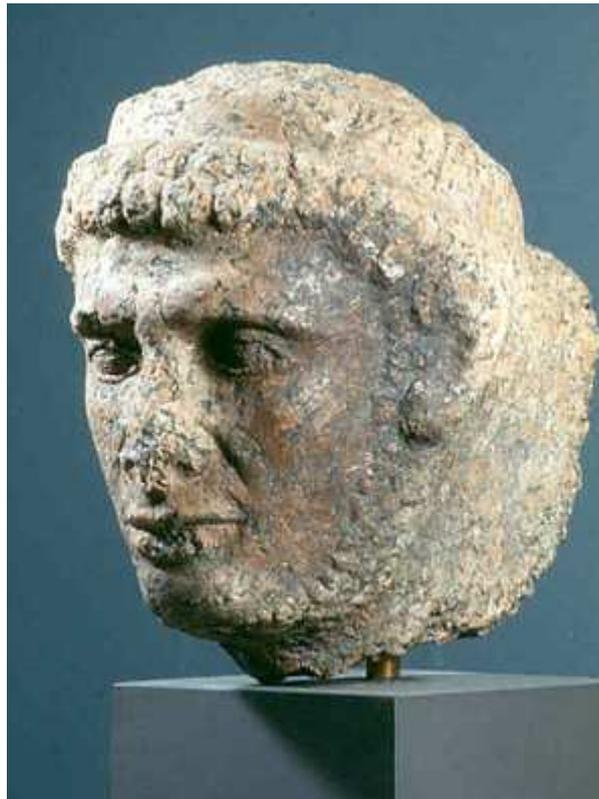


/48/ Schreiberfigur des Dersenedj
Altes Reich, 5. Dynastie, um 2400 v. Chr.
Rosengranit, Höhe 68 cm, Memphis
Inv.-Nr. 15701

Die dargestellte Granitskulptur zeigt einen altägyptischen Schreiber in einer für diesen Beruf typischen Körperhaltung. Kennzeichnend für diese Darstellungsform sind die unterschlagenen Beine der Person.

Schreiber gehörten im Alten Ägypten zu dem Berufsstand der Beamten und zeichneten sich als besonders lese- und schreibkundig aus. Der über die Beine des sitzenden Schreibers ausgebreitete Papyrus soll in besonderer Weise darauf hinweisen.

Charakteristisch für den seit ca. 2600 v Chr. belegten Statuentypus ist der muskulöse Körperbau, das auffallend große und faltenlose Gesicht, die typische Strähnenperücke und der fast halslos aufsitzende Kopf. Die dargestellte Statue war für das Weiterleben nach dem Tod geschaffen worden. Eine realistische Abbildung des Verstorbenen wurde nicht angestrebt.



/49/ Kopf einer Statue Ptolemaios`X
Ptolemäisch, 2. Jh. v. Chr.
Rosengranit, Höhe 26 cm
Inv.-Nr. 14079

Schon nach dem ersten Blick auf den vorliegenden Portraitkopf ist ein Betrachter der festen Überzeugung, dass es sich hier um einen römischen Herrscher handelt. Einige sehr signifikante Details sprechen auch für diese Annahme.

So sind insbesondere Merkmale wie der Bart, das lockige Haar, was durch einen Diademreif gehalten wird und der eher einschüchternde Blick der Skulptur für diese Annahme ausschlaggebend. Infolge dessen wurde der Skulpturenkopf über sehr lange Zeit als das Abbild des Kaisers Caracalla gehalten.

Dennoch sprachen einige Merkmale für eine altägyptische Bildhauerarbeit. So ist die verwendete Gesteinsart ein sicheres Indiz altägyptischer Bildhauerkunst. Das Material Rosengranit wurde zu der damaligen Zeit aus Steinbrüchen in Assuan gewonnen. Darüber hinaus ist der am Hinterkopf zu erkennende Rest eines Rückpfeilers ein weiterer Hinweis. Vorhandene Reste einer Königstitulatur bestätigten die Vermutungen.

Letzte Sicherheit brachte der Vergleich mit dargestellten Personen auf Münzen der damaligen Zeit, wonach es sich um den makedonischen Herrscher Ptolemaios X handelt.



/50/ Kopf einer Statue des Königs Sesotris III
Mittleres Reich, 12. Dynastie, um 1850 v. Chr.
Rosengranit, Höhe 21 cm, Theben/Karnak (?)
Inv.-Nr. 9529

Der dargestellte Skulpturenkopf zeigt den altägyptischen König Sesotris III. Er gehörte mit seinem Sohn Amenemhet III als Nachfolger zu den herausragendsten Herrschern des Mittleren Reiches.

Als typisches Merkmal einer Königsdarstellung zählt das Tragen der Weißen Krone die für Oberägypten steht. Der auf der Rückseite der Figur sichtbare Rückenpfeiler deutet darauf hin, dass es sich bei dem Figurentypus um eine Standfigur handelt.

Die feine Bildhauerarbeit zeigt eine Reihe von charakteristischen Wesenszügen, die typisch für die Herrscherpersönlichkeit Sesostris III sind. Als besonders auffallend sind hier die halbgeöffneten Augen mit den deutlich herabhängenden Augenlidern zu nennen. Die deutlich hervortretenden Jochbeine in Verbindung mit den einfallenden Wangen stellen ein weiteres sehr personenbezogenes Merkmal dar. Weiterhin vervollständigen die leicht nach unten gezogenen Mundpartien den Gesamtgesichtsausdruck.



/51/ Standfigur der löwenköpfigen Göttin Sachmet
Neues Reich, 18. Dynastie, um 1360 v. Chr.
Granit, Höhe 215 cm, Theben/Karnak, Mut-Bezirk
Inv.-Nr. 36

Die Aufnahme zeigt eine Granitskulptur in Gestalt einer altägyptischen Göttin. Auffälligstes Merkmal der Skulptur ist die Verbindung von Tier und Mensch. Einem menschlichen Körper wurde hier ein Löwenkopf aufgesetzt, mit dem Ergebnis, ein göttliches Wesen zu verkörpern.

Sämtliche Eigenschaften wie Kraft, Aggressivität, Wildheit, Beschützerinstinkt und eine unzertrennliche und starke Bindung zu ihren Jungen wurden dem göttlichen Wesen zugeschrieben. Sachmet war die Göttin des Krieges, Beschützerin Ägyptens und Heilerin von Krankheiten.

Die Figur trägt in Ihrer rechten Hand das „Anch-Zeichen“, was für das Leben stand. In der linken Hand symbolisiert das „Was-Zepter“ Glück und Gesundheit. Sehr auffällig ist das Sonnensymbol, welches über dem Kopf der Skulptur positioniert ist und für die altägyptische Religion eine hohe Bedeutung hatte. Die Sonne als Sonnengott „Re“ war stets allgegenwärtig.

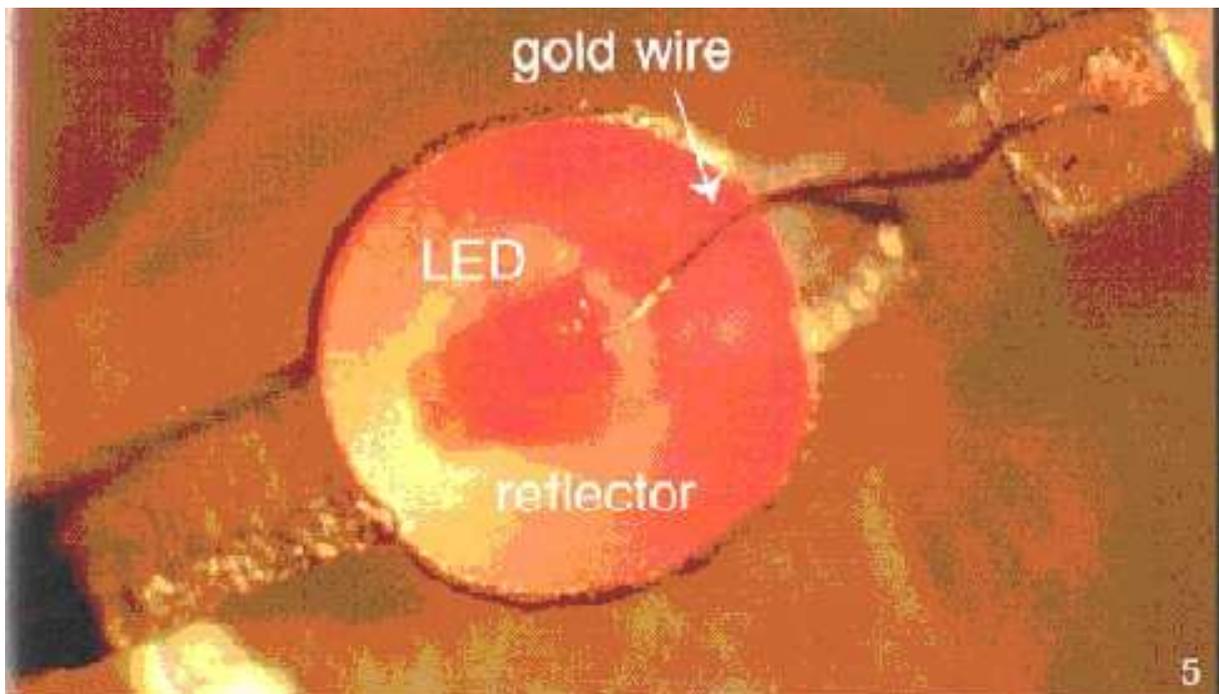
4 Lichtemittierende Dioden

Im Allgemeinen werden Leuchtdioden zu den Elektrolumineszenzstrahlern gezählt. Durch das Anlegen einer Durchlassspannung an einer Halbleiterdiode wird aus der sogenannten Sperrschicht Licht emittiert.

Die Halbleiterverbindungen bestehen meistens aus Elementen der 3. und 5. Gruppe des Periodensystems. Diese III/V Halbleiterausführungen verfügen über passende Bandabstände, deren vorhandene Strukturen eine besonders optimal strahlende Rekombination gewährleisten.

Grundlegend basiert das Funktionsprinzip einer lichtemittierenden Diode auf einer Strahlungserzeugung infolge Rekombination von Ladungsträgerpaaren innerhalb eines Halbleiters. Je nach Art des verwendeten Halbleiterelementes ist der zur Verfügung stehende Bandabstand vorgegeben. Zu den eingesetzten Elementen gehören u.a. Indiumgalliumnitrid (InGaN), Aluminiumgalliumarsenid (AlGaAs) und Galliumphosphid (GaP). Diese sind für die Wellenlänge des erzeugten Lichts maßgebend.

Lumineszenzdioden benötigen eine nur sehr geringe Spannung und lassen sich bis in den MHz-Bereich modulieren. Prinzipiell verfügen lichtemittierende Dioden über eine schmalbandige Strahlungscharakteristik, die sich in der Nähe des UV-Bereiches, im sichtbaren oder im Infrarotbereich befindet. Die fast punktförmige Strahlungsquelle besitzt eine Flächenausdehnung von ca. 10^{-3} bis 1mm^2 .



/52/ Mikroskopische Aufnahme einer LED mit der Halbleiterübergangsschicht

4.1 Halbleiterwerkstoffe

Der grundlegende Aufbau eines Halbleiterwerkstoffes kann als kristallin angesehen werden. Die beiden entscheidenden Bausteine sind das Valenzband und das Leitungsband. Das Valenzband stellt die Energie aller gebundenen Elektronen der Atome dar. Das Leitungsband charakterisiert, als höheres Energieband, die Energie der im Kristall frei beweglichen Elektronen.

Die Bezeichnung Halbleiter beruht auf der Eigenschaft, dass bereits bei Zimmertemperatur die thermische Energie ausreichend ist, um einige Atome des Halbleitermaterials zu ionisieren. Die daraus resultierende Leitfähigkeit muss zwar als gering angesehen werden, allerdings war ihre bloße Existenz für diese Bezeichnung ursächlich. Möchte man den Begriff „gering“ einer Bewertung unterziehen, so lässt sich sagen, dass die Leitfähigkeit von Metallen um ca. 10⁵-mal höher anzusetzen ist. Im Vergleich mit Isolierstoffen aber deutlich vorhanden ist.

Für die Entstehung des freiwerdenden Lichtes ist der Prozess der Rekombination verantwortlich. Verlässt ein Elektron infolge einer Energiezufuhr sein ursprüngliches Atom und wird somit zu einem freien Elektron, so bewegt sich dieses Elektron durch das Material. Wie bereits erwähnt verfügt das freigewordene Elektron über ein höheres Energiepotential. Trifft nun das freie Elektron ein ionisiertes Atom, so wird Energie frei. Die Höhe des freigewordenen Energiepotentials entspricht der Energiedifferenz zwischen dem Valenz- und dem Leitungsband. Die freigesetzte Energie kann nun in Form eines Photons abgegeben werden, welches die Wellenlänge des emittierten Lichtes bestimmt.

Werden nun in ein vorhandenes Kristallgitter höher- bzw. geringerwertige Fremdatome eingebaut, so entstehen sogenannte Störstellen. Mit dieser Vorgehensweise lässt sich die Anzahl an frei beweglichen Ladungsträgern deutlich erhöhen. Ein dementsprechend veränderter Halbleiter wird auch dotierter Halbleiter genannt.

Möchte man z.B. aus einem Germaniumgitter einen durch Fremdatome höherwertig dotierten Halbleiter herstellen, so werden hierfür Arsenatome eingesetzt. Der gewünschte Elektronenüberschuss stellt sich durch den Prozess der Bindungsbildung ein, bei der das jeweils fünfte Valenzelektron übrig bleibt. Die Arsenatome dienen bei diesem Vorgang als Elektronenspender und werden demzufolge auch als Donator bezeichnet, wodurch eine Elektronenleitung ermöglicht wird. Der neu entstandene Halbleiter wird somit auch als n-Leiter bezeichnet.

Wird hingegen ein Element wie Indium verwendet, das nur über drei Valenzelektronen verfügt, so erhält man einen positiven Ladungszustand. Das Fremdatom Indium verfügt hier über eine kleinere Wertigkeit und fungiert demnach als Akzeptor. Der hierbei erreichte Ladungszustand bewirkt eine sogenannte Löcherleitung. Ein solcher Halbleiter wird als p-Leiter bezeichnet.

Stoßen demnach zwei entgegengesetzt geladene Halbleiter zusammen, so entsteht ein sogenannter pn-Übergang. Infolgedessen tritt ein Diffundierungsprozess ein, bei dem die negativen Ladungsträger vom n-Leiter in den p-Leiter wandern, während auf der anderen Seite die positiven Ladungsträger in den n-Leiter wandern. Durch Rekombinationen bildet sich eine Grenzschicht aus, in der keine Bewegungen von Ladungsträgern mehr vorhanden sind.

Betrachtet man sich den Prozess der Ladungswanderung genauer so fällt auf, dass die vorhandenen Ionen ihre jeweiligen Lagepositionen beibehalten. Das bedeutet, dass sich in den grenznahen Bereichen infolge Diffusion eine entgegengesetzte Ladung aufbaut. So entsteht in dem n-Leiter durch die grenznahe Elektronenabwanderung eine positive Ladung und in dem p-Leiter eine negative Ladung. Das Ergebnis ist eine Spannung im pn-Übergang. Mit dem Eintreten dieser Spannung werden weitere Diffundierungsvorgänge von Ladungsträgern unterbunden. Die Grenzschicht zwischen den Halbleitern wird zu einer Sperrschicht.

Durch das Anlegen einer Spannung kann ein Zu- oder Abnehmen der Sperrschicht bewirkt werden. Versorgt man den n-Leiter mit einer positiven Polung und den p-Leiter mit einer negativen Polung, so nimmt die Ausdehnung der Sperrschicht zu. Diese Art der Polung wird auch Sperrrichtung genannt. Ein Indiz hierfür ist der hohe Widerstand, der nur einen sehr kleinen Sperrstrom fließen lässt.

Wird die Polung der angesetzten Spannung vertauscht, so tritt eine gegensätzliche Wirkung ein. Die Ausdehnung der Sperrschicht nimmt demnach ab und lässt aufgrund des nun geringeren Widerstandes einen größeren Durchlassstrom fließen.

4.2 Bauformen lichtemittierender Dioden

Lichtemittierende Dioden werden in einer großen Vielfalt an Ausführungsformen produziert. Die weitaus größte Anzahl an LEDs wird in Kunststoffbauformen angeboten. Für die verschiedenen Gehäuse stehen Werkstoffe wie Metall oder Glas zur Verfügung. Durch die Verwendung von Leuchtkörpern aus Kunststoff besteht zudem die Möglichkeit, den Grenzwinkel der Totalreflektion zu reduzieren, und somit die emittierende Lichtleistung aus dem Halbleiterkristall zu steigern. Des Weiteren ermöglicht die Oberflächenkrümmung eine Bündelung der Lichtemission in Achsrichtung.

4.2.1 COB – Chip On Board

Die „Chip on Board“ Technik beinhaltet eine Fertigungsweise, bei der die eigentliche Leuchtdiode direkt auf eine Platine aufgesetzt wird. Die anschließende elektrische Kontaktierung erfolgt über sogenannte Bonddrähte. Sobald eine Platine nach Vorgabe komplett mit Leuchtdioden bestückt und funktionstüchtig ist, wird eine Versiege-

lung aufgetragen. Dieser Vorgang wird mit Hilfe eines einzelnen Epoxy- oder Silikon-tropfen erreicht.

Werden die einzelnen Leuchtdioden über eine angelegte Spannung zum Leuchten gebracht, so stellt man fest, dass die einzelnen Leuchtcharakteristiken der Dioden über einen sehr großen Ausstrahlungswinkel mit ungerichtetem Licht verfügen. Die Eigenschaften der Lichtausbreitung sind die Folge einer Bauweise, bei der weder ein Reflektor noch ein Linsensystem zur Lichtbündelung verbaut wird.

Diese Art lichtemittierender Dioden ist z.B. für den Einsatz in der Displaytechnik als Hintergrundbeleuchtung konzipiert. Durch die sehr diffuse Lichtausbreitung bewirken diese Leuchtdioden in RGB-Systemen auf sehr kurzen Distanzen eine hervorragende Farbmischung.

4.2.2 SMD – Surface Mounted Device

Bei dem SMD Herstellungsverfahren werden die einzelnen Dioden in einer höheren Dichte in ein gemeinsames Gehäuse montiert. Das Gehäuse selbst verfügt über einen Reflektor und die benötigten Anschlüsse für Anode und Kathode. Durch die Verwendung verschiedener Reflektoren besteht die Möglichkeit ein Licht mit individuellen Abstrahlcharakteristiken zu erzeugen. Aufgrund der höheren Setzdichte der Dioden wird eine gewisse Miniaturisierung mit einer einhergehenden geringen Bauteilhöhe erreicht. Das Grundgehäuse, in dem die einzelnen Dioden positioniert werden, wird auch „Package“ genannt.

Nachdem der Bestückungsprozess abgeschlossen ist, wird die Diode durch Epoxydharz verschlossen. Das maschinelle Platinenbestückungsverfahren ermöglicht im Hinblick auf Produktionskosten, Ausführungsqualität und Zeitaufwendung ein großes Einsparungspotential.

4.2.3 Standard – Led´s

Die Standard-Bauformen mit einem Durchmesser von Ø 3 mm und Ø 5 mm sind am weitesten verbreitet. In dieser Bauart wird die Diode in einen Reflektor eingesetzt, und anschließend mit einem transparenten Epoxydharz verkapselt. Der Reflektor wird durch das Epoxydharz in seiner Lageposition zwischen den beiden Kontakten stabilisiert.

4.2.4 High Flux Led´s

High Flux Led´s erlauben durch Ihre besondere Gehäuseform einen Betrieb mit einer höheren Spannung, was zu einem größeren Lichtstrompotential führt. Das deutlich

größere Gehäuse ermöglicht eine effektive Ableitung der entstehenden Wärme und gewährleistet somit eine funktionierende Lichterzeugung. Das durch diese Bauweise erreichbare Lichtleistungspotential lässt eine Anwendung im Bereich der Lichttechnik zu.

4.2.5 High Power Led's

Diese Bauform unterliegt derzeit einem sehr raschen Entwicklungsprozess und besitzt die Eigenschaft, auch sehr große Betriebströme in hohe Lichtintensitäten umzuwandeln. Über eine größere Anzahl von Lötkontakten oder einer Ausstattung mit einem sogenannten Kühlblech kann die erhöhte Abwärme effektiv abgeleitet werden. Der augenblickliche technische Entwicklungsstand lässt es zu, dass einzelne Dioden mit Strömen von über 1000 mA betrieben werden. Hier liegt das Haupteinsatzgebiet in der Lichttechnik.

4.3 Reaktionsprozesse infolge Stromdurchfluss

Wird eine Diode einem Stromdurchfluss zur Erzeugung von Licht unterzogen, so ist der Aspekt einer effektiven Wärmeableitung auch im Hinblick auf die eigentliche Belastbarkeit der Diode von entscheidender Bedeutung. Diese Aufgabe muss eine geeignete Bauform gewährleisten. Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass sich die Abstrahlung proportional zum Strom verhält.

Mit dem Anlegen einer Spannung beginnt der Durchlassstrom anfänglich langsam, anschließend aber immer schneller anzusteigen. Mit dem Ansteigen des Durchlassstromes beginnt die Temperatur in der lichtemittierenden Diode ebenfalls zu steigen. Höhere Temperaturen bewirken aber zusätzlich auch einen Zuwachs an zusätzlichen Ladungsträgern. Die Erhöhung der freien Ladungsträger bewirkt wiederum eine Zunahme des Stromflusses, was eine weitere Wärmeproduktion mit sich bringt.

Um dieser Wärmeentwicklung entgegenzutreten, bedarf es eines Strombegrenzungswiderstandes, der eine unkontrollierte Zunahme des Stromflusses begrenzt. Fehlt ein solcher Widerstand, würde die Gitterstruktur des betreffenden Halbleiters infolge einer unkontrollierten Wärmeentwicklung zerstört werden. Eine geringe Lebensdauer und Effektivität wären die Folge. Mit dem Anstieg der Temperatur in der Diode nimmt die Leitfähigkeit des Halbleiters zu, während die Effizienz der lichtemittierenden Diode abnimmt.

Prinzipiell ist der in einer Diode vorherrschende Stromfluss von der angelegten Spannung abhängig. Im Bereich der Sperrschicht weist der Halbleiter einen hohen Dotierungsunterschied auf, was dazu führt, dass eine angelegte Sperrspannung von ca. 5 V nicht überschritten werden darf. Da die auftretende Durchlassspannung in

direkter Abhängigkeit zu der Bandlücke steht, wird die Lichtfarbe zur entscheidenden Komponente.

4.4 Auf LED-Technologie basierende Raumbelichtung

Die zentrale Aufgabe einer Raumbelichtung besteht darin, eine möglichst ungestörte visuelle Informationsaufnahme durch den Menschen zu gewährleisten. Hierzu zählen insbesondere lichttechnische Komponenten wie die Lichtmenge, Lichteinfallswinkel, spektrale Zusammensetzung und Blendungsfreiheit.

Eine weitere wichtige Anforderung liegt in der Wirtschaftlichkeit. Die konventionelle Lichttechnik ist heutzutage in der Lage, viele wirtschaftliche Forderungen zu erfüllen. Die Problematik einer großen Wärmeentwicklung infolge einer hohen Lichtausbeute bleibt aber erhalten. Hier beginnt das Entwicklungspotential einer neuen Lichttechnischen Generation in immer schnellerer Art und Weise eine seit langen bestehende Lichttechnik zu ersetzen. Die LED-Technologie tritt aus ihrem bis dahin rein gestalterischen Verwendungszweck heraus und übernimmt in einer immer größer zur Verfügung stehenden Einsatzbreite die Aufgaben einer Qualitativen Raumbelichtung.



von links nach rechts

/53/ Architekturforum Innsbruck

* Zonierte LED-Raumbelichtung mit weißem Mischlicht. (monochromatische Einzelkomponenten)

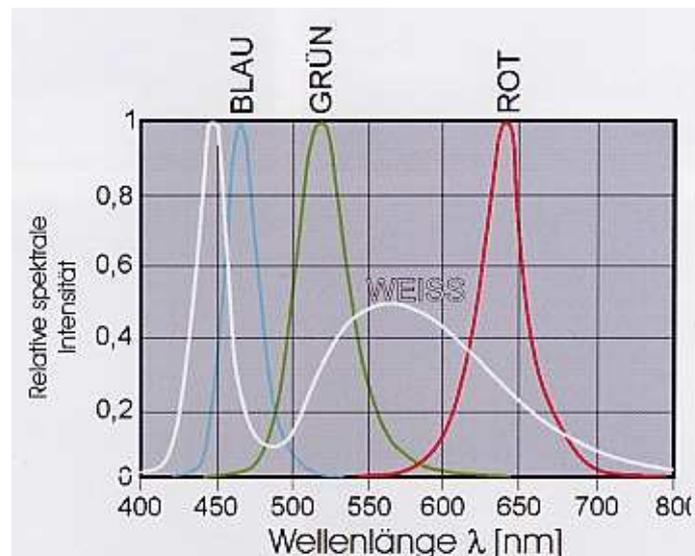
* Zonierte LED-Raumbelichtung mit weißem Mischlicht und zusätzlicher Wandanstrahlung
monochromatisch

* LED-Deckenfeld zur Raumbelichtung

So verfügt die LED-Technologie über hervorragende Eigenschaften wie einer Wartungsfreiheit, miniaturisierte Bauweisen, kaum Wärmeentwicklung und einen äußerst geringen Stromverbrauch. Im Bereich der Lebensdauer kann der Käufer von einer Brenndauer von 50.000 Stunden ausgehen. Des Weiteren verfügen Lichtemittierende Dioden über einen sehr großen Temperaturbereich von -40°C bis zu $+100^{\circ}\text{C}$. Die Lichtausbeute steigt hierbei mit abnehmender Umgebungstemperatur an. Zusätzlich verfügt die Diode über eine stufenlose Dimmbarkeit von der dunklen Diode ausgehend, bis hin zur vollen Lichtleistung. Generell können vorab eingestellte Dimmstufen ohne Zeitverzögerung infolge Einbrennung abgerufen werden.

Lichtemittierende Dioden produzieren eine schmalbandige oder auch monochromatische Strahlung. Der eigentliche Farbton kann als dominante Wellenlänge definiert werden. Im Bereich der Lichtphysiologie ist man bestrebt darauf hinzuweisen, dass monochromatisches Licht über einen längeren Zeitraum für die Augen unverträglich ist. Gleichzeitig beschränkt sich dieser Hinweis auf sehr großformatige Farbflächen, die sich innerhalb eines verhältnismäßig unbeweglichen Gesichtsfeldes befinden.

„Die Tatsache, dass mit LED's verschiedene monochromatische Farben generiert werden können, unterstützt die Besorgnis einer Augenschädigung auf Grund monochromatischen Lichtes nicht, weil die miniaturisierte Ausführung und der singuläre Lichtstrom von LED's nicht ausreicht, um das Auge diesbezüglich zu schädigen.“¹⁵ Die Additive Farbmischung ermöglicht demgegenüber sogar die Möglichkeit, das Lichteinfallsspektrum von einem eher neutralen Weiß zu einem warmweißen Farbton zu justieren.



/54/ Relative Spektren von monochromatischen LEDs und der weißen Version. Das weiße Emissionslicht wird mit einer blauen Version erzielt, die einen in weiß konvertierenden Phosphor enthält.

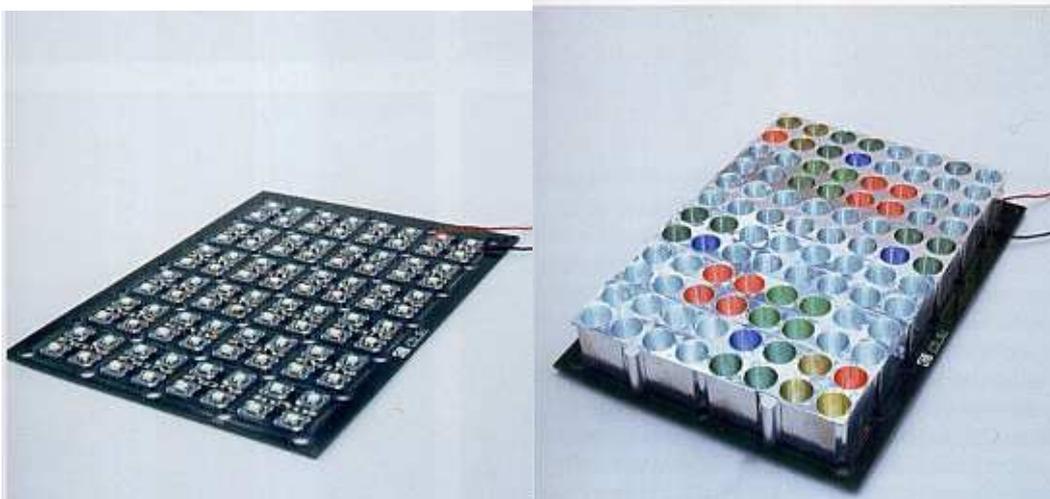
Hiermit besteht die einmalige Möglichkeit, die Eigenschaften des Lichtspektrums je nach zu erfüllender Sehaufgabe zu variieren. Aufgrund der sehr kleinteiligen Kompo-

nenen besteht die Möglichkeit, flächige Beleuchtungseinheiten mit einer sehr hohen und dichten Art der Bestückung zu versorgen.

Diese spezielle Ausführung der lichtemittierenden Beleuchtungseinheiten erlaubt es dem Nutzer, das Spektrum des Raumlichtes der jeweiligen Sehaufgabe individuell anzupassen. Zudem besteht die Möglichkeit einen Raum zeitlich und räumlich zu zerlegen. Diese Eigenschaften sind speziell für Räumlichkeiten interessant, in denen eine hohe Flexibilität von der lichttechnischen Ausstattung verlangt wird.

Insbesondere sind hier museale Räumlichkeiten zu nennen, in denen eine ständig variierende Anzahl und Art von Ausstellungsstücken präsentiert werden müssen. So ist es möglich, kleinere Teilflächen einer Beleuchtungseinheit regelungstechnisch zusammenzufassen, um eine spezielle Beleuchtungsaufgabe zu übernehmen. Im Bereich der Objektbeleuchtung kann man sich hier Bereiche vorstellen, in denen die Aufgabe einer Oberflächenakzentuierung oder Textur-Modellierung übernommen wird.

Speziell auf dem Gebiet der Objektbeleuchtung ist der Einsatz von speziellen Reflektoren eine notwendige Voraussetzung, um das entstehende Primärlicht zu bündeln und zu lenken. Dies geschieht in ähnlicher Weise wie im Bereich der konventionellen Lichttechnik. Allerdings verlangt die Kleinteiligkeit der einzelnen Lichtquellen eine ebenso kleinteilige Fertigungsweise in Bezug auf einsetzbare Reflektoraufsätze. So entwickelte das Bartenbach Lichtlabor spezielle Reflektoraufsätze, die eine zusätzliche homogene Durchmischung der Farbanteile gewährleisten.



/55/ LED-Platinen-Element

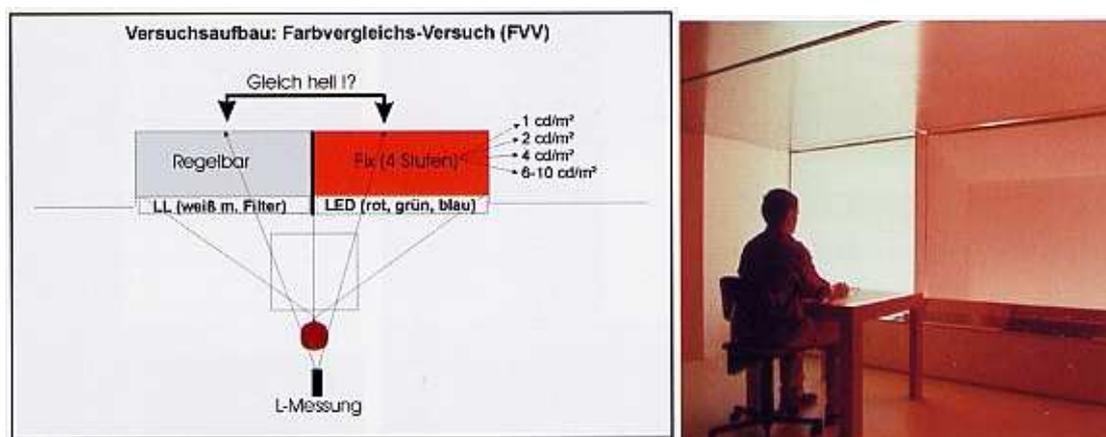
* ohne Reflektoraufsatz, * mit Reflektoraufsatz

Eine Grundlage für die enorme Flexibilität im Rahmen einer Beleuchtung mit LED's besteht darin, dass die Lichtquelle wie bei der herkömmlichen Beleuchtungstechnik nicht aus verschiedenen einzelnen Lampen besteht, sondern sich aus einer großen Anzahl von Lichtpunkten zusammensetzt. Entscheidend ist hier die lichttechnische

Wirkung als Gesamtheit, die in Ihrem Potential der Summe ihrer Einzelteile weit überlegen ist.

4.5 Wahrnehmungspsychologische Versuchsreihe auf Basis der Hellempfindlichkeitskurve des menschlichen Auges

Im Rahmen einer wahrnehmungspsychologischen Versuchsreihe im renommierten LichtLabor Bartenbach in Aldrans bei Innsbruck soll untersucht werden, in wie weit die jeweils empfundene Helligkeit von der eingesetzten monochromatischen LED-Farbe abhängt. Die Versuchspersonen betrachten hierbei zwei nebeneinander angeordnete Flächen, wobei die rechte Fläche mit LED-Licht bestrahlt wird und die linke Fläche von einer Leuchtstofflampe erhellt wird.

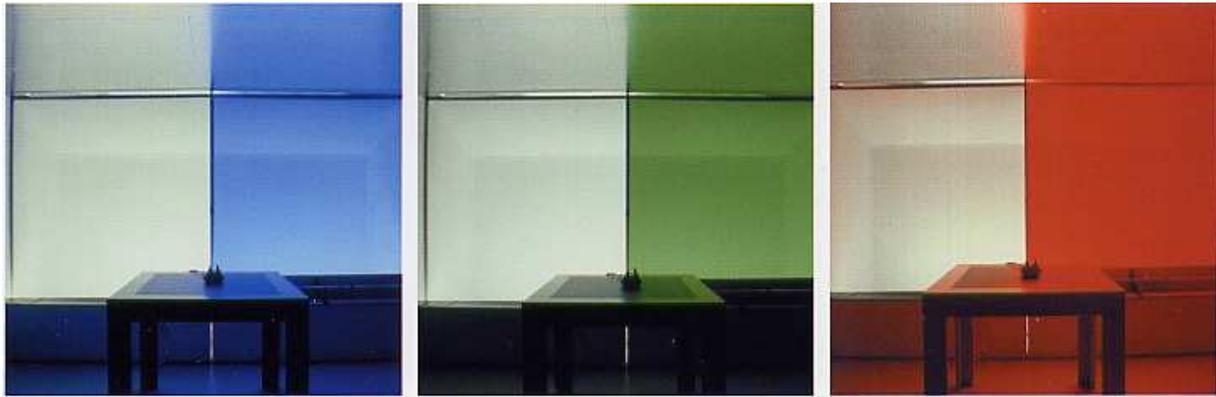


/56/ Darstellung der Versuchsanordnung

Die rechte Seite, deren Reflexionsgrad exakt ermittelt wurde, wird mit monochromatischem LED-Licht bestrahlt, wobei die Bestrahlungsstärke als physikalische Einheit bei allen drei Farben gleich groß ist.

Die Versuchspersonen haben die Möglichkeit, die weiße Leuchtfläche im linken Feld so manuell in Bezug auf Ihre Helligkeit zu justieren, bis Sie zu einem Punkt gelangen, an dem Sie der Meinung sind, dass nun beide Teilflächen über den gleichen Helligkeitseindruck verfügen.

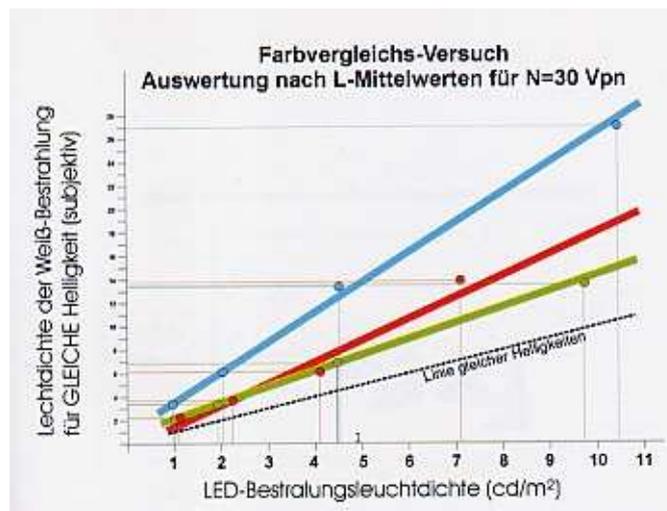
Nachdem alle drei monochromatischen Farben einem visuellen Helligkeitsvergleich unterzogen wurden, konnte nun anhand des jeweils gemessenen Leuchtdichtewertes im linken Feld eine genaue Gegenüberstellung der gewonnenen Ergebnisse stattfinden.



/57/ Versuchssituation mit LED-Farben (blau, grün, rot) für den Weißlichtvergleich

Eine erste wesentliche Erkenntnis besteht darin, dass LED-Licht im Vergleich zu einem weißen Licht aus neutralweißen Leuchtstofflampen im Allgemeinen in seiner Helligkeit überschätzt wird. Eine weitere wichtige Erkenntnis beruht auf der gewonnenen Tatsache, dass der Grad der Überschätzung von der Art der monochromatischen Farbe abhängt.

Betrachtet man die Ergebnisse zwischen der manuell justierbaren weißen Fläche mit der grünen Referenzfläche, so ist festzustellen, dass hier eher eine Annäherung der Helligkeitsempfindung zu erkennen ist. Der monochromatische grüne Farbton wurde hier im Mittel nur um 40% überschätzt. Betrachtet man sich dagegen die Versuchsergebnisse in Bezug auf das monochromatische blaue LED-Licht so muss hier ein um 180% überschätzter Helligkeitseindruck zur Kenntnis genommen werden. Die monochrome rote Farbe liegt mit ihrer Helligkeitseinschätzung zwischen der grünen und der blauen Farbe.



/58/ Blaues LED-Licht wird in seiner subjektiven Helligkeit bei Vergleich mit Weißlicht mehr überschätzt als rotes und grünes LED-Licht

Die hieraus gewonnenen Daten könnten gerade für den Bereich der Objektbeleuchtung von großer Wichtigkeit sein. In der Objektbeleuchtung, insbesondere in musea-

len Kategorien ist das Verhältnis zwischen auftreffender Beleuchtungsstärke und deren aufgrund von Reflektion empfundenen Helligkeit sehr wichtig.

4.6 Lichtemittierende Dioden in Verbindung mit hocheffizienten optischen Systemen zur Lichtlenkung

Gerade im Bereich der Objektbeleuchtung benötigt man für eine plastisch hochwertige Ausleuchtung einen hohen Anteil an gerichtetem Licht. Zudem besteht ein erheblicher lichtplanerischer Anspruch in Form einer qualitativ und quantitativ effizienten Lichtausbreitung. Für eine Hochleistungs-LED ergibt sich hieraus der Anspruch, ihr technisch maximal mögliches Lichtpotential weitestgehend verlustfrei einer lichttechnischen Aufgabenstellung zur Verfügung zu stellen.

Um einer solchen lichttechnischen Anforderung gerecht zu werden, bedarf es der Kombination einer modernen Hochleistungs-LED mit einem hocheffizienten optischen System. Die Hauptaufgabe einer solchen Optik besteht im Wesentlichen aus einer Bündelung und Formung der emittierten Lichtstrahlen. So ermöglicht eine maßgeschneiderte Optik eine ca. 80%ige Nutzung des Lichts, wohingegen bei einer LED ohne Optik nur ca. 10% des freiwerdenden Lichtes genutzt werden kann.

Um diese anspruchsvollen Beleuchtungsaufgaben wirksam umsetzen zu können, bedarf es einer zweistufigen Optik. Die beiden Hauptkomponenten bilden die sogenannte Primär- und Sekundäroptik. Die Verbindung dieser beiden Optikmodule ermöglicht eine sehr homogene Ausleuchtung von Objekten mit z.B. rechteckigen oder runden Leuchtdichteverteilungen. In diesen, einer Beleuchtungsaufgabe zugehörigen Bereichen, besteht durch den Einsatz einer vorgeschalteten Optik ein Höchstmass an produzierter Leuchtdichte.

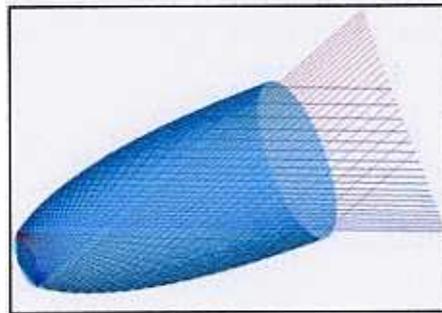
4.6.1 Primäroptik

Die zentrale Aufgabe einer vorgeschalteten Primäroptik besteht in der Bündelung emittierter Lichtstrahlen. Hierbei ist entscheidend, dass ein möglichst hoher Prozentsatz des von der LED abgestrahlten Lichtes von dem optischen System erfasst und weitergeleitet wird. Eine weitere wichtige Aufgabe besteht in der Bedingung, die vorhandenen Lichtstrahlen in einem, für eine nachfolgende Optik verwertbaren Raumwinkel zur Verfügung zu stellen.

Grundsätzlich muss die Primäroptik über ein Höchstmass an Transmission verfügen, um die Forderung nach einer hohen Leuchtdichte zu erfüllen. Zusätzlich ist auf eine bestmögliche Refokussierbarkeit zu achten.

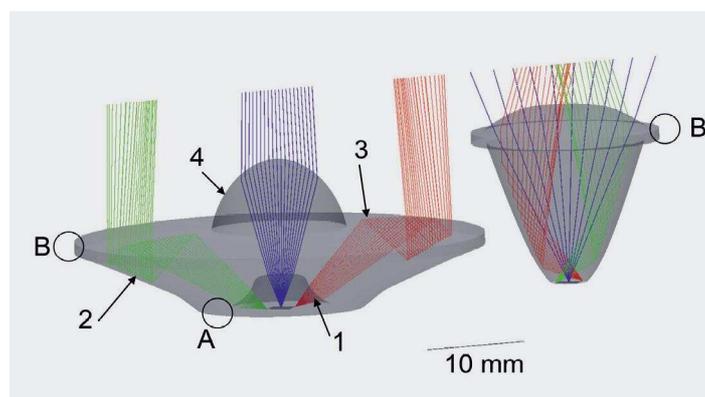
Um die geforderten Eigenschaften in Theorie und Praxis effektiv zu gewährleisten und umzusetzen, bedarf es den Einsatz so genannter Konzentratoroptiken. So wurde

ein Verbundkonzentrator speziell für die Aufnahme und Bündelung emittierter Lichtstrahlen einer rotationssymmetrischen Leuchtdiode entwickelt. Als problematisch wird hier lediglich die Qualität des abgegebenen Lichtflusses gesehen, der in seiner Homogenität und Raumwinkelverteilung noch einer Verbesserung bedarf.



/59/ Nach dem Kantenstrahlenprinzip entworfener parabolischer Verbundkonzentrator (CPC)

Ein wesentliches Entwicklungsziel war es, die Effizienz und insbesondere die Homogenität der räumlichen Lichtverteilung entscheidend zu verbessern. Eine weitere Aufgabe bestand darin, Konzentratoren zu entwickeln, die sich auch als Primäroptik für eine quadratische Lichtquelle eignen. „Das Konzentratordesign nutzt parametrische Elementmodelle basierend auf rationalen Bezier-Splines.“¹⁶ „Auf maximale Transmission in einen spezifizierten Divergenzbereich optimierte radialsymmetrische Konzentratoren für Dünnschicht-LED-Module (OSTAR® der Fa. OSRAM OS) mit jeweils vier 1 mm² LED-Chips zeigt Abb. 1. Der refraktiv/reflektive Konzentrator (RXI) kollimiert die Abstrahlung in einen Divergenzbereich mit 15° Vollwinkel“¹⁷ (Abb. /60/). „Rein brechend wirken die Flächen 1 und 4, während Fläche 2 als metallisierter Spiegel und Fläche 3 sowohl totalreflektierend (TIR) als auch brechend wirken. Die mit A und B gekennzeichneten Flächen dienen zur Halterung des Elements.“¹⁸



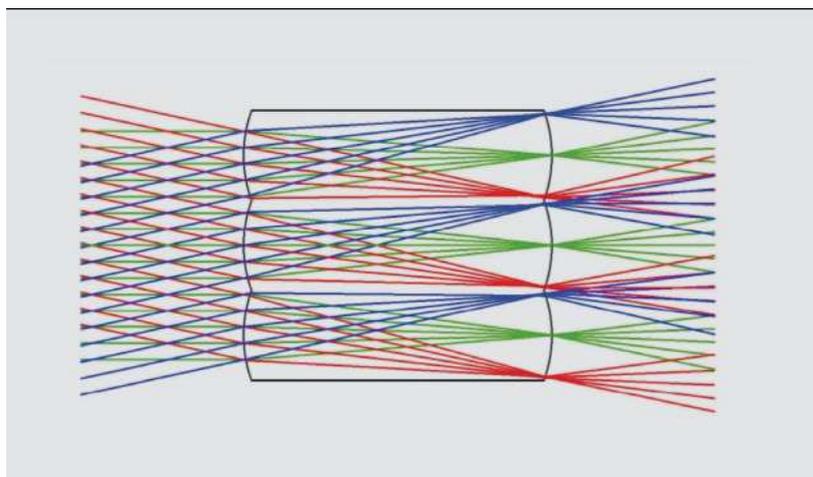
/60/ Design eines refraktiv/reflektiven (RXI, links) und eines TIR-Konzentrators (rechts)



/61/ Diamantgedrehte Prototypen für RXI (links) und TIR-Konzentrator (rechts)

4.6.2 Sekundäroptik

Da für die meisten Beleuchtungsaufgaben bestimmte Leuchtdichteverteilungen in den dazugehörigen Bezugsebenen verlangt werden, wird die Primäroptik noch um eine anschließende Sekundäroptik ergänzt. Somit ist es möglich, einen Teilflächenbereich in Form eines Kreises oder eines Rechteckes homogen auszuleuchten. Durch den Einsatz eines Wabenkondensors ist man in der Lage, derartige Leuchtdichteverformungen zu realisieren. So prägen zwei Linsenarrays diese Art eines mikrooptischen Systems. Wie in der Abbildung 5 graphisch dargestellt wandelt das optische System eintreffende kollimierte Lichtstrahlen in eine telezentrische divergente Strahlenausstrittsform um.



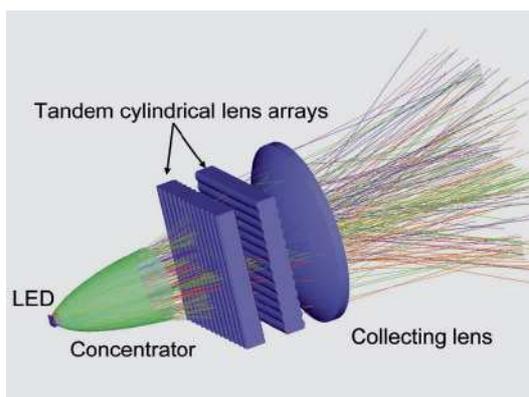
/62/ Wirkprinzip eines Wabenkondensors: Von links einfallende kollimierte Lichtbündel werden durch das erste Array fokussiert. Das zweite Array wirkt als Feldlinsenarray und sichert so die Telezentrie der Abstrahlung

Für den Wandlungsprozess ist es unerheblich, in welchem Winkel die Lichtstrahlen in das Linsenarray eintreten. „Der Divergenzwinkel ist gleich der numerischen Apertur (NA) des Arrays. Eine monolithische Realisierung des Wabenkondensors als mikrooptische Tandem-Linsenarrays ermöglicht minimale Baulängen und die Verlagerung der Justage der Arrays zueinander in den Herstellungsprozess.

Die mit Wabenkondensoren realisierbaren Leuchtfelder sind auf Geometrien mit hohem Füllfaktor beschränkt, also Dreiecke, Quadrate und Rechtecke oder – wie beim klassischen Wabenkondensator – Sechsecke. Mit geringfügigen Transmissionsverlusten sind auch kreisförmige Leuchtfelder realisierbar.“¹⁹

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine LED-Lichtquelle in Kombination mit einer Mikrooptik, welche wiederum aus einer Primär- und einer Sekundäroptik besteht. Den Kernbereich dieser Sekundäroptik bilden ein senkrechter und ein waagrechter Tandemzylinderarray. Die Zylinderlinsenarrays verfügen über einen hohen Füllfaktor, der als ein Maß für die Güte einer Optik angesehen wird. Eine Kollektorlinse bildet den Abschluss der Sekundäroptik.

„ In der Brennebene der Kollektorlinse enthält man einen homogen ausgeleuchteten rechteckigen Bereich, dessen Aspektverhältnis dem Verhältnis der NA der beiden Tandem-Arrays entspricht (Abb./64).“²⁰ Die Abkürzung „NA“ steht hier für den Begriff der numerischen Apertur und beschreibt in der Optik die Öffnung, durch die die emittierten Lichtstrahlen in eine Gerätschaft eintreten. Diese numerische Apertur der verwendeten Tandem-Arrays steht in einem direkten Zusammenhang mit dem Seitenverhältnis des erzielten rechteckigen Leuchtfeldes.



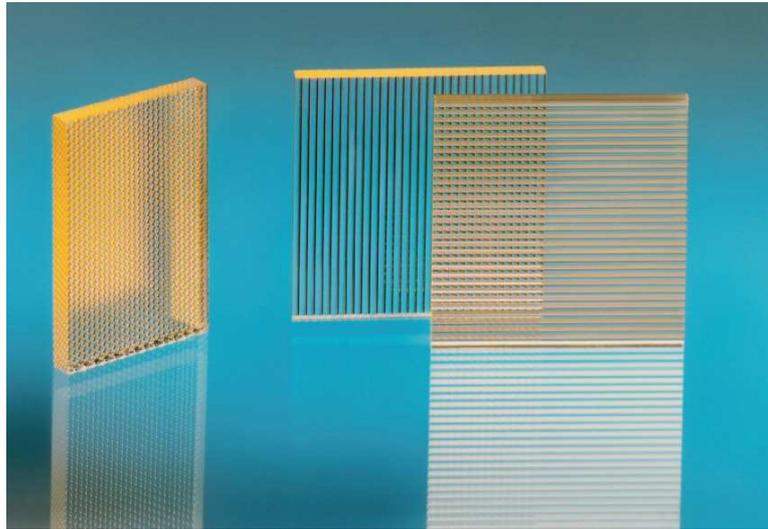
/63/ Schematischer Aufbau einer homogenisierten LED-Rechteckquelle



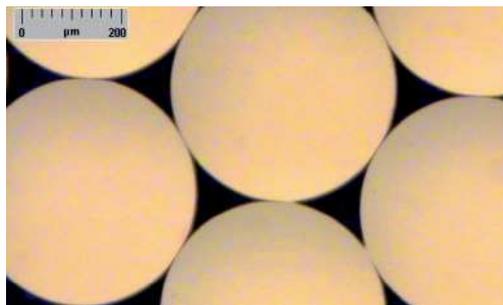
/64/ Labordemonstrator für LED Rechteckquelle

Um wie bei vielen Beleuchtungsaufgaben gefordert ein rundes Leuchtdichtfeld zu erzielen, bedient man sich Tandemarrays mit runden Lenslets, die über zusätzliche Blendenarrays verfügen. Die Positionierung der einzelnen Lenslets entspricht einer

strengen hexagonalen Anordnung. Bei der Realisierung runder Leuchtdichtfelder muss von einer ca. 90 %igen Transmission ausgegangen werden.



/65/ Replizierte Tandemarrays (rechts) und hexagonal angeordnete runde Lenslets mit Blendenarray (links)



/66/ Mikroskopaufnahme eines hexagonalen Arrays runder Linsen mit vergrabenen Blenden



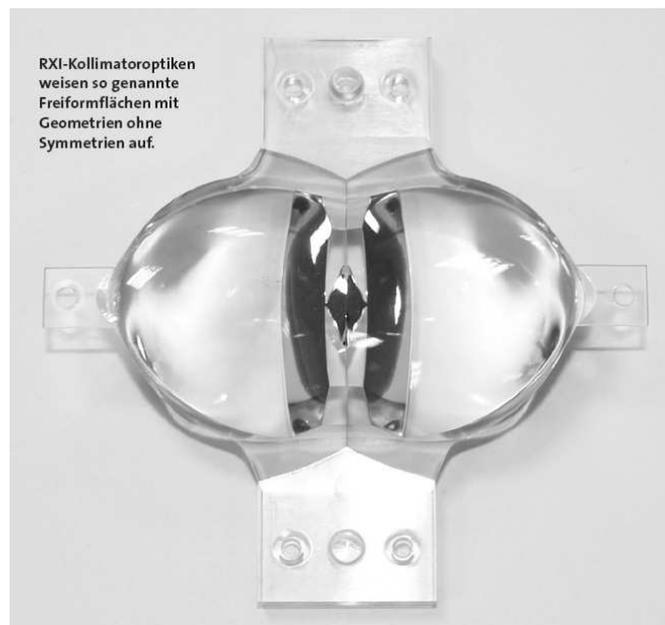
/67/ 80% des Lichtes werden genutzt

4.6.3 Freiformoptiken

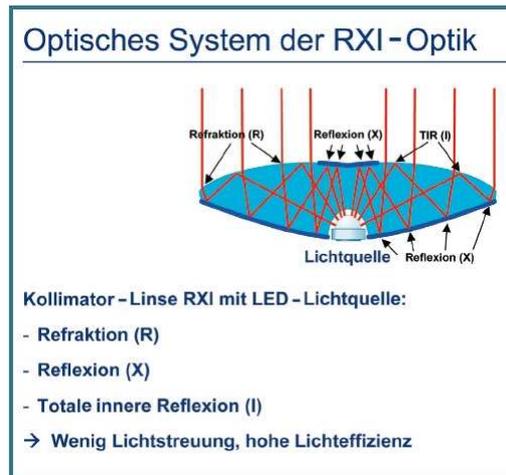
Freiformoptiken stellen eine technische Neuheit dar, mit der eine völlig individuelle Leuchtdichteverteilung in der dazugehörigen Bezugsebene ermöglicht werden soll. Insbesondere in Verbindung mit weißen LED's werden zahlreichen Einsatzfelder erschlossen.

Bei der Herstellung der Fokussieroptiken für lichtemittierende Dioden hat man sich für das Material Polycarbonat entschieden. Die Firma Bayer Materialscience hat auf diesem Gebiet sehr umfangreichen Forschungen laufen. Eine wichtige Bedingung beinhaltet die Forderung nach einer hohen Stabilität von fokussiertem Licht aus lichtemittierenden Dioden.

Eines der zentralen Aufgabengebiete im Bereich der Entwicklung beruht allerdings auf den sogenannten LED-Kollimatoroptiken. Besonders interessant ist hierbei Ihr Anwendungspotential in der Raumausleuchtung. Gerade im Bereich schwieriger Beleuchtungsaufgaben garantieren die Kollimatoroptiken eine exakte Ausleuchtung dank der Möglichkeit einer hochpräzisen Lichtlenkung. Eine Grundvoraussetzung für eine qualitativ hochwertige Objektausleuchtung besteht in einem sehr hohen Wirkungsgrad.



/68/ RXI-Kollimatoroptiken weisen so genannte Freiformflächen mit Geometrien ohne Symmetrien auf



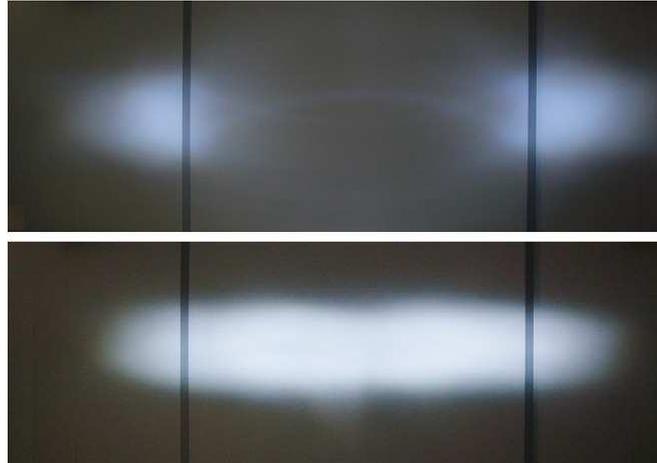
/69/ Die Funktionsweise von RXI-Kollimatoroptiken beruht auf Reflexion, Brechung und totaler innerer Reflexion

„Kennzeichen von RXI-Kollimatoroptiken sind so genannte Freiformflächen mit Geometrien ohne Symmetrien. Während sich klassische Linsensysteme für LED-Anwendungen aus mehreren Komponenten zusammensetzen, sind RXI-Kollimatoroptiken einteilige Systeme. Ihre Funktionsweise beruht auf Reflexion, Brechung und totaler innerer Reflexion.“ ²¹

In der je nach Beleuchtungsaufgabe geforderten Bezugsebene produziert die beschriebene Kollimatoroptik ein rechteckiges Leuchtdichtfeld. Der emittierte Lichtstrahl legt auf seinem Weg von der Lichtquelle bis zum Verlassen der Kollimatoroptik einen Weg von ca. 40 mm zurück. Diese lange Verweildauer des Lichtstrahles innerhalb der Optik verlangt von dem Material aus dem die Optik hergestellt wird ein Höchstmaß an Qualität.

Eine Bedingung, die sich vorrangig auf eine größtmögliche Transparenz und Homogenität der Materialien bezieht. Bereits kleinste Ungenauigkeiten im Verlauf des Herstellungsprozesses führen zu einer deutlichen Leistungsreduzierung der optischen Fähigkeiten einer Freiformoptik.

Die folgende Abbildung zeigt hierzu zwei rechteckige Leuchtdichtfelder, bei der das obere Leuchtdichtfeld infolge kleinster Oberflächendefekte der Freiformoptik sichtbar negative Auswirkungen in Bezug auf sein Strahlungsbild erkennen lässt.



/70/ Schon eine kleine Einfallstelle auf der Linsenoberfläche verursacht eine Störung des an sich rechteckigen Strahlungsbildes der RXI-Kollimatoroptik

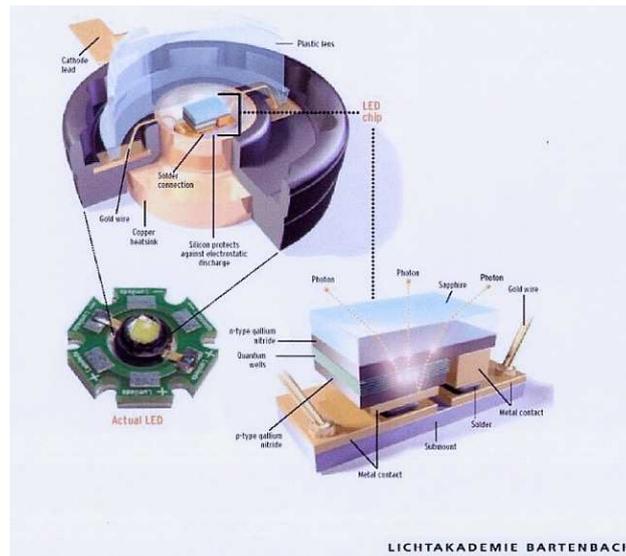
4.7 Aktueller Entwicklungsstand

Am 26. Februar 2008 gab die Firma Seoul Semiconductor aus Seoul in Korea die Entwicklung und Markteinführung einer ultrahellen LED „Z-Power P7“ bekannt. Mit dem 26. Februar 2008 ging diese LED in die Serieproduktion. Das besondere an dieser LED war ihre enorme Helligkeit, von 900 Lumen bezogen auf eine Leistung von 10 Watt. Diese Eigenschaft machte die „Z-Power P7“ zu diesem Zeitpunkt zur weltweit hellsten Lichtemittierenden Diode.

Ihr Wirkungsgrad von 90 Lumen/Watt pro Einheit stellt einen achtmal höheren Wirkungsgrad in Bezug auf herkömmliche Glühlampen dar. Dies ist in Anlehnung an die immer knapper werdenden Energieressourcen und einer immer weiter in den Vordergrund rückenden Umweltproblematik ein enorm wichtiger Entwicklungsschritt. Auch der Vergleich mit einer Leuchtstofflampe, deren Wirkungsgrad bei ca. 924 Lumen bei einer Leistung von 15 Watt liegt, besticht die „Z-PowerP7“ durch einen um 1,5-fach höheren Wirkungsgrad.

4.8 Zukunftsperspektiven der LED-Technologie

Die Zukunftsperspektiven lichtemittierender Dioden werden mit zunehmender Lichtausbeute und einer damit verbundenen stetig steigenden Effizienz immer besser. Im Besonderen gilt dies für die so genannten Hochleistungs-LED's.



/71/ Aufbau einer Hochleistungs - LED

Für das gute Zukunftspotential stehen in erster Linie die charakteristischen Grundbausteine der LED-Technologie. Hierzu gehören z.B. die konkurrenzlos lange Lebensdauer von aktuell ca. 50.000 Stunden und eine unvergleichlich hohe Unempfindlichkeit gegenüber Stößen und anderen mechanischen Beeinträchtigungen.

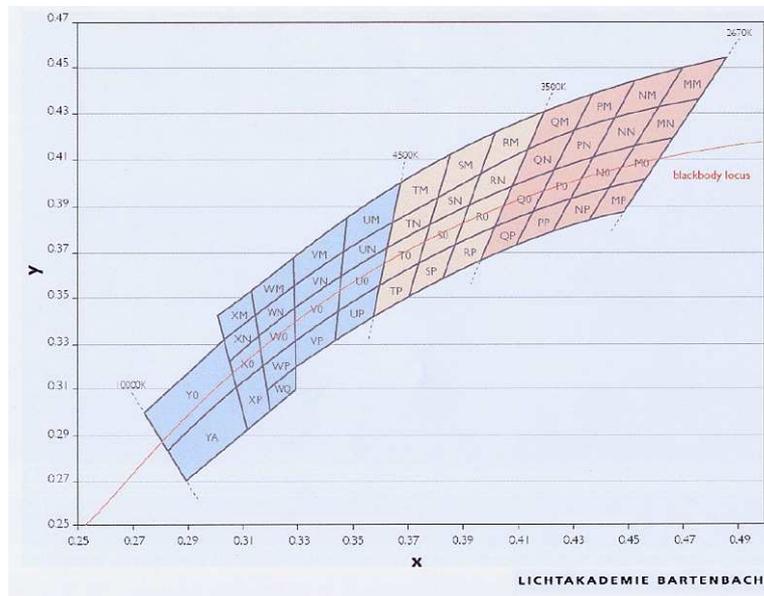
Ein enormer Vorteil gegenüber einer herkömmlichen Beleuchtung beruht auch auf der Tatsache, dass bei einer auf LED-Technologie basierenden Kunstlichtanwendung keinerlei Infrarot- oder UV-Strahlungen freigesetzt werden. Aufgrund neuer Ansätze in der Verbesserung der Lichtqualität ist es möglich, die Farbtemperatur exakt einzustellen und gleichzeitig die Farbtoleranzen zu reduzieren.

Diese Entwicklungsschritte ermöglichen zum jetzigen Zeitpunkt einen Farbwiedergabeindex $R_a > 90$. Eine sorgfältig entwickelte Gerätevielfalt zur Ansteuerung gewährleistet u.a. auch eine stufenlose Dimmbarkeit. Die sehr geringen Bauteilgrößen der einzelnen Komponenten und der geringe absolute Stromverbrauch lassen zukünftige Potentiale erahnen.

Trotz aller nachweislich vorhandener Vorteile gegenüber einer herkömmlichen Kunstlichtbeleuchtung, muss auch auf die bestehenden Nachteile oder Problematiken hingewiesen werden.

Gerade im Bereich des Fertigungsprozesses einzelner Leuchtdioden muss immer noch mit erheblichen Bauteilschwankungen wie z.B. bei der Farbtemperatur einer weißen LED die eine Schwankungsbreite von 3.000-10.000 K aufweisen kann, gerechnet werden. Dieser vorhandene Nachteil kann durch eine anschließende Selektion infolge Binnings ausgeglichen werden.

Diese Art der Selektion beinhaltet eine Sortierung der LED's in Gruppen ähnlicher Lichtausbeute, Spannung und Farbtemperaturen, was letztendlich zu einer spürbaren Verteuerung der Stückzahlen führt.



/72/ Binning

Spezielle Beleuchtungsaufgaben mit sehr hohen visuellen Anforderungen wie sie traditionell im musealen Kontext vorkommen, verlangen eine konstant hochwertig gleichbleibende Beleuchtung ihrer Exponate. Diese hohen beleuchtungstechnischen Anforderungen an eine Kunstlichtquelle auf LED-Basis verlangen einen enormen Aufwand an Steuerungstechnik, was wiederum zu einem erheblichen Anstieg der Kostenseite führt.

Ein direkter Vergleich einzelner Bauteilkomponenten mit denen der bestehenden Kunstlichttechnik zeigt, dass die LED-Leuchten in ihrer konstruktiven Beschaffenheit sehr stark durch den jeweiligen Hersteller vorgegeben werden. Hierdurch wird dem Anwender eine bislang gewohnte Wahl- und Kombinationsfreiheit der einzelnen Anlagenkomponenten genommen.

Betrachtet man die jeweiligen Verbindungsarten der einzelnen Komponenten im Bereich der LED-Leuchten, so fällt auf, dass hier die herkömmlichen Verbindungsarten wie Schraub- und Steckverbindungen durch Kleb- und Lötverbindungen ersetzt werden. Eine Wartung wird demnach nur sehr schwer möglich sein.

Ein erheblicher Nachteil besteht zum jetzigen Zeitpunkt noch in den sehr kurzen Lebenszyklen der einzelnen Produktreihen, was zu einer sehr problematischen Ersatzteilbeschaffung führen kann.

Eine der herausragendsten Eigenschaften einer LED besteht in Ihrer konkurrenzlos langen Lebensdauer. Um diese Produkteigenschaft über den gesamten Lebenszyk-

lus einer LED konstant aufrecht zu halten, bedarf es ausgeklügelter konstruktiver Vorrichtungen, die eine effektive Ableitung der erzeugten Wärme gewährleisten.

Ein nicht zu vernachlässigender Nachteil besteht in dem Aufbau eines LED-Arrays, welches verglichen mit der herkömmlichen Kunstlichttechnologie über eine ganze Anzahl von Leuchtdioden besteht. Dieser Umstand macht eine Wartung sehr schwierig.

Wie bereits in dem Gliederungspunkt 5.6 ff ausgeführt bewirkt die Verwendung einer LED-Optik einen wesentlich höheren Wirkungsgrad der betreffenden LED-Leuchte. Die Höhe des Wirkungsgrades ist deutlich größer als bei der Verwendung von Reflektoren in Verbindung mit einer konventionellen Kunstlichttechnik.

Im Hinblick auf die aktuelle Umweltsituation erlassen immer mehr Regierungen Verbote für den Verbrauch ineffizienter Glühlampen. Dies stellt ohne Zweifel eine große Chance für die LED-Technologie dar, wodurch große Energiemengen eingespart werden könnten und somit der CO₂ Haushalt entscheidend gesenkt werden kann.

5 Modellkomponenten zur Durchführung der lichttechnischen Untersuchungen

5.1 Skulpturmodelle

Alle für die lichttechnischen Untersuchungen angefertigten Skulpturen sind Spezialanfertigungen und wurden von dem Passauer Granitwerk Hötzenorfer Granitwerke, Merckenschlager GmbH & CO. KG nach Vorgabe angefertigt. Es sind insgesamt sechs Skulpturen hergestellt worden.

Für die lichttechnischen Untersuchungsreihen stehen insgesamt sechs Skulpturen zur Auswahl. Die zur Verfügung stehenden Farbgebungen werden von den drei verwendeten Natursteinsorten bestimmt und bewegen sich im achromatischen Farbbereich. Jeder der eingesetzten Steinsorten beinhaltet einen eigenen Farbton. Die Grautöne erstrecken sich von hellgrau über dunkelgrau bis hin zu einem Schwarz.



/73/ Alle angefertigten Skulpturen in der Grautonabstufung von hellgrau bis schwarz mit den jeweiligen Oberflächenausführungen hochglanzpoliert und geschliffen

5.1.1 Aufbau

Jede einzelne Skulptur setzt sich aus drei Hauptkomponenten zusammen. Einem Kopfteil, einem Mittelteil und einem Sockelbereich. So besteht der Kopfteil aus einer Granitkugel mit einem Durchmesser von \varnothing 120 mm, den Mittelteil bildet ein Granitwürfel mit einer Kantenlänge von 90 mm und für den Sockelbereich wurde ein Granitwürfel mit einer Kantenlänge von 100 mm vorgesehen.

Die Auswahl der einzelnen Skulptur-Komponenten ermöglicht eine Beobachtung von Lichterscheinungen auf orthogonalen, schrägen und mehrfach gekrümmten Oberflächen.

Bei der Proportionierung der einzelnen Skulptur-Komponenten wurde darauf geachtet, dass die jeweiligen Ansichten ein harmonisches Gesamtbild ergeben.

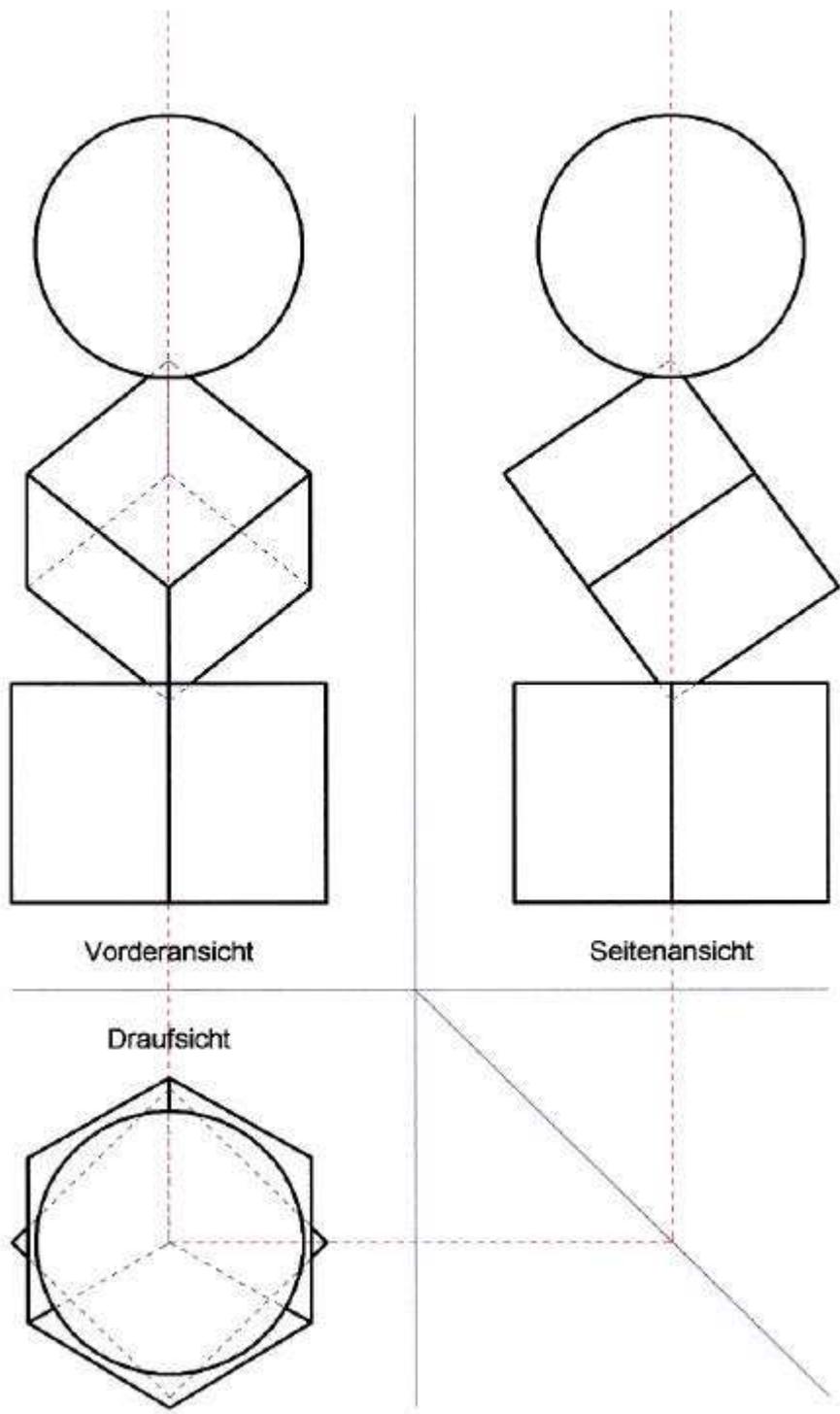
Der vorgesehene Aufbau der einzelnen Skulpturen sieht vor, dass der für den Mittelteil vorgesehene Würfel mit einer Kantenlänge von 90 mm auf seinen Spitzen stehend montiert wird. Hierzu bedarf es einer geringen Abtragung der betroffenen Würfelspitzen, um eine statisch stabile Gesamtstruktur zu erreichen. Während der Materialabtragung der beiden Würfelspitzen musste darauf geachtet werden, dass die verbleibende Körperhöhe des Mittelteiles 140 mm beträgt.

Die Endposition der Montage sieht vor, dass der auf seinen Spitzen stehende, mittlere Würfel mit seiner unteren Spitze mittig auf dem Sockelwürfel ruht, der wiederum in orthogonaler Lageposition den Skulpturenabschluss bildet. Die obere Würfelspitze des Mittelteiles kontaktiert eine Granitkugel mit einem Durchmesser von \varnothing 120 mm in zentraler Position. Zusammengesetzt verfügt jede einzelne Skulptur über eine Gesamthöhe von 360 mm.

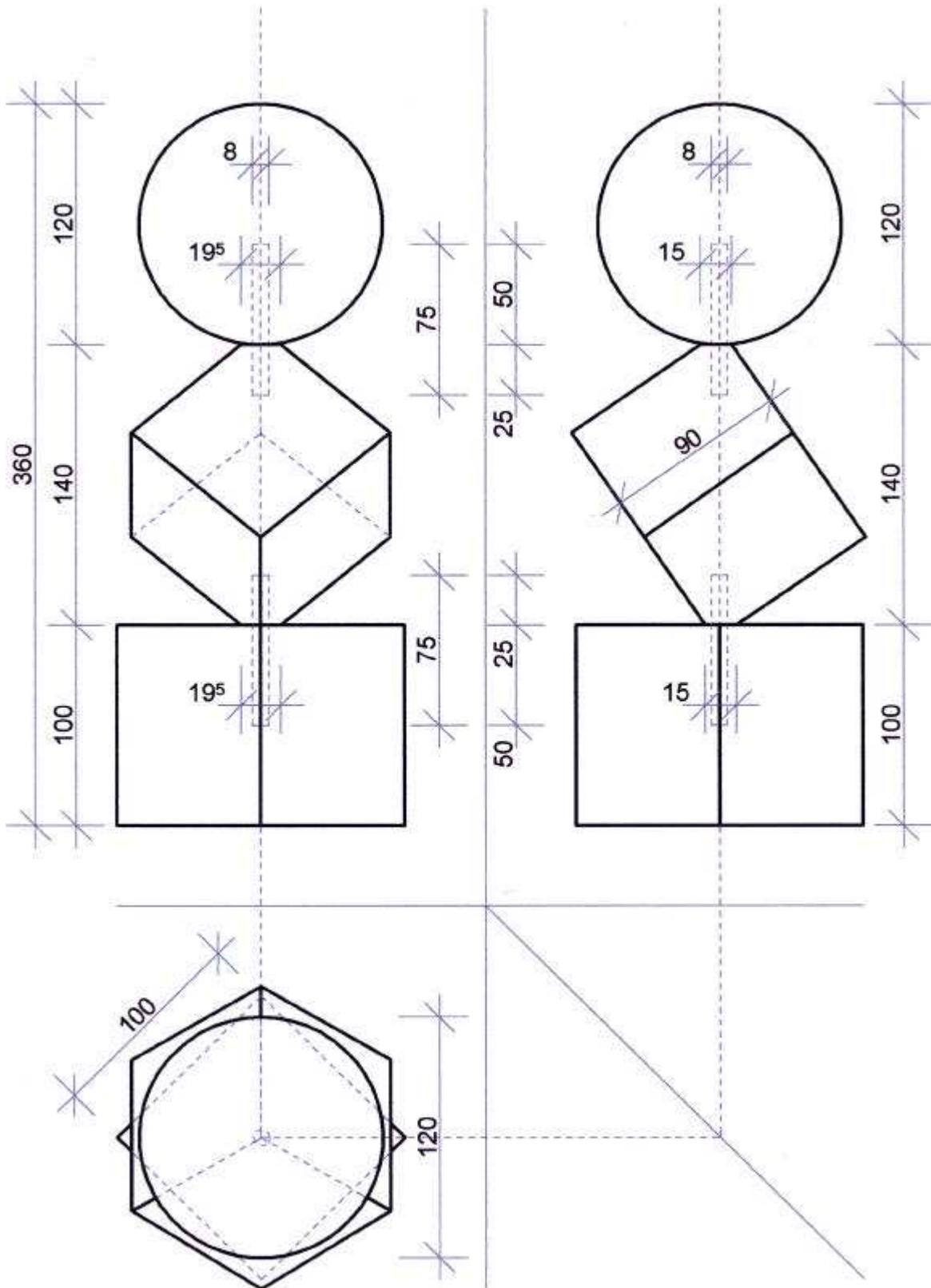
Um die einzelnen Komponenten sicher und exakt miteinander verbinden zu können, sind im Bereich der Verbindungsstellen im Kopf- und Fußteil jeweils 50 mm und in dem Mittelteil jeweils 25 mm tiefe Bohrungen mit einem Durchmesser von ca. \varnothing 8 mm angebracht worden. In die einzelnen Bohrungen werden Gewindestangen mit einem Durchmesser von ca. \varnothing 6 mm eingebracht. Für eine sichere Verbindung sorgt ein spezielles Verbundmörtelsystem FIS VS 150 C von der Firma Fischer.



/74/ Granitskulptur hellgrau hochglanzpoliert



/75/ Ansichten der Skulpturen



/76/ Ansichten der Skulpturen mit Maßangaben und Verbindungsvorrichtungen

5.1.2 Ausgewähltes Skulpturenmaterial

Für die lichttechnischen Untersuchungsreihen werden drei Natursteinarten ausgewählt, die eine harmonische Grautonabstufung zueinander aufweisen, was für rein achromatische Untersuchungsreihen wichtig ist. Die Gesteinsarten gehören zu der Familie der Hartgesteine und zählen zu den klassischen Materialien der Bildhauerkunst.

Alle drei Gesteinsarten wurden in China abgebaut. Es handelt sich jeweils um die Gesteinsarten G 603, G 654/ G 3554 und G 684/ 3584. Hierbei muss darauf hingewiesen werden, dass in der V.R. China zum 01.08.1999 ein neuer nationaler Standard in Kraft trat, der eine Klassifizierung der einheimischen Natursteine ermöglichen soll.

Ziel dieses Standards ist eine Vereinheitlichung der einzelnen Nummerierungen und Bezeichnungen der Natursteine. Des Weiteren soll eine Erleichterung des nationalen und internationalen Informationsaustausches ermöglicht werden.

So schreibt das offizielle Regelwerk GB/T 17670 eine vierstellige, numerische Gesteinscodierung vor. Die erste Ziffer steht für die eigentliche Gesteinsart. Die zweite Ziffer steht für die Provinz, aus der dieser Naturstein kommt. Die letzten beiden verbleibenden Ziffern geben den genauen Bruch an, in dem der Stein abgebaut wurde. So wurde z.B. aus der Gesteinsbezeichnung G 654 G 3554. Zusätzlich beinhaltet die neue Standardisierung sämtliche chinesischen Namen der betreffenden Gesteinsarten.

In der Praxis ist jedoch noch die vorherige Gesteinsbezeichnung in China und Deutschland vorherrschend. So beginnt die ältere Bezeichnungsversion mit einem Buchstaben wie „G“ für Granit, „M“ für Marmor und „S“ für Schiefer. Die sich anschließende dreistellige Ziffernfolge beinhaltet in seiner ersten Ziffer die Angabe der Provinz. Die beiden letzten Ziffern geben Auskunft, aus welchem Bruch die Natursteine stammen.

Damit ist es möglich, dass auf dem Amerikanischen Markt unter der Standardisierung ASTM C 119 und auf dem Chinesischen Markt unter der Standardisierung GB/T 17760 Gesteine wie Basalt, Diabas etc. als Granit bezeichnet werden können. Dies steht allerdings in einem krassen Verhältnis zu der Europäischen Norm EN 12440, die eine wissenschaftliche Bezeichnung der Gesteinsart verlangt. Diese wissenschaftliche Bezeichnung muss durch eine petrographische Untersuchung nach EN 12670 bestimmt werden.

Um eine eindeutige Nachvollziehbarkeit der ausgewählten Gesteinsarten zu ermöglichen werden nun nachfolgend zu jeder Gesteinsart die einzelnen Laborergebnisse angegeben. Die Reihenfolge verläuft von hell nach dunkel.

5.1.2.1 Padang Cristall "G 603"

Handelsbezeichnung für einen feinkörnigen, präkambrischen Granit

Internationale Gesteinsbezeichnung: Granit

Petrographische Gesteinsbezeichnung: Granit

Angaben zum Prüfauftrag

Entnahmestelle:	China
Provinz:	Fujian
Abbauggebiet:	Jin Jiang
Material:	Granit hellgrau, mittelkörnig / G 603
Laboreingang:	2006
Prüfgrundlagen:	DIN EN 1341

„ 2. Allgemeines zum Prüfauftrag

In Anlehnung an die DIN EN 1342:

Da die Wasseraufnahme der geprüften Natursteinplatten < 0,5 M.-% beträgt, wurde auf einen Frost-Tau-Wechsel-Versuch verzichtet.“²²

Ergebnisse in Tabellenform

Prüf- körper- Nr.	DIM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Er- geb- nis
-------------------------	-----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	--------------------

/77/

Maße

Länge	mm	50,8	50,8	50,7	51,3	50,8	50,6	50,6	50,4	51,3	50,7
Breite	mm	50,6	50,7	50,7	50,6	50,8	49,9	50,7	51,2	50,8	50,8
Höhe	mm	50,5	49,9	50,6	50,3	50,6	50,3	50,7	50,5	50,7	51,3

/78/

Rohdichte

Rohdichte	g/cm ³	2,630	2,634	2,631	2,634	2,630	2,633	2,632	2,634	2,634	2,634	2,633
-----------	-------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------------

/79/

Wasseraufnahme nach DIN 13755

Wasser- auf- nahme	M.-%	0,29	0,30	0,29	0,32	0,32	0,30	0,32	0,26	0,29	0,29	0,30
--------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------------

/80/

Frost-Tau-Wechsel-Versuch nach DIN EN 12371

Ab- splitterung	M.-%	Sichtprüfung									
--------------------	------	--------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

/81/

Druckfestigkeit nach DIN EN 1926

Druck- festig- keit	N/mm ²	161,4	175,8	190,2	151,9	192,1						174,3
---------------------------	-------------------	-------	-------	-------	-------	-------	--	--	--	--	--	--------------

/82/

Abmessungen der Natursteinplatten

Länge	mm	400,1	399,1	399,5	399,8	399,9	400,0			
Breite	mm	399,9	399,2	399,4	399,9	400,0	399,9			
Dicke	mm	31,4	31,6	31,7	31,5	31,7	31,1			

/83/

Rutschwiderstand nach DIN 1341

C-Skala	Einheiten	63,3	63,0	63,3	63,7	63,8	62,3						63
---------	-----------	------	------	------	------	------	------	--	--	--	--	--	----

/84/

Abriebwiderstand nach DIN EN 1341

Länge der Schleifspur	mm	17,5	17,5	18,0	17,5	18,0	17,5						18,0
-----------------------	----	------	------	------	------	------	------	--	--	--	--	--	------

/85/

„Petrographische Beschreibung von Natursteinen in Anlehnung an DIN EN 12407 vom August 2000 sowie DIN EN 1341 vom März 2000 und DIN EN 12670 vom Februar 1997

Probe Nr.: Probe G 603

Probeneingang: 19.07.2005

Makroskopische Beschreibung

Von der Gesteinsprobe liegt ein Handstück mit der Bezeichnung Probe 603 in der Dimension von ca. 4 x 4 x 3 cm vor.

Das Gestein weist makroskopisch insgesamt eine graue Farbe mit schwarzen und dunkelgrauen „Flecken“ auf. Es ist erkennbar, dass das Gestein vor allem aus weißen Feldspäten, grauem Quarz und schwarzem Biotit besteht. Gut zu erkennen sind die spiegelnden Spaltflächen der hellen Feldspäte. Diese haben eine mittlere Korngröße von ca. 2 bis 4 mm. Die grau gefärbten Quarzkörner sind im Mittel 2 mm groß und zeigen einen fettigen Glanz. In diese grobkörnige Matrix eingebettet sind kleinere, ca. 0.5 bis 1.5 mm große, teilweise zu größeren Aggregaten zusammengeschlossene, blättchenförmige Biotitschuppen. Makroskopisch kann nicht zwischen Plagioklas und Kalifeldspat unterschieden werden.

Die Minerale sind in dem Gestein sehr homogen verteilt, so dass insgesamt ein weiß-grauer Farbeindruck mit einzelnen schwarzen „Flecken“ entsteht. Das Gestein weist keine Vorzugsorientierung auf. Der Gefügetyp ist somit als hypidiomorph-gleichkörnig, richtungslos zu bezeichnen.

Aufgrund des Mineralbestands und des Gefüges ist das Gestein als Granit zu

bezeichnen.

Das Gestein macht insgesamt einen frischen Eindruck. Offensichtliche Verwitterungserscheinungen sind makroskopisch nicht erkennbar.

Das Gestein ist in dem vorliegenden Maßstab kompakt und massig. Es sind makroskopisch keine Poren- und Hohlräume erkennbar.

Mikroskopische Beschreibung

Ein Gesteinsdünnschliff der Probe mit der Größe 2 x 4 cm wurde mit dem Polarisationsmikroskop im Durchlicht untersucht.

Gefüge und Mineralbestand

Das Gestein weist ein grobkörniges, hypidiomorph körniges, richtungsloses Gefüge auf. Es besteht mineralogisch überwiegend aus Quarz, Plagioklas, Kalifeldspat und Biotit. Hinzu kommen geringe Mengen an Apatit, Chlorit, Muskovit, opaken Phasen und Zirkon. Alterationsprodukte sind in Form von Kaolinit und Serizit vorhanden.

Im Dünnschliffmaßstab ist keine Foliation zu erkennen, so dass das Gefüge als isotrop bezeichnet werden kann. Auffallend ist das Vorhandensein von deutlichen Hinweisen auf kristallplastische und auch klate Deformation, wie undulöse Auslöschung, Rissbildung, Gleitwillinge, teilweise suturierte Kornkontakte und Myrmekite. Die Korngrößen der Hauptminerale betragen im Mittel für die Feldspäte ca. 1 bis 4 mm, für Quarz ca. 0.5 bis 3 mm und für Biotit ca. 0.5 bis 1.5 mm.

Es werden die folgenden Anteile abgeschätzt (Vol.%):

30	Quarz
20	Kalifeldspat
40	Plagioklas
6	Biotit
3	Apatit
1	Restliche

Quarz tritt in Form von 1 bis 2 mm, teilweise bis 4 mm großen, stets xenomorphen Körnern auf. Die Quarze stellen teilweise Zwickelfüllungen dar. Die Korngrenzen sind stets unregelmäßig ausgebildet. Fast alle Körner zeigen eine starke undulöse Auslöschung und sind oftmals von zahlreichen Rissen durchzogen. Zahlreiche Fluideinschlüsse sind ebenfalls vorhanden.

Kalifeldspat tritt in Form von bis 2 bis 4 mm großen, xenomorphen bis hypidiomorphen Körnern auf. Die Korngrenzen sind ebenfalls oftmals unregelmäßig. Perthitische Entmischungen sind teilweise zu beobachten und stellen ein gutes Erkennungsmerkmal dar. An der Grenze zu Plagioklasen ist gelegentlich eine Myrmekit-Bildung erkennbar. Teilweise sind Domänen mit Mikroklin-Gitterung vorhanden, daneben tritt auch Orthoklas auf. Die Kalifeldspäte zeigen teilweise Anzeichen tektonischer Deformation in unterschiedlichem Ausmaß an. Zu erkennen sind Risse und schwache undulöse Auslöschung. Alterationsspuren sind im mäßigen Ausmaß vorhandene Kaolinitbildungen.

Plagioklas tritt ebenfalls in Form von 2 bis 4 mm großen, xenomorphen bis hypidiomorphen Körnern auf. Die Korngrenzen sind überwiegend regelmäßig ausgebildet. Es sind häufig Verwilligungen nach dem Albit-Gesetz, aber auch nach dem Karlsbader-Gesetz zu erkennen. Gleitwillingen sind vorhanden, jedoch selten. Die Plagioklase zeigen außerdem sehr deutlich ausgebildete Zonierungen an. Frische Plagioklase sind durchaus vorhanden. Als Alterationsprodukt innerhalb der Plagioklase ist die Bildung von Serizit zu erwähnen.

Biotit tritt in Form von kleinen 0.5 bis 1.5 mm großen, tafelförmig hypidiomorphen bis xenomorphen Körnern auf. Die Biotite sind oftmals alteriert. Es handelt sich vor allem um Bildung von Chlorit und Serizit.

Apatit tritt in Form von kleinen, 0.1 bis 0.2 mm großen, hypidiomorph bis idiomorphen Körnern auf und ist durch seine höhere Lichtbrechung als die der umgebenden Quarz-Feldspatmarix zu erkennen.

Zirkon tritt vereinzelt in Form von bis zu ca. 0.01 mm großen Körnchen in idiomorpher Ausbildung auf. Er ist farblos, hat ein starkes Relief und bunte Interferenzfarben.

Opake treten in Form von stets kleinen, ca. 0.2 bis 0.4 mm großen, zum Teil hypidiomorph ausgebildeten und isolierten Körnchen auf.

Das Gestein zeigt mikroskopisch eine deutlich erkennbare Deformation und ist geringfügig alteriert. Die Quarze, zum Teil auch die Feldspäte zeigen Rissbildung in Folge von Bruchdeformation an. Auch die Biotite sind stellenweise deutlich alteriert (Chlorit und Serizit). Die Feldspäte sind mäßig zu Kaolinit / Serizit umgewandelt. Die sichtbaren Mineralumwandlungen sind auf Wechselwirkungen mit hydrothermalen Wässern in der postmagmatischen Phase zurückzuführen. Insgesamt ist das Gestein allerdings als frisch zu bezeichnen.

Diskontinuitäten

Es sind in dem Gestein keine Diskontinuitäten vorhanden.

Petrographische Definition

Das Gestein hat ein grobkörniges, isotropes und hypidiomorph-körniges Gefüge und kann daher als Plutonit klassifiziert werden. Aufgrund des Mineralbestands kann das Gestein als Granit bezeichnet werden.

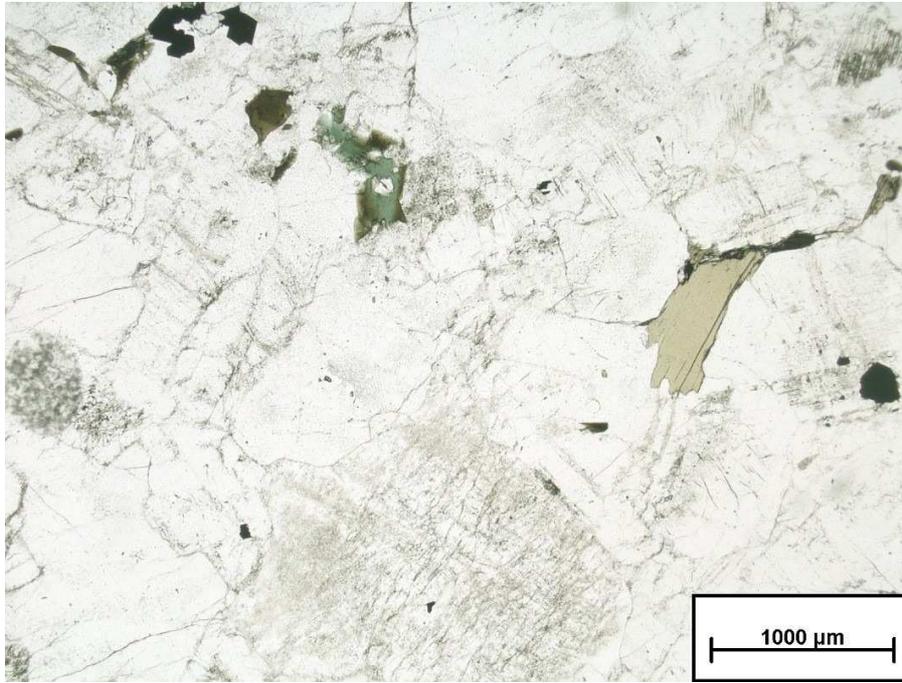
Abbildungen

Abb. 1: Mesoskopische Ansicht der Gesteinsprobe. Es ist ein grobkörniges Gefüge ohne Vorzugsorientierung zu erkennen. Die Minerale sind annähernd gleichkörnig und homogen verteilt. Bei dem dunklen Mineral handelt es sich um Biotit, daneben treten weißer Feldspat und grauer Quarz auf. Äußere Alterationsspuren sind nicht erkennbar.“²³

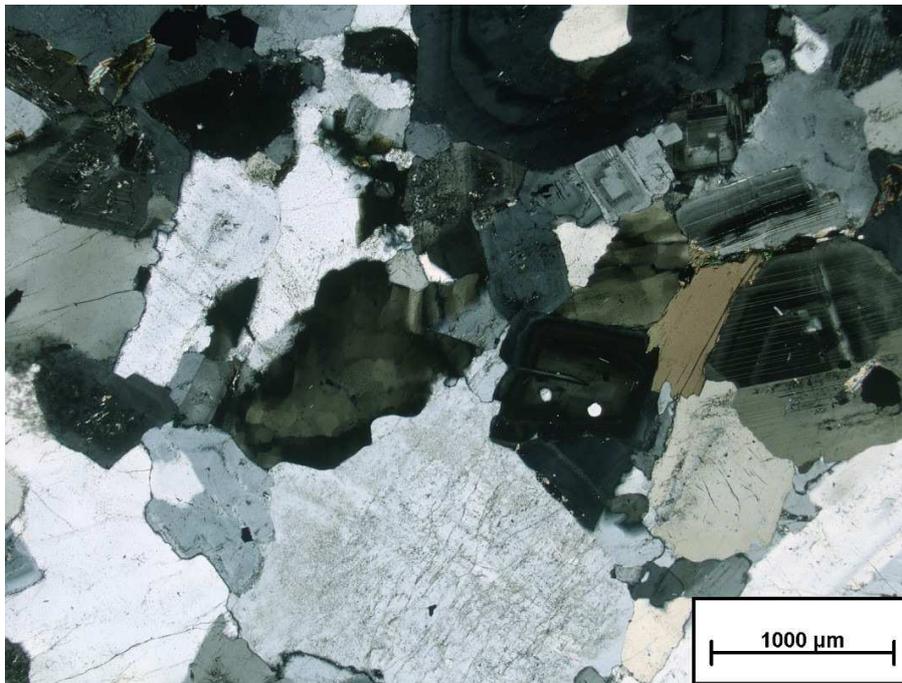


/86/

„Abb. 2: Übersichtsaufnahme: Es sind die farblosen Minerale Quarz und Feldspat zu erkennen. Vor allem die Feldspäte weisen eine leichte Alteration auf. Mit 1 Nicol sind feine, hellbraune, schmutzige Adern und Beläge zu erkennen, die die Alterationsphasen (Kaolinit und Serizit) darstellen. Auch die braunen Biotite zeigen Alteration in Form von Chloritisierung an. Durchlicht: oben: 1 Nicol; unten: + Nicols.“²⁴

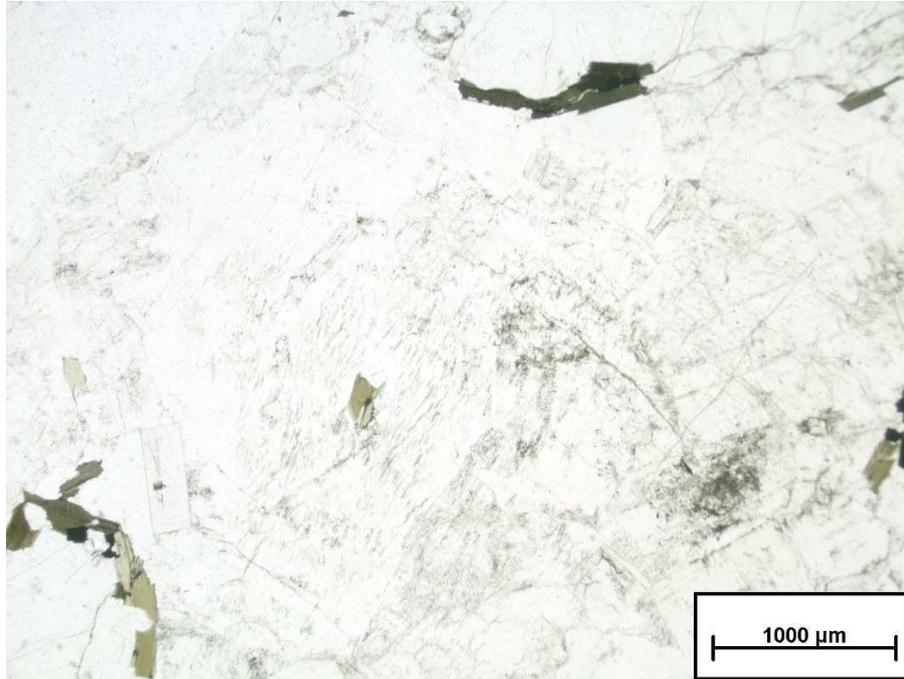


/87/

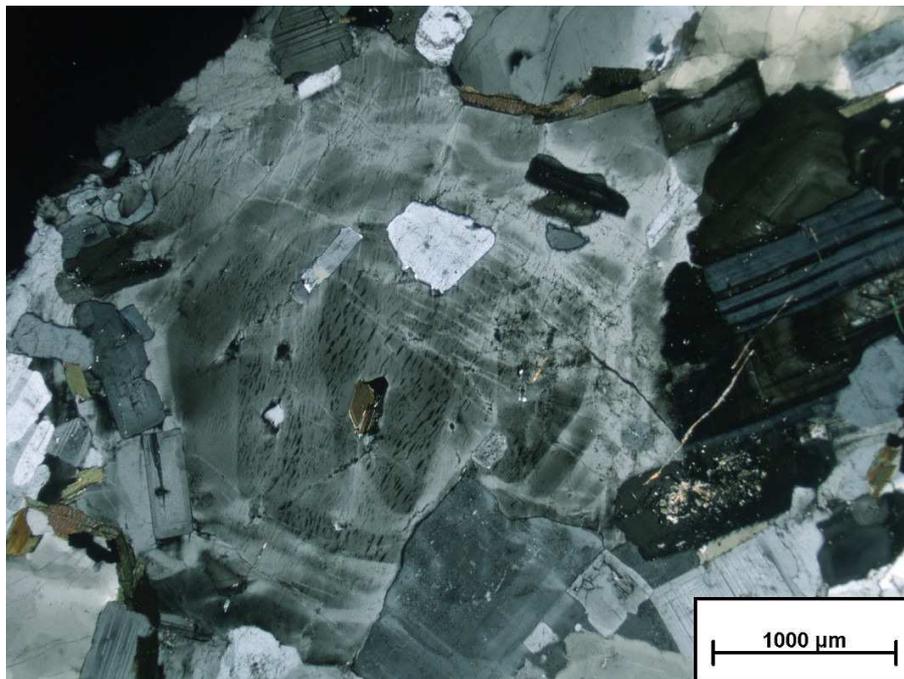


/88/

„Abb. 3: In der Mitte des Bildes befindet sich ein großer, hypidiomorpher Kalifeldspat mit gut sichtbarer Zonierung und feiner Entmischungsstruktur. Umgeben wird er von Quarzen, Plagioklasen und einzelnen Biotitschuppen. Er enthält einzelne Einschlüsse von Plagioklasen. Auch hier sind die feinen Alterationsbeläge am besten mit 1 Nicol sichtbar. Durchlicht: oben: 1 Nicol; unten: + Nicols.“²⁵

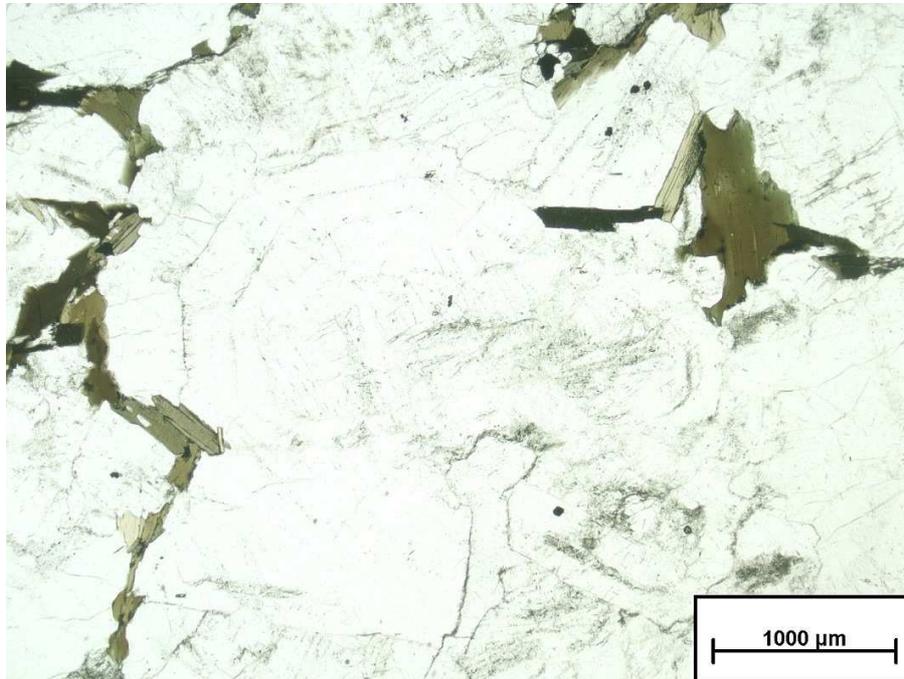


/89/

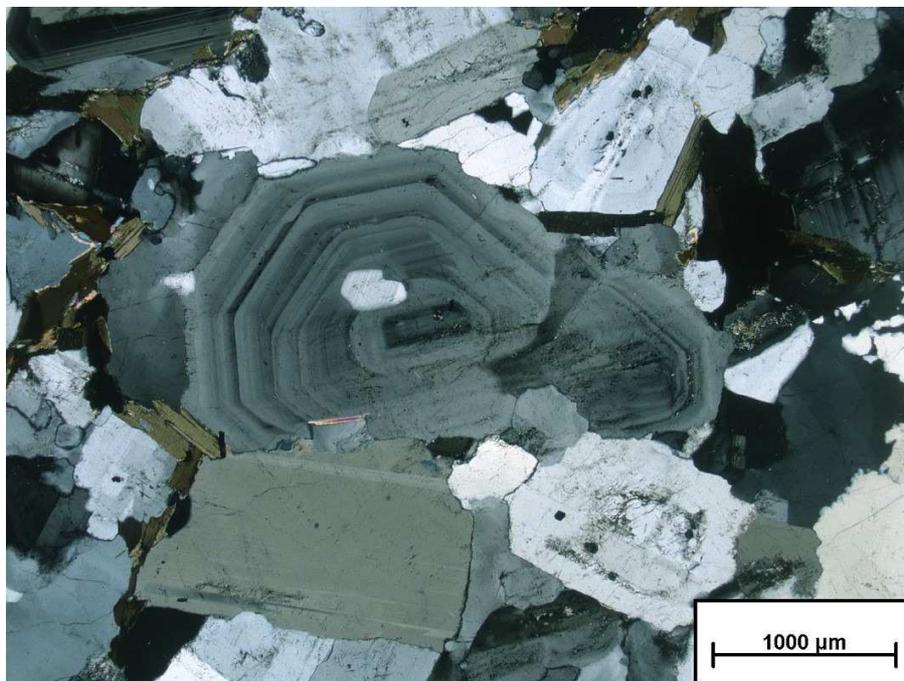


/90/

„Abb. 4: In der Bildmitte befindet sich ein deutlich zonierter Plagioklas in annähernd idiomorpher Ausbildung. Dieser Plagioklas ist im Vergleich zu anderen Plagioklasen frisch erhalten. Generell ist dieser Abschnitt relativ schwach alteriert. Die braunen, leistenförmigen Minerale sind Biotite. Durchlicht; oben: 1 Nicol; unten: + Nicols.“²⁶

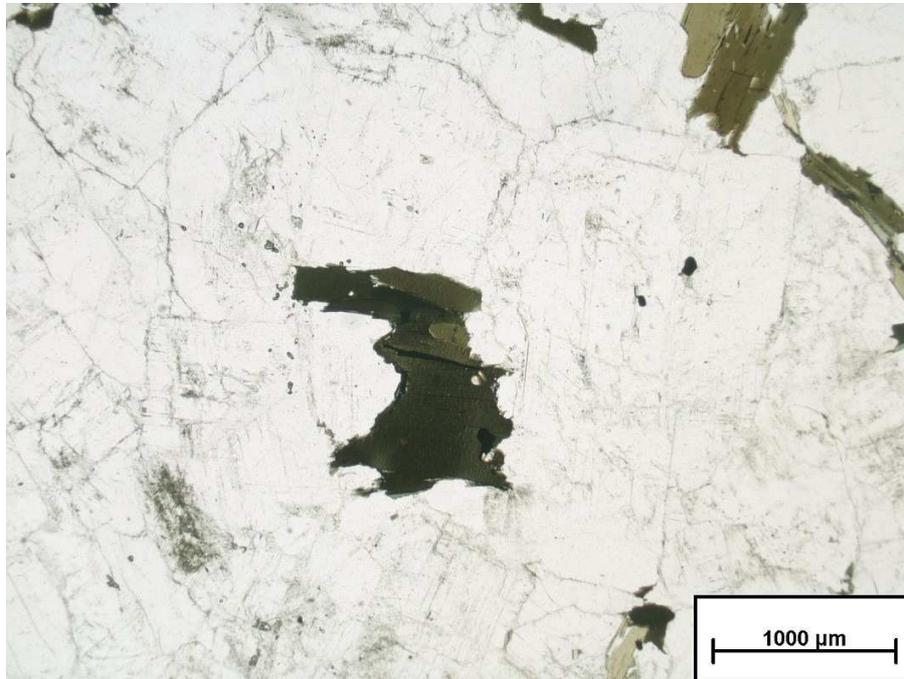


/91/

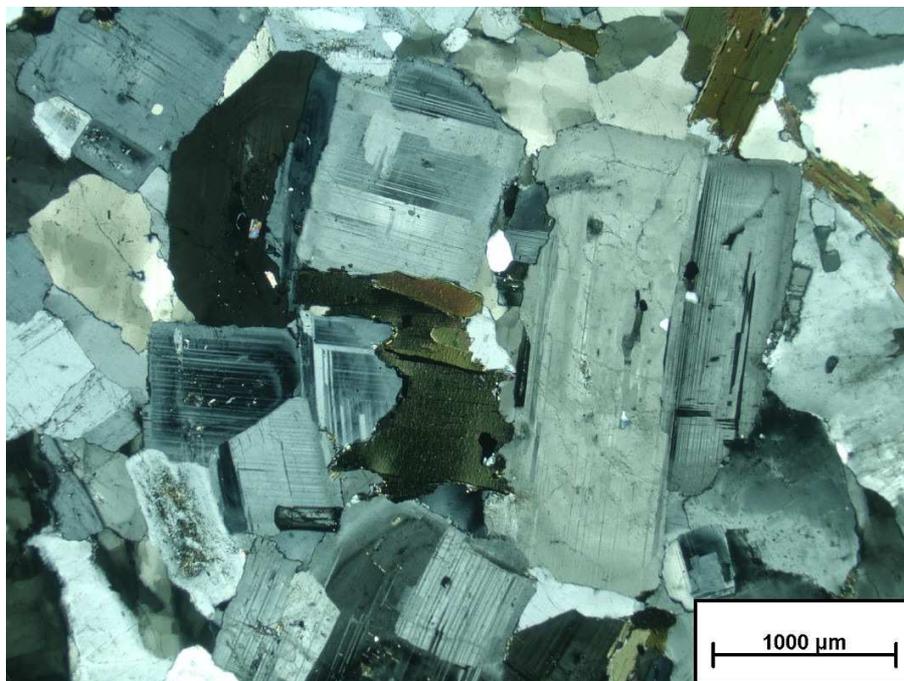


/92/

„Abb. 5: Genau in der Bildmitte befindet sich ein Aggregat aus zonierten, hypidio-
morphen Plagioklasen mit deutlicher Albit-Streifung. Dieses Aggregat umschließt ei-
nen Biotit. Auch hier sind die Plagioklase relativ schwach alteriert. Durchlicht: oben: 1
Nicol; unten: + Nicols.“²⁷

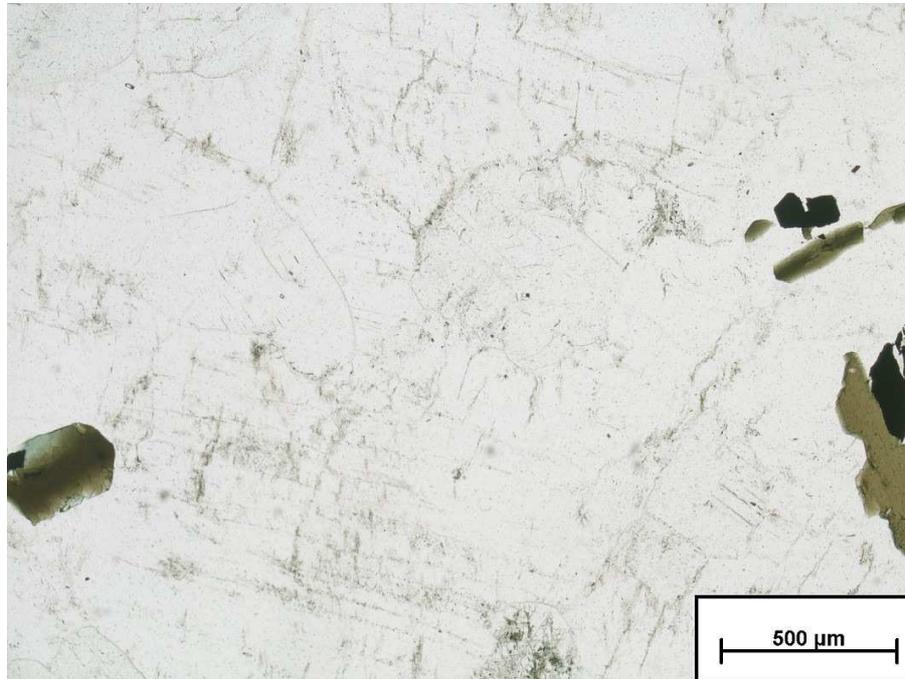


/93/

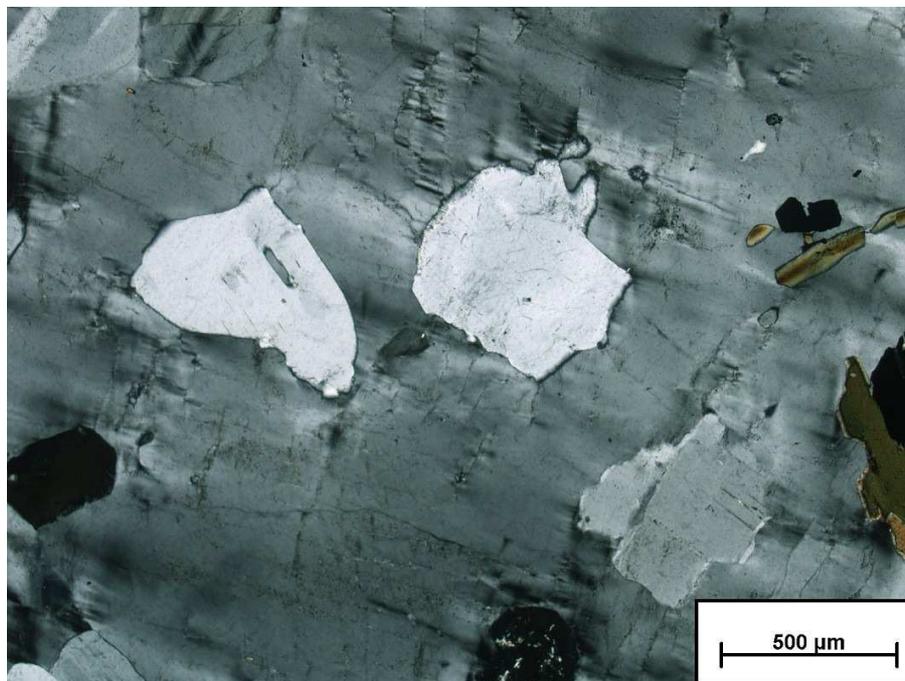


/94/

„Abb. 6: Den gesamten Bildausschnitt nimmt ein Kalifeldspat mit Einschlüssen aus Plagioklasen und Biotiten ein. Dieser Kalifeldspat zeigt sehr schön das Vorhandensein einzelner Mikroklin-Domänen in einer Grundmasse aus Orthoklas. Durchlicht: oben: 1 Nicol; unten: + Nicols.“²⁸

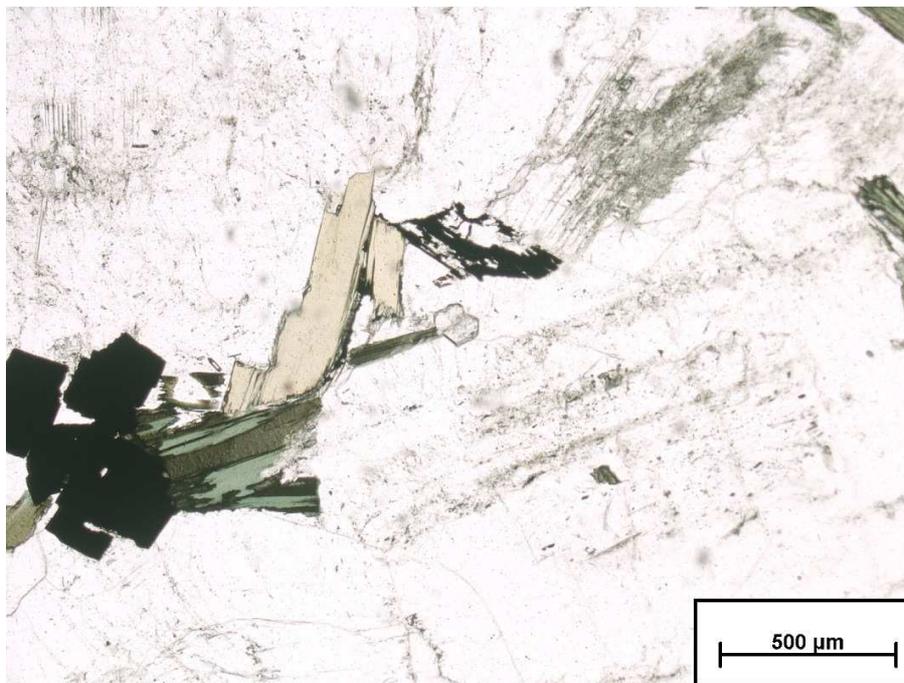


/95/

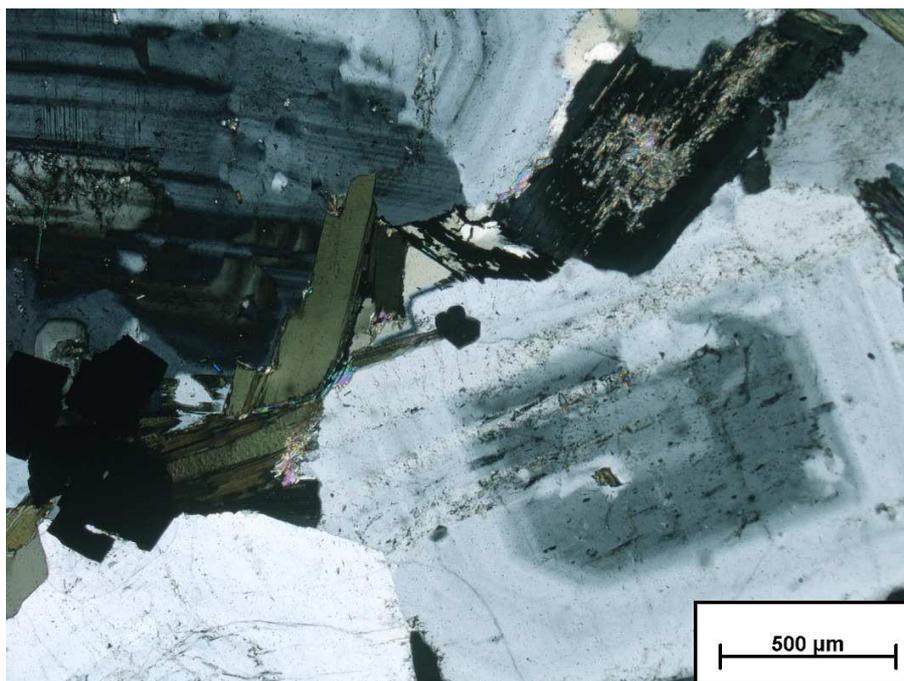


/96/

„Abb. 7: In dieser Abbildung erkennt man in der Bildmitte einen hypidiomorphen Apatit mit deutlichem Relief und schwacher Doppelbrechung bei +Nicols (erscheint fast schwarz bei +Nicols). Links davon befindet sich ein Aggregat aus verwachsenen Biotiten, die teilweise Chloritisierung (Grüne Bereiche bei 1 Nicol) anzeigen. Außerdem sieht man ganz links im Bild Zusammenballungen von hypidiomorphen opaken Phasen. Die Grundmasse besteht hier auch großen, zonierten Plagioklase. Durchlicht: oben: 1 Nicol; unten: + Nicols.“²⁹

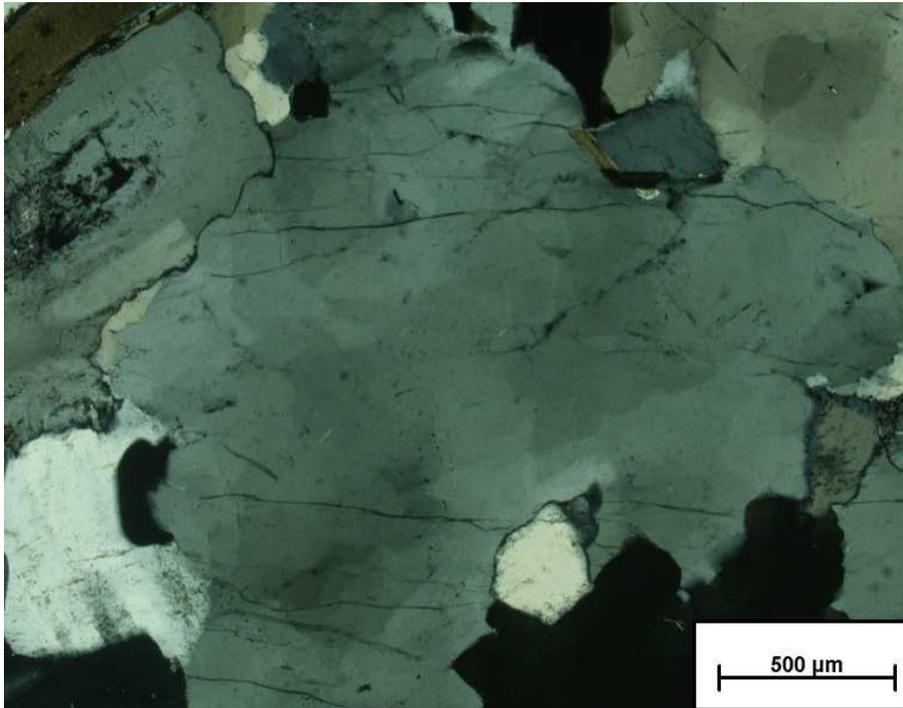


/97/



/98/

„Abb. 8: Deformationserscheinungen an Quarz: stark undulöse Auslöschung. Durchlicht: + Nicols.“³⁰



/99/

5.1.2.2 Padang dark “G 654/G 3554”

An dem Naturstein Padang dark (G 654/G 3554) soll gezeigt werden wie eine ausführliche Petrographische Beschreibung inhaltlich den Anforderungen der europäischen Normierung DIN EN 12407 entspricht.

Materialangaben

Entnahmestelle:	China
Provinz:	Shandong
Abbauggebiet:	Tao Cun
Materialart:	Granit G 654 / G 3554 – dunkelgrau, feinkörnig
Laboreingang:	2006
Prüfgrundlagen:	DIN EN 1341

Die zur Prüfung anstehenden Natursteinplatten mit Beschreibung

Oberfläche	geflammt	Farbe	dunkelgrau
Unterseite	gestockt	Maße	siehe Punkt 2
Seitenflächen	geschnitten, scharfer Rand	sonstiges	Gleit- und Rutschwiderstand, Abriebwiderstand wurden auf der geflammten Oberfläche geprüft
Fase	keine		

/100/

Außenmaße der Prüfkörper nach DIN EN 1341 in „mm“

Prüfkörper Nr.		1	2	3	4	5	6	7	8	Kenn- zeichnung
Länge	mm	20,0	20,1	20,0	20,0	20,1	20,1	20,0	20,0	P2
Breite	mm	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	P2
Dicke	mm	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	T2
Diagonale	mm	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	25,0	25,0	24,9	D2

/101/

Die Rohdichte nach DIN EN 1936 in „g/cm³“

Prüfkörper Nr.		1	2	3	4	5	6			Mittelwert
Roh- dichte	g/cm ³	2,790	2,787	2,787	2,788	2,783	2,795			2,788

/102/

Gemessene Wasseraufnahme nach DIN EN 13755 in „%“

Prüfkörper Nr.		1	2	3	4	5	6			Mittelwert
A_B	%	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1			0,1

/103/

Festgestellte Druckfestigkeiten nach Frost-Tau-Wechsel nach DIN EN 1926 in „MPa“

Prüfkörper Nr.		1	2	3	4	5				Mittelwert
R	MPa	229,5	235,1	230,3	230,5	224,0				230

/104/

Gemessener Rutschwiderstand nach DIN EN 1341

Prüfkörper Nr.		1	2	3	4	5				Mittelwert
C-Skala	Einheiten	69,6	72,6	71,0	72,6	71,8				72

/105/

Festgestellter Abriebwiderstand nach DIN EN 1341 als Schleifspurlänge in „mm“

Prüfkörper Nr.		1	2	3	4	5	6			Mittelwert
Schleif-Spurlänge	mm	17,5	16,0	15,0	15,0	15,0	15,0			15,5

/106/

Gemessene Biegefestigkeit nach DIN EN 12372 unter Mittellinienlast

Prüfkörper Nr.		1	2	3	4	5	6	7		Mittelwert
F	N	8900	7300	7600	6900	6800	7000	6800		
R_{tf}	MPa	22,3	18,3	19,0	17,2	17,0	17,5	17,0		18,3
Biegefestigkeit unter Mittellinienlast nach 48 Frost-Tauwechseln (EN 1341 bzw. DIN EN 12372)										
F	KN	7400	6500	8400	6000	6900	7000	7100		
R_{tf} (48 FTW)	MPa	16,8	14,7	19,0	13,6	15,6	15,9	16,1		16,0
					Änderung der Biegefestigkeit [%]					-12,6
					Klasse					F1

/107/

Festgestellte Widerstandsfähigkeit nach DIN EN 12371 gegen Frost-Tau-Wechsel

Prüfkörper Nr.		1	2	3	4	5	6	7		Mittelwert
Massen-änderung	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2		0,2
Augenscheinliche Veränderungen der Probekörper		Nach dem Frost-Tau-Wechsel-Versuch wurden augenscheinlich keine Veränderungen, wie z.B. Absplitterungen, Risse etc. festgestellt.								

/108/

„10. Petrographische Beschreibung DIN EN 12407

Herkunft des Gesteins G 654

Natursteine aus der V. R. China sind gewöhnlich vom dortigen Außenhandelsministerium mit einem Buchstaben (G für granite = Granit oder ähnliches Gestein, **M für marble** = Marmor und polierfähiger Kalkstein sowie **S für slate** = Dachschiefer) und mit einer Zifferfolge gekennzeichnet, die Auskunft über die Herkunft gibt. Es ist zu beachten, dass diese Nummern neuerdings vierstellig sind; aus **G 654** wurde **G 3554**. Das zu untersuchende Gestein stammt aus der südöstlichen Provinz Fujian und wird bei Tao Cun gewonnen. Es wird unter den Namen **Changle Pingnan Seashore Black, Changle; Beala Grigio, D Grey, Dark Berry Grey, Neu Impala, Snow Flake Grey, Sesam Black** oder als **Padang Dark, Padang Dunkel** vermarktet und ist eine der erfolgreichsten chinesischen Naturwerksteine überhaupt.

Makroskopische Beschreibung

DIN EN 12407: Die mit Hilfe einer Handlinse an der Plattenoberfläche durchgeführte visuelle Prüfung zeigt, dass das **mittelgraue bis blaugraue, leicht schwarz gesprenkelte Gestein** hauptsächlich aus feinkristallinen, **dunkelgrauen, hellgrauen und schwarz-glänzenden Mineralien** aufgebaut ist. Die Gesamtfarbe des trockenen Gesteins kann mit Hilfe der Rock Color Chart der Geological Society of America als **Medium Gray (N5)** angegeben werden, welches in kleinen Bereichen auch ein **Medium light gray (N6)** oder ein **Medium dark gray (N4)** sein kann. Das Gestein ist relativ hart, vollkommen dicht (nicht porös) und weist keinen Karbonatanteil und keine Risse auf. Die **Struktur** ist als **holokristallin-xenomorph-regelmäßig** zu bezeichnen und die **Textur** als **dicht-richtungslos (isotrop)**. **Anzeichen von Verwitterung und Umwandlungen** sind nicht erkennbar.

DIN 4022-1: Das **Felsgestein** ist **vollkörnig**, dicht und weist eine **sehr gute Kornbindung bzw. Festigkeit** auf. Es ist **unverwittert, dunkelgrau** gefärbt, **aus mehreren Bestandteilen** zusammengesetzt und **nicht veränderlich in Wasser**. Seine **Mineralkornhärte** liegt bei **6 bis 6,5**, so dass der **Umrechnungsfaktor auf Quarz** nach der ROSSIVAL-Skala **0,55 bis 1,0** beträgt. Eine **Reaktion mit Salzsäure** erfolgt nicht.

Klassifizierung: Es ist ein **Magmatit (MA)**, genauer ein **intermediärer bis basischer Plutonit (Tiefengestein)**, der in die **Familie der Diorite/Gabbros** einzuordnen ist. Eine genaue Bestimmung wäre nur mit Hilfe einer mikroskopischen Untersuchung möglich. Es soll sich um einen **Quarz-Monzodiorit** bzw. **Quarz Monzogabbro** handeln (siehe STEINER & MAUER 2005:5)

Diorit (nach griechisch dihorizo = abgrenzen, unterscheiden) ist ein je nach Entstehung fein- bis grobkristallines, grauweiß gesprenkeltes Gestein aus **Plagioklas** und einem oder mehreren der mafischen Minerale **Klino- und Orthopyroxen (Augit), Hornblende** und **Biotit**. Etwas **Quarz, Alkalifeldspat (Orthoklas)** und **Olivin** können zugegeben sein. Diorit ist das plutonische Äquivalentgestein zu Andesit. Liegt

der Quarz-Gehalt, gemessen an der Summe der felsischen (hellen) Minerale, deutlich über 5 %, so spricht man von einem **Quarz-Diorit** (siehe MACKENZIE et al. 1989:103), und liegen außerdem erhöhte Alkalifeldspat-Gehalte vor so ist es ein **Quarz-Monzodiorit**.

Beim Diorit herrschen die **helleren Plagioklase (Oligoklas und Andesin)** vor. Der Anorthit-Gehalt liegt unter 50 %. Beim ähnlichen Gabbro treten die **dunkleren Plagioklase (Labradorit und Bytownit)** in den Vordergrund; der Anorthit –Gehalt liegt dem zufolge über 50 %; aber trotzdem lassen sich die Gesteine makroskopisch schlecht unterscheiden. Foidführende (Quarz-freie) Diorite sind selten. Das Gefüge ist fein- bis mittelkristallin, gelegentlich auch grobkristallin-porphyrisch. Die Farbe ist gewöhnlich hell- bis dunkelgrau. Übergangstypen zu den Gabbros sind häufig schwarzgrau (siehe SCHUMANN 1994:220f).“³¹

5.1.2.3 Piazza black “G 684/ G 3584”

Der Prüfbericht für die Gesteinsart Piazza black (G 684) enthält u. a. ausführliche Beschreibungen und Vorgehensweisen der einzeln angewendeten Untersuchungen. Der Bericht ermöglicht eine gute Einsichtnahme in die Umsetzung europäischer Normierungsvorgaben.

Ergebnisse der Untersuchung

Petrographische Typisierung

Handelsbezeichnung: Piazza black

Art des Gesteines: Basalt

Munsell Color Chart: 5GY 5/1

Herkunftsland: China

Region: Fujian

„2.2 Wasseraufnahme nach DIN EN 13 755

Die Wasseraufnahmen wurde gemäß DIN EN 13 755 nach vorheriger Ofentrocknung bei 70 ° C mittels Wasserlagerung unter atmosphärischem Druck bestimmt. Alle Prüfkörper waren nach jeweils 48 h bis zur Massenkonstanz getrocknet (Trocknung vom 07.09.03 - 09.09.03). bzw. wassergesättigt (Wasserlagerung vom 09.09.03 - 11.09.03). Folgende Wasseraufnahme wurde festgestellt:“³²

Ergebnisse der Wasseraufnahmeuntersuchungen (Basalt, Piazza black), aus der Region Fujian.

	Datum der Ablesung	Piazza black, Basalt (Fujian)	
Trockenmasse [g]	08.09.2003	342,1	344,2
	09.09.2003	342,2	344,1
Feuchtmasse [g]	10.09.2003	343,0	344,9
	11.09.2003	343,0	344,9
Wasseraufnahme [M.-%]		0,2	0,2

/109/

„Nach DIN EN 1342:2002-04 muss der Hersteller, falls es erforderlich ist, die Wasseraufnahme (in Masse- %) als Höchstwert deklarieren, der bei einer Prüfung von Einzelkörpern nach DIN EN 13 755 zu erwarten ist, da in der Norm keine Mindestwerte festgelegt sind.

Beurteilt nach der national gültigen TL Min-StB 2000 ist eine ausreichende Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tau-Wechsel gegeben, wenn der Wasseraufnahmegrad unter Atmosphärendruck bei allen Probeteilen nicht größer als 0,5 M.-% ist.

Gemäß der europäischen Norm DIN EN 1342:2002-04 ist diese Regelung jedoch nicht anwendbar, da hier ein direkter laborativer Nachweis der Frostbeständigkeit gefordert ist.“³³

„2.3 Frost-Tausalz-Versuch nach DIN V 52 104, Teil 3

Der Frost-Tausalz-Versuch wurde in Anlehnung an DIN V 52 104, Teil 3, an 4 Probewürfeln mit einer 2 %-igen Natriumchlorid-Lösung durchgeführt. An den Probekörpern waren nach 10 Frost-Tau-Wechseln augenscheinlich keine Veränderungen festzustellen.“³⁴ (s. Abb /110/)

Ergebnisse Absplitterungsuntersuchungen infolge Frost-Tausalzwechsel

Proben-Nr.	Absplitterungen (M.-%)
5	0,0
6	0,0
7	0,0
8	0,0
Mittelwert	0,0

Aus der Tabelle ergibt sich eine Absplitterung von 0,0 M.-%

„Gemäß der europäischen Norm DIN EN 1342: 2002-04 ist die Widerstandsfähigkeit gegen Frost-Tausalz-Wechsel entsprechend den vorgegebenen Klassen zu kennzeichnen. Ein Gestein kann dann als Widerstandsfähig (Klasse F1) bezeichnet werden, wenn die nach dem Frost-Tau-Wechsel geprüfte Druckfestigkeit nicht mehr als 20 % von den Werten der vor dem Frost-Tau-Wechsel durchgeführten Prüfung abweicht.“³⁵

„2.4 Druckfestigkeit nach DIN EN 1342 vor und nach dem Frost-Tausalz-Wechsel

Die Druckfestigkeit wurde aufgrund des beschränkten Probenumfangs an 4 Prüfkörpern mit einer Kantenlänge von ca. 50 x 50 x 50 mm ermittelt. Die Prüfung erfolgte nach entsprechender Vorbehandlung, d.h. nach Trocknung zur Massekonstanz und Abkühlung auf Raumtemperatur

An den Probekörpern waren keine Lineationen oder andere Schwachstellen erkennbar. Es wurden folgende Druckfestigkeiten ermittelt.“³⁶

Gemessene Druckfestigkeiten vor dem Frost-Tau-Wechsel

Proben-Nr.	Höhe (mm)	Länge (mm)	Breite (mm)	Bruchlast (KN)	Druckfestigkeit (MPa)
1	50,2	50,0	49,9	732	293,4
2	50,0	50,0	49,8	698	280,3
3	50,0	50,1	50,0	824	328,9
4	50,0	50,2	50,1	852	338,8
Mittelwert (MPa)					310

Festgestellte Druckfestigkeiten nach dem Frost-Tau-Wechsel

Proben-Nr.	Höhe (mm)	Länge (mm)	Breite (mm)	Bruchlast (KN)	Druckfestigkeit (MPa)
5	50,4	50,3	50,5	566	221,8
6	50,3	50,0	50,0	840	336,0
7	50,3	49,9	50,0	910	364,7

8	50,0	50,0	50,0	7774	309,6
Mittelwert (MPa)					308
Abweichung (%)					0,6

/112/

„Nach DIN EN 1342: 2002-04 muss der Hersteller die Druckfestigkeit (in MPa) als mindestwert deklarieren, der bei einer Prüfung von Einzelkörpern nach EN 1926 zu erwarten ist, da in der Norm keine Mindestwerte festgelegt sind.

Beurteilt nach der national gültigen TL Min-StB 2000 ist eine ausreichende Druckfestigkeit gegeben, wenn der gemessene Wert bei allen Probesteilen nicht kleiner als 250 MPa ist.

Gemäß des Nationalen Anhangs NA der DIN EN 1342: 2002-04 sollte für einen Einsatz nach Bauklasse 3 der RStO 2001 eine Mindestdruckfestigkeit von 100 MPa vorliegen.

Anhand der Mittelwerte der vor und nach dem Frost-Tausalz-Wechsel geprüften Druckfestigkeiten, die mit 0,5 % eine Differenz von weniger als 20 % aufweisen, ist der geprüfte Granit mit dem Handelsnamen „Piazza black“ als widerstandsfähig gegen Frost-Tausalz-Wechsel zu bezeichnen und der Klasse F1 zuzuordnen.“³⁷

„2.5 Biegezugfestigkeit nach DIN EN 12 372

Die Biegezugfestigkeit wurde an 5 Prüfkörpern ermittelt. Die Rechtwinkligkeit der Prüfkörper war gegeben. Die Prüfung erfolgte entsprechender Vorbehandlung der Körper, d.h. nach Trocknung zur Massekonstanz und Abkühlung auf Raumtemperatur. Folgende Biegezugfestigkeiten wurden festgestellt.“³⁸ (s. Tab. /113/)

Biegezugfestigkeiten - Piazza black, Basalt (Fujian)

Proben-Nr.	Prüfgeschwindigkeit (N/s)	Auflagenweite (mm)	Breite (mm)	Höhe (mm)	Zugfestigkeit (KN)	Biegezugfestigkeit (MPa)
1	205	250	50,4	51,5	13,67	38,35
2	205	250	50,8	51,0	12,35	35,05
3	205	250	51,0	51,5	13,71	39,22
4	205	250	51,0	50,7	13,09	36,29
5	205	250	51,0	50,7	13,74	39,30
Mittelwert (MPa)						37,6

„Die ermittelten Biegezugfestigkeiten variieren zwischen 35,05 und 39,30 MPa. Der Mittelwert beträgt 37,6 MPa. Biegezugfestigkeiten von Natursteinen liegen im Allgemeinen zwischen 13 MPa und 25 MPa. Das untersuchte Material weist höhere Werte auf.“³⁹

„2.6 Gleit- und Rutschwiderstand nach DIN EN 1342

Nach DIN EN 1342: 2002-04 muss der Hersteller den Mindestwert für den an unpolierten Pflastersteinen gemessenen Wert für den Gleit- und Rutschwiderstand (USRV) angeben, der für einzelne Probekörper von fein bearbeiteten Pflastersteinen zu erwarten ist.

Der Gleit- und Rutschwiderstand wurde an 3 gesägten Probekörpern mit dem Pendelgerät (TRL-Pendelgerät) nach Anhang C.6 gem. DIN EN 1342 durchgeführt.“⁴⁰

Untersuchungsergebnisse aus dem Gleit- und Rutschwiderstand

Proben-Nr.	Meßwerte	Mittelwert	SRT-Werte (Mittelwert x 1,2)*
1	48,4	49,5	59,4
2	50,8		
3	49,4		

/114/ *)Der Mittelwert ist mit dem Faktor 1,2 zu multiplizieren, da für die Prüfung der schmale Gummi verwendet wurde.

„Gemäß DIN EN 1342 hat die Erfahrung gezeigt, dass Messungen mit dem TRL-Pendelgerät größer 35 als hinsichtlich des Gleit- und Rutschwiderstandes als sicher angenommen werden können.“⁴¹

„10 Petrographische Beschreibung DIN EN 12407

Herkunft des Gesteins G 684

Natursteine aus der V. R. China sind gewöhnlich vom dortigen Außenhandelsministerium mit einem Buchstaben (**G für granite** = Granit oder ähnliches Gestein, **M für marble** = Marmor und polierfähiger Kalkstein sowie **S für slate** = Dachschiefer) und mit einer Zifferfolge gekennzeichnet, die Auskunft über die Herkunft gibt. Es ist zu beachten, dass diese Nummern neuerdings vierstellig sind; aus **G 684** wurde **G 3584**. Das zu untersuchende Gestein stammt aus der südöstlichen Provinz Fujian und wird bei Fuding gewonnen. Es wird unter den Namen **Black Pearl, Black Rain,**

China Black, Impala China oder als **Padang** vermarktet und ist eine der erfolgreichsten chinesischen Naturwerksteine überhaupt.

Makroskopische Beschreibung

DIN EN 12407: Die mit Hilfe einer Handlinse an der Plattenoberfläche durchgeführte visuelle Prüfung zeigt, dass das **dunkelgraue bis grauschwarze, leicht hellgrau gesprenkelte Gestein** hauptsächlich aus feinkristallinen, **dunkelgrauen, hellgrauen, grau-transparenten und schwarz-glänzenden Mineralien** aufgebaut ist. Die Gesamtfarbe des trockenen Gesteins kann mit Hilfe der Rock Color Chart der Geological Society of America als **Dark gray (N3)** angegeben werden, welches stellenweise in ein **Medium gray (N5) to Medium dark gray (N4)** oder ein **Grayisch Black (N2)** übergeht. Das Gestein ist relativ hart, vollkommen dicht (nicht porös) und weist keinen Karbonatanteil und keine Risse auf. Die **Struktur** ist als **holokristallin-xenomorph-regel-mäßig** zu bezeichnen und die **Textur** als **dicht-richtungslos (isotrop)**. **Anzeichen von Verwitterung und Umwandlungen** sind nicht erkennbar.

DIN 4022-1: Das **Felsgestein** ist **vollkörnig, dicht** und weist eine **sehr gute Kornbindung bzw. Festigkeit** auf. Es ist **unverwittert, dunkelgrau** gefärbt, **aus mehreren Bestandteilen** zusammengesetzt und **nicht veränderlich in Wasser**. Seine **Mineralkornhärte** liegt bei **6 bis 6,5**, so dass der **Umrechnungsfaktor auf Quarz** nach der ROSSIVAL-Skala **0,55 bis 1,0** beträgt. Eine **Reaktion mit Salzsäure** erfolgt nicht.

Klassifizierung: Es ist ein **Magmatit (MA)**, genauer ein **intermediärer bis basischer Plutonit (Tiefengestein)**, der in die **Familie der Granite** oder in die Familie der Diorite/Gabbros (Basalt) einzuordnen ist. Eine genaue Bestimmung wäre nur mit Hilfe einer mikroskopischen Untersuchung möglich. Es soll sich um ein Gestein aus dem Grenzbereich zwischen **Granodiorit** und **Quarz-Monzodiorit** handeln (siehe STEINER & MAUER 2005:5).

Diorit (nach griechisch dihorizo = abgrenzen, unterscheiden) ist ein je nach Entstehung fein- bis grobkristallines, grauweiß gesprenkeltes Gestein aus **Plagioklas** und einem oder mehreren der mafischen Minerale **Klino- und Orthopyroxen (Augit), Hornblende** und **Biotit**. Etwas **Quarz, Alkalifeldspat (Orthoklas)** und **Olivin** können zugegeben sein. Diorit ist das plutonische Äquivalentgestein zu Andesit. Liegt der Quarz-Gehalt, gemessen an der Summe der felsischen (hellen) Minerale, deutlich über 5 %, so spricht man von einem **Quarz-Diorit** (siehe MACKENZIE et al. 1989:103), und liegen außerdem erhöhte Alkalifeldspat-Gehalte vor so ist es ein **Quarz-Monzodiorit**. Bei einem Quarzgehalt von über 20 % ist es ein Granodiorit (siehe SCHUMANN 1994: 220f).

Beim Diorit herrschen die **helleren Plagioklase (Oligoklas und Andesin)** vor. Der Anorthit-Gehalt liegt unter 50 %. Beim ähnlichen Gabbro treten die **dunkleren Plagioklase (Labradorit und Bytownit)** in den Vordergrund; der Anorthit –Gehalt liegt dem zufolge über 50 %; aber trotzdem lassen sich die Gesteine makroskopisch

schlecht unterscheiden. Foidführende (Quarz-freie) Diorite sind selten. Das Gefüge ist fein- bis mittelkristallin, gelegentlich auch grobkristallin-porphyrisch. Die Farbe ist gewöhnlich hell- bis dunkelgrau. Übergangstypen zu den Gabbros sind häufig schwarzgrau (siehe SCHUMANN 1994:220f).“⁴²

5.1.2.4 Materialspezifische, lichttechnische Oberflächeneigenschaften

Um eine eindeutige Charakterisierung der für die Untersuchungsreihen vorgesehenen Natursteinskulpturen zu gewährleisten, kommt es nicht nur auf die genaue Zusammensetzung des verwendeten Materiales, sondern auch auf die jeweils spezifischen Oberflächeneigenschaften an.

Materialoberflächen werden im Wesentlichen über zwei Eigenschaften definiert. Hierzu zählen die eigentliche Farberscheinung einer Oberfläche und deren Oberflächenstruktur.

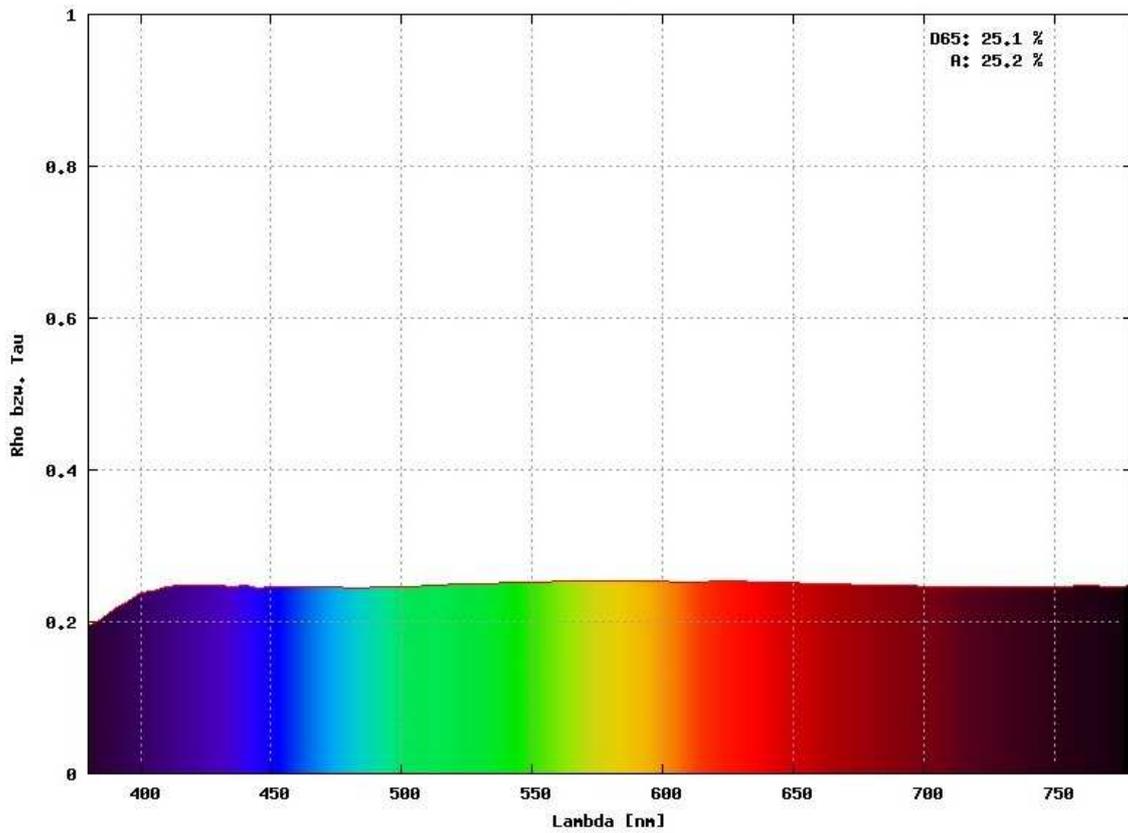
Da über die lichttechnischen Oberflächeneigenschaften der sechs Skulpturen eine eindeutige und unverwechselbare Aussage getroffen werden soll, werden von jeder einzelnen Skulptur der Reflexionsgrad und das genaue Remissionsspektrum bestimmt. Alle hierzu notwendigen Untersuchungen werden im Bartenbach Lichtlabor in Aldrans bei Innsbruck durchgeführt.

Für die Untersuchungen wird ein sogenanntes Tagesnormlicht mit der Bezeichnung D65 mit einem kontinuierlichen Tageslichtspektrum und ein Kunstlicht (Glühlampe) mit der Bezeichnung A eingesetzt. Das zu bestimmende Remissionsspektrum gibt genau Auskunft über die wechselseitige Wirkung von dem eingesetzten Licht und dem eigentlichen Material.

Betrachtet man nun die sich einstellende Farberscheinung des zu untersuchenden Materiales, so stellt diese Farberscheinung das Ergebnis der tatsächlich vorhandenen Remissionseigenschaften des Materials und der spektralen Zusammensetzung der eingesetzten Primärlichtquelle dar.

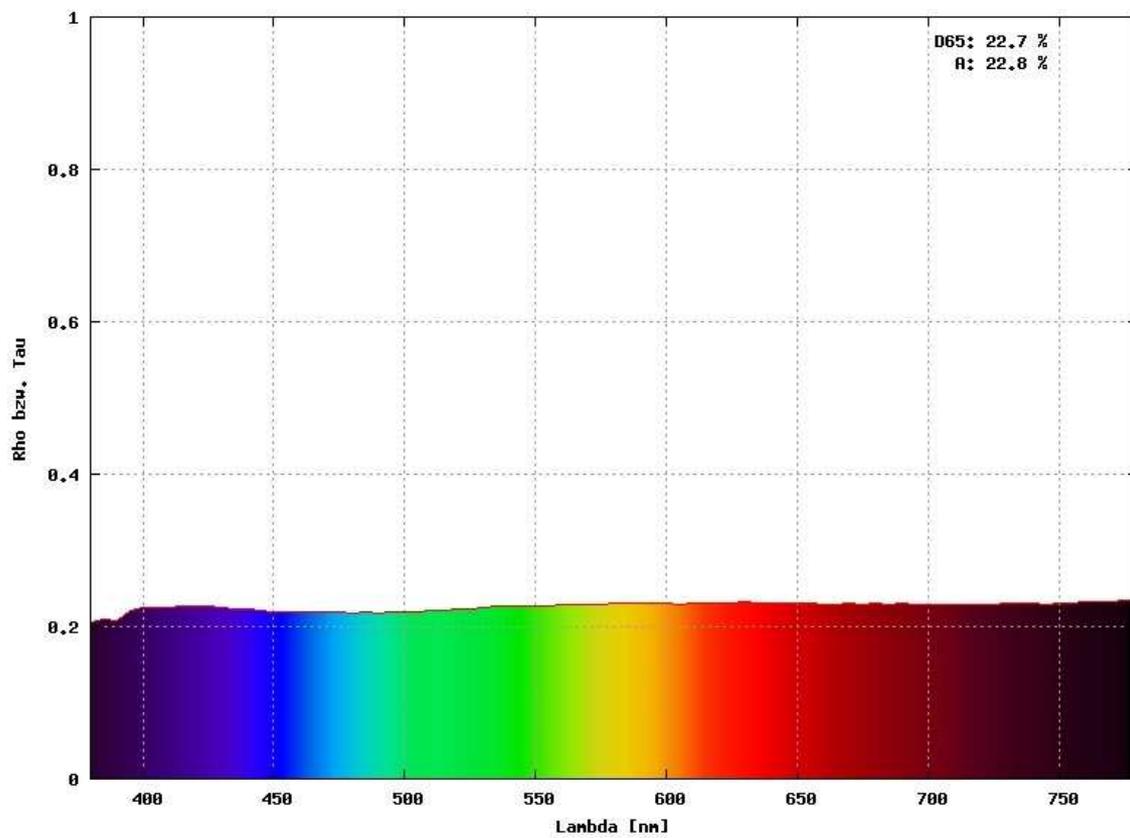
Geht man davon aus, dass die Remissionseigenschaften der zu untersuchenden Skulpturen konstanten Eigenschaften unterliegen, muss eine Veränderung in der sich einstellenden Farberscheinung auf einer anderen spektralen Zusammensetzung der Primärlichtquelle basieren. Das zu bestimmende Remissionsspektrum lässt eine genaue Aussage dahingehend zu, in welchem Umfang welcher Lichtwellenanteil einer primären Lichtquelle absorbiert oder reflektiert wird.

Die nachfolgenden Grafiken beschreiben somit exakt die lichttechnischen Oberflächeneigenschaften jeder einzelnen Skulptur. In der rechten Ecke einer jeden Grafik kann der jeweils dazugehörige Reflexionsgrad abgelesen werden.



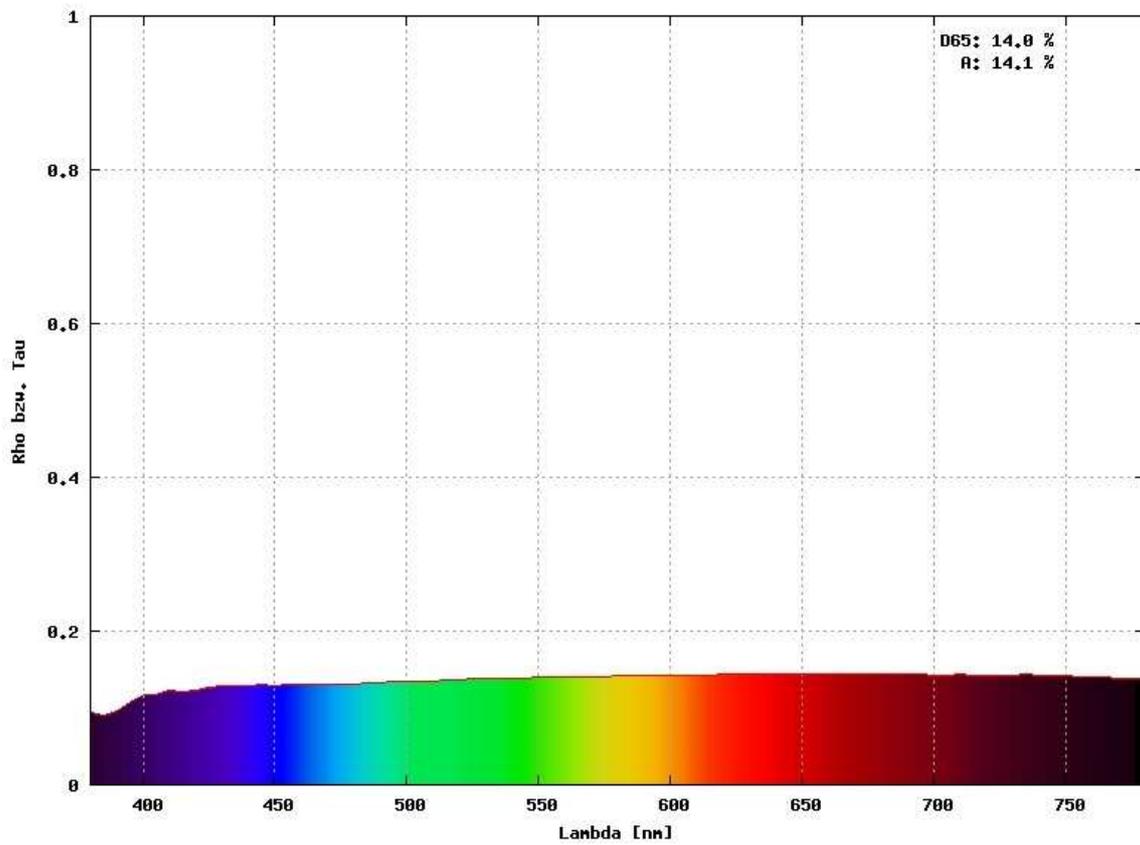
/115/

Granit-Skulptur mit hochglanzpolierter Oberfläche

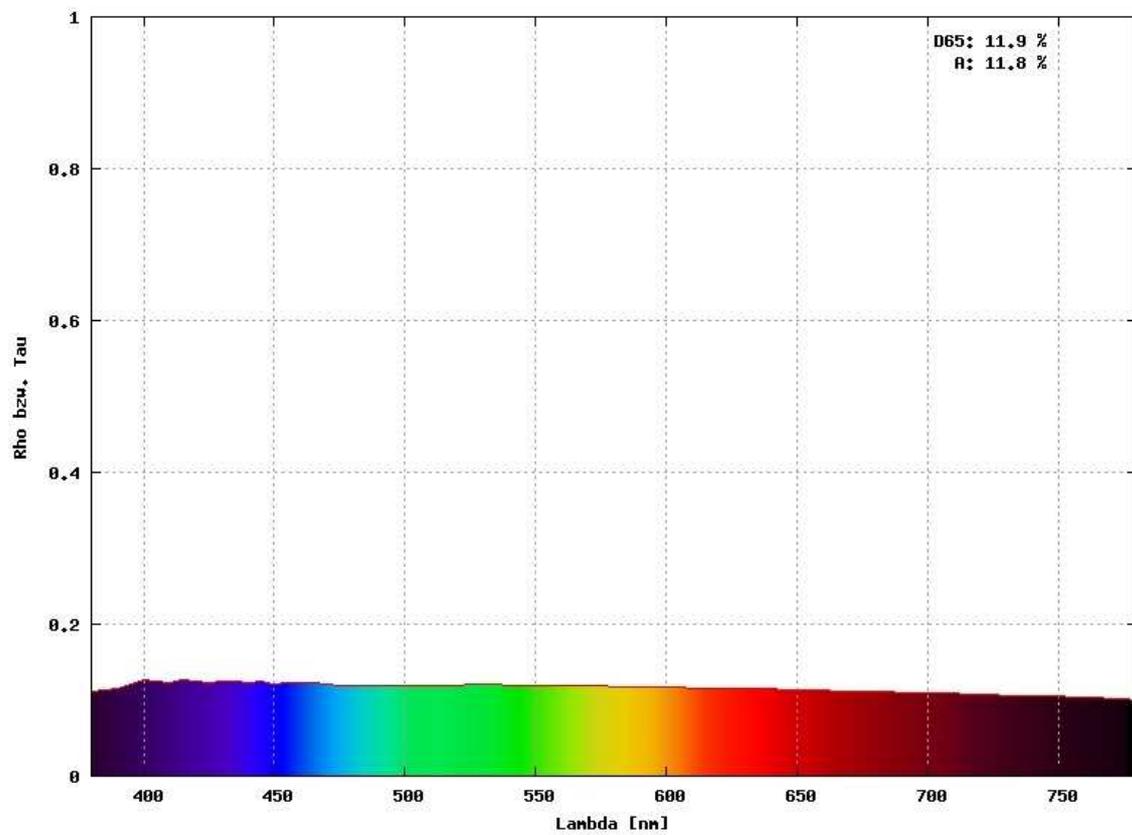


/116/

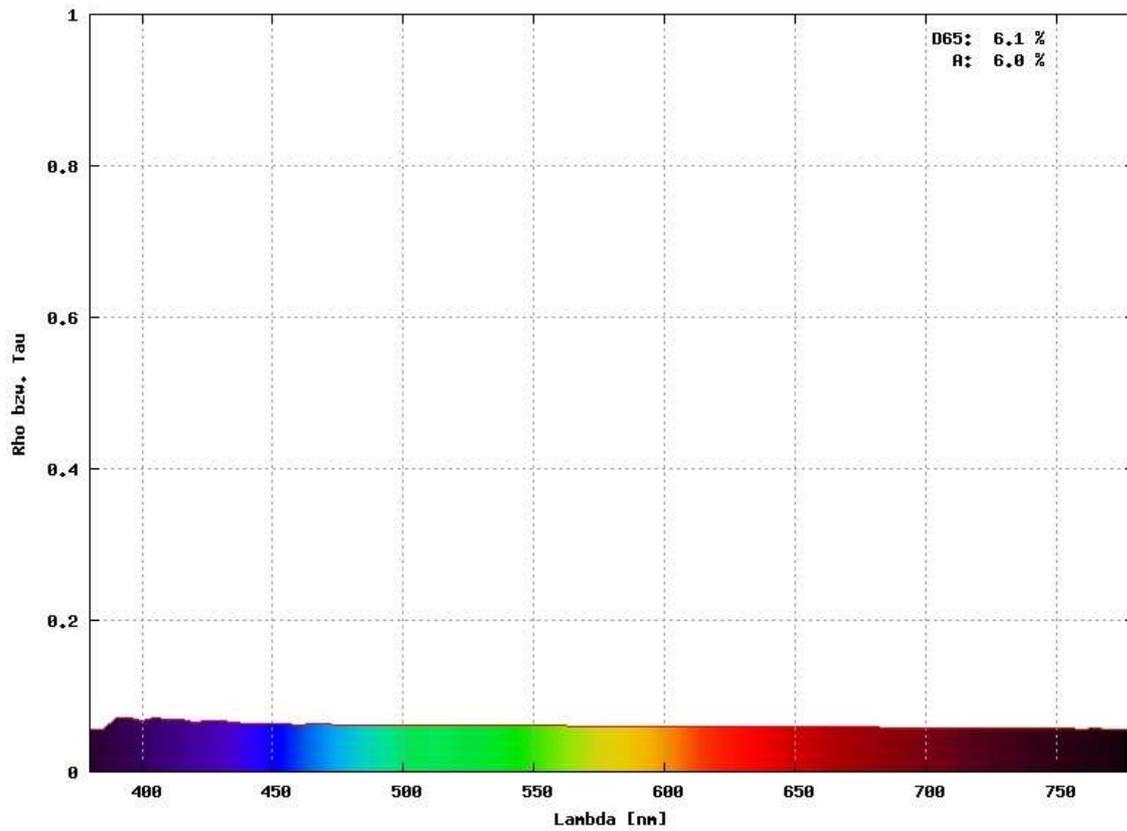
Granit-Skulptur mit geschliffener Oberfläche



/117/
Diorit-Skulptur mit hochglanzpolierter Oberfläche

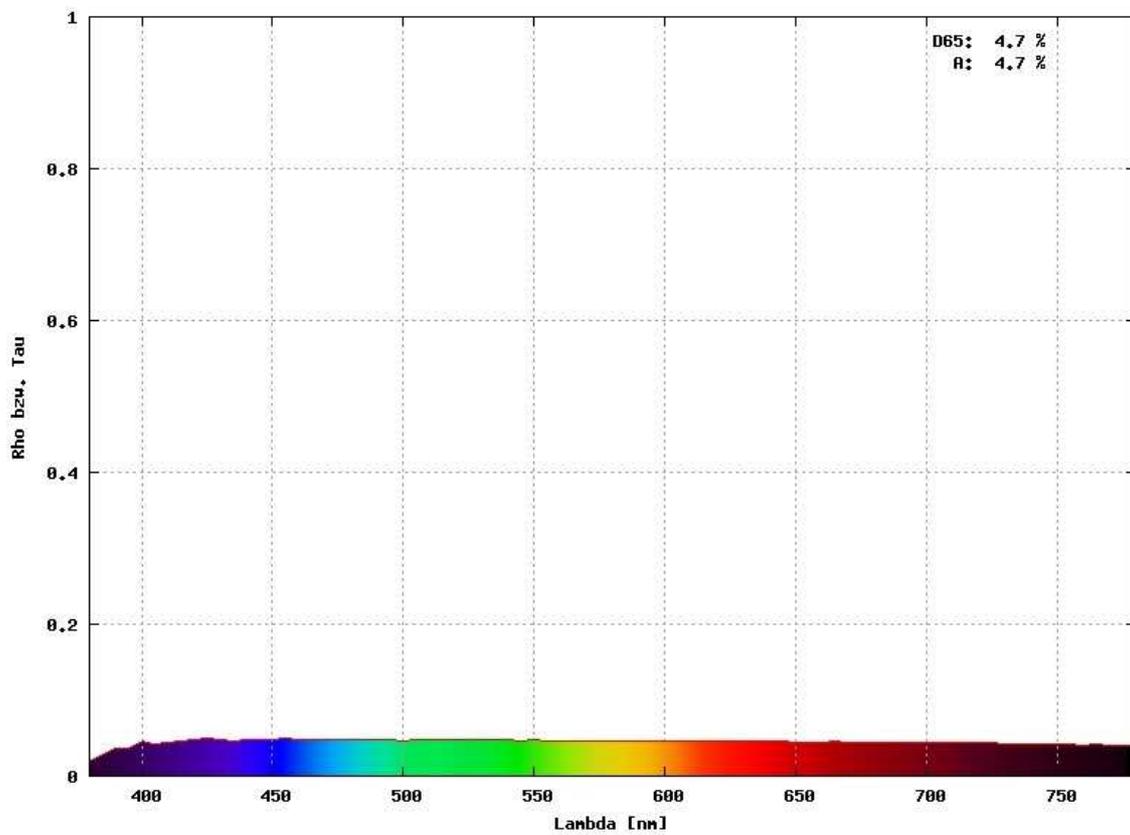


/118/
Diorit-Skulptur mit geschliffener Oberfläche



/119/

Basalt-Skulptur mit hochglanzpolierter Oberfläche



/120/

Basalt-Skulptur mit geschliffener Oberfläche

5.1.3 Ausgewählte Oberflächenbearbeitung

Jede Kunstskulptur aus Naturstein wird in erster Linie über die Art des verwendeten Natursteines charakterisiert. So bestimmt die jeweilige mineralische Zusammensetzung die Gesteinsfarbe und die Oberflächentextur der Skulptur. Eine weitere wichtige Eigenschaft liegt in der eigentlichen räumlichen Formensprache, die dem Naturstein von einem Künstler gegeben wird.

Da sämtliche visuellen Eindrücke durch einen Modulationsprozess von einfallenden Primärlicht über Reflexion in Sekundärlicht entstehen, spielt die eigentliche Oberflächenbeschaffenheit und Oberflächenausführung einer Skulptur eine entscheidende Rolle. Die visuelle Erscheinung von Natursteinen hängt demnach im Wesentlichen von der Art ihrer Oberflächenbearbeitung ab.

Um möglichst realitätsnahe Untersuchungsbedingungen zu erhalten, wurden die Natursteinskulpturen mit matten (C 120) und hochglanzpolierten Oberflächenausführungen angefertigt. Bei einer Gesamtzahl von insgesamt sechs Steinskulpturen verfügen jeweils drei Skulpturen über eine matte oder hochglanzpolierte Oberfläche.

Im Prinzip lassen sich die möglichen Oberflächenbearbeitungen in zwei Hauptkategorien aufteilen. Die eine Kategorie wird von den groben Bearbeitungsmethoden gebildet, während die zweite Gruppe sämtliche Arten der Feinbearbeitungen enthält.

5.1.3.1 Geschliffene Oberflächen

Geschliffene oder polierte Oberflächenbearbeitungen gehören in die Gruppe der Feinbearbeitungen. Trotz der heute existierenden Schleifprozesse mit Hilfe moderner Maschinen und Schleifmittel gibt es keine allgemein gültige Normierung, welche sich mit den verschiedenen Arten der Oberflächenbearbeitung von Natursteinen befasst.

Möchte man sich dennoch einen ausreichenden Überblick über mögliche Oberflächenbearbeitungen im Bereich des Oberflächenschliffes verschaffen, so kann die nachfolgende Tabelle einen Überblick geben. Die Tabelle beinhaltet Oberflächenbearbeitungen von einer Oberflächenrauheit C 30 bis C 800.

In dieser Abkürzenden Schreibweise steht der Buchstabe „C“ für das Wort „Carborundum“. Dies ist der Name der Firma, welche das Schleifmittel oder die Schleifkörper entwickelt hat. Der Markenname „Carborundum“ steht für den synthetischen Hartstoff Siliziumcarbid und setzt sich aus den Worten Carbon für Kohlenstoff und dem Begriff Korund als bekannten Hartstoff aus Aluminiumoxid zusammen. Eine direkte Übersetzung wäre „Korund aus Kohlenstoff“.

Eine erste Zusammenstellung des Schleifmittels erfolgte bereits Mitte des 19. Jahrhunderts. Edward Goodrich Acheson entwickelte als erster 1890 ein industrielles

Herstellungsverfahren in einem elektrischen Widerstandsofen. Acheson war somit als Erfinder für den Namen Carborundum prägend.

Die Ziffer in der Abkürzung „C 120“ steht für die Anzahl der Siebmasche pro Quadrat Zoll. Als Amerikaner hat Acheson die Sieblinie für seine Silikate nicht für ein metrisches System definiert. Damit ist aber eine Sortierung der einzelnen Korngrößen gewährleistet.

Man muss allerdings darauf hinweisen, dass trotz dieser Einteilung der verschiedenen Oberflächenbehandlungen es nicht möglich ist, eine beliebige Anzahl von Reproduktionen zu erstellen. Dies hängt unter anderem davon ab, ob der Schliff z.B. werkseitig oder Vor Ort ausgeführt wurde. Hinzu kommen Veränderungen in der Zusammensetzung der Bindemittel oder der jeweiligen Kornschärfe.

Wird ein Granit einem C 120 Schliff unterzogen, so werden aus mikroskopischen Sichtweisen die Natursteinoberflächen in eine Kraterlandschaft verwandelt. In dem Zusammenwirken aus scharfen Spitzen und den entstandenen Verdrängungsräumen entsteht eine matte Oberflächencharakteristik.

5.1.3.2 Polierte Oberflächen

Wird ein Hartgestein wie Granit mit einer polierten Oberfläche versehen, so sind charakteristische Oberflächenmerkmale wie Texturen und Farberscheinungen klar visuell erkennbar. Unter einer polierten Gesteinsoberfläche wird dann eine vollständig auspolierte Oberfläche verstanden. In diesem Zustand sind auch keinerlei Schleifspuren mehr erkennbar. Dieser Vorgang unterscheidet sich deutlich von der Verwendung von Polituren mit Oxalsäuren die für Natursteine wie Marmor und Kalksteinen eingesetzt werden, mit dem Ziel der Bildung von Calcium-oxalaten.

Bezeichnung	Art der Bearbeitung	Visuelle Oberflächeneigenschaften
C 30	sehr grob	Schleif- und Sägespuren sind deutlich sichtbar. Oberflächentextur und Gesteinsfarbe sind fast nicht wahrnehmbar.
C 60	grob	Vorhandene Schleifspuren sind fühlbar, während die eigentliche Gesteinsfarbe und die Oberflächentextur kaum sichtbar sind.
C 90	mittel	Die Schleifspuren sind in vertikaler Draufsicht erkennbar. Oberflächentexturen sind nur in grober Ausführung zu erkennen. Die Gesteinsfarbe selbst erscheint nur sehr blass
C120	mittel	Die Schleifspuren sind immer noch sichtbar. Die Gesteinsfarbe ist weiterhin blass, wobei die Oberflächentextur erkennbar und unter seitlichem Lichteinfall sogar sichtbar ist.

C 180	fast kein Unterschied zum C 120-Schliff wahrnehmbar	Diese Oberflächenbehandlung fühlt sich nur etwas glatter als der C120 Schliff an.
C 220	feinere Schleifausführung	Die Gesteinsfarben und die Oberflächentexturen sind gut zu erkennen. Die Schleifspuren sind nur noch unter Streiflichteinfall sichtbar.
C 320	seidenmattes Oberflächenbild	Vorhandene Schleifspuren sind unter Streiflichteinfall immer noch sichtbar
C 400	seidenmattes Oberflächenbild	Die eigentliche Gesteinsfarbe ist gut erkennbar. Vorhandene mineralische Mengenanteile an Biotite beginnen zu glänzen, während Schleifspuren weiterhin infolge Streiflicht sichtbar sind.
C 600	fast polierte Oberflächenausführung	Die Gesteinsoberfläche ist in seiner Erscheinung bereits optimiert, wobei die durch das Schleifen verursachten Spuren im Streiflicht immer noch sichtbar sind.
C 800	Materialabhängig	Je nach Gesteinsart kann bereits von einer polierten Oberfläche gesprochen werden. Streiflicht lässt allerdings immer noch Schleifspuren sichtbar werden.

/121/

5.1.4 Photographische Dokumentation

Die nachfolgende Fotodokumentation zeigt alle Skulpturenteile (Abb. 1 - Abb. 18) vor der Montage. Je Seite werden drei Skulpturenteile dargestellt, die in der Reihenfolge von oben nach unten angeordnet sind. Eine übergeordnete Strukturierung der Skulpturen 1-6 beginnt mit dem hellen Granit G 603 und endet mit dem schwarzen Basalt G 684.

Die Aufnahmen der jeweiligen Skulpturenpaare gleichen Gesteins zeigen zuerst die matte Oberflächengestaltung in Form eines C 120 Schliffes und anschließend das Gestein mit einer hochglanzpolierten Oberflächenausführung.

Die Abbildungen 19 und 20 zeigen zwei Skulpturteile aus dem Material G 603, mit bereits einzementierten Gewindestählen. Der Granit G 603 in der Aufnahme mit der Nummer 19 bildet einen Oberflächengeschliffenen Granit ab, während in Aufnahme 20 ein hochglanzpolierter Granit abgebildet wird.

Alle Aufnahmen wurden mit einer Nikon E 4300 Digitalkamera mit Hilfe eines Velbon VS-3 Stativ aufgenommen. Datum der einzelnen Aufnahmen war der 06.12.07 um 14.30 Uhr. Als Hintergrund wurde ein Fotokarton in der Farbe Altgrau ausgewählt.

Die Fotoaufnahmen wurden unter natürlichen Tageslichtverhältnissen aufgenommen. Die Lichtausbreitung kann aufgrund der geschlossenen Wolkendecke als diffus angenommen werden.

Skulptur 1

Kopfbereich

- Material:
Granit
 - Oberflächenausführung
Schliff C 120
 - Form:
Kugel, Ø 120 mm
 - Bohrdurchmesser:
Ø 8 mm
 - Bohrlochtiefe:
50 mm
 - Lage der Bohrung:
zentral, mittig
- /122/



Mittelteil

- Material:
Granit
 - Oberflächenausführung:
Schliff C 120
 - Form:
Würfel, 90x90x90 mm
 - Bohrlochdurchmesser:
Ø 8 mm,
 - Bohrlochtiefe:
2x25 mm
 - Lage der Bohrung:
in je zwei gegenüber-
liegenden Ecken
- /123/



Sockelbereich

- Material:
Granit
 - Oberflächenausführung
Schliff C 120
 - Form:
Würfel
100x100x100 mm
 - Bohrdurchmesser:
Ø 8 mm
 - Bohrlochtiefe:
50 mm
 - Lage der Bohrung:
zentral, mittig
- /124/



Skulptur 2

Kopfbereich

- Material:
Granit
- Oberflächenausführung
Hochglanz poliert
- Form:
Kugel, Ø 120 mm
- Bohrdurchmesser:
Ø 8 mm
- Bohrlochtiefe:
50 mm
- Lage der Bohrung:
zentral, mittig
/125/



Mittelteil

- Material:
Granit
- Oberflächenausführung:
Hochglanz poliert
- Form:
Würfel, 90x90x90 mm
- Bohrlochdurchmesser:
Ø 8 mm,
- Bohrlochtiefe:
2x25 mm
- Lage der Bohrung:
in je zwei gegenüber-
liegenden Ecken
/126/



Sockelbereich

- Material:
Granit
- Oberflächenausführung
Hochglanz poliert
- Form:
Würfel
100x100x100 mm
- Bohrdurchmesser:
Ø 8 mm
- Bohrlochtiefe:
50 mm
- Lage der Bohrung:
zentral, mittig
/127/



Skulptur 3

- Kopfbereich
- Material:
Diorit
 - Oberflächenausführung
Schliff C 120
 - Form:
Kugel, Ø 120 mm
 - Bohrdurchmesser:
Ø 8 mm
 - Bohrlochtiefe:
50 mm
 - Lage der Bohrung:
zentral, mittig
/128/



Mittelteil

- Material:
Diorit
- Oberflächenausführung:
Schliff C 120
- Form:
Würfel, 90x90x90 mm
- Bohrlochdurchmesser:
Ø 8 mm,
- Bohrlochtiefe:
2x25 mm
- Lage der Bohrung:
in je zwei gegenüber-
liegenden Ecken
/129/



Sockelbereich

- Material:
Diorit
- Oberflächenausführung
Schliff C 120
- Form:
Würfel
100x100x100 mm
- Bohrdurchmesser:
Ø 8 mm
- Bohrlochtiefe:
50 mm
- Lage der Bohrung:
zentral, mittig
/130/



Skulptur 4

Kopfbereich

- Material:
Diorit
 - Oberflächenausführung
Hochglanz poliert
 - Form:
Kugel, Ø 120 mm
 - Bohrdurchmesser:
Ø 8 mm
 - Bohrlochtiefe:
50 mm
 - Lage der Bohrung:
zentral, mittig
- /131/



Mittelteil

- Material:
Diorit
 - Oberflächenausführung:
Hochglanz poliert
 - Form:
Würfel, 90x90x90 mm
 - Bohrlochdurchmesser:
Ø 8 mm,
 - Bohrlochtiefe:
2x25 mm
 - Lage der Bohrung:
in je zwei gegenüber-
liegenden Ecken
- /132/



Sockelbereich

- Material:
Diorit
 - Oberflächenausführung
Hochglanz poliert
 - Form:
Würfel
100x100x100 mm
 - Bohrdurchmesser:
Ø 8 mm
 - Bohrlochtiefe:
50 mm
 - Lage der Bohrung:
zentral, mittig
- /133/



Skulptur 5

- Kopfbereich
- Material:
Basalt
 - Oberflächenausführung
Schliff C 120
 - Form:
Kugel, Ø 120 mm
 - Bohrdurchmesser:
Ø 8 mm
 - Bohrlochtiefe:
50 mm
 - Lage der Bohrung:
zentral, mittig
- /134/



Mittelteil

- Material:
Basalt
 - Oberflächenausführung:
Schliff C 120
 - Form:
Würfel, 90x90x90 mm
 - Bohrlochdurchmesser:
Ø 8 mm,
 - Bohrlochtiefe:
2x25 mm
 - Lage der Bohrung:
in je zwei gegenüber-
liegenden Ecken
- /135/



Sockelbereich

- Material:
Basalt
 - Oberflächenausführung
Schliff C 120
 - Form:
Würfel
100x100x100 mm
 - Bohrdurchmesser:
Ø 8 mm
 - Bohrlochtiefe:
50 mm
 - Lage der Bohrung:
zentral, mittig
- /136/



Skulptur 6

- Kopfbereich
- Material:
Basalt
- Oberflächenausführung
Hochglanz poliert
- Form:
Kugel, Ø 120 mm
- Bohrdurchmesser:
Ø 8 mm
- Bohrlochtiefe:
50 mm
- Lage der Bohrung:
zentral, mittig
/137/



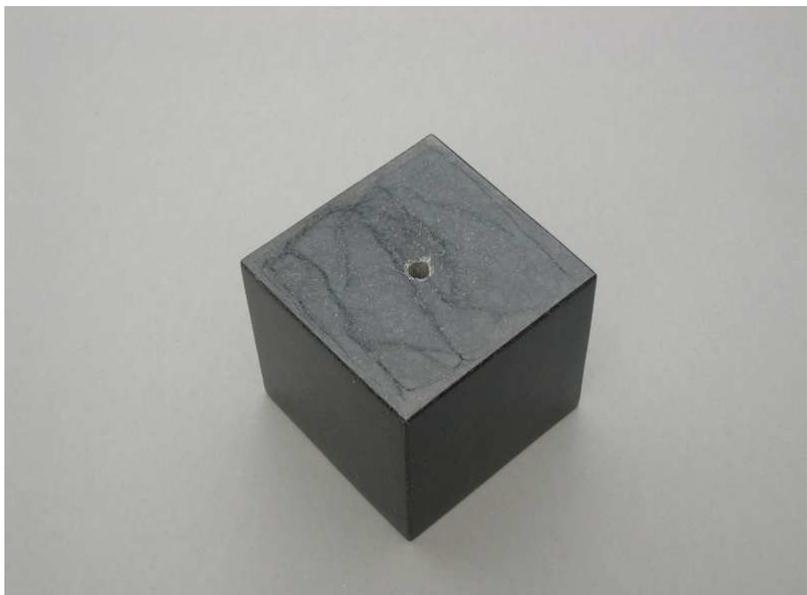
Mittelteil

- Material:
Basalt
- Oberflächenausführung:
Hochglanz poliert
- Form:
Würfel, 90x90x90 mm
- Bohrlochdurchmesser:
Ø 8 mm,
- Bohrlochtiefe:
2x25 mm
- Lage der Bohrung:
in je zwei gegenüber-
liegenden Ecken
/138/



Sockelbereich

- Material:
Basalt
- Oberflächenausführung
Hochglanz poliert
- Form:
Würfel
100x100x100 mm
- Bohrdurchmesser:
Ø 8 mm
- Bohrlochtiefe:
50 mm
- Lage der Bohrung:
zentral, mittig
/139/



Skulptur 1

Kopfbereich

Die Abbildung zeigt den Kugelaufsatz aus dem Granit G 603 mit einzementiertem Gewindestahl.

/140/



Skulptur 2

Mittelteil

Die Abbildung zeigt den Mittelteil aus dem Granit G 603 mit einzementiertem Gewindestahl.

/141/



5.2 Visuelle Raummodelle

5.2.1 Aufbau

Kernbereich der Lichttechnischen Untersuchungsreihen bildet der direkte visuelle Paarvergleich. Das Hauptziel der visuellen Vergleiche basiert demnach auf einer miteinander vergleichbaren lichttechnischen Innenraumsituation. Um diesen Kriterien gerecht zu werden, muss man sich für die Herstellung zwei getrennter Innenraum-Modelle entscheiden.

Somit ist es möglich, zwei vergleichbare Innenraumszenarien zu schaffen, in denen die Position der ausgestellten Skulpturen, die jeweilige Lichtsituation und die Farbgestaltung der Innenräume identisch simulierbar sind.

Um eine hohe materielle und technische Ausführungsqualität der Innenraummodelle zu gewährleisten, werden die beiden Modellräume in der Abteilung für Modellbau und Lichtsimulation in dem Lichtlabor Bartenbach in Aldrans bei Innsbruck angefertigt.

Beide Innenraummodelle sollen über jeweils drei von einander unabhängige Beleuchtungsvarianten verfügen. Als erste Beleuchtungsvariante wird in jedes Innenraummodell eine Spiegelrasterdecke zentral in die Deckeneinheit eingebaut.

Die Spiegelrasterdecke erlaubt die Simulation einer sehr gleichmäßigen Verteilung der zur Verfügung stehenden Lichtmenge. Sie besteht im Wesentlichen aus direkten und diffusen Lichtmengenanteilen.

Eine weitere Beleuchtungsmöglichkeit stellt die lichttechnische Inszenierung mit Hilfe von linearen Wandflutern dar. Sie verlaufen parallel zu den Deckenoberkanten der Innenraummodelle und ermöglichen eine Beleuchtungscharakteristik, die hauptsächlich durch Reflexion des einfallenden primären Lichtanteiles an den Modellinnenwänden besteht.

Gerade im Bereich mehrflächig gekrümmter, räumlicher Modelloberflächen muss eine direkte Beleuchtungsart simuliert werden können. Hierzu werden in beiden Innenraummodellen jeweils drei 50 Watt Halogenspots in den Deckenbereich integriert. Alle drei Strahler bündeln ihren direkten Lichtmengenanteil zentral in dem jeweiligen Innenraummodell im Bereich der ausgestellten Skulptur.

Um eine möglichst hohe Variantenvielfalt zu gewährleisten werden alle Beleuchtungsvarianten über eine zentrale technische Regeleinheit unabhängig voneinander angesteuert.

Somit ist es möglich, die beiden vorgesehenen Beleuchtungssituationen (Spiegelrasterdecke und Strahler in Kombination mit den Wandflutern) zu simulieren. Alle drei Beleuchtungseinheiten sind auch zusätzlich in ihrer Beleuchtungsstärke stufenlos regelbar.

Die Farbtemperaturen der Spiegelrasterdecken und der Wandfluter, jeweils vom Typ FQ 840, besitzen eine Farbtemperatur von jeweils 4000 Kelvin.

Beide Innenraummodelle verfügen zudem über austauschbare Innenwandverkleidungen. So können die Seitenwandverkleidungen, die Rückwand und der Boden durch einen einfachen Schiebemechanismus ausgetauscht werden. Die Deckenverkleidungen der Innenraummodelle werden durch einen magnetischen Haltemechanismus in Ihrer jeweiligen Position gehalten.

Für jedes Innenraummodell existiert dementsprechend ein kompletter Satz an Innenwandverkleidungen in den Farben cremeweiß, platingrau und tiefschwarz.

Im Rahmen der Fototechnischen Dokumentationen können die jeweiligen Innenwandverkleidungen im Hinblick auf einen reibungslosen und zügigen Versuchsablauf zügig ausgetauscht werden.

Die Innenmaße der beiden Innenraummodelle sind genau identisch. Die Raummodelle verfügen über eine Raumtiefe von 100 cm, einer Raumbreite von 80 cm und einer Raumhöhe von ebenfalls 80 cm. Bei der Festlegung der Innenraummaße der Modelle wird auf ein ausgewogenes Größenverhältnis zwischen den Natursteinskulpturen und den Innenraumproportionen gelegt.

Beide Simulationsmodelle werden als reine Holzkonstruktionen konzipiert und gebaut. Alle Innenwandverkleidungen sind in Bezug auf Haltbarkeit und Verschleißfestigkeit aus Kunststoff gefertigt worden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die exakte Positionierung der verschiedenen Beleuchtungssysteme innerhalb der Deckeneinheiten. Die angegebenen Maßeinheiten sind als Zentimetereinheiten zu verstehen.

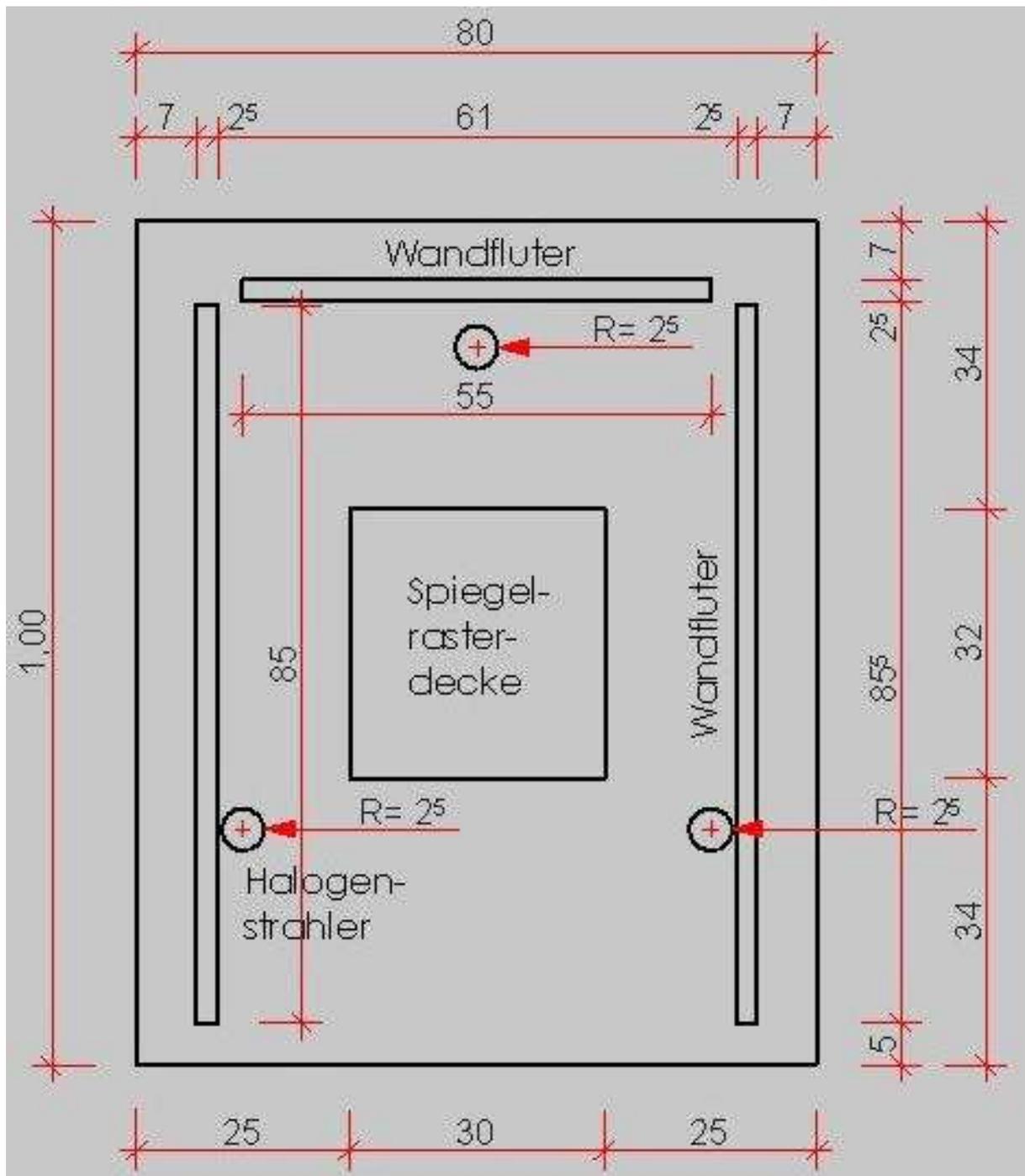


Abb. /142/

5.2.2 Ausgewählte Oberflächen

Für alle lichttechnischen Untersuchungen wurden ausschließlich matte Oberflächenstrukturen der Innenwandoberflächen ausgewählt, um rein diffuse Reflexionseigenschaften zu erzielen.

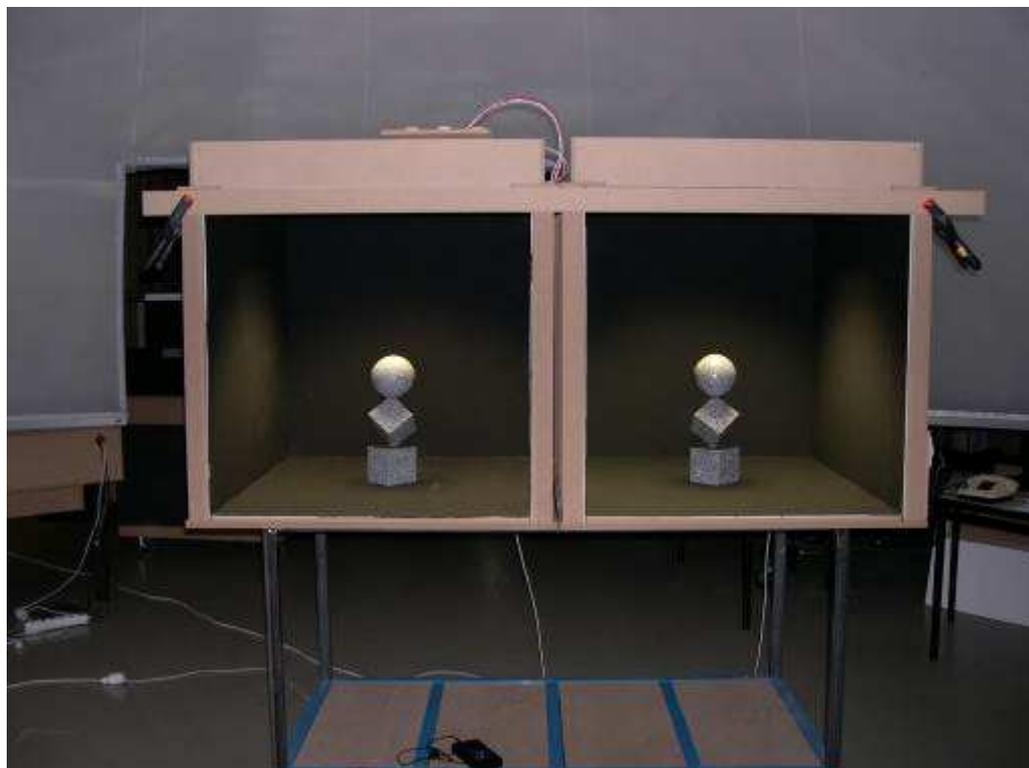
Die Innenraummodelle wurden für alle lichttechnischen Untersuchungen mit RAL-Farben lackiert, deren Reflexionsgrade und Farberscheinungen eindeutig identifizierbar sind. Die Innenwandflächen der Raummodelle werden im Hinblick auf die anstehenden Untersuchungsreihen mit einer ausschließlich monochromen Farbgebung versehen.

Die verwendeten Innenwandfarben weisen eine Farbabstufung von cremeweiß (RAL 9001) über platingrau (RAL 7036) bis hin zu tiefschwarz (RAL 9005) auf.

5.2.3 Fotografische Dokumentation



/143/ Seitenaufnahme der Modellräume mit tiefschwarzer Innenwandverkleidung



/144/ Frontaufnahme der Modellräume mit tiefschwarzer Innenraumverkleidung und hellgrauen Skulpturen



/145/ Rückansicht der Raummodelle



/146/ Übereckansicht der Innenraummodelle



/147/ Deckenansicht eines Innenraummodells mit den drei Beleuchtungseinrichtungen (Spiegelrasterdecke, Wandfluter, Strahler)



/148/ Unabhängig voneinander regelbare Steuereinheit



/149/ Stativ: Manfrotto 055CXP



/150/ Kamera: technoteam LMK mobile advanced (adaptierte Canon EOS 350 D)

6 Lichttechnische Versuchsreihen mit konstanter Beleuchtungsstärke im direkten Paarvergleich

6.1 Ausgewählte lichttechnische Untersuchungskonstellationen und ihre Raumszenarien

Im Rahmen der lichttechnischen Untersuchungsreihen wurde Wert auf eine eindeutige Nachvollziehbarkeit der zum Einsatz kommenden Materialien und Materialcharakteristiken gelegt.

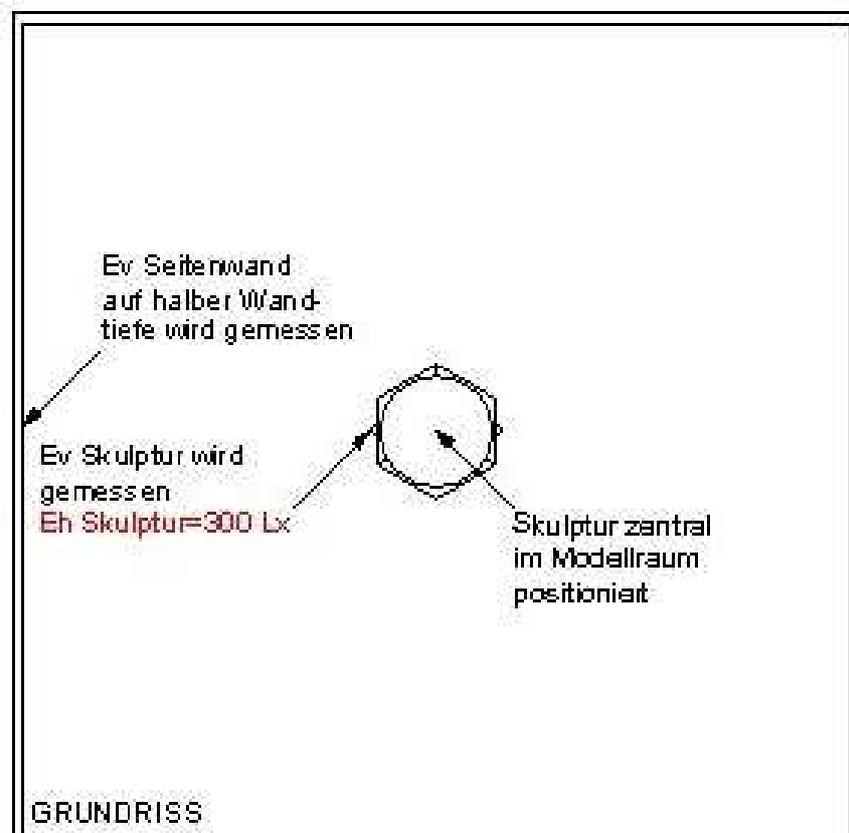
So bestehen die Skulpturen aus den Natursteinen Granit, Diorit/Gabbro und Basalt. Über alle verwendeten Natursteinarten existieren labortechnische Untersuchungsergebnisse. Die einzelnen Skulpturen verfügen jeweils über eine matte und eine hochglanzpolierte Oberflächenausführung. Beide Oberflächenausführungsarten sind in Ihrer Art der Herstellung eindeutig identifizierbar. Für die Untersuchungsreihen stehen insgesamt sechs Skulpturen zur Verfügung. Jeweils zwei Skulpturengruppen zu je drei Skulpturen. Die verwendeten Natursteinarten gewähren eine Grauabstufung von hellgrau (Granit) über dunkelgrau (Diorit/Gabbro) bis hin zu schwarz (Basalt). Die Art der Oberflächengestaltung teilt die sechs Skulpturen in zwei Skulpturgruppen (hochglanzpoliert und matt) auf.

Im Rahmen der Untersuchungen kommt eine rein monochrome Innenraumgestaltung zum Einsatz. Die jeweiligen Oberflächenfarben der Untersuchungsmodellräume sind der Gruppe der RAL-Farben entnommen worden, die in Ihrem Farbton und Reflexionsgrad eindeutig auf Grundlage eines normierten Systems identifizierbar sind. Die farblichen Farbabstufungen liefern die Farbtöne cremeweiß (RAL 9001), platingrau (RAL 7036) und tiefschwarz (RAL 9005).

Um eine klare und übersichtliche Ausführungs- und Ergebnisstruktur zu gewährleisten konzentriert man sich bei den anstehenden Untersuchungsreihen auf eine ausschließlich konstante Beleuchtungsstärke zu jeweils 300 und 1000 Lx. Alle Beleuchtungsstärken werden mit einem Luxmeter des Typs „Opteema Mini-Lux Klasse B lt. DIN 5032“ gemessen. Im Bezug auf die Art und Charakteristik der verwendeten Leuchtenanordnungen beinhalten die lichttechnischen Untersuchungskonstellationen zwei Raumszenarien, welche durch eine reine Spiegelrasteranordnung und einer Kombination aus einer direkten Beleuchtung in Form von Strahlern in Verbindung mit umlaufenden linearen Wandflutern geprägt sind.

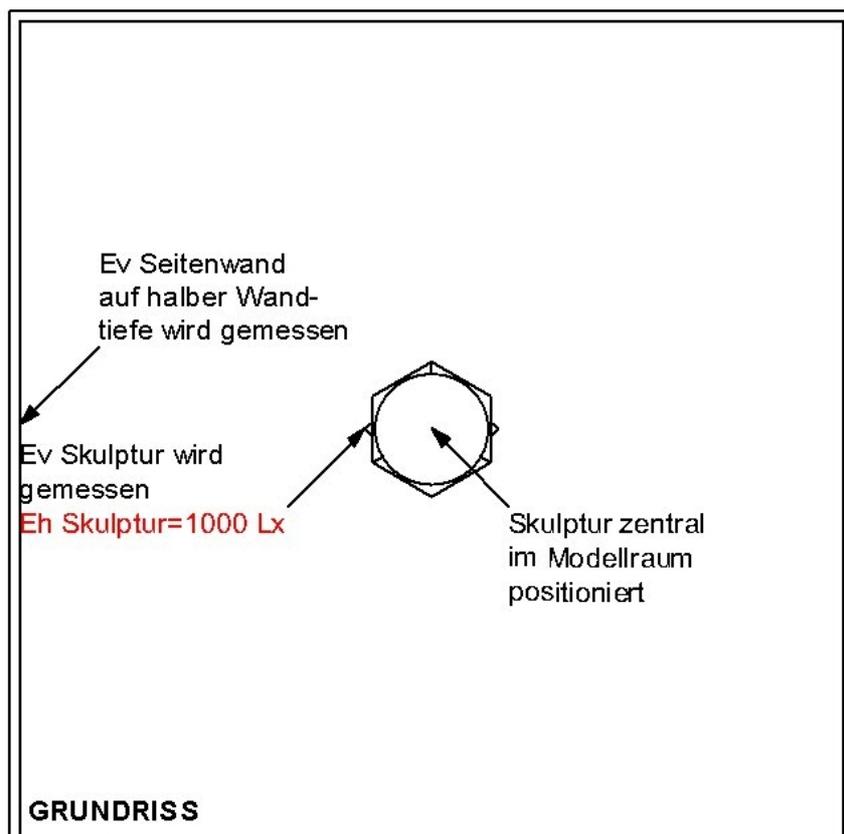
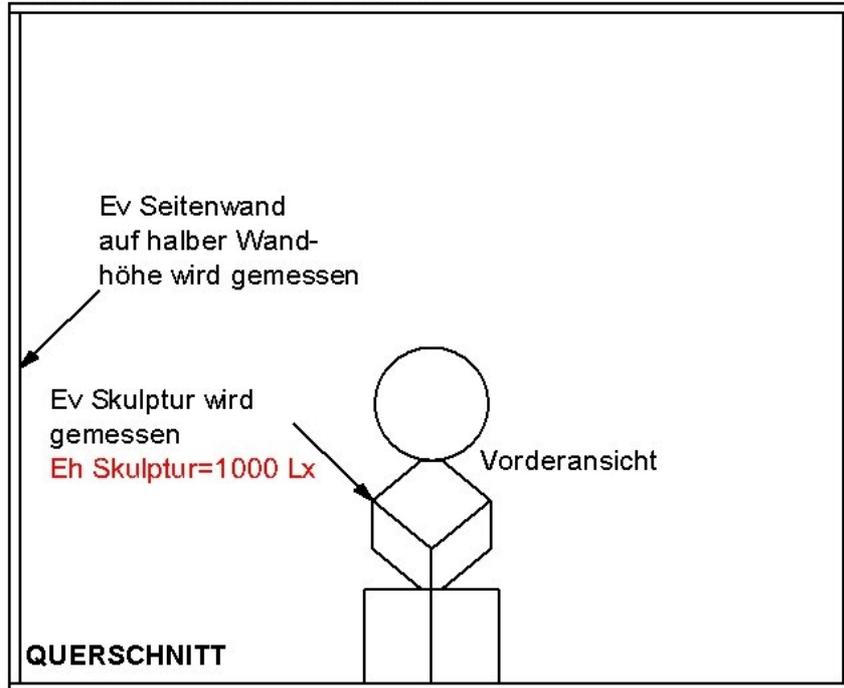
Alle zu bewertenden lichttechnischen Raumszenarien werden mit einer Leuchtdichtekamera vom Typ „technoteam LMK mobile advanced (adaptierte Canon EOS 350 D)“ aufgenommen und dokumentiert. In Verbindung mit der Auswertungssoftware „technoteam LMK 2000“ wird eine eindeutige und lückenlose Darstellung der einzelnen Leuchtdichteverläufe gewährleistet. Auf Basis der gewonnenen objektiven Messdaten in Verbindung mit den Ausgangsgrößen wie Reflexionsgrad, Oberflächencharakteristiken, Beleuchtungsstärken und deren Anordnungen, können die

lichttechnischen visuellen Innenraumkonstellationen einer ersten Bewertung unterzogen werden.



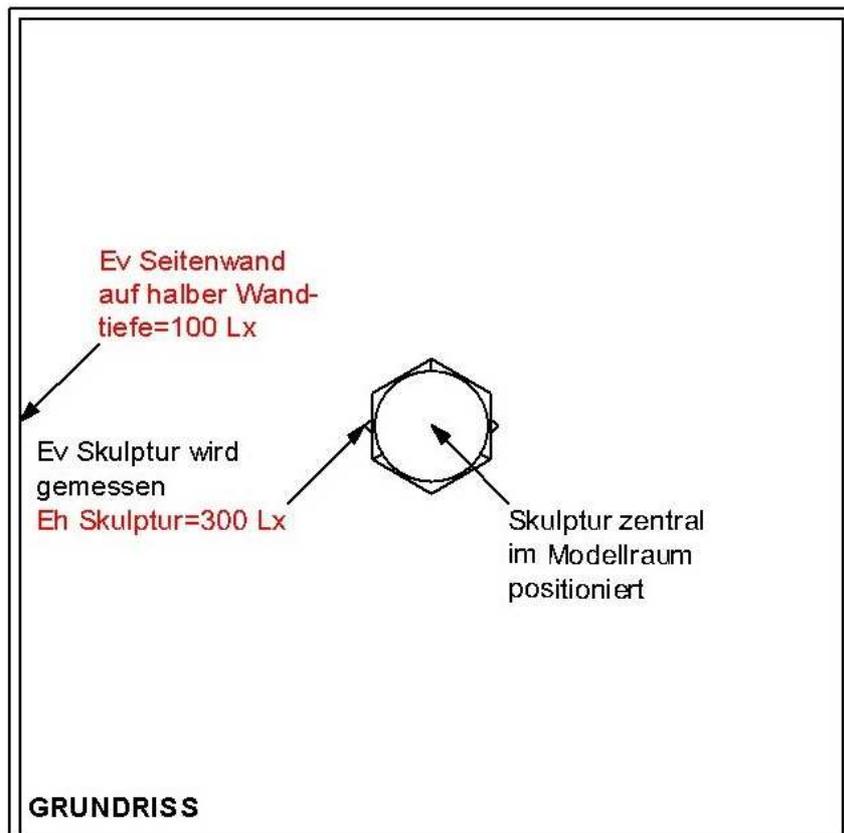
/151/ Messpunkte (Spiegelrasterdecke 300 Lx)

SPIEGELRASTERDECKE 1000 Lx



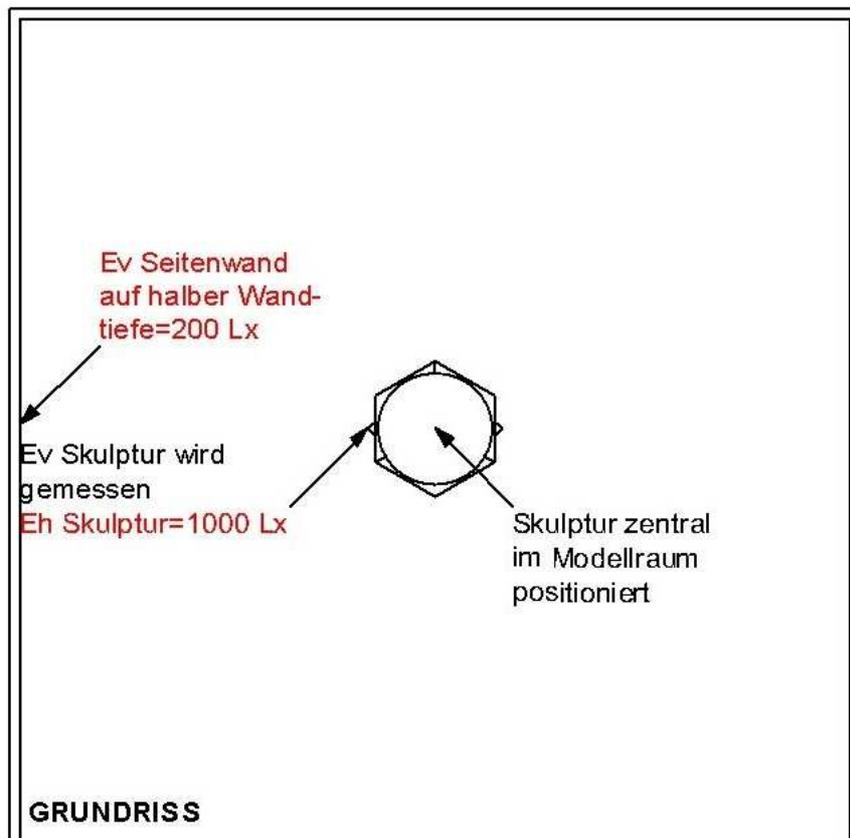
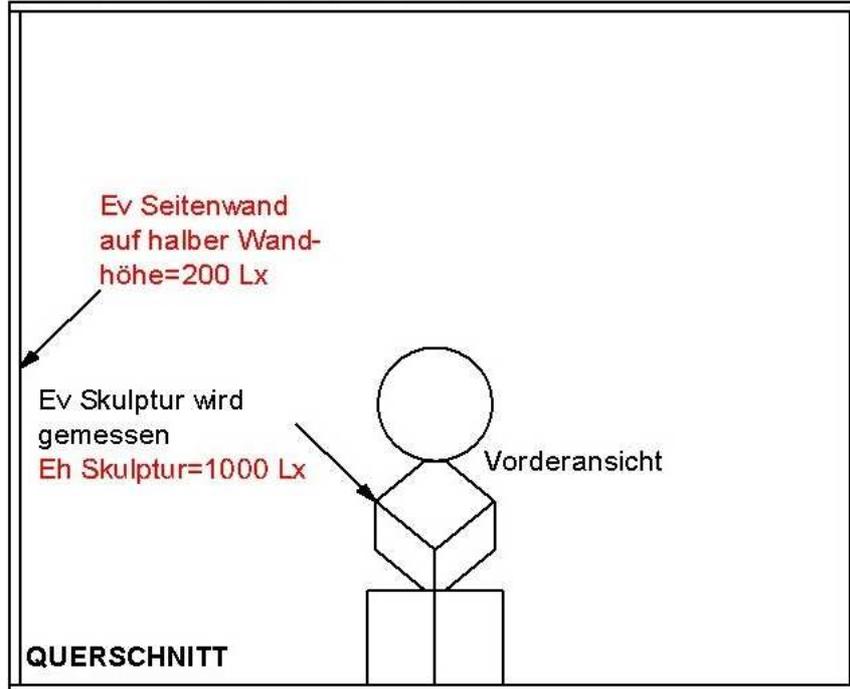
/152/ Messpunkte (Spiegelrasterdecke 1000 Lx)

STRAHLER+WANDFLUTER 300 Lx



/153/ Messpunkte (Strahler+Wandfluter 300/100 Lx)

STRAHLER+WANDFLUTER 1000 Lx



/154/ Messpunkte (Strahler+Wandfluter 1000/200 Lx)

6.1.1 Linker Innenraum: cremeweiß + Skulptur: dunkelgrau matt
 Rechter Innenraum: cremeweiß + Skulptur: dunkelgrau hochglanzpoliert

6.1.1.1 Messdatenerfassung (1.- 4. Paarvergleich)

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE							
Messreihe	Skulptur				Visueller Modellraum (monochrome Farbgebung der raumbegrenzenden Oberflächen)		
	Material EN 12440	Farbton	Oberfläche	Reflexionsgrad ρ skulp. [%]	Wandfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ w	Bodenfarbe RAL
TERDECKE (Eh Skulptur = 300 Lx)							
1	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 1000 Lx)							
2	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 300 Lx, Ev Seitenwand=100 Lx)							
3	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 1000 Lx, Ev Seitenwand=200 Lx)							
4	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001

/155/

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE						
Visueller Modellraum						
Reflexionsgrad [ρ b]	Deckenfarbe RAL	Reflexionsgrad [ρ d]	Beleuchtungsstärke Eh(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Seitenwand) in [Lx]	Farbtemperatur in [K]
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	150	300	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	150	300	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	540	970	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	530	1040	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	150	100	4000+Halogen
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	150	100	4000+Halogen
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	550	200	4000+Halogen
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	550	200	4000+Halogen

/156/

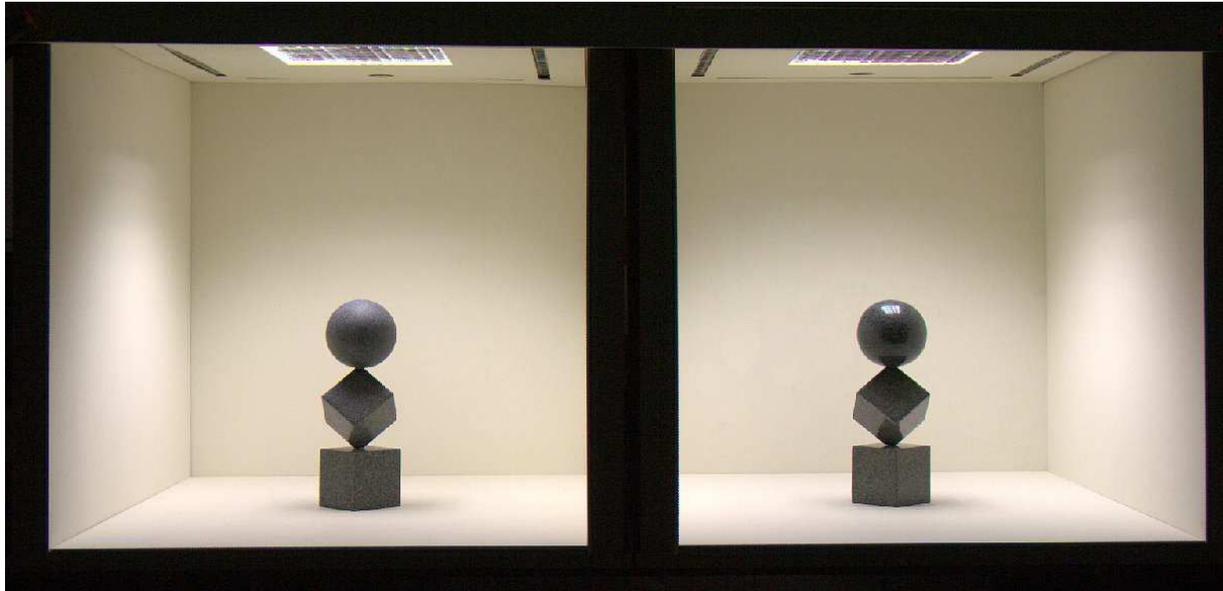
6.1.1.2 Fotografische Dokumentation (1.- 4. Paarvergleich)

SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)

1. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /157/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

cremeweiß /158/
dunkelgrau hochglanzpoliert

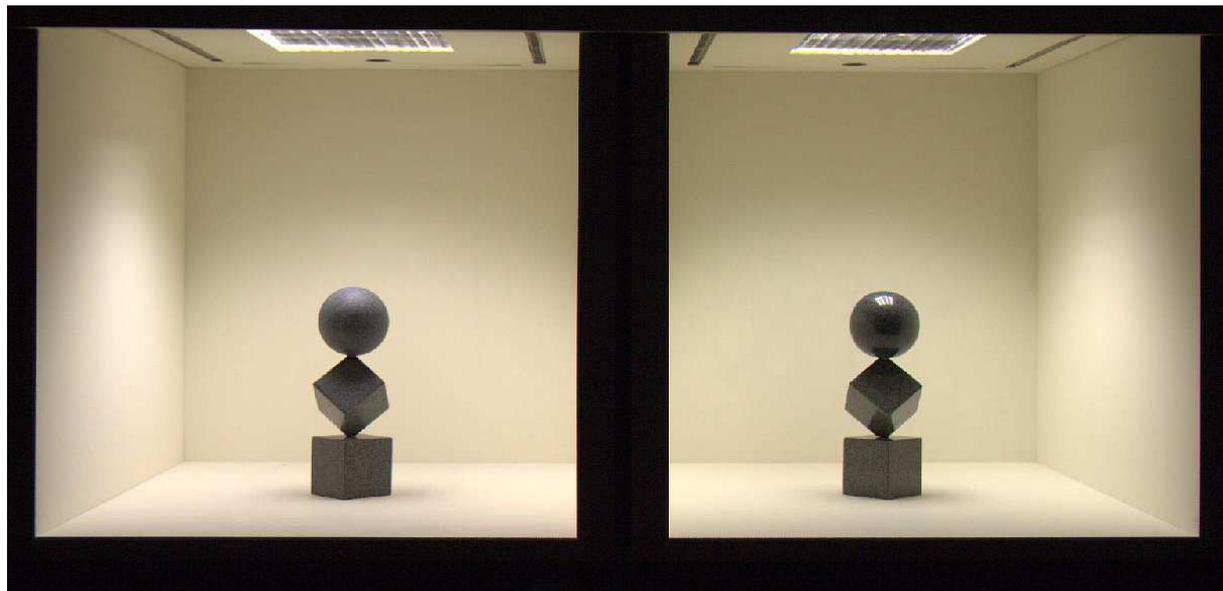


SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)

2. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /159/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

cremeweiß /160/
dunkelgrau hochglanzpoliert

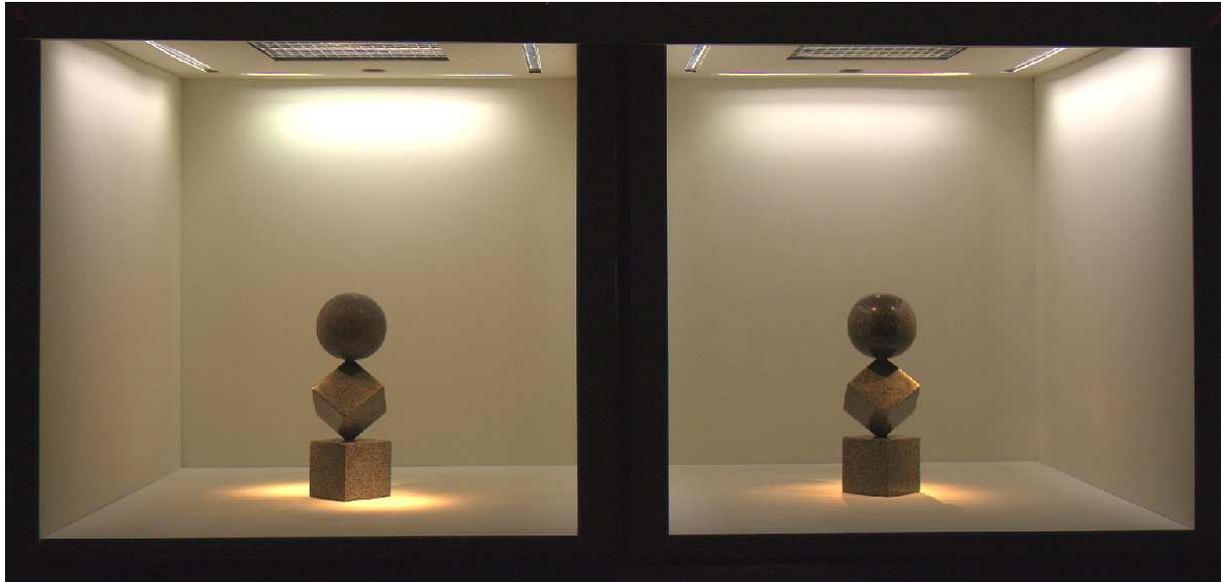


STRAHLER+WANDFLUTER (300/100 Lx)

3. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /161/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

cremeweiß /162/
dunkelgrau hochglanzpoliert

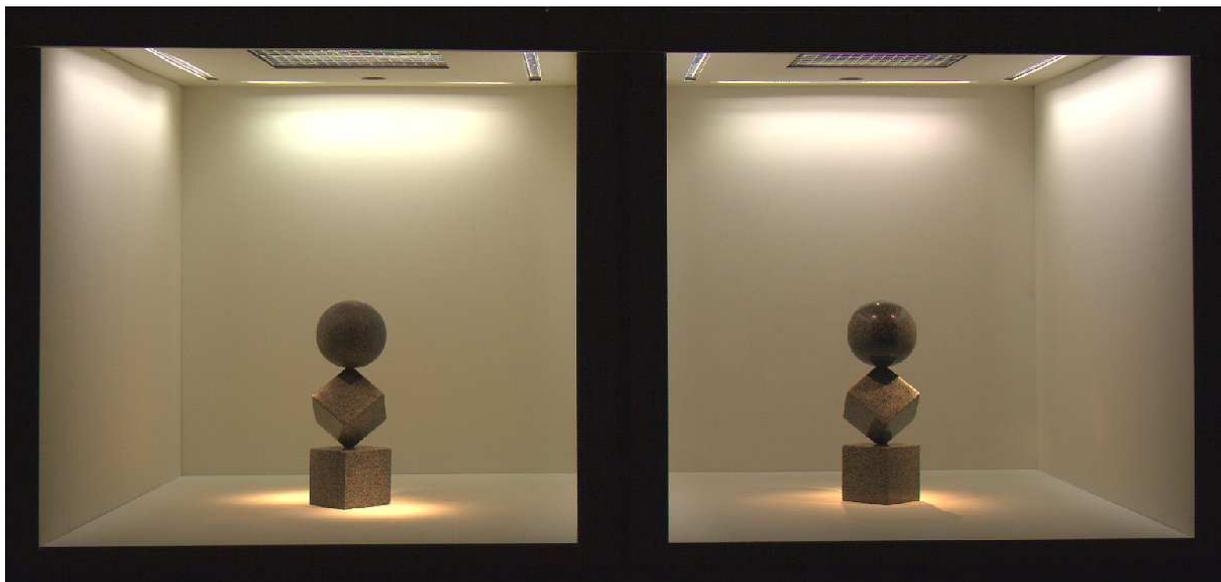


STRAHLER+WANDFLUTER (1000/200 Lx)

4. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /163/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

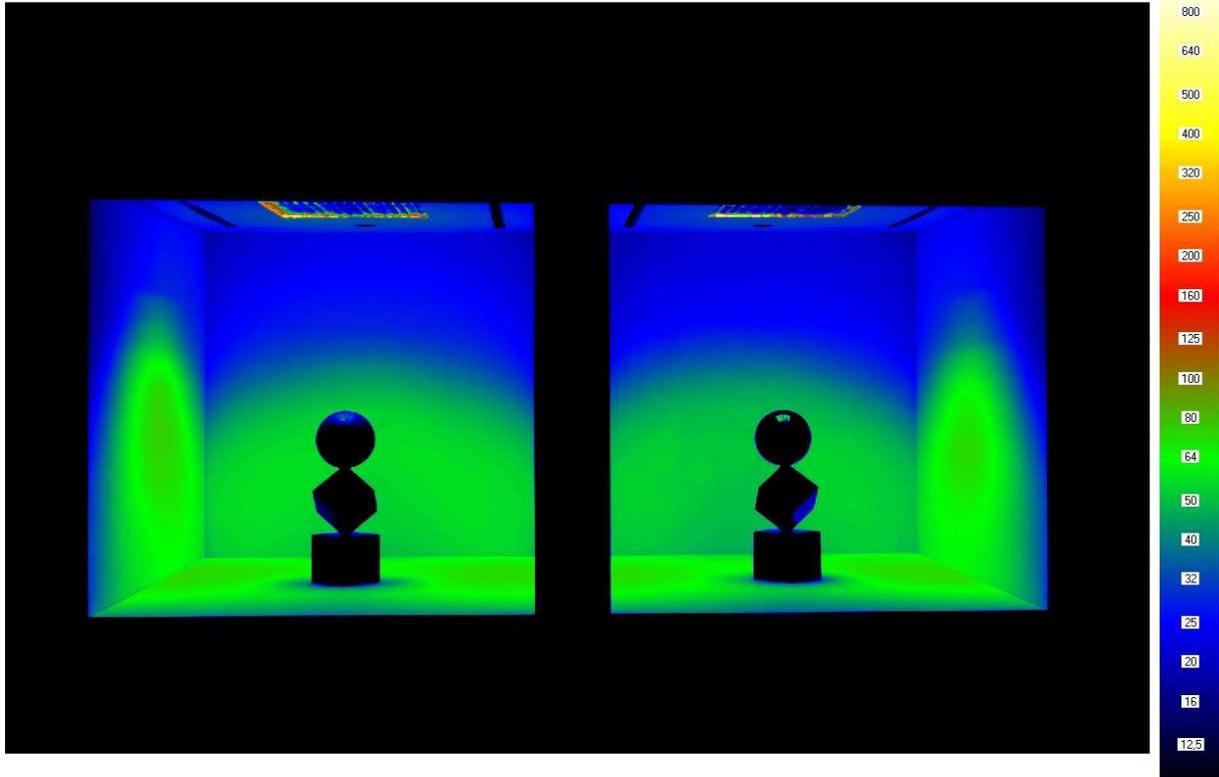
cremeweiß /164/
dunkelgrau hochglanzpoliert



6.1.1.3 Leuchtdichteverteilung (1.- 4. Paarvergleich)

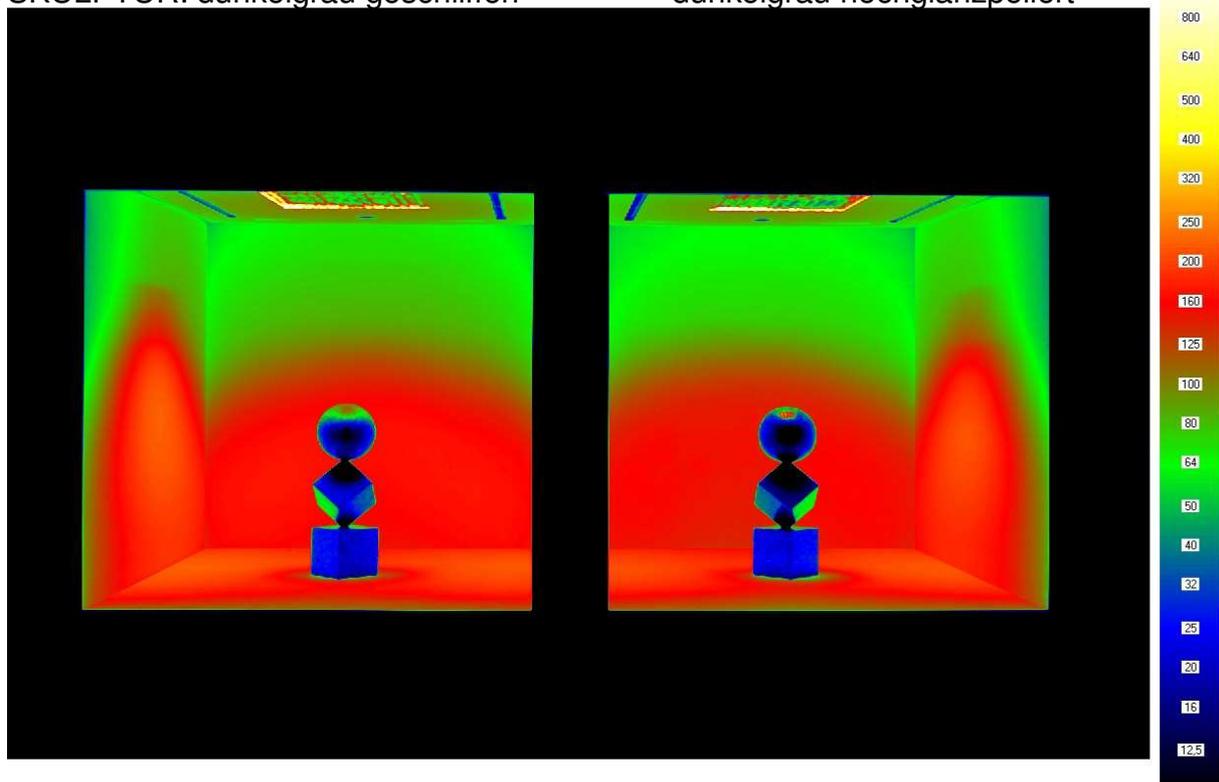
SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)
INNENRAUM: cremeweiß /165/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

1. Paarvergleich
cremeweiß /166/
dunkelgrau hochglanzpoliert



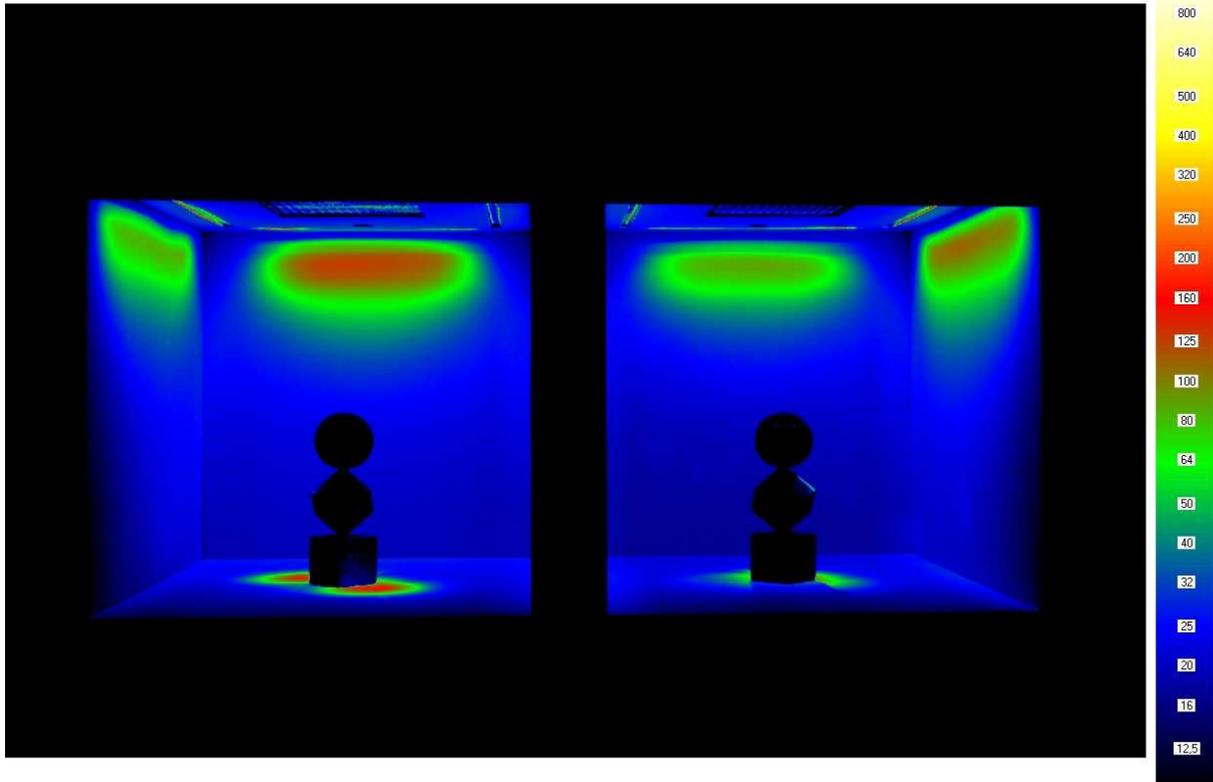
SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)
INNENRAUM: cremeweiß /167/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

2. Paarvergleich
cremeweiß /168/
dunkelgrau hochglanzpoliert



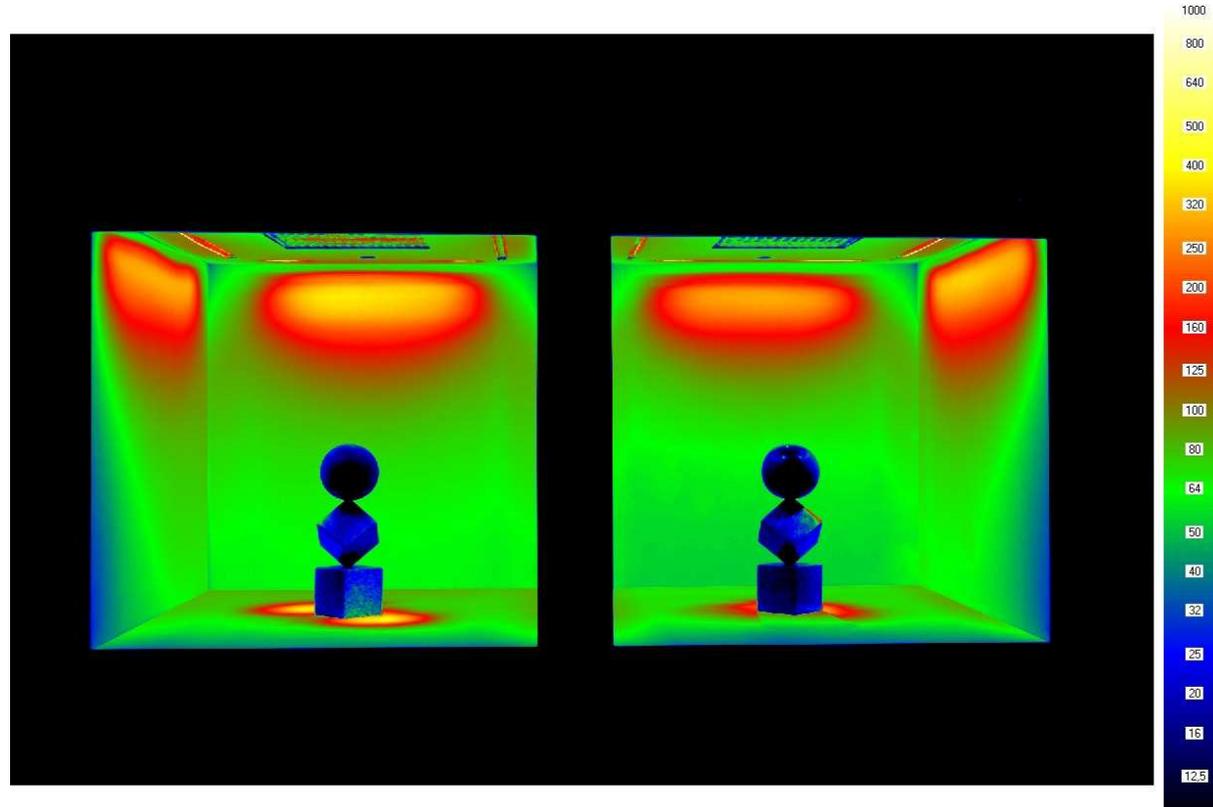
STRAHLER+WANDFLUTER (300/100 Lx)
INNENRAUM: cremeweiß /169/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

3. Paarvergleich
cremeweiß /170/
dunkelgrau hochglanzpoliert



STRAHLER+WANDFLUTER (1000/200 Lx)
INNENRAUM: cremeweiß /171/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

4. Paarvergleich
cremeweiß /172/
dunkelgrau hochglanzpoliert



6.1.2 Linker Innenraum: cremeweiß + Skulptur: schwarz matt

Rechter Innenraum: cremeweiß + Skulptur: schwarz hochglanzpoliert

6.1.2.1 Messdatenerfassung (5.- 8. Paarvergleich)

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE							
Messreihe	Skulptur				Visueller Modellraum (monochrome Farbgebung der raumbegrenzenden Oberflächen)		
	Material EN 12440	Farbton	Oberfläche	Reflexionsgrad ρ skulp. [%]	Wandfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ w	Bodenfarbe RAL
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 300 Lx)							
5	Basalt	anthrazit	geschliffen C 120	4,7	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Basalt	anthrazit	hochglanzpoliert	6	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 1000 Lx)							
6	Basalt	anthrazit	geschliffen C 120	4,7	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Basalt	anthrazit	hochglanzpoliert	6	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 300 Lx, Ev Seitenwand=100 Lx)							
7	Basalt	anthrazit	geschliffen C 120	4,7	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Basalt	anthrazit	hochglanzpoliert	6	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 1000 Lx, Ev Seitenwand=200 Lx)							
8	Basalt	anthrazit	geschliffen C 120	4,7	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Basalt	anthrazit	hochglanzpoliert	6	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001

/173/

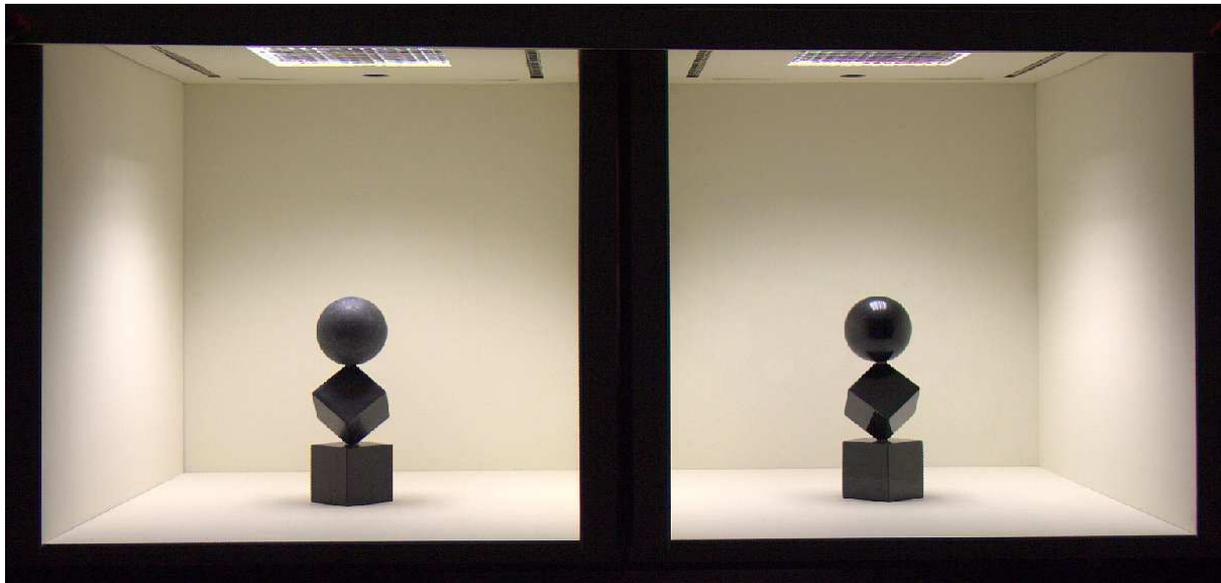
LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE						
Visueller Modellraum						
Reflexionsgrad [ρ b]	Deckenfarbe RAL	Reflexionsgrad [ρ d]	Beleuchtungsstärke Eh(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Seitenwand) in [Lx]	Farbtemperatur
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	150	300	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	150	300	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	450	750	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	450	750	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	150	100	4000+Halogen
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	150	100	4000+Halogen
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	450	200	4000+Halogen
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	450	200	4000+Halogen

/174

6.1.2.2 Fotografische Dokumentation (5.- 8. Paarvergleich)

SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)
INNENRAUM: cremeweiß /175/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

5. Paarvergleich
cremeweiß /176/
schwarz hochglanzpoliert

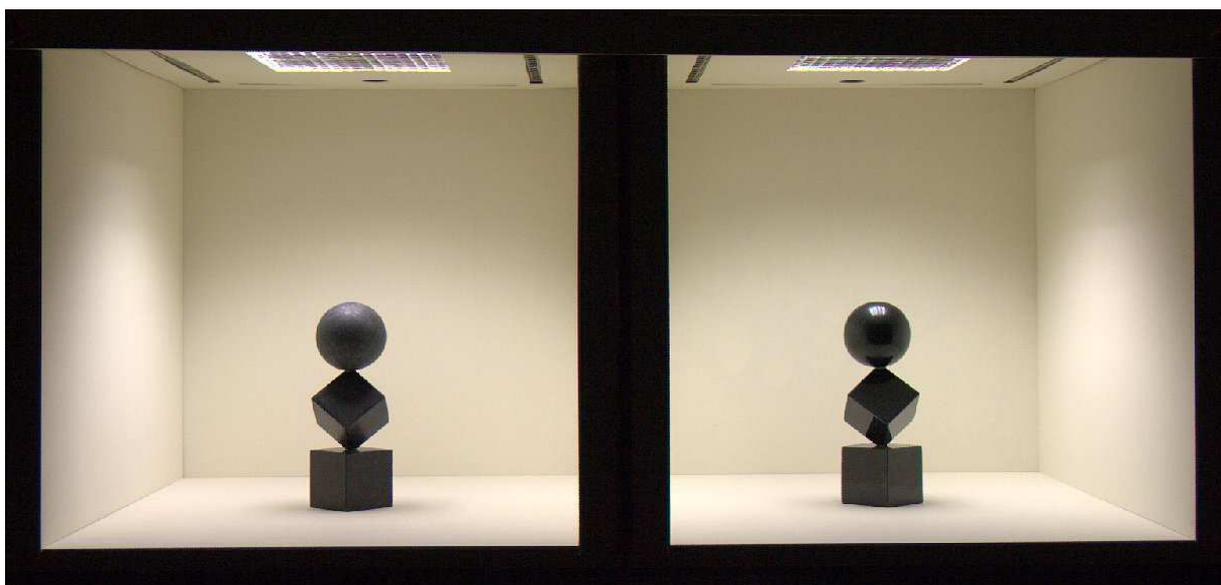


SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)

6. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /177/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

cremeweiß /178/
schwarz hochglanzpoliert

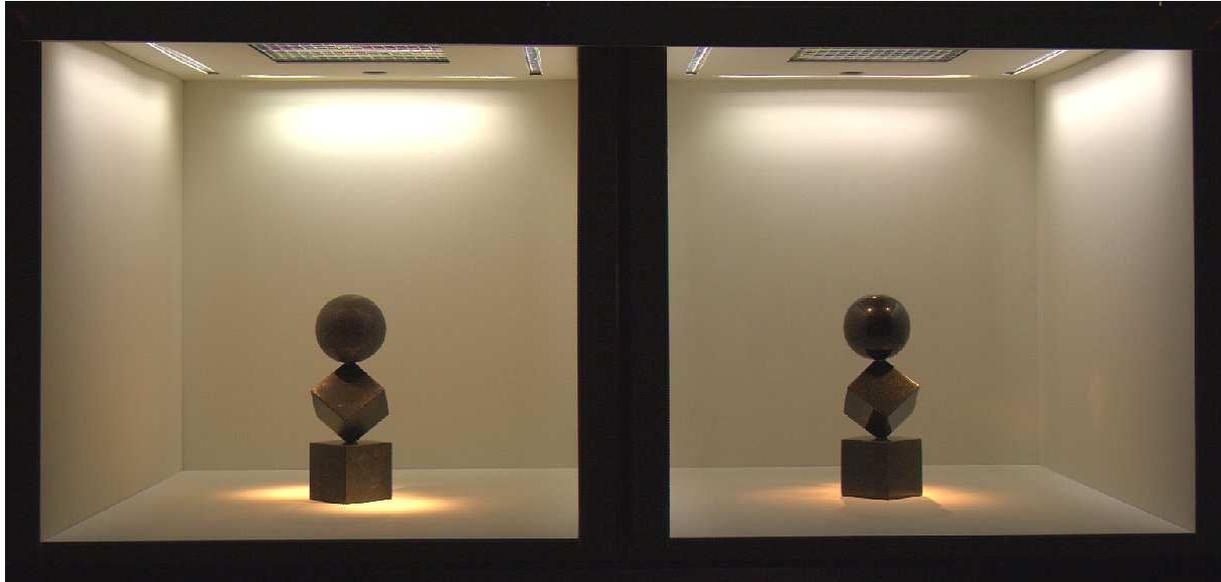


STRAHLER+WANDFLUTER (300/100 Lx)

7. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /179/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

cremeweiß /180/
schwarz hochglanzpoliert

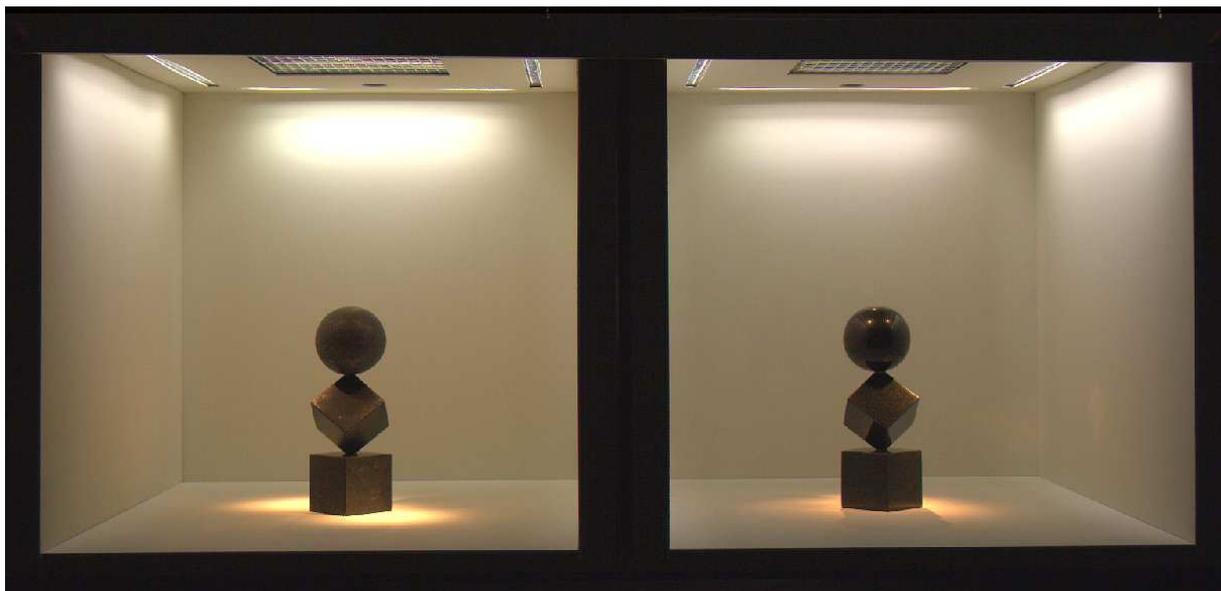


STRAHLER+WANDFLUTER (1000/200 Lx)

8. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /181/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

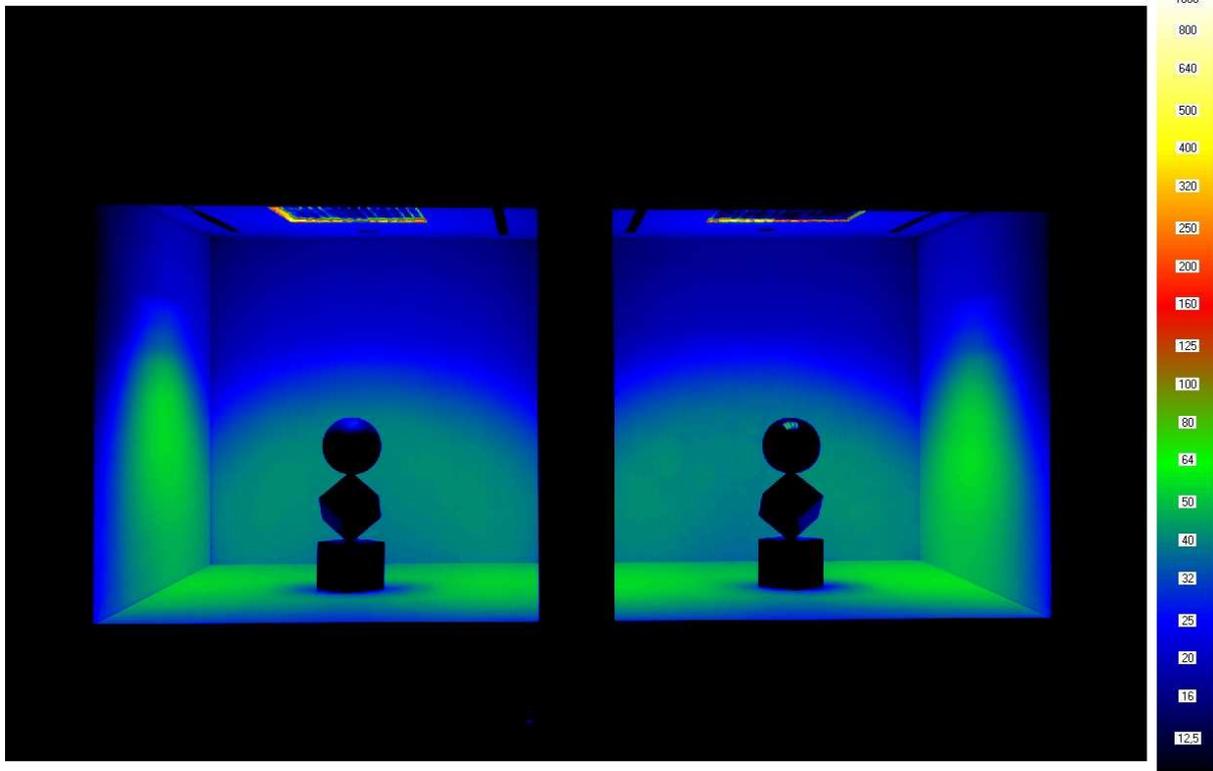
cremeweiß /182/
schwarz hochglanzpoliert



6.1.2.3 Leuchtdichteverteilung (5.- 8. Paarvergleich)

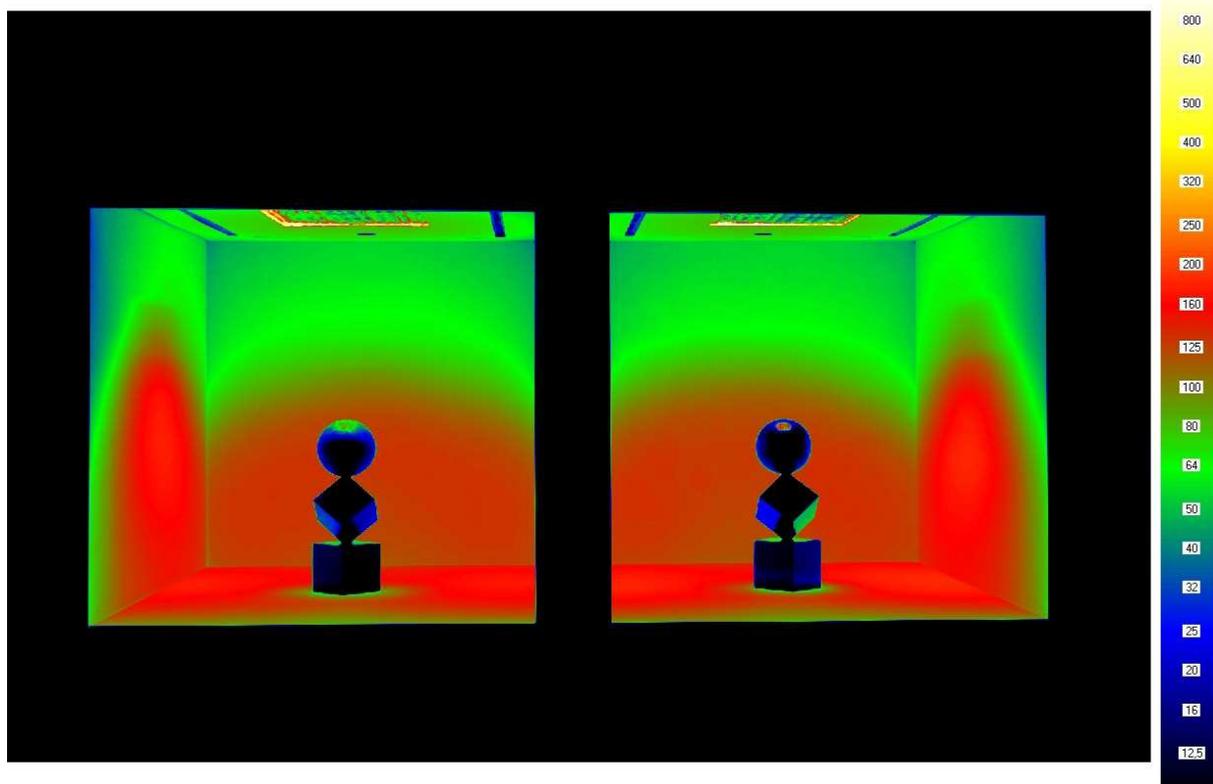
SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)
INNENRAUM: cremeweiß /183/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

5. Paarvergleich
cremeweiß /184/
schwarz hochglanzpoliert



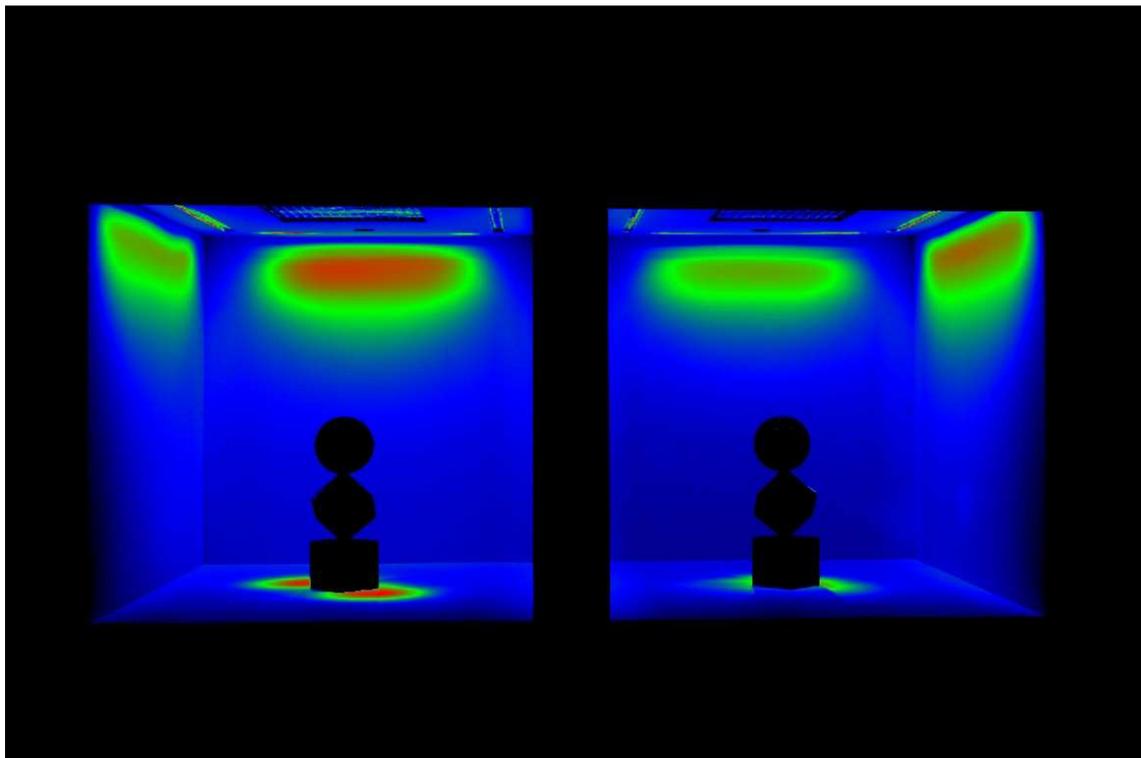
SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)
INNENRAUM: cremeweiß /185/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

6. Paarvergleich
cremeweiß /186/
schwarz hochglanzpoliert



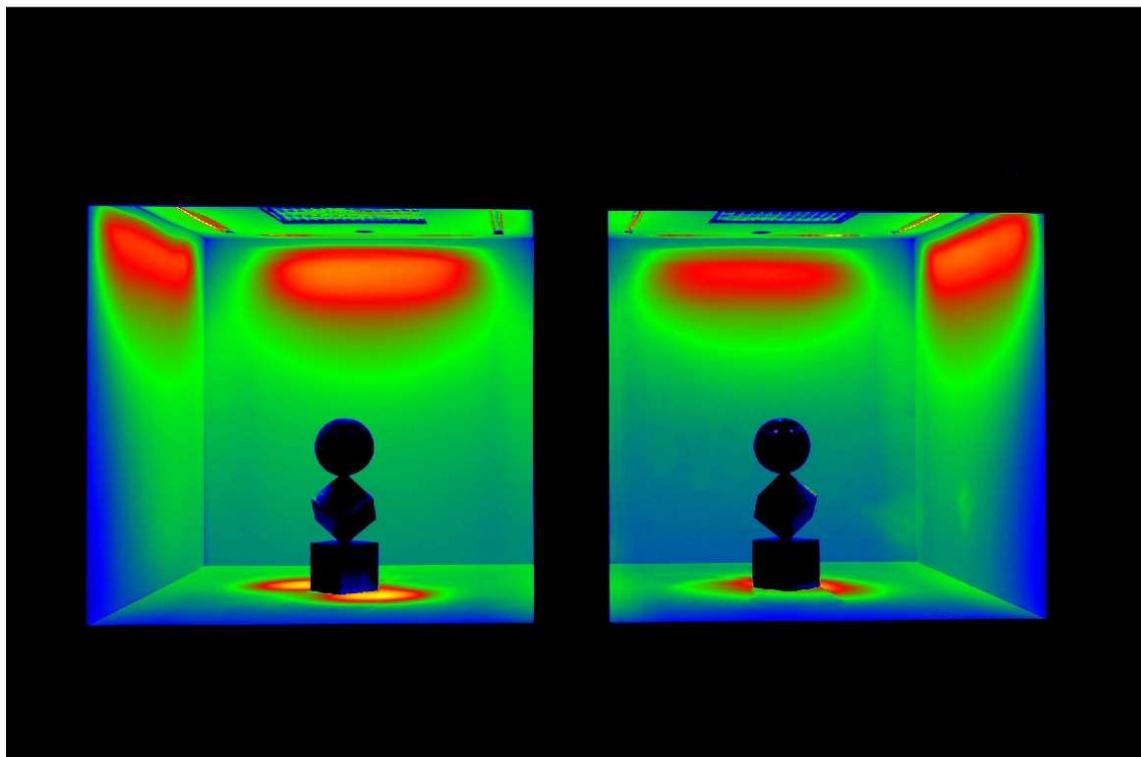
STRAHLER+WANDFLUTER (300/100 Lx)
INNENRAUM: cremeweiß /187/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

7. Paarvergleich
cremeweiß /188/
schwarz hochglanzpoliert



STRAHLER+WANDFLUTER (1000/200 Lx)
INNENRAUM: cremeweiß /189/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

8. Paarvergleich
cremeweiß /190/
schwarz hochglanzpoliert



6.1.3 Linker Innenraum: platingrau + Skulptur: hellgrau matt

Rechter Innenraum: platingrau + Skulptur: hellgrau hochglanzpoliert

6.1.3.1 Messdatenerfassung (9.- 12. Paarvergleich)

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONstanTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE							
Messreihe	Skulptur				Visueller Modellraum (monochrome Farbgebung der raumbegrenzenden Oberflächen)		
	Material EN 12440	Farbton	Oberfläche	Reflexionsgrad p skulp. [%]	Wandfarbe RAL	Reflexionsgrad p w	Bodenfarbe RAL
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 300 Lx)							
9	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 1000 Lx)							
10	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 300 Lx, Ev Seitenwand=100 Lx)							
11	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 1000 Lx, Ev Seitenwand=200 Lx)							
12	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036

/191/

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONstanTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE						
Visueller Modellraum						
Reflexionsgrad [p b]	Deckenfarbe RAL	Reflexionsgrad [p d]	Beleuchtungsstärke Eh(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Seitenwand) in [Lx]	Farbtemperatur
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	60	250	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	60	330	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	250	870	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	220	1100	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	140	100	4000+Halogen
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	120	100	4000+Halogen
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	400	200	4000+Halogen
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	350	200	4000+Halogen

/192/

6.1.3.2 Fotografische Dokumentation (9.- 12. Paarvergleich)

SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)

9. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /193/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

platingrau /194/
hellgrau hochglanzpoliert

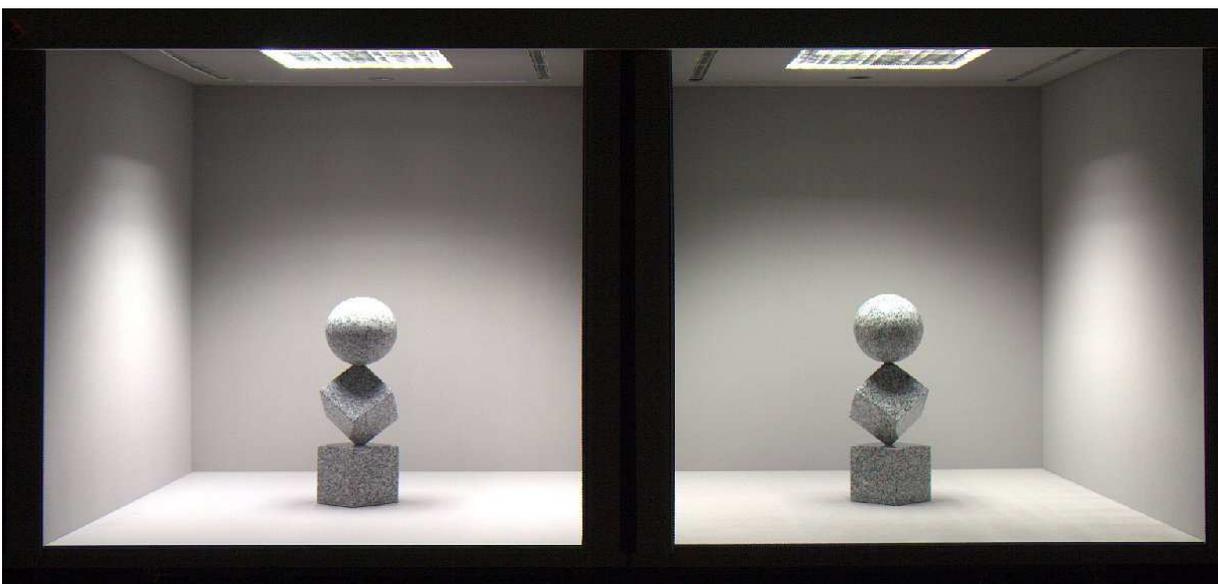


SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)

10. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /195/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

platingrau /196/
hellgrau hochglanzpoliert

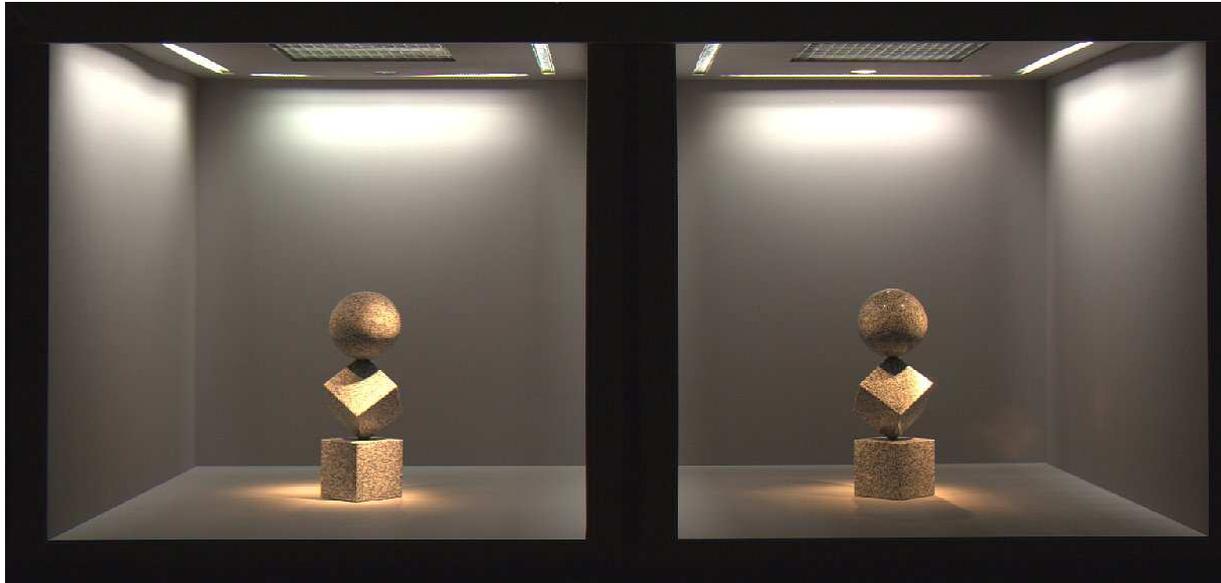


STRAHLER+WANDFLUTER (300/100 Lx)

11. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /197/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

platingrau /198/
hellgrau hochglanzpoliert



STRAHLER+WANDFLUTER (1000/200 Lx)

12. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /199/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

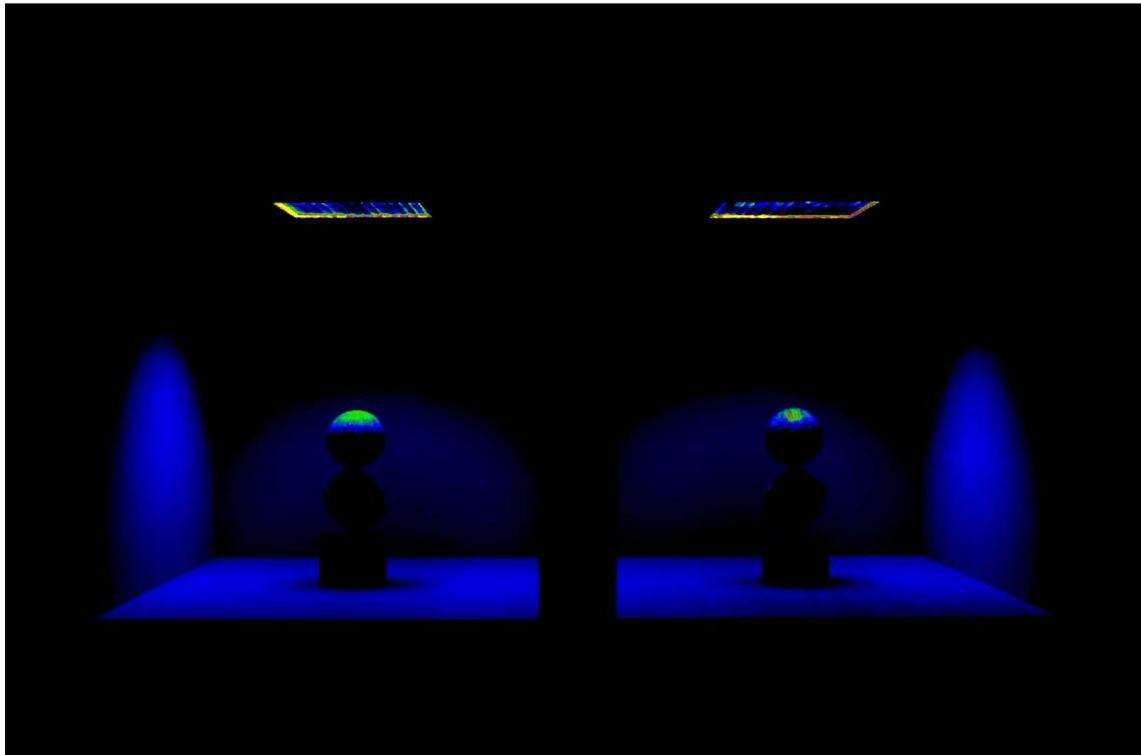
platingrau /200/
hellgrau hochglanzpoliert



6.1.3.3 Leuchtdichteverteilung (9.- 12. Paarvergleich)

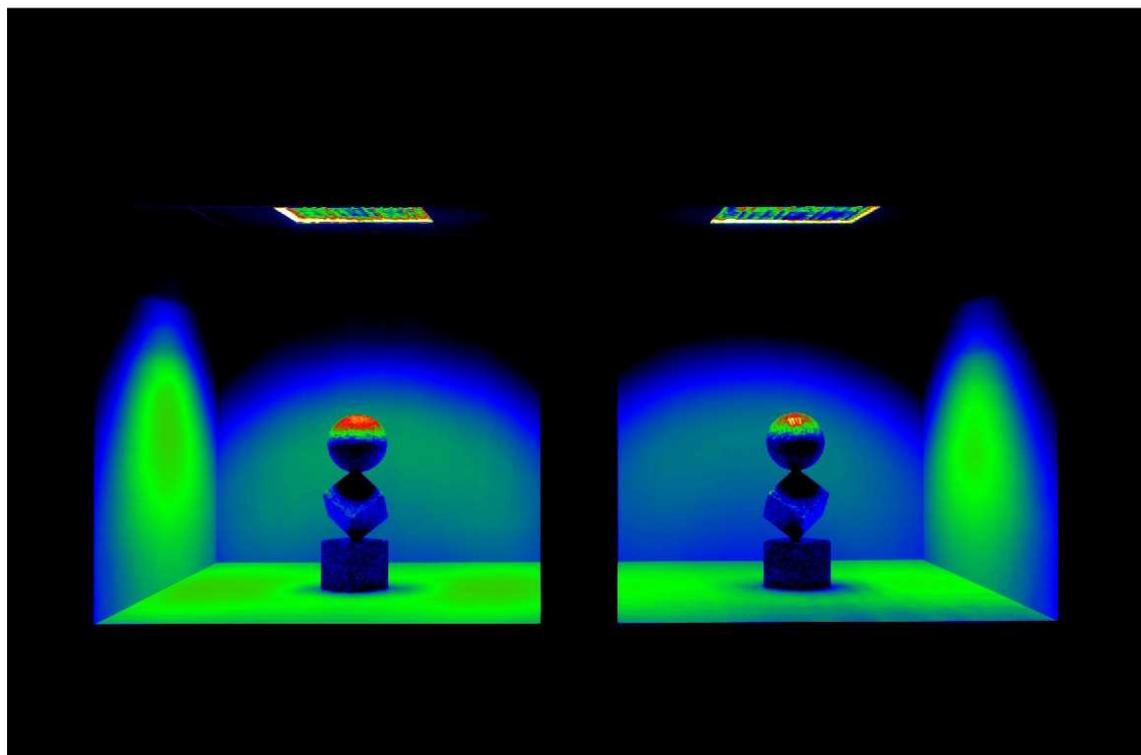
SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)
INNENRAUM: platingrau /201/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

9. Paarvergleich
platingrau /202/
hellgrau hochglanzpoliert



SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)
INNENRAUM: platingrau /203/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

10. Paarvergleich
platingrau /204/
hellgrau hochglanzpoliert

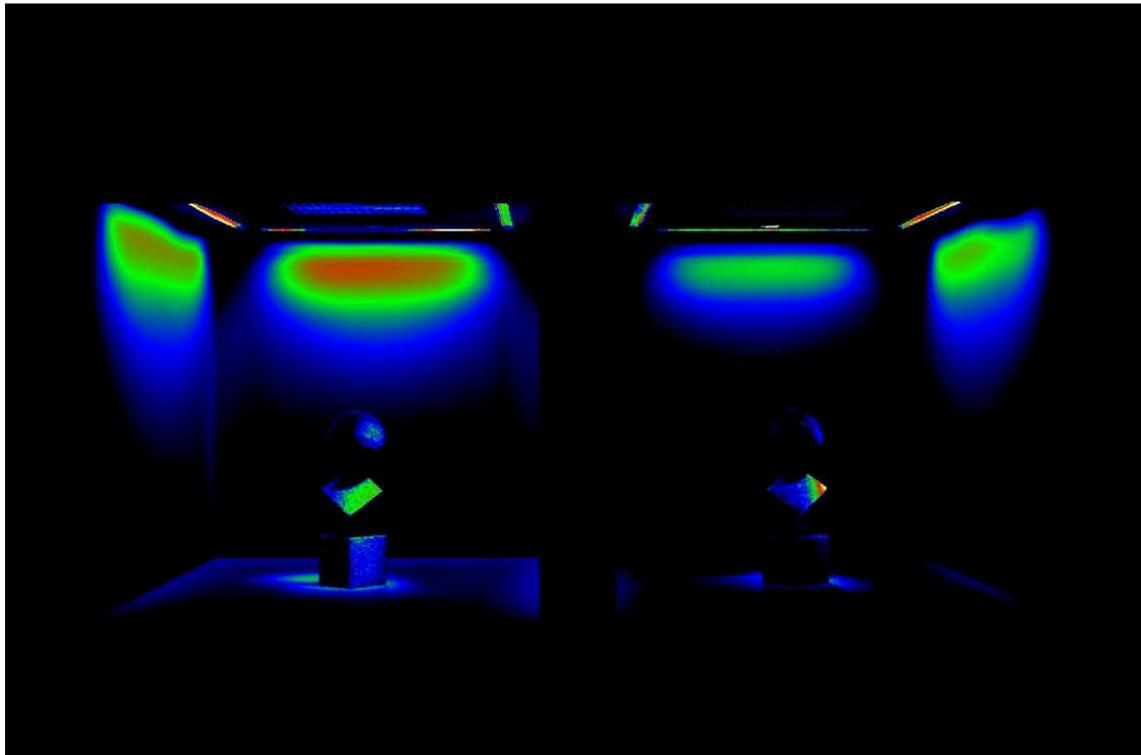


STRAHLER+WANDFLUTER (300/100 Lx)

11. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /205/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

platingrau /206/
hellgrau hochglanzpoliert

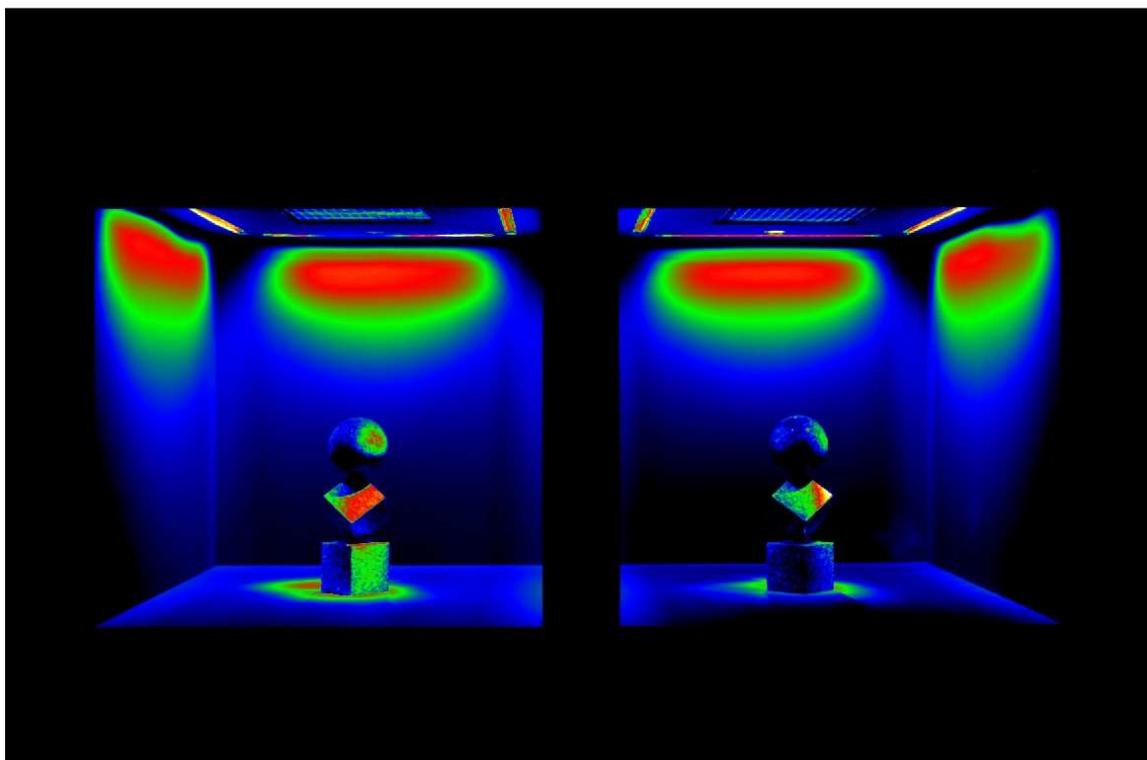


STRAHLER+WANDFLUTER (1000/200 Lx)

12. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /207/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

platingrau /208/
hellgrau hochglanzpoliert



6.1.4 Linker Innenraum: platingrau + Skulptur: schwarz matt
 Rechter Innenraum: platingrau + Skulptur: schwarz hochglanzpoliert

6.1.4.1 Messdatenerfassung (13.- 16. Paarvergleich)

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE							
Skulptur				Visueller Modellraum (monochrome Farbgebung der raumbegrenzenden Oberflächen)			
Messreihe	Material EN 12440	Farbton	Oberfläche	Reflexionsgrad ρ skulp. [%]	Wandfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ w	Bodenfarbe RAL
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 300 Lx)							
13	Basalt	anthrazit	geschliffen C 120	4,7	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Basalt	anthrazit	hochglanzpoliert	6	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 1000 Lx)							
14	Basalt	anthrazit	geschliffen C 120	4,7	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Basalt	anthrazit	hochglanzpoliert	6	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 300 Lx, Ev Seitenwand=100 Lx)							
15	Basalt	anthrazit	geschliffen C 120	4,7	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Basalt	anthrazit	hochglanzpoliert	6	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 1000 Lx, Ev Seitenwand=200 Lx)							
16	Basalt	anthrazit	geschliffen C 120	4,7	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Basalt	anthrazit	hochglanzpoliert	6	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036

/209/

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE						
Visueller Modellraum						
Reflexionsgrad [ρ b]	Deckenfarbe RAL	Reflexionsgrad [ρ d]	Beleuchtungsstärke Eh(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Seitenwand) in [Lx]	Farbtemperatur
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	50	250	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	50	300	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	200	1000	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	200	1100	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	130	100	4000+Halogen
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	130	100	4000+Halogen
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	330	200	4000+Halogen
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	350	200	4000+Halogen

/210/

6.1.4.2 Fotografische Dokumentation (13.- 16. Paarvergleich)

SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)

13. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /211/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

platingrau /212/
schwarz hochglanzpoliert

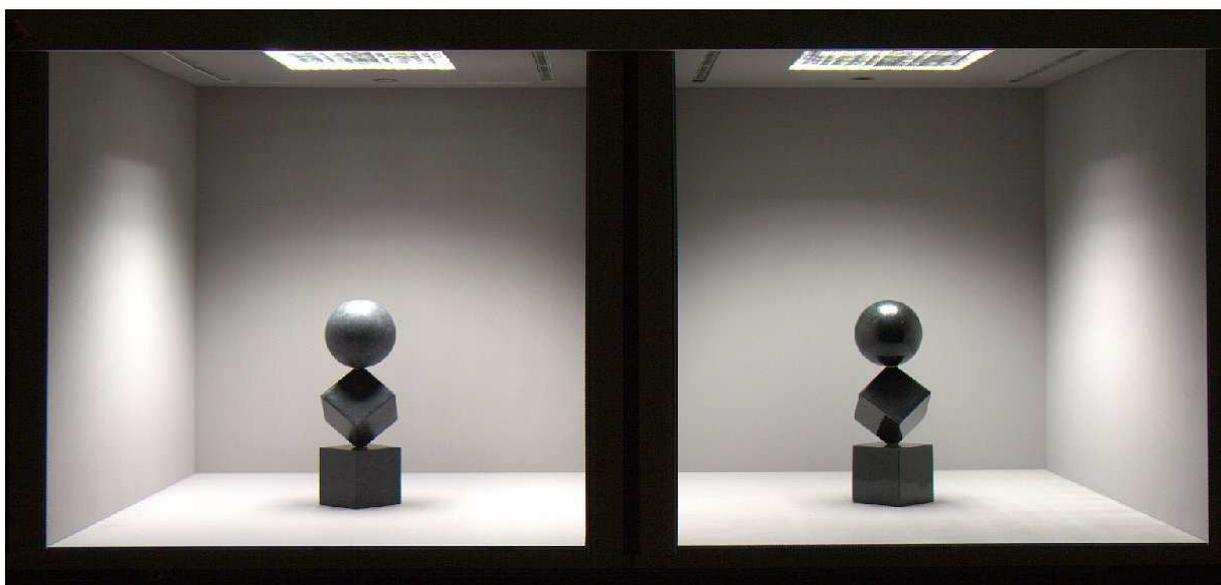


SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)

14. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /213/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

platingrau /214/
schwarz hochglanzpoliert



STRAHLER+WANDFLUTER (300/100 Lx)

15. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /215/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

platingrau /216/
schwarz hochglanzpoliert



STRAHLER+WANDFLUTER (1000/200 Lx)

16. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /217/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

platingrau /218/
schwarz hochglanzpoliert



6.1.4.3 Leuchtdichteverteilung (13.- 16. Visuelle Modellanordnung)

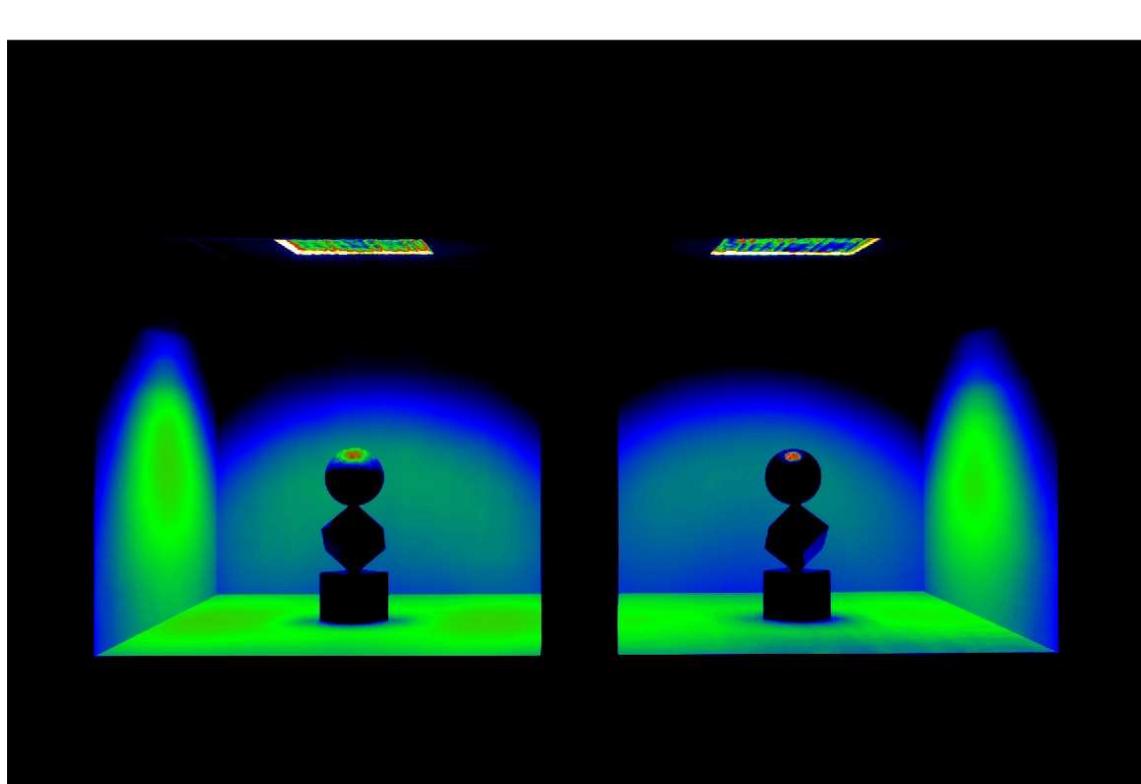
SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)
INNENRAUM: platingrau /219/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

13. Paarvergleich
platingrau /220/
schwarz hochglanzpoliert



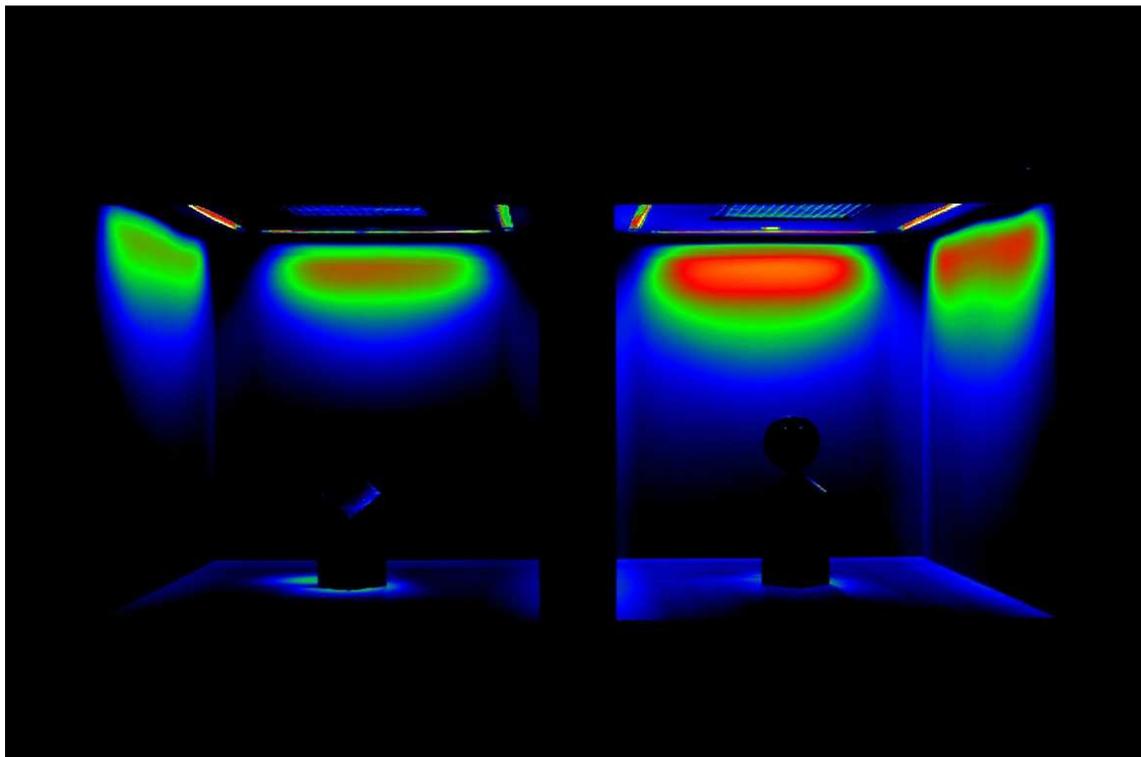
SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)
INNENRAUM: platingrau /221/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

14. Paarvergleich
platingrau /222/
schwarz hochglanzpoliert



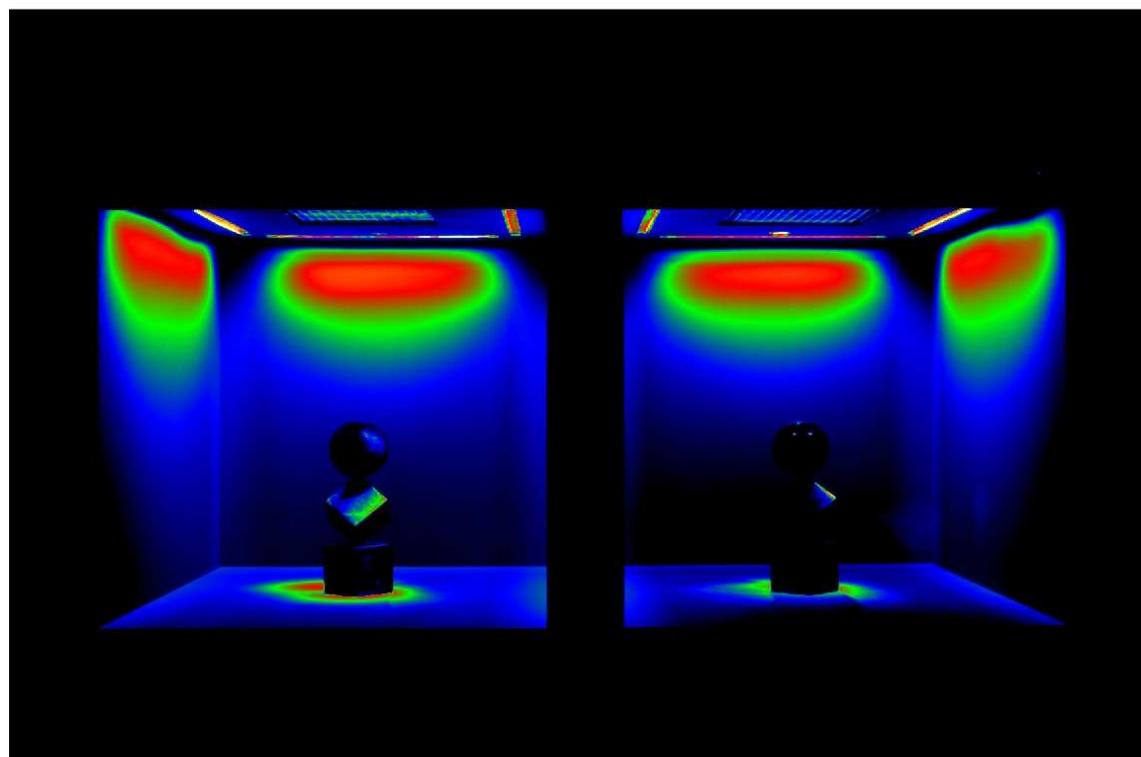
STRAHLER+WANDFLUTER (300/100 Lx)
INNENRAUM: platingrau /223/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

15. Paarvergleich
platingrau /224/
schwarz hochglanzpoliert



STRAHLER+WANDFLUTER (1000/200 Lx)
INNENRAUM: platingrau /225/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

16. Paarvergleich
platingrau /226/
schwarz hochglanzpoliert



6.1.5 Linker Innenraum: tiefschwarz + Skulptur: hellgrau matt
 Rechter Innenraum: tiefschwarz + Skulptur: hellgrau hochglanzpoliert

6.1.5.1 Messdatenerfassung (17.- 20. Paarvergleich)

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE							
Messreihe	Skulptur				Visueller Modellraum (monochrome Farbgebung der raumbegrenzenden Oberflächen)		
	Material EN 12440	Farbton	Oberfläche	Reflexionsgrad $\rho_{skulp.}$ [%]	Wandfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ_w	Bodenfarbe RAL
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 300 Lx)							
17	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 1000 Lx)							
18	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 300 Lx, Ev Seitenwand=100 Lx)							
19	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 1000 Lx, Ev Seitenwand=200 Lx)							
20	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005

/227/

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE						
Visueller Modellraum						
Reflexionsgrad ρ_b	Deckenfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ_d	Beleuchtungsstärke Eh(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Seitenwand) in [Lx]	Farbtemperatur
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	300	15	250	4000
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	300	15	320	4000
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	1000	40	850	4000
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	1000	60	1040	4000
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	300	110	100	4000+Halogen
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	300	90	100	4000+Halogen
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	1000	400	200	4000+Halogen
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	1000	310	200	4000+Halogen

/228/

6.1.5.2 Fotografische Dokumentation (17.- 20. Paarvergleich)

SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)

17. Paarvergleich

INNENRAUM: tiefschwarz /229/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

tiefschwarz /230/
hellgrau hochglanzpoliert

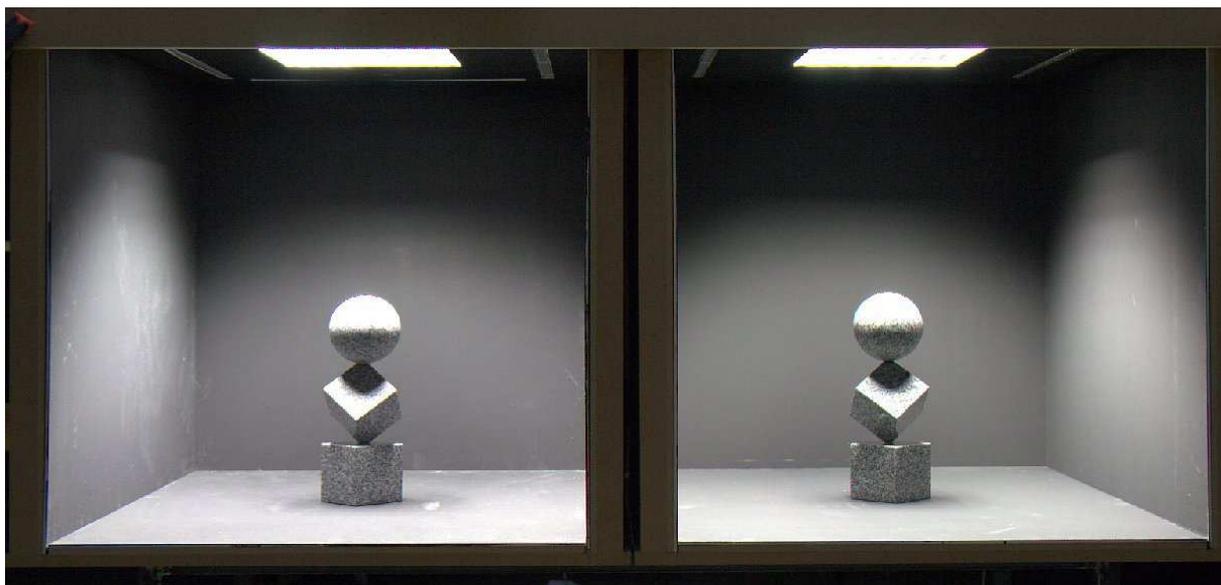


SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)

18. Paarvergleich

INNENRAUM: tiefschwarz /231/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

tiefschwarz /232/
hellgrau hochglanzpoliert



STRAHLER+WANDFLUTER (300/100 Lx)

19. Paarvergleich

INNENRAUM: tiefschwarz /233/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

tiefschwarz /234/
hellgrau hochglanzpoliert



STRAHLER+WANDFLUTER (1000/200 Lx)

20. Paarvergleich

INNENRAUM: tiefschwarz /235/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

tiefschwarz /236/
hellgrau hochglanzpoliert



6.1.5.3 Leuchtdichteverteilung (17.- 20. Paarvergleich)

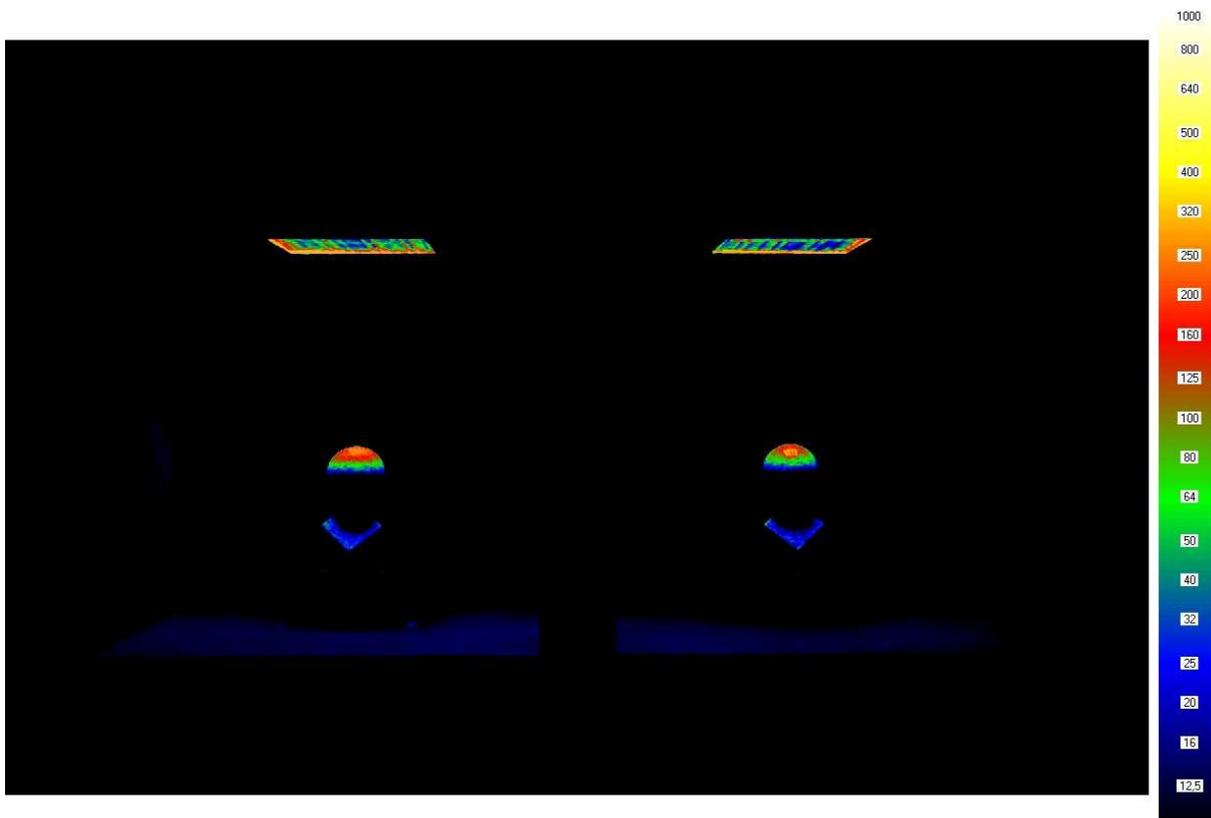
SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)
INNENRAUM: tiefschwarz /237/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

17. Paarvergleich
tiefschwarz /238/
hellgrau hochglanzpoliert



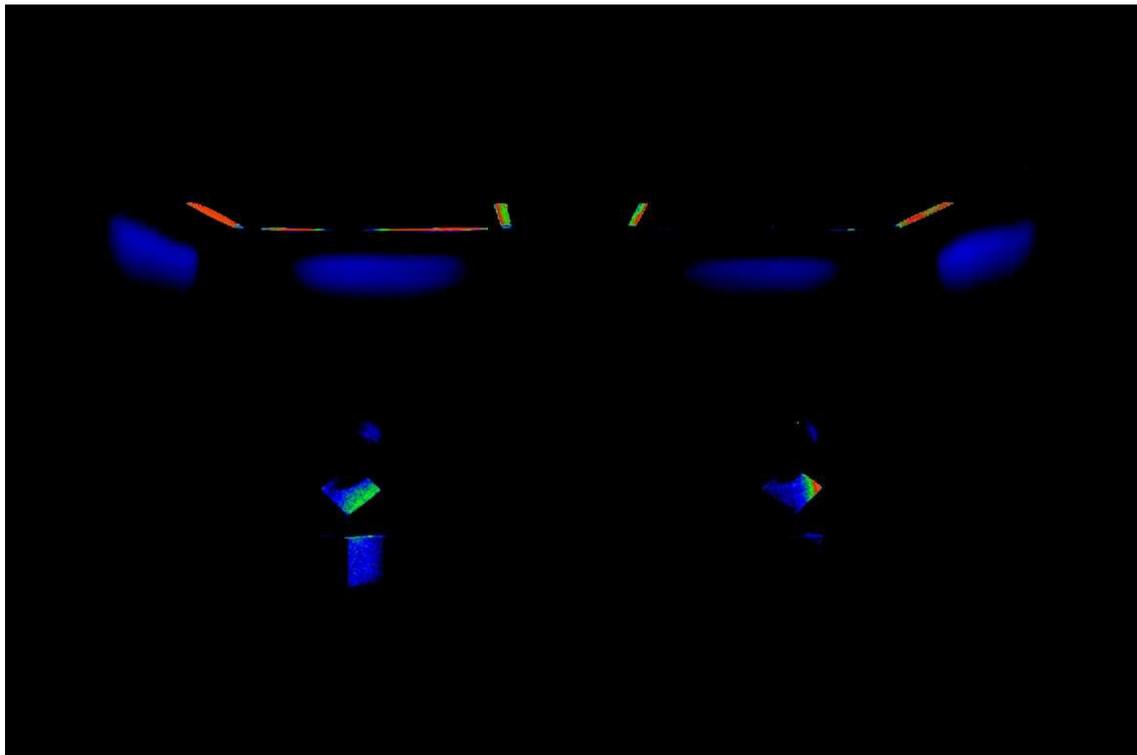
SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)
INNENRAUM: tiefschwarz /239/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

18. Paarvergleich
tiefschwarz /240/
hellgrau hochglanzpoliert



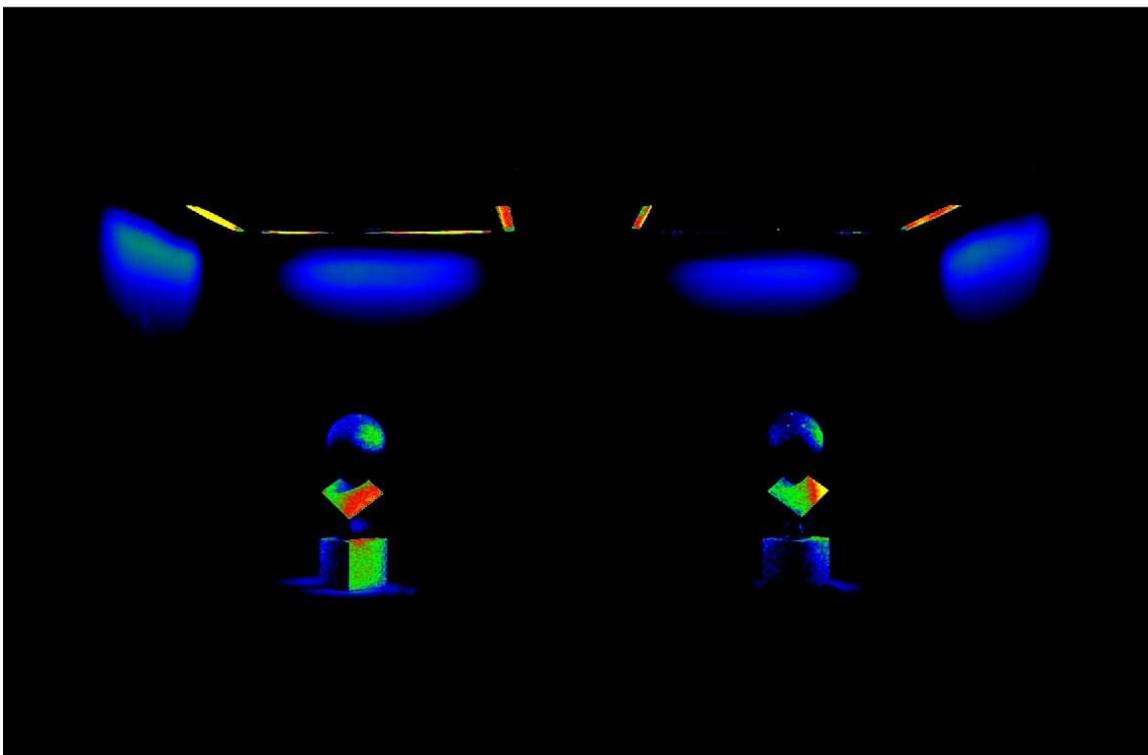
STRAHLER+WANDFLUTER (300/100 Lx)
INNENRAUM: tiefschwarz /241/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

19. Paarvergleich
tiefschwarz /242/
hellgrau hochglanzpoliert



STRAHLER+WANDFLUTER (1000/200 Lx)
INNENRAUM: tiefschwarz /243/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

20. Paarvergleich
tiefschwarz /244/
hellgrau hochglanzpoliert



6.1.6 Linker Innenraum: tiefschwarz + Skulptur: dunkelgrau matt
 Rechter Innenraum: tiefschwarz + Skulptur: dunkelgrau hochglanzpoliert

6.1.6.1 Messdatenerfassung (21.- 24. Paarvergleich)

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE							
Messreihe	Skulptur				Visueller Modellraum (monochrome Farbgebung der raumbegrenzenden Oberflächen)		
	Material EN 12440	Farbton	Oberfläche	Reflexionsgrad $\rho_{skulp.}$ [%]	Wandfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ_w	Bodenfarbe RAL
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 300 Lx)							
21	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 1000 Lx)							
22	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 300 Lx, Ev Seitenwand=100 Lx)							
23	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 1000 Lx, Ev Seitenwand=200 Lx)							
24	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005

/245/

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE						
Visueller Modellraum						
Reflexionsgrad ρ_b	Deckenfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ_d	Beleuchtungsstärke Eh(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Seitenwand) in [Lx]	Farbtemperatur
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	300	15	250	4000
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	300	20	300	4000
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	1000	40	760	4000
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	1000	45	1040	4000
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	300	120	100	4000+Halogen
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	300	80	100	4000+Halogen
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	1000	400	200	4000+Halogen
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	1000	300	200	4000+Halogen

/246/

6.1.6.2 Fotografische Dokumentation (21.- 24. Paarvergleich)

SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)

21. Paarvergleich

INNENRAUM: tiefschwarz /247/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

tiefschwarz /248/
dunkelgrau hochglanzpoliert

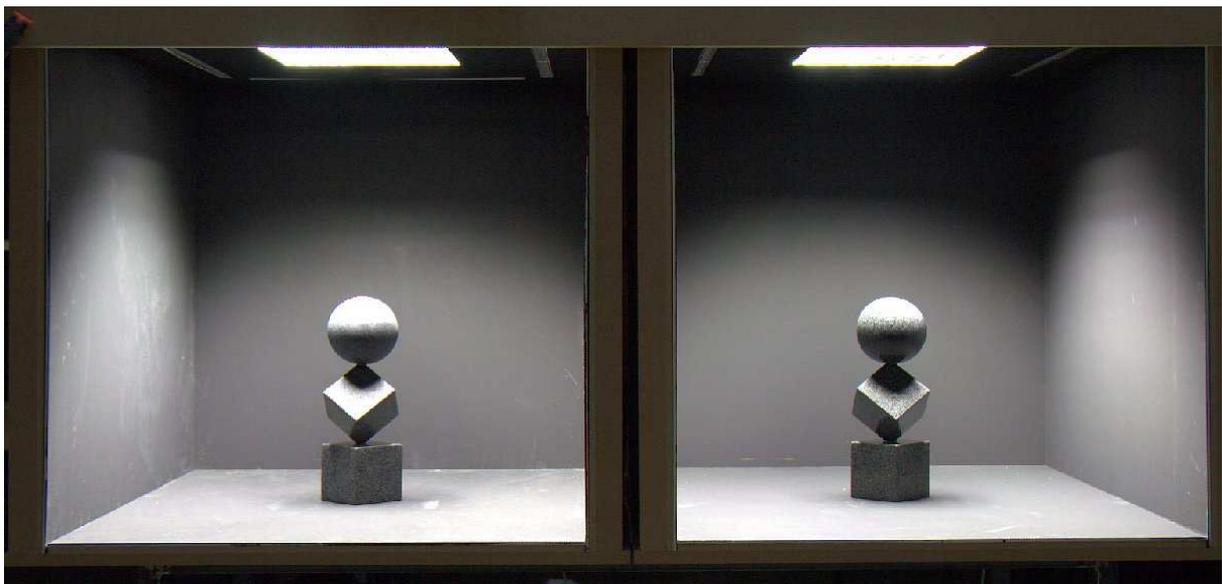


SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)

22. Paarvergleich

INNENRAUM: tiefschwarz /249/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

tiefschwarz /250/
dunkelgrau hochglanzpoliert



STRAHLER+WANDFLUTER (300/100 Lx)

23. Paarvergleich

INNENRAUM: tiefschwarz /251/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

tiefschwarz /252/
dunkelgrau hochglanzpoliert



STRAHLER+WANDFLUTER (1000/200 Lx)

24. Paarvergleich

INNENRAUM: tiefschwarz /253/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

tiefschwarz /254/
dunkelgrau hochglanzpoliert



6.1.6.3 Leuchtdichteverteilung (21.- 24. Paarvergleich)

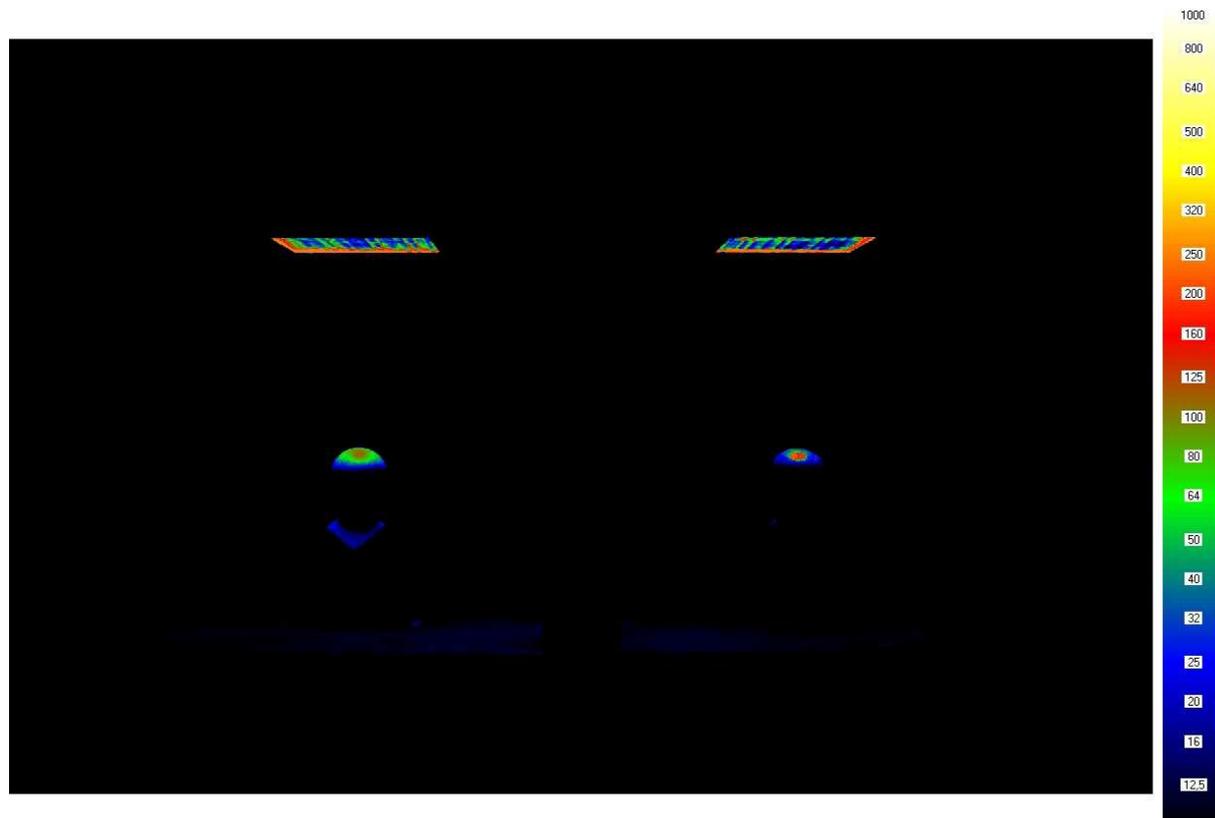
SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)
INNENRAUM: tiefschwarz /255/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

21. Paarvergleich
tiefschwarz /256/
dunkelgrau hochglanzpoliert



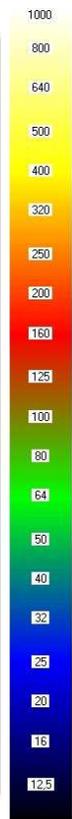
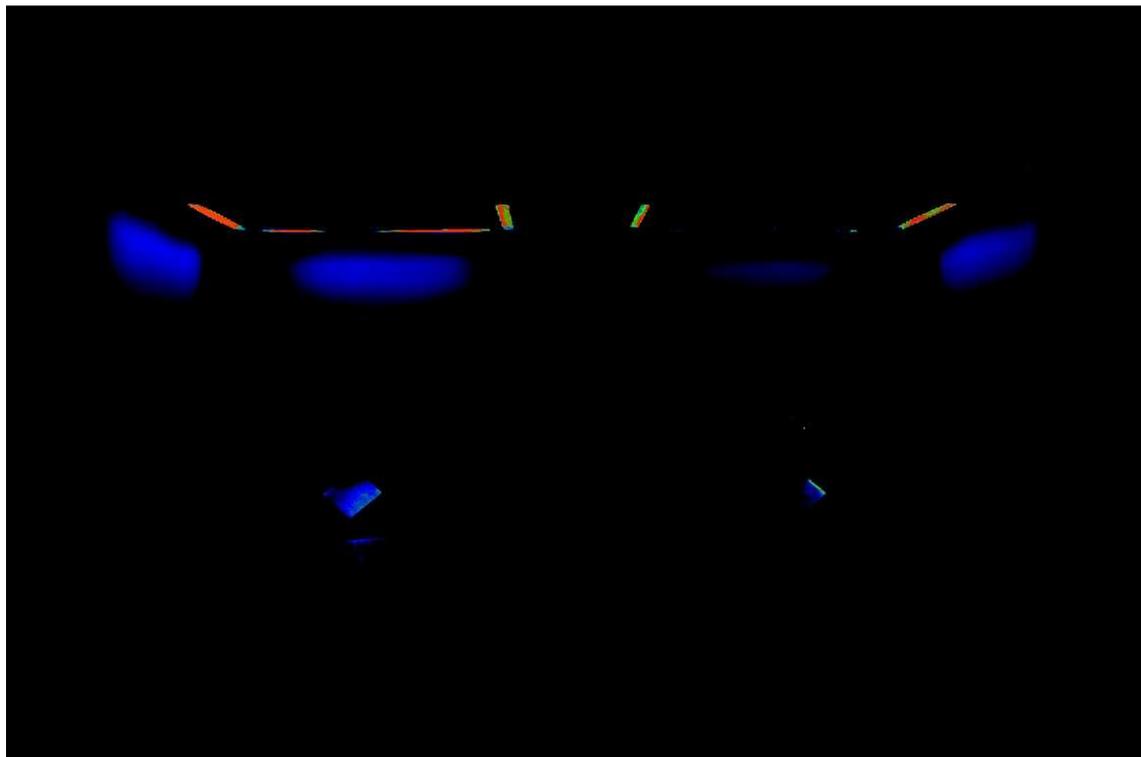
SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)
INNENRAUM: tiefschwarz /257/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

22. Paarvergleich
tiefschwarz /258/
dunkelgrau hochglanzpoliert



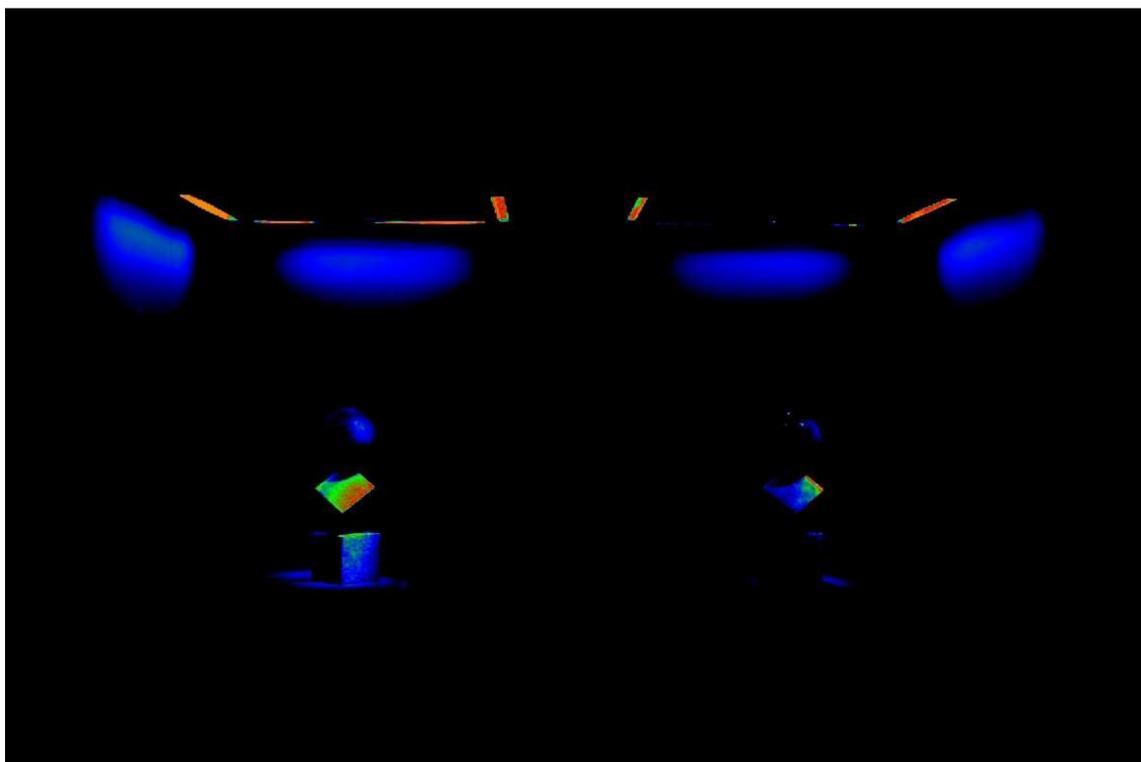
STRAHLER+WANDFLUTER (300/100 Lx)
INNENRAUM: tiefschwarz /259/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

23. Paarvergleich
tiefschwarz /260/
dunkelgrau hochglanzpoliert



STRAHLER+WANDFLUTER (1000/200 Lx)
INNENRAUM: tiefschwarz /261/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

24. Paarvergleich
tiefschwarz /262/
dunkelgrau hochglanzpoliert



6.1.7 Linker Innenraum: cremeweiß + Skulptur: dunkelgrau matt
 Rechter Innenraum: platingrau + Skulptur: hellgrau hochglanzpoliert

6.1.7.1 Messdatenerfassung (25.- 28. Paarvergleich)

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE							
Messreihe	Skulptur				Visueller Modellraum (monochrome Farbgebung der raumbegrenzenden Oberflächen)		
	Material EN 12440	Farbton	Oberfläche	Reflexionsgrad $\rho_{skulp.}$ [%]	Wandfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ_w	Bodenfarbe RAL
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 300 Lx)							
25	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 1000 Lx)							
26	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
STRAHLER+WANDEFLUTER (Eh Skulptur = 300 Lx, Ev Seitenwand=100 Lx)							
27	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
STRAHLER+WANDEFLUTER (Eh Skulptur = 1000 Lx, Ev Seitenwand=200 Lx)							
28	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036

/263/

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE						
Visueller Modellraum						
Reflexionsgrad ρ_b	Deckenfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ_d	Beleuchtungsstärke Eh(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Seitenwand) in [Lx]	Farbtemperatur
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	150	300	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	50	300	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	550	1000	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	200	1000	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	150	100	4000+Halogen
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	100	100	4000+Halogen
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	450	200	4000+Halogen
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	300	200	4000+Halogen

/264/

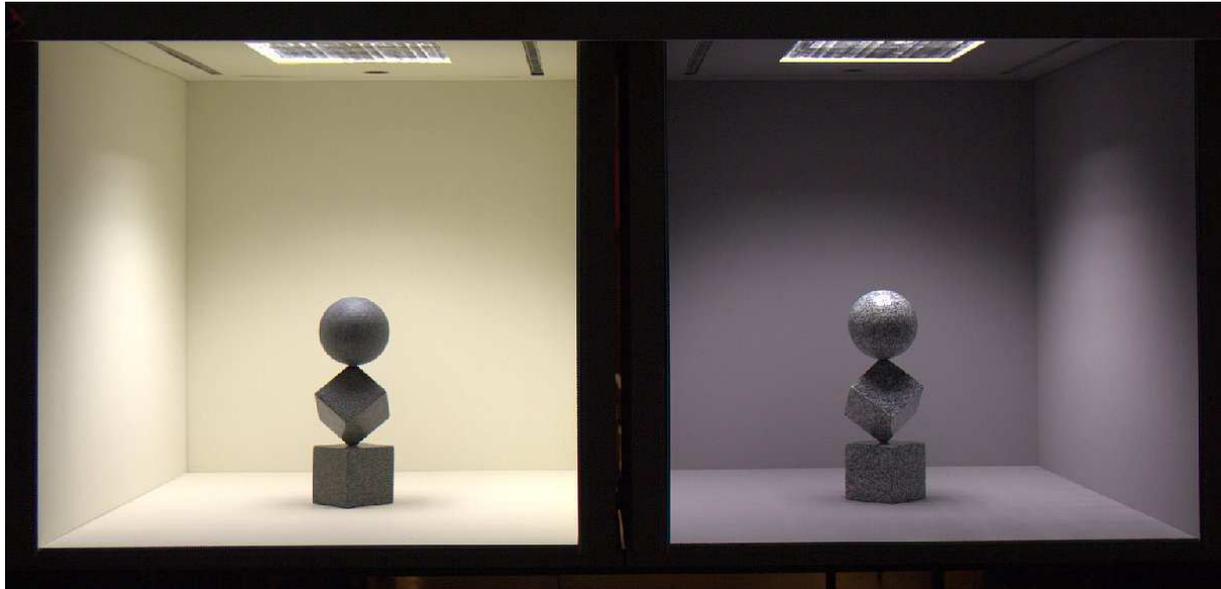
6.1.7.2 Fotografische Dokumentation (25.- 28. Paarvergleich)

SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)

25. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /265/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

platingrau /266/
hellgrau hochglanzpoliert

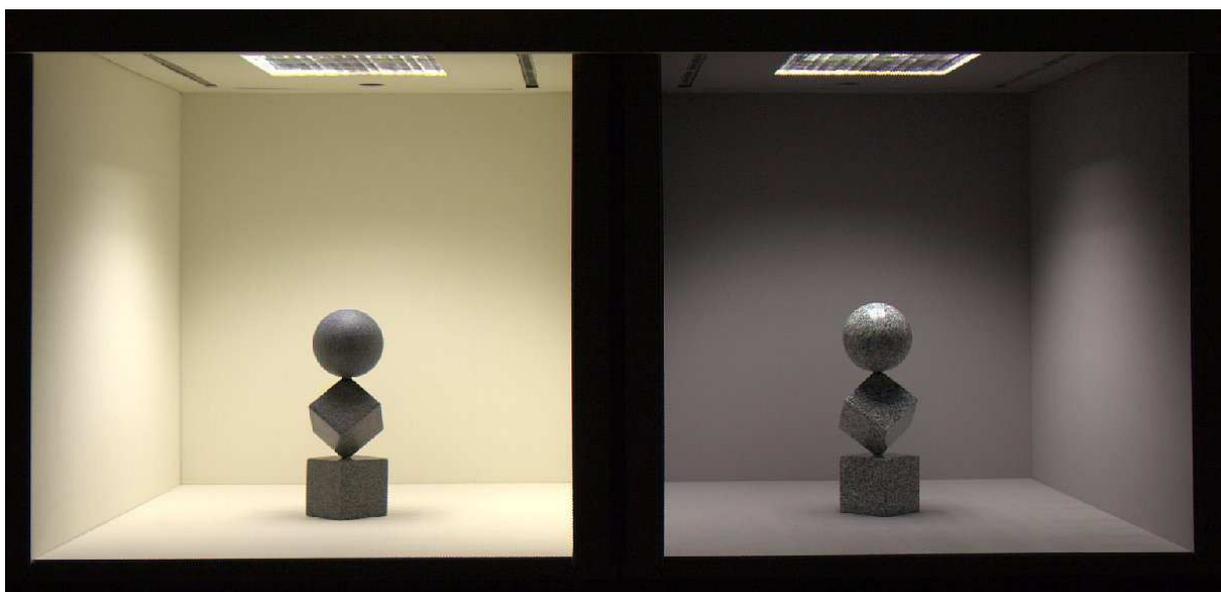


SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)

26. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /267/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

platingrau /268/
hellgrau hochglanzpoliert



STRAHLER + WANDFLUTER (300/100 Lx) 27. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /269/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

platingrau /270/
hellgrau hochglanzpoliert



STRAHLER + WANDFLUTER (1000/200 Lx) 28. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /271/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

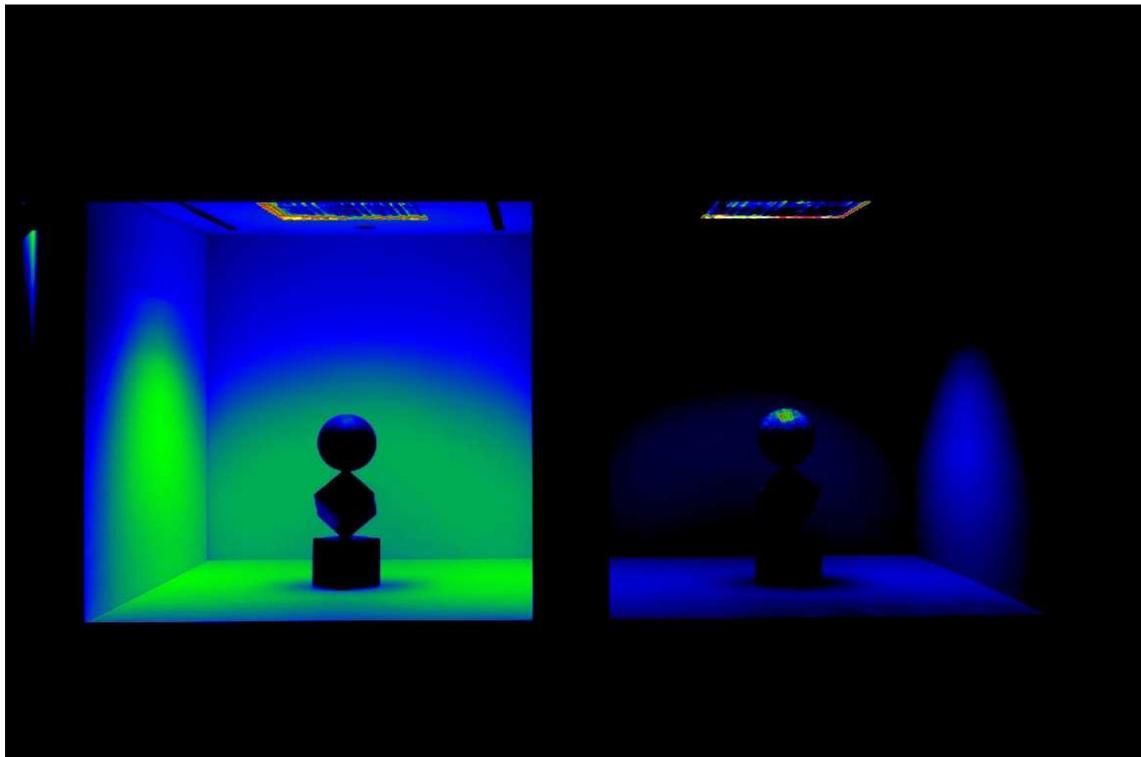
platingrau /272/
hellgrau hochglanzpoliert



6.1.7.3 Leuchtdichteverteilung (25.- 28. Paarvergleich)

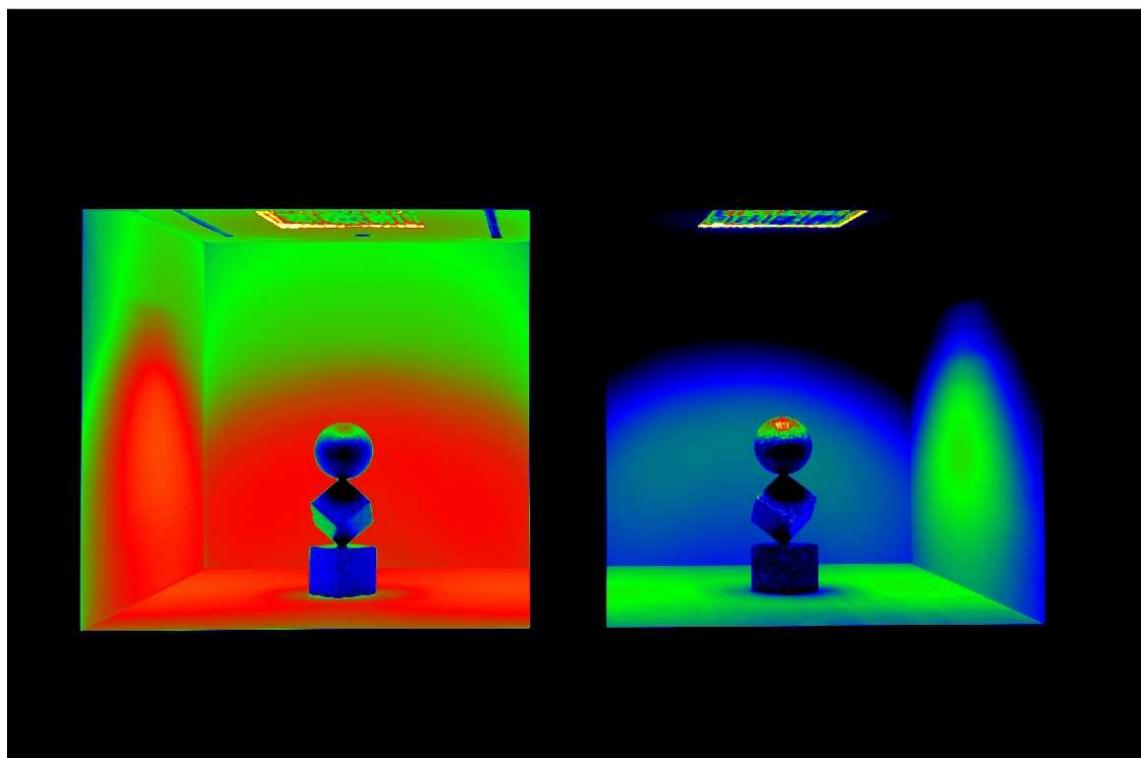
SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)
 INNENRAUM: cremeweiß /273/
 SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

25. Paarvergleich
 platingrau /274/
 hellgrau hochglanzpoliert



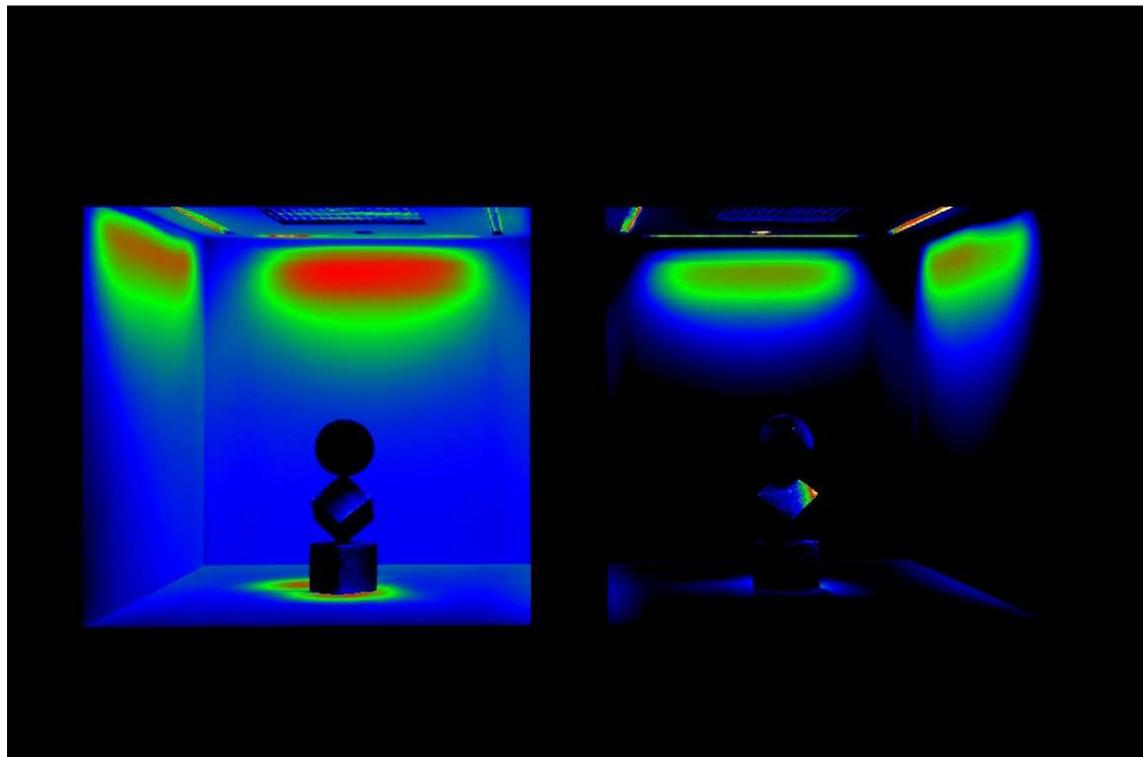
SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)
 INNENRAUM: cremeweiß /275/
 SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

26. Paarvergleich
 platingrau /276/
 hellgrau hochglanzpoliert



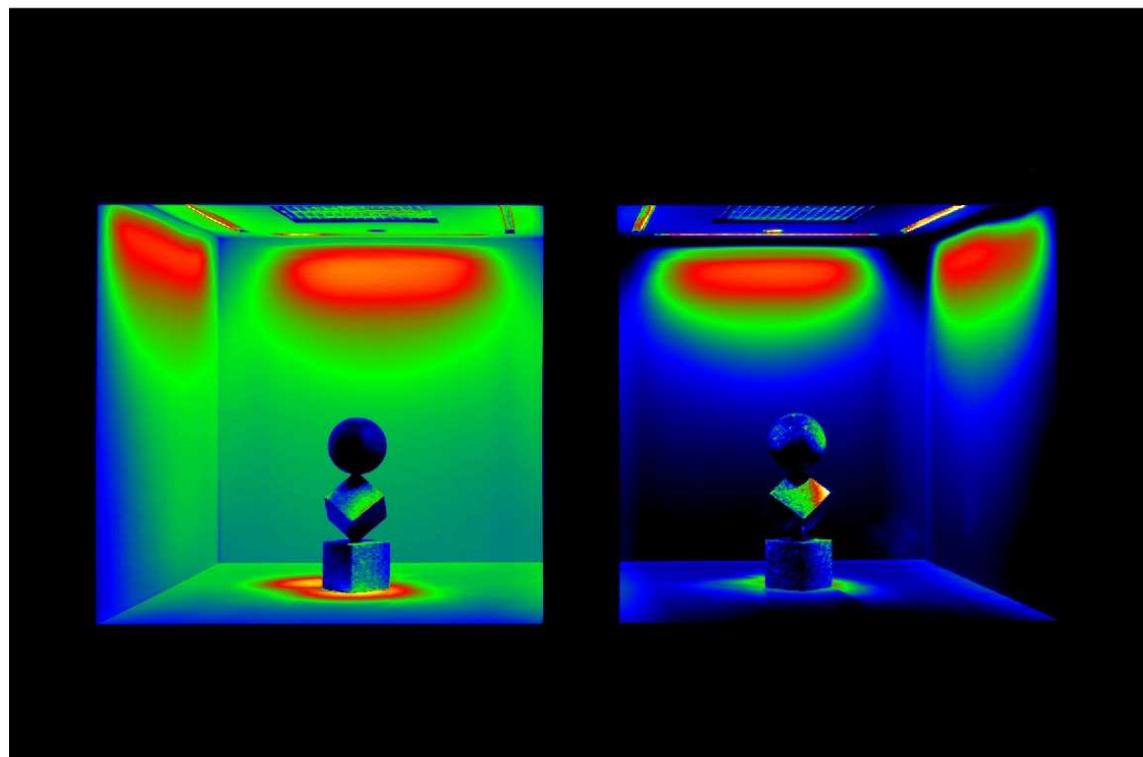
STRAHLER + WANDFLUTER (300/100 Lx)
 INNENRAUM: cremeweiß /277/
 SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

27. Paarvergleich
 platingrau /278/
 hellgrau hochglanzpoliert



STRAHLER + WANDFLUTER (1000/200 Lx)
 INNENRAUM: cremeweiß /279/
 SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

28. Paarvergleich
 platingrau /280/
 hellgrau hochglanzpoliert



6.1.8 Linker Innenraum: cremeweiß + Skulptur: schwarz matt

Rechter Innenraum: tiefschwarz + Skulptur: dunkelgrau hochglanzpoliert

6.1.8.1 Messdatenerfassung (29.- 32. Paarvergleich)

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONstanTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE							
Messreihe	Skulptur				Visueller Modellraum (monochrome Farbgebung der raumbegrenzenden Oberflächen)		
	Material EN 12440	Farbton	Oberfläche	Reflexionsgrad p skulp. [%]	Wandfarbe RAL	Reflexionsgrad p w	Bodenfarbe RAL
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 300 Lx)							
29	Basalt	anthrazit	geschliffen C 120	4,7	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 1000 Lx)							
30	Basalt	anthrazit	geschliffen C 120	4,7	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 300 Lx, Ev Seitenwand=100 Lx)							
31	Basalt	anthrazit	geschliffen C 120	4,7	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 1000 Lx, Ev Seitenwand=200 Lx)							
32	Basalt	anthrazit	geschliffen C 120	4,7	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005

/281/

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONstanTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE						
Visueller Modellraum						
Reflexionsgrad [p b]	Deckenfarbe RAL	Reflexionsgrad [p d]	Beleuchtungsstärke Eh(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Seitenwand) in [Lx]	Farbtemperatur
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	180	340	4000
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	300	15	320	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	650	1200	4000
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	1000	60	1050	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	190	100	4000+Halogen
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	300	85	100	4000+Halogen
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	480	200	4000+Halogen
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	1000	260	200	4000+Halogen

/282/

6.1.8.2 Fotografische Dokumentation (29.- 32. Paarvergleich)

SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)

29. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /283/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

tiefschwarz /284/
dunkelgrau hochglanzpoliert



SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)

30. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /285/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

tiefschwarz /286/
dunkelgrau hochglanzpoliert



STRAHLER + WANDFLUTER (300/100 Lx) 31. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /287/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

tiefschwarz /288/
dunkelgrau hochglanzpoliert



STRAHLER + WANDFLUTER (1000/200 Lx) 32. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /289/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

tiefschwarz /290/
dunkelgrau hochglanzpoliert



6.1.8.3 Leuchtdichteverteilung (29.- 32. Paarvergleich)

SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)

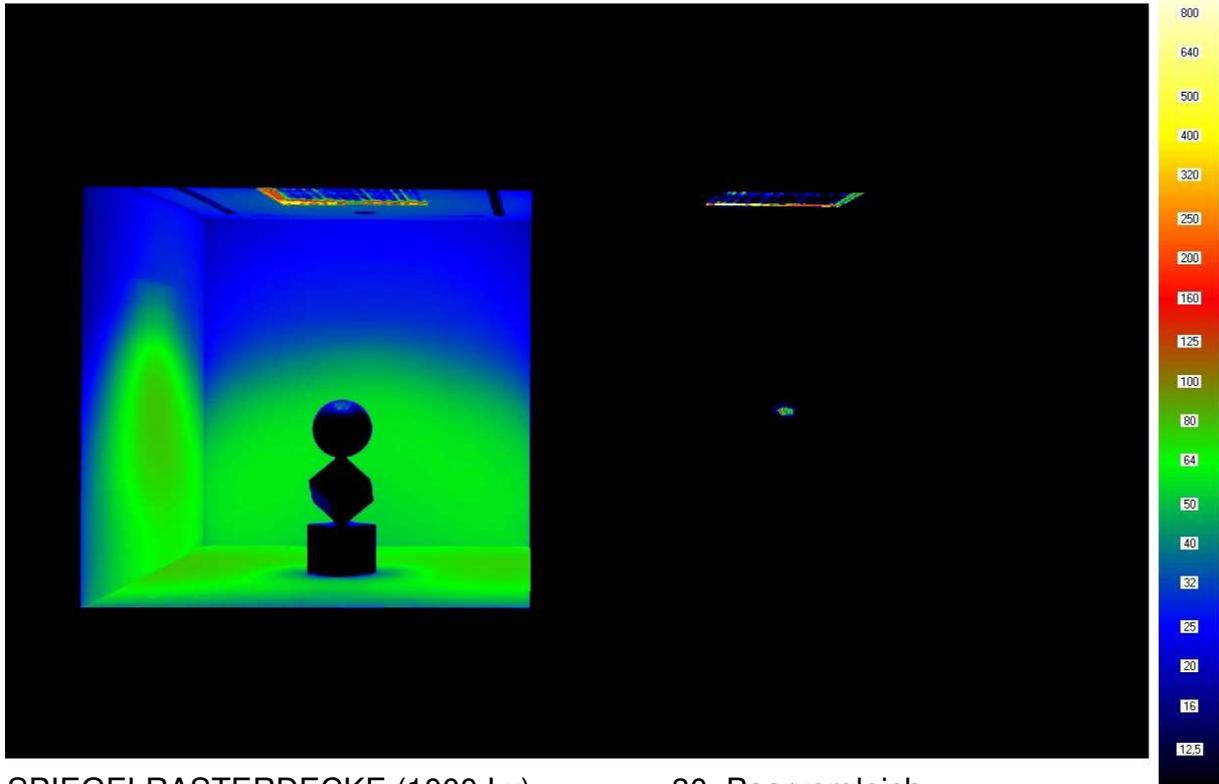
INNENRAUM: cremeweiß /291/

SKULPTUR: schwarz geschliffen

29. Paarvergleich

tiefschwarz /292/

dunkelgrau hochglanzpoliert



SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)

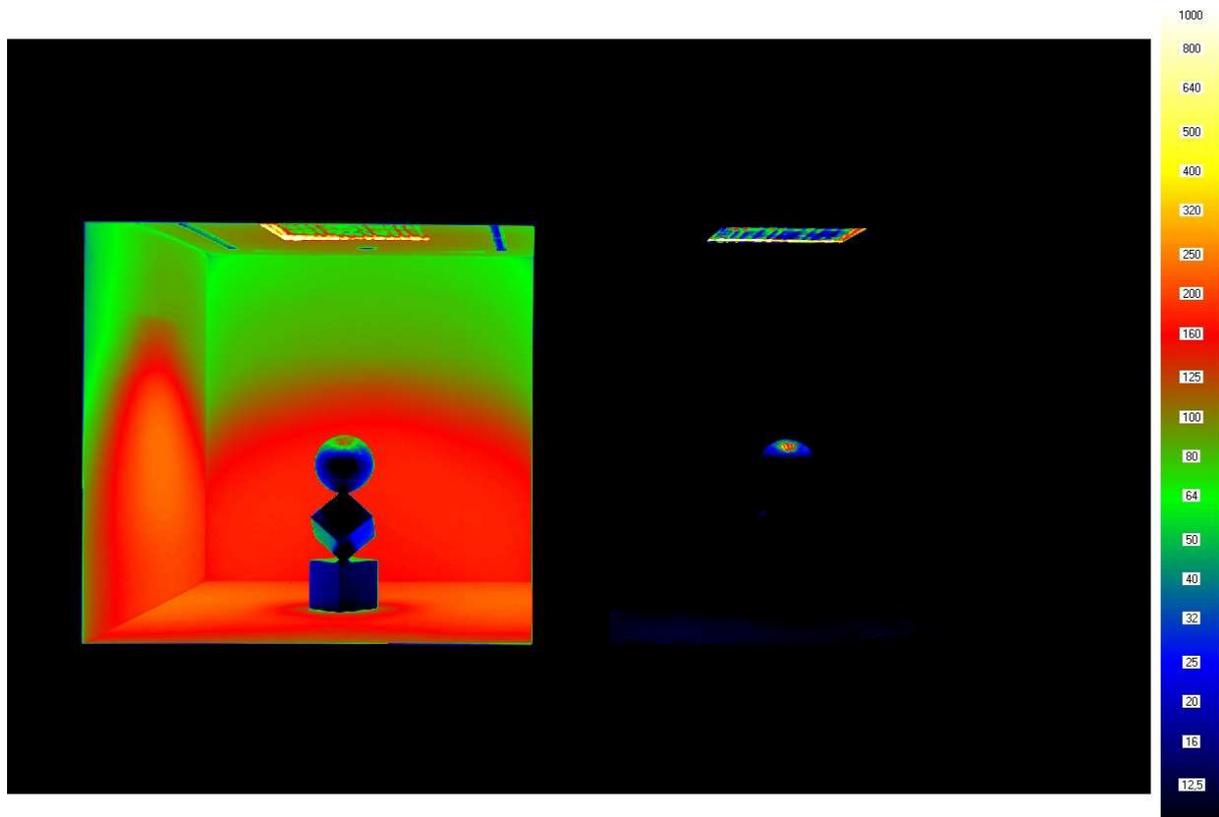
INNENRAUM: cremeweiß /293/

SKULPTUR: schwarz geschliffen

30. Paarvergleich

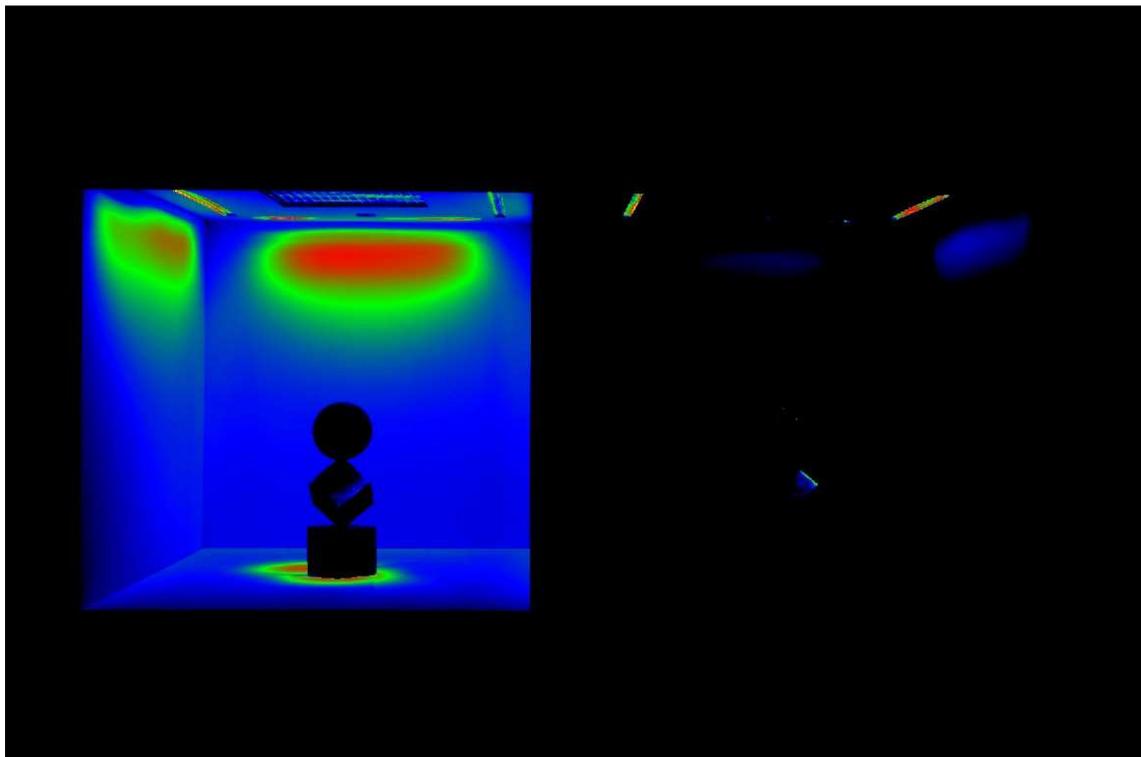
tiefschwarz /294/

dunkelgrau hochglanzpoliert



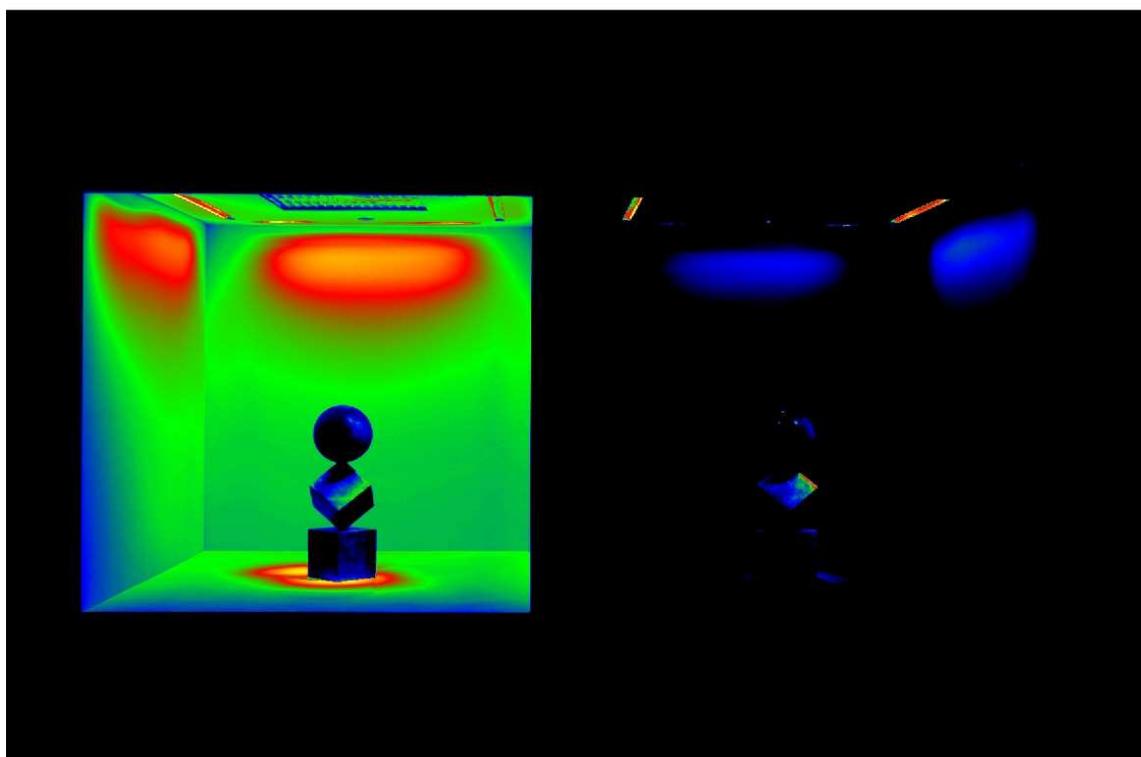
STRAHLER + WANDFLUTER (300/100 Lx)
INNENRAUM: cremeweiß /295/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

31. Paarvergleich
tiefschwarz /296/
dunkelgrau hochglanzpoliert



STRAHLER + WANDFLUTER (1000/200 Lx)
INNENRAUM: cremeweiß /297/
SKULPTUR: schwarz geschliffen

32. Paarvergleich
tiefschwarz /298/
dunkelgrau hochglanzpoliert



SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)

6.1.9 Linker Innenraum: platingrau + Skulptur: hellgrau matt

Rechter Innenraum: tiefschwarz + Skulptur: dunkelgrau matt

6.1.9.1 Messdatenerfassung (33.- 36. Paarvergleich)

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE							
Messreihe	Skulptur				Visueller Modellraum (monochrome Farbgebung der raumbegrenzenden Oberflächen)		
	Material EN 12440	Farbton	Oberfläche	Reflexionsgrad $\rho_{skulp.}$ [%]	Wandfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ_w	Bodenfarbe RAL
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 300 Lx)							
33	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 1000 Lx)							
34	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 300 Lx, Ev Seitenwand=100 Lx)							
35	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 1000 Lx, Ev Seitenwand=200 Lx)							
36	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Dionit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005

/299/

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE						
Visueller Modellraum						
Reflexionsgrad ρ_b	Deckenfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ_d	Beleuchtungsstärke Eh(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Seitenwand) in [Lx]	Farbtemperatur
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	50	250	4000
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	300	20	300	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	190	900	4000
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	1000	60	1030	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	150	100	4000+Halogen
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	300	220	100	4000+Halogen
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	400	200	4000+Halogen
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	1000	350	200	4000+Halogen

/300/

6.1.9.2 Fotografische Dokumentation (33.- 36. Paarvergleich)

SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)

33. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /301/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

tiefschwarz /302/
dunkelgrau geschliffen



SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)

34. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /303/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

tiefschwarz /304/
dunkelgrau geschliffen



STRAHLER + WANDFLUTER (300/100 Lx)

35. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /305/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

tiefschwarz /306/
dunkelgrau geschliffen



STRAHLER + WANDFLUTER (1000/200 Lx)

36. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /307/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

tiefschwarz /308/
dunkelgrau geschliffen



6.1.9.3 Leuchtdichteverteilung (33.- 36. Paarvergleich)

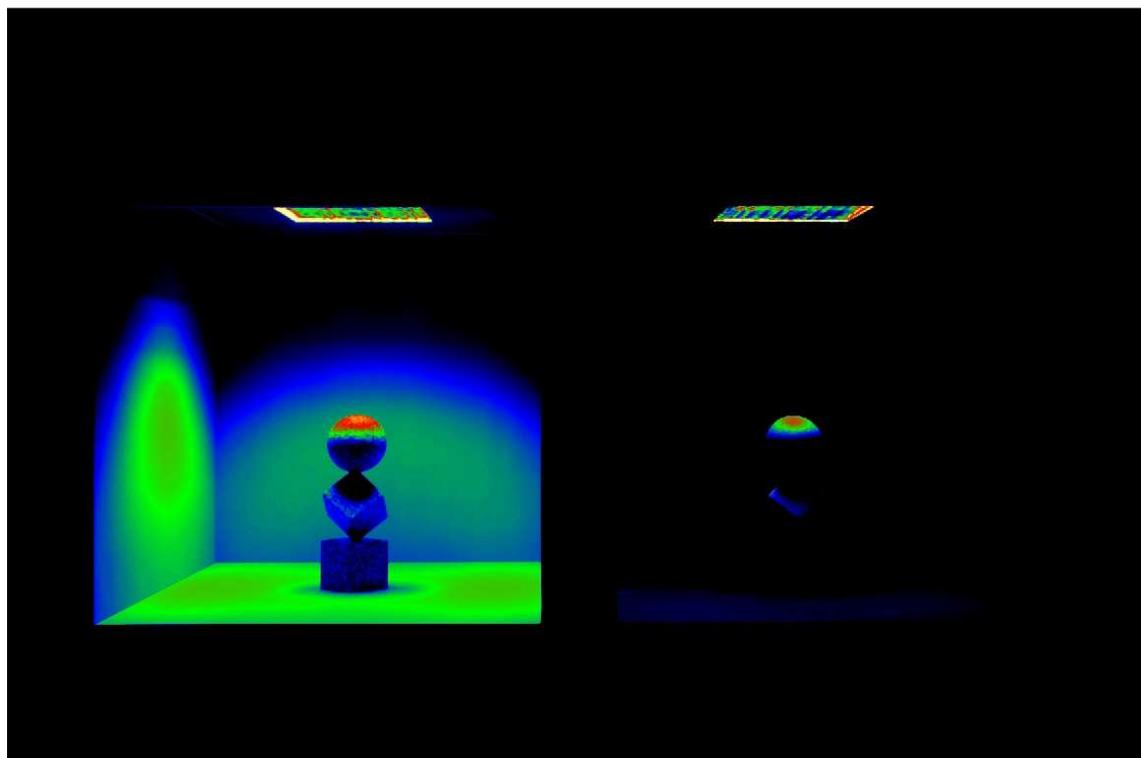
SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)
INNENRAUM: platingrau /309/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

33. Paarvergleich
tiefschwarz /310/
dunkelgrau geschliffen



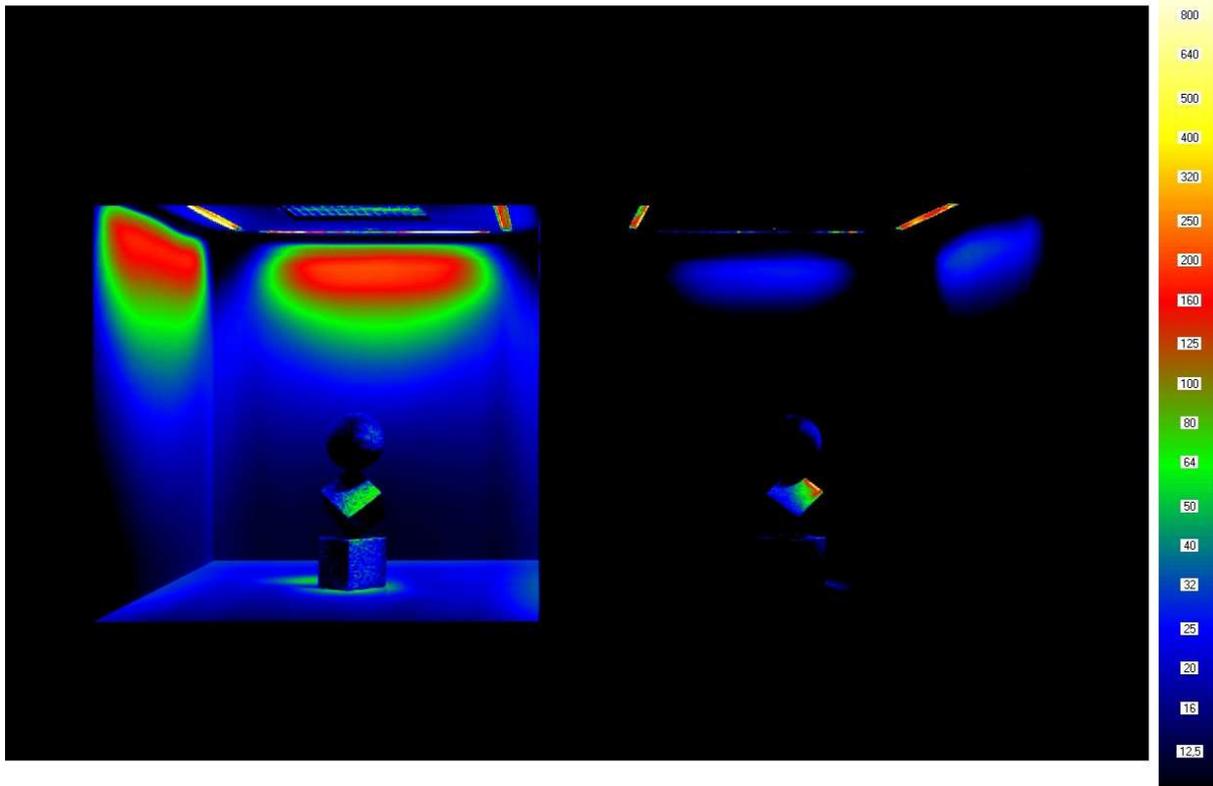
SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)
INNENRAUM: platingrau /311/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

34. Paarvergleich
tiefschwarz /312/
dunkelgrau geschliffen



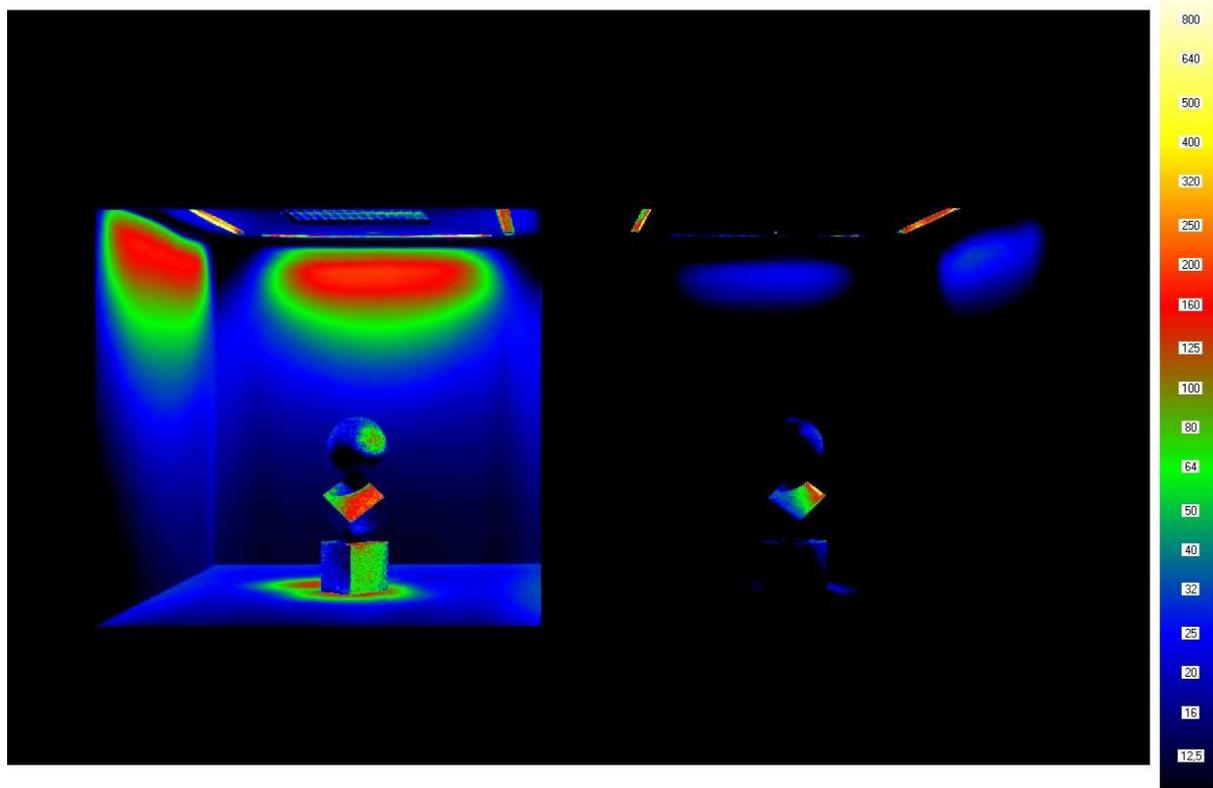
STRAHLER + WANDFLUTER (300/100 Lx)
INNENRAUM: platingrau /313/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

35. Paarvergleich
tiefschwarz /314/
dunkelgrau geschliffen



STRAHLER + WANDFLUTER (1000/200 Lx)
INNENRAUM: platingrau /315/
SKULPTUR: hellgrau geschliffen

36. Paarvergleich
tiefschwarz /316/
dunkelgrau geschliffen



6.1.10 Linker Innenraum: cremeweiß + Skulptur: dunkelgrau matt
 Rechter Innenraum: platingrau + Skulptur: hellgrau matt

6.1.10.1 Messdatenerfassung (37.- 40. Paarvergleich)

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE							
Messreihe	Skulptur				Visueller Modellraum (monochrome Farbgebung der raumbegrenzenden Oberflächen)		
	Material EN 12440	Farbton	Oberfläche	Reflexionsgrad $\rho_{skulp.}$ [%]	Wandfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ_w	Bodenfarbe RAL
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 300 Lx)							
37	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 1000 Lx)							
38	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
STRAHLER+WANDEFLUTER (Eh Skulptur = 300 Lx, Ev Seitenwand=100 Lx)							
39	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
STRAHLER+WANDEFLUTER (Eh Skulptur = 1000 Lx, Ev Seitenwand=200 Lx)							
40	Monzogranit	hellgrau	geschliffen C 120	22,8	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	geschliffen C 120	11,8	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001

/317/

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE						
Visueller Modellraum						
Reflexionsgrad ρ_b	Deckenfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ_d	Beleuchtungsstärke Eh(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Seitenwand) in [Lx]	Farbtemperatur
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	50	300	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	150	250	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	200	1000	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	550	900	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	100	100	4000+Halogen
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	150	100	4000+Halogen
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	350	200	4000+Halogen
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	500	200	4000+Halogen

/318/

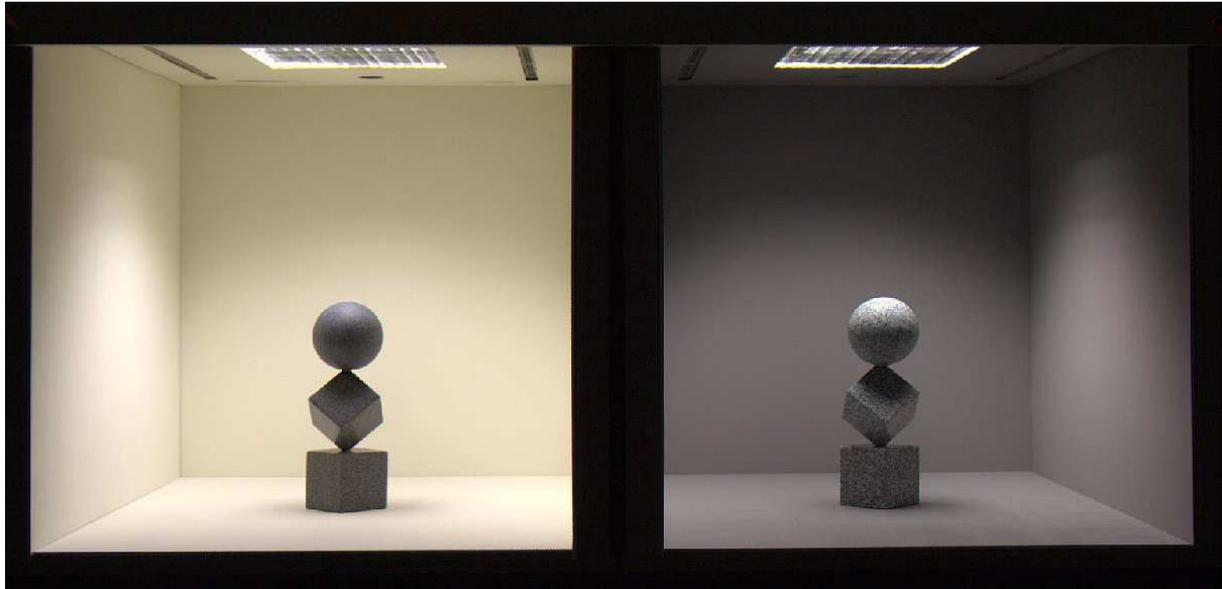
6.1.10.2 Fotografische Dokumentation (37.- 40. Paarvergleich)

SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)

37. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /319/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

platingrau /320/
hellgrau geschliffen

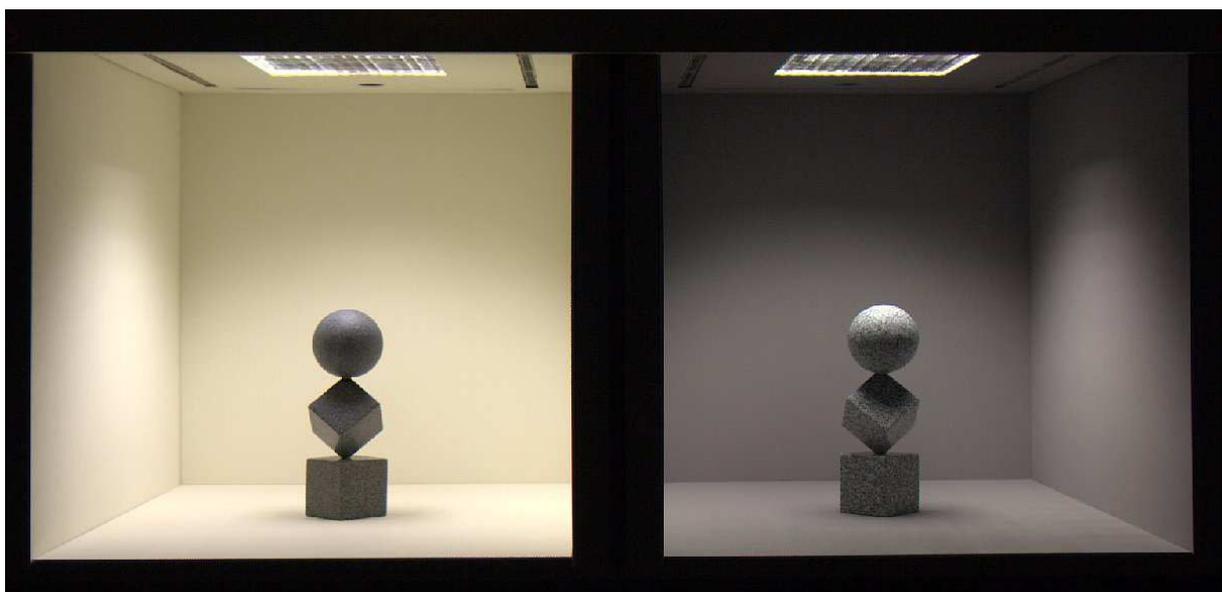


SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)

38. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /321/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

platingrau /322/
hellgrau geschliffen



STRAHLER + WANDFLUTER (300/100 Lx)

39. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /323/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

platingrau /324/
hellgrau geschliffen



STRAHLER + WANDFLUTER (1000/200 Lx)

40. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /325/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

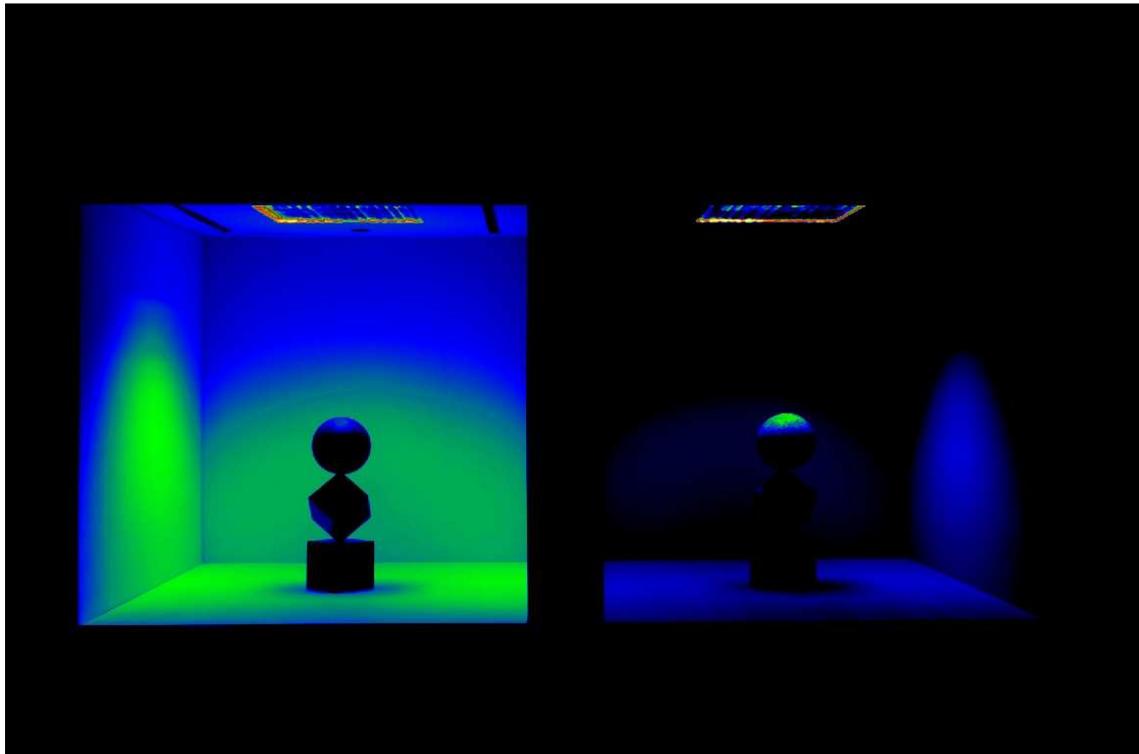
platingrau /326/
hellgrau geschliffen



6.1.10.3 Leuchtdichtevertellung (37.- 40. Paarvergleich)

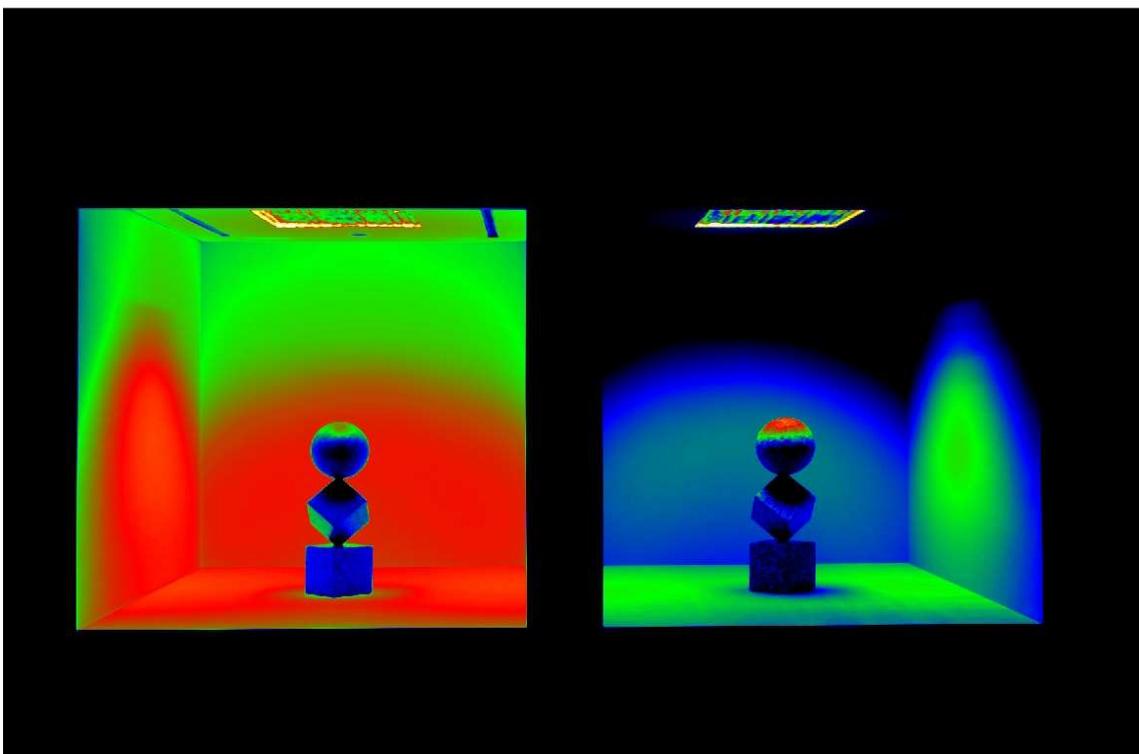
SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)
INNENRAUM: cremeweiß /327/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

37. Paarvergleich
platingrau /328/
hellgrau geschliffen



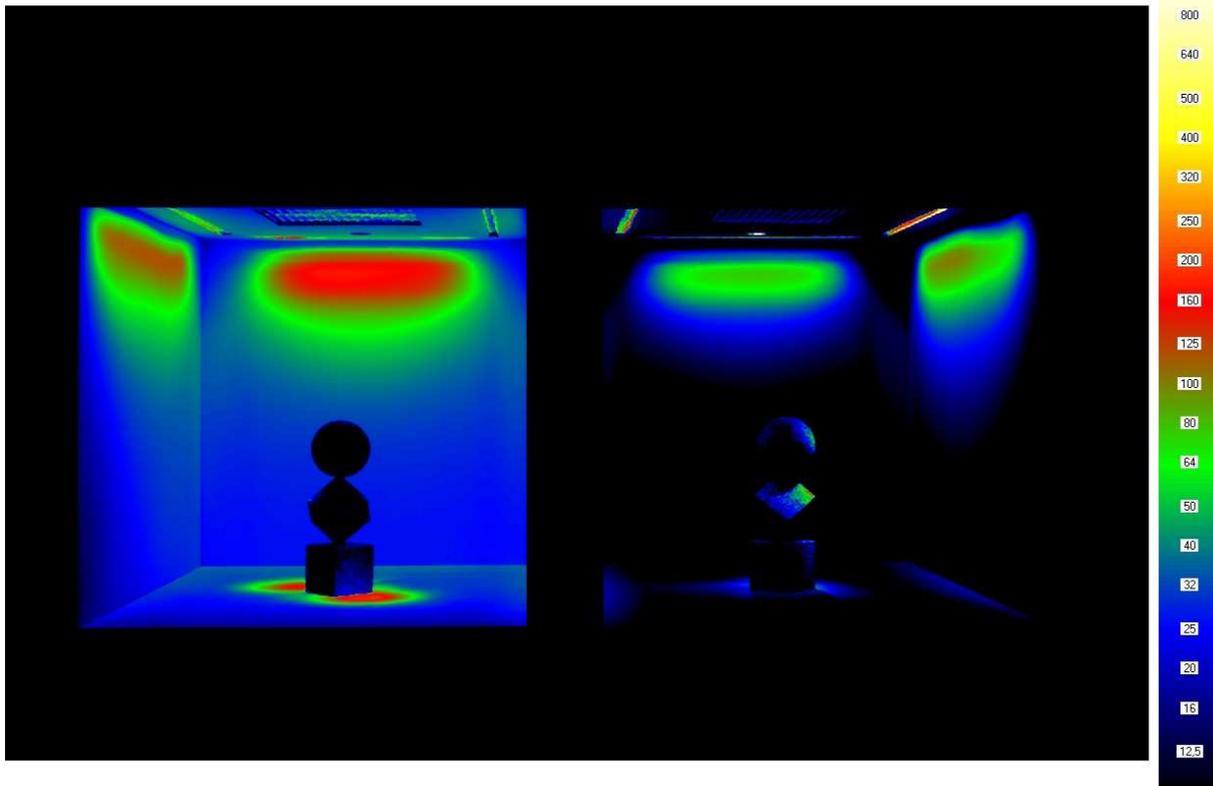
SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)
INNENRAUM: cremeweiß /329/
SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

38. Paarvergleich
platingrau /330/
hellgrau geschliffen



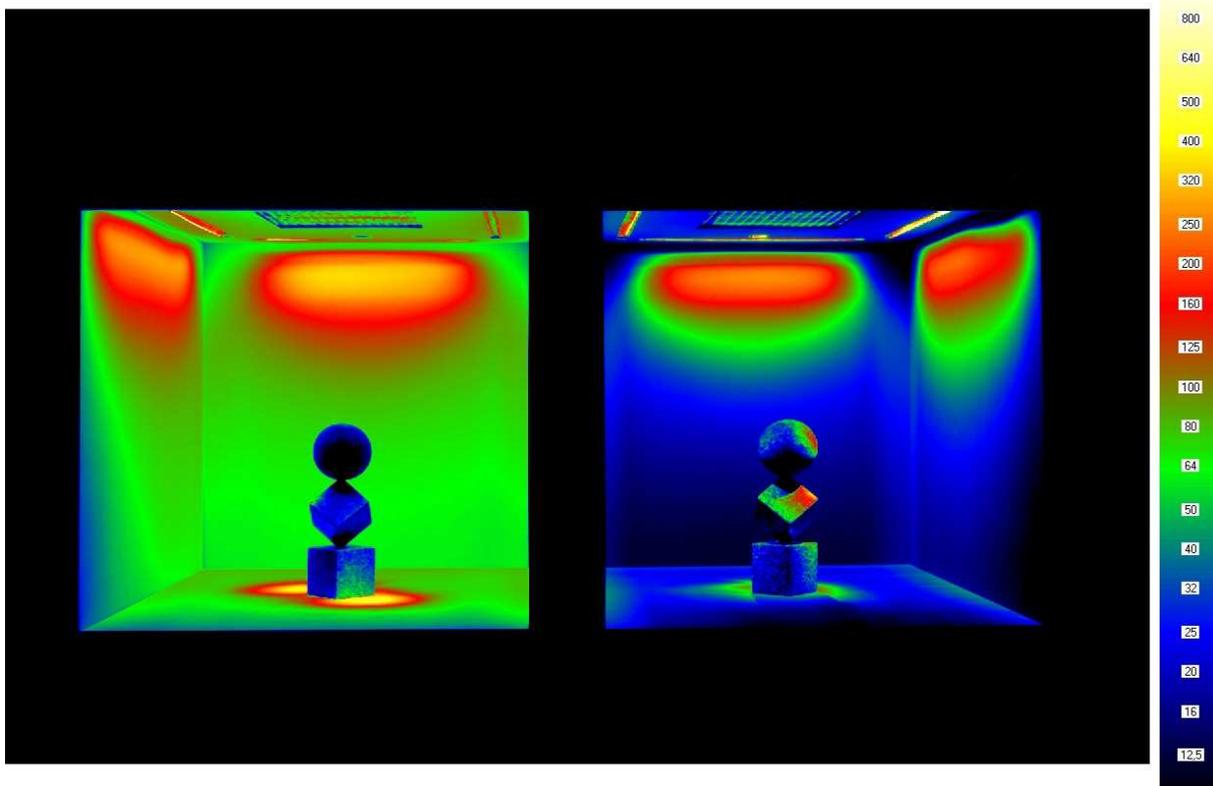
STRAHLER + WANDFLUTER (300/100 Lx)
 INNENRAUM: cremeweiß /331/
 SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

39. Paarvergleich
 platingrau /332/
 hellgrau geschliffen



STRAHLER + WANDFLUTER (1000/200 Lx)
 INNENRAUM: cremeweiß /333/
 SKULPTUR: dunkelgrau geschliffen

40. Paarvergleich
 platingrau /334/
 hellgrau geschliffen



6.1.11 Linker Innenraum: platingrau + Skulptur: hellgrau hochglanzpoliert
 Rechter Innenraum: tiefschwarz + Skulptur: dunkelgrau hochglanzpoliert

6.1.11.1 Messdatenerfassung (41.- 44. Paarvergleich)

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE							
Messreihe	Skulptur				Visueller Modellraum (monochrome Farbgebung der raumbegrenzenden Oberflächen)		
	Material EN 12440	Farbton	Oberfläche	Reflexionsgrad ρ skulp. [%]	Wandfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ w	Bodenfarbe RAL
41	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 1000 Lx)							
42	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 300 Lx, Ev Seitenwand=100 Lx)							
43	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005
STRAHLER+WANDFLUTER (Eh Skulptur = 1000 Lx, Ev Seitenwand=200 Lx)							
44	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	tiefschwarz RAL 9005	0,04	tiefschwarz RAL 9005

/335/

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE						
Visueller Modellraum						
Reflexionsgrad [ρ b]	Deckenfarbe RAL	Reflexionsgrad [ρ d]	Beleuchtungsstärke Eh(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Seitenwand) in [Lx]	Farbtemperatur
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	50	250	4000
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	300	20	300	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	200	900	4000
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	1000	60	1030	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	150	100	4000+Halogen
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	300	100	100	4000+Halogen
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	450	200	4000+Halogen
0,04	tiefschwarz RAL 9005	0,04	1000	300	200	4000+Halogen

/336/

6.1.11.2 Fotografische Dokumentation (41.- 44. Paarvergleich)

SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)

41. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /337/
SKULPTUR: hellgrau hochglanzpoliert

tiefschwarz /338/
dunkelgrau hochglanzpoliert



SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)

42. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /339/
SKULPTUR: hellgrau hochglanzpoliert

tiefschwarz /340/
dunkelgrau hochglanzpoliert



STRAHLER + WANDFLUTER (300/100 Lx)

43. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /341/
SKULPTUR: hellgrau hochglanzpoliert

tiefschwarz /342/
dunkelgrau hochglanzpoliert



STRAHLER + WANDFLUTER (1000/200 Lx)

44. Paarvergleich

INNENRAUM: platingrau /343/
SKULPTUR: hellgrau hochglanzpoliert

tiefschwarz /344/
dunkelgrau hochglanzpoliert



6.1.11.3 Leuchtdichtevertellung (41.- 44. Paarvergleich)

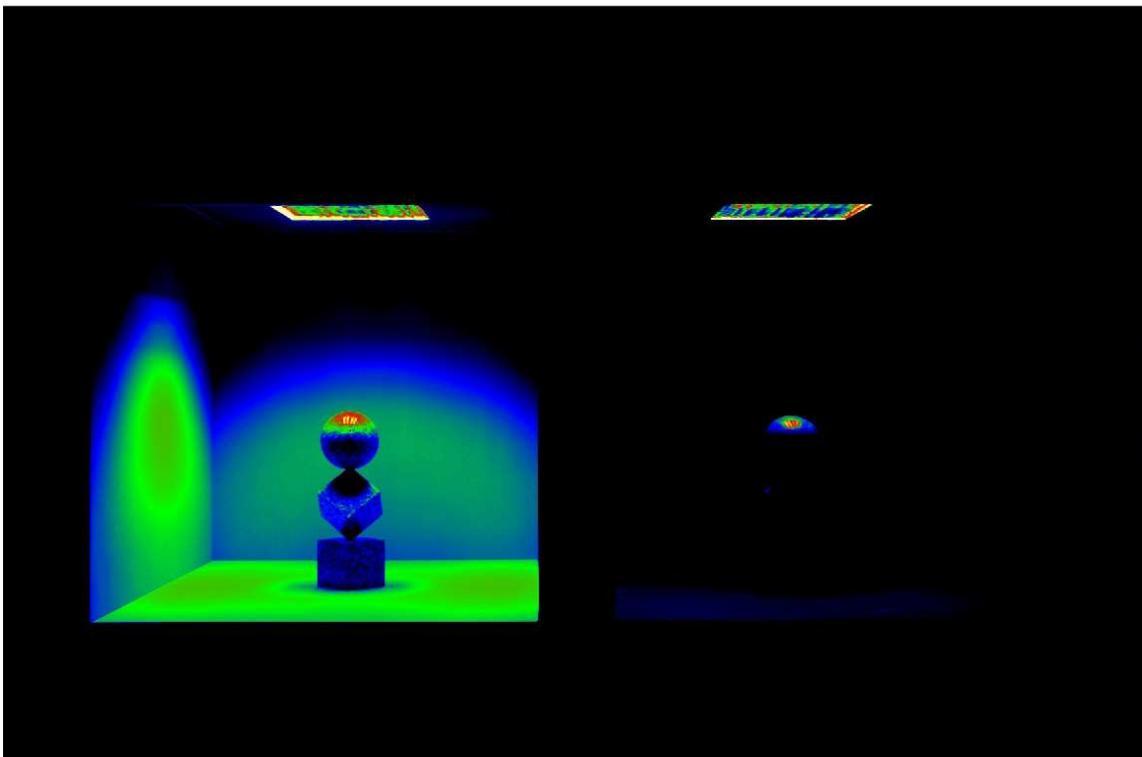
SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)
INNENRAUM: platingrau /345/
SKULPTUR: hellgrau hochglanzpoliert

41. Visuelle Modellanordnung
tiefschwarz /346/
dunkelgrau hochglanzpoliert



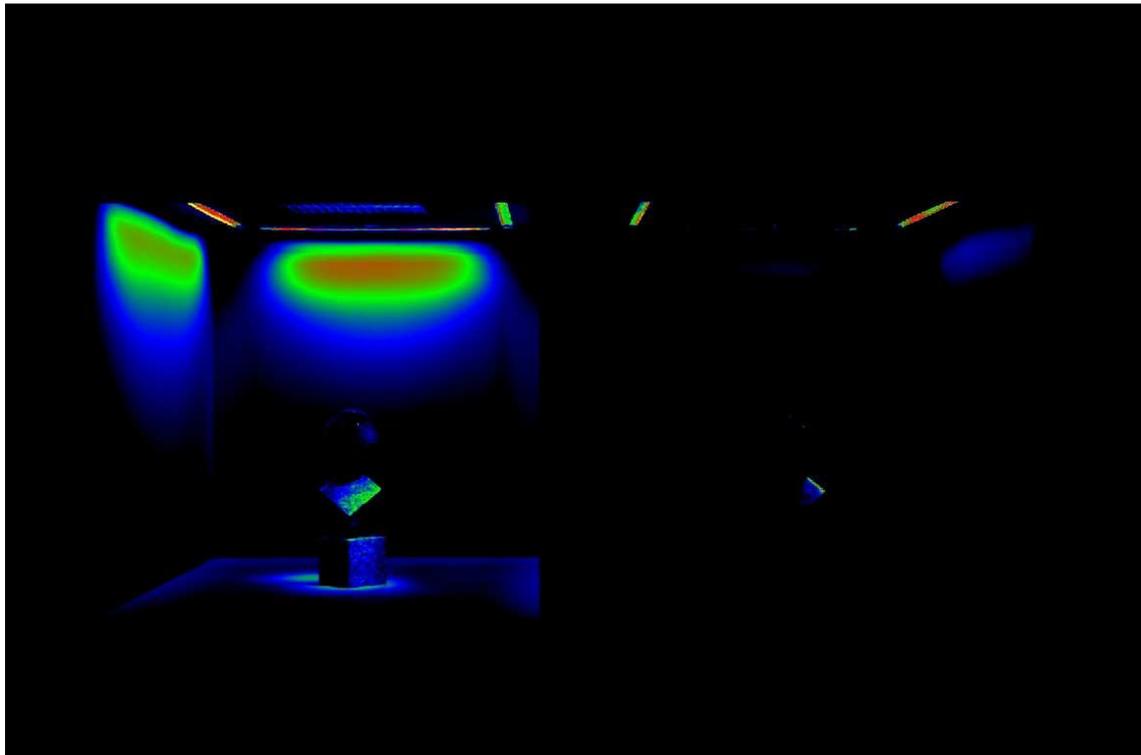
SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)
INNENRAUM: platingrau /347/
SKULPTUR: hellgrau hochglanzpoliert

42. Paarvergleich
tiefschwarz /348/
dunkelgrau hochglanzpoliert



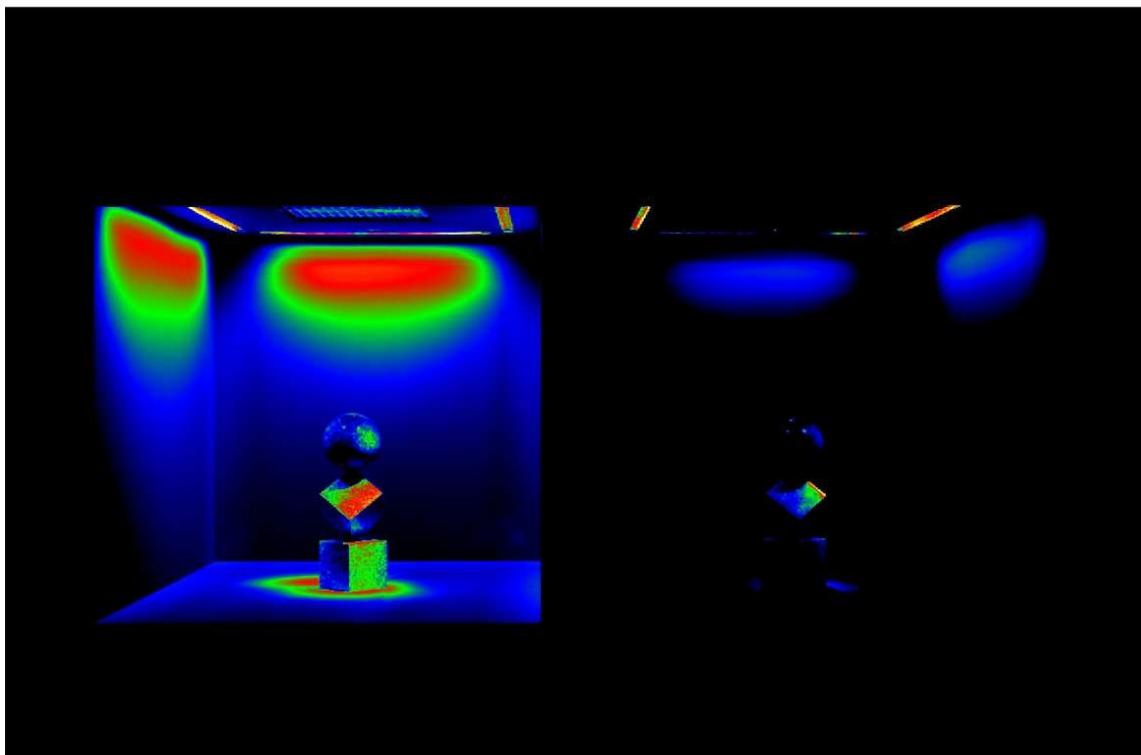
STRAHLER + WANDFLUTER (300/100 Lx)
 INNENRAUM: platingrau /349/
 SKULPTUR: hellgrau hochglanzpoliert

43. Paarvergleich
 tiefschwarz /350/
 dunkelgrau hochglanzpoliert



STRAHLER + WANDFLUTER (1000/200 Lx)
 INNENRAUM: platingrau /351/
 SKULPTUR: hellgrau hochglanzpoliert

44. Paarvergleich
 tiefschwarz /352/
 dunkelgrau hochglanzpoliert



6.1.12 Linker Innenraum: cremeweiß + Skulptur: dunkelgrau hochglanzpoliert
 Rechter Innenraum: platingrau + Skulptur: hellgrau hochglanzpoliert

6.1.12.1 Messdatenerfassung (45.- 48. Paarvergleich)

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE							
Messreihe	Skulptur				Visueller Modellraum (monochrome Farbgebung der raumbegrenzenden Oberflächen)		
	Material EN 12440	Farbton	Oberfläche	Reflexionsgrad $\rho_{skulp.}$ [%]	Wandfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ_w	Bodenfarbe RAL
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 300 Lx)							
45	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
SPIEGELRASTERDECKE (Eh Skulptur = 1000 Lx)							
46	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
STRAHLER+WANDEFLUTER (Eh Skulptur = 300 Lx, Ev Seitenwand=100 Lx)							
47	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001
STRAHLER+WANDEFLUTER (Eh Skulptur = 1000 Lx, Ev Seitenwand=200 Lx)							
48	Monzogranit	hellgrau	hochglanzpoliert	25,2	platingrau RAL 7036	0,32	platingrau RAL 7036
	Diorit/Gabbro	dunkelgrau	hochglanzpoliert	14,1	cremeweiß RAL 9001	0,77	cremeweiß RAL 9001

/353/

LICHTTECHNISCHE UNTERSUCHUNGSREIHEN MIT KONSTANTER BELEUCHTUNGSSTÄRKE						
Visueller Modellraum						
Reflexionsgrad ρ_b	Deckenfarbe RAL	Reflexionsgrad ρ_d	Beleuchtungsstärke Eh(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Skulp.) in [Lx]	Beleuchtungsstärke Ev(Seitenwand) in [Lx]	Farbtemperatur
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	50	150	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	150	300	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	200	1000	4000
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	600	1000	4000
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	300	100	100	4000+Halogen
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	300	150	100	4000+Halogen
0,32	platingrau RAL 7036	0,32	1000	300	200	4000+Halogen
0,77	cremeweiß RAL 9001	0,77	1000	500	200	4000+Halogen

/354/

6.1.12.2 Fotografische Dokumentation (45.- 48. Paarvergleich)

SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)

45. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /355/
SKULPTUR: dunkelgrau hochglanzpoliert

platingrau /356/
hellgrau hochglanzpoliert

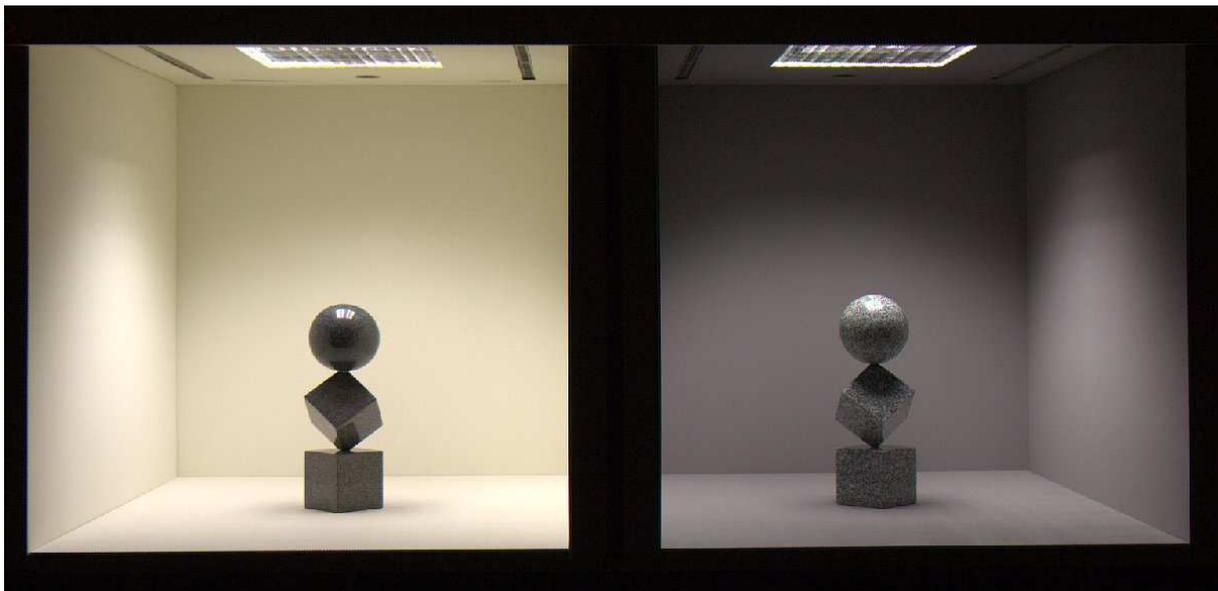


SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)

46. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /357/
SKULPTUR: dunkelgrau hochglanzpoliert

platingrau /358/
hellgrau hochglanzpoliert



STRAHLER + WANDFLUTER (300/100 Lx)

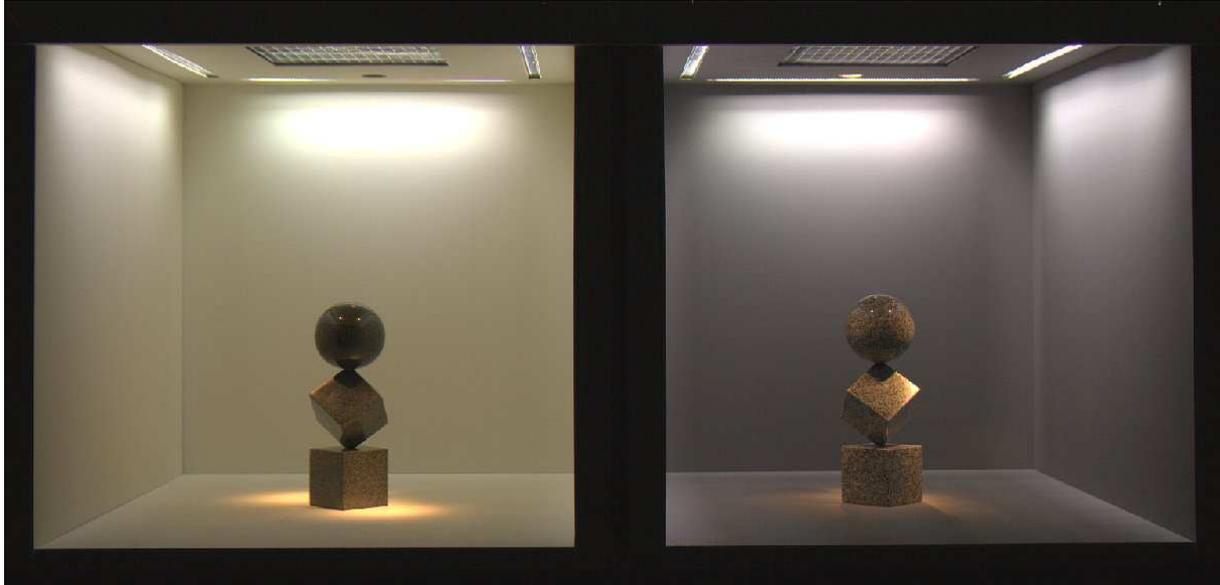
47. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /359/

SKULPTUR: dunkelgrau hochglanzpoliert

platingrau /360/

hellgrau hochglanzpoliert



STRAHLER + WANDFLUTER (1000/200 Lx)

48. Paarvergleich

INNENRAUM: cremeweiß /361/

SKULPTUR: dunkelgrau hochglanzpoliert

platingrau /362/

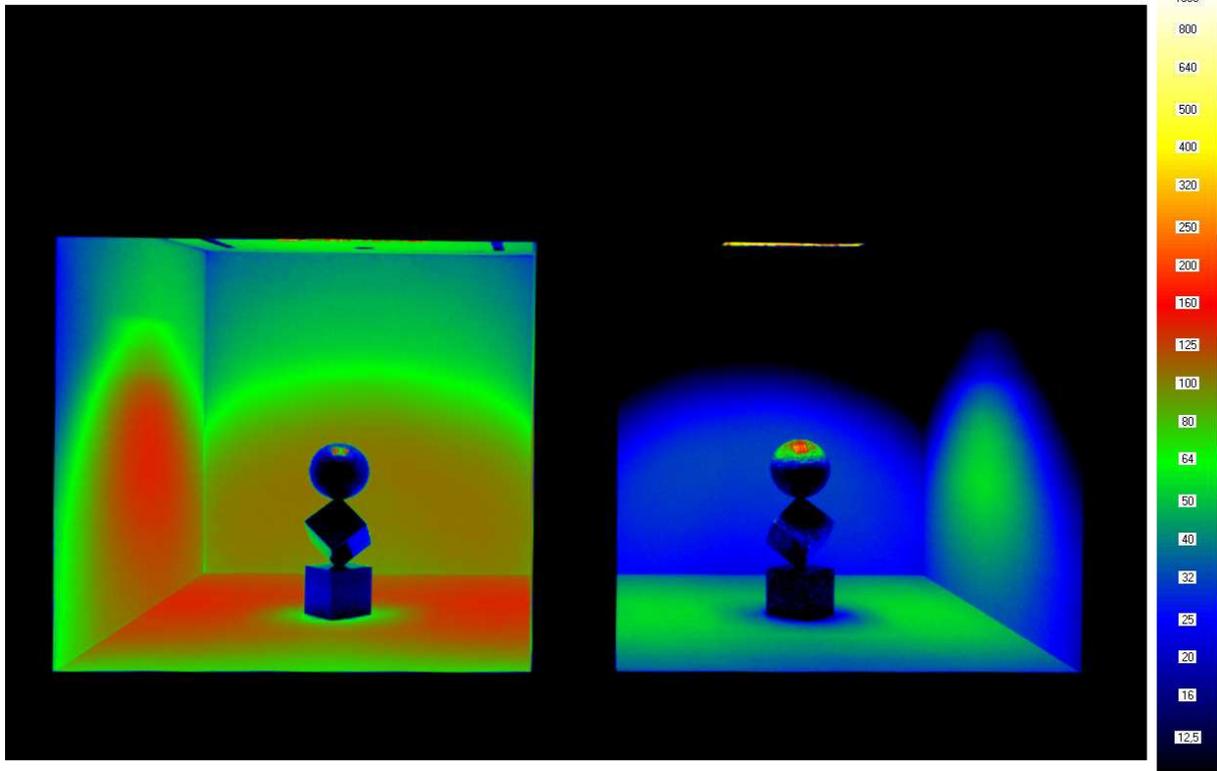
hellgrau hochglanzpoliert



6.1.12.3 Leuchtdichtevertelung (45.- 48. Paarvergleich)

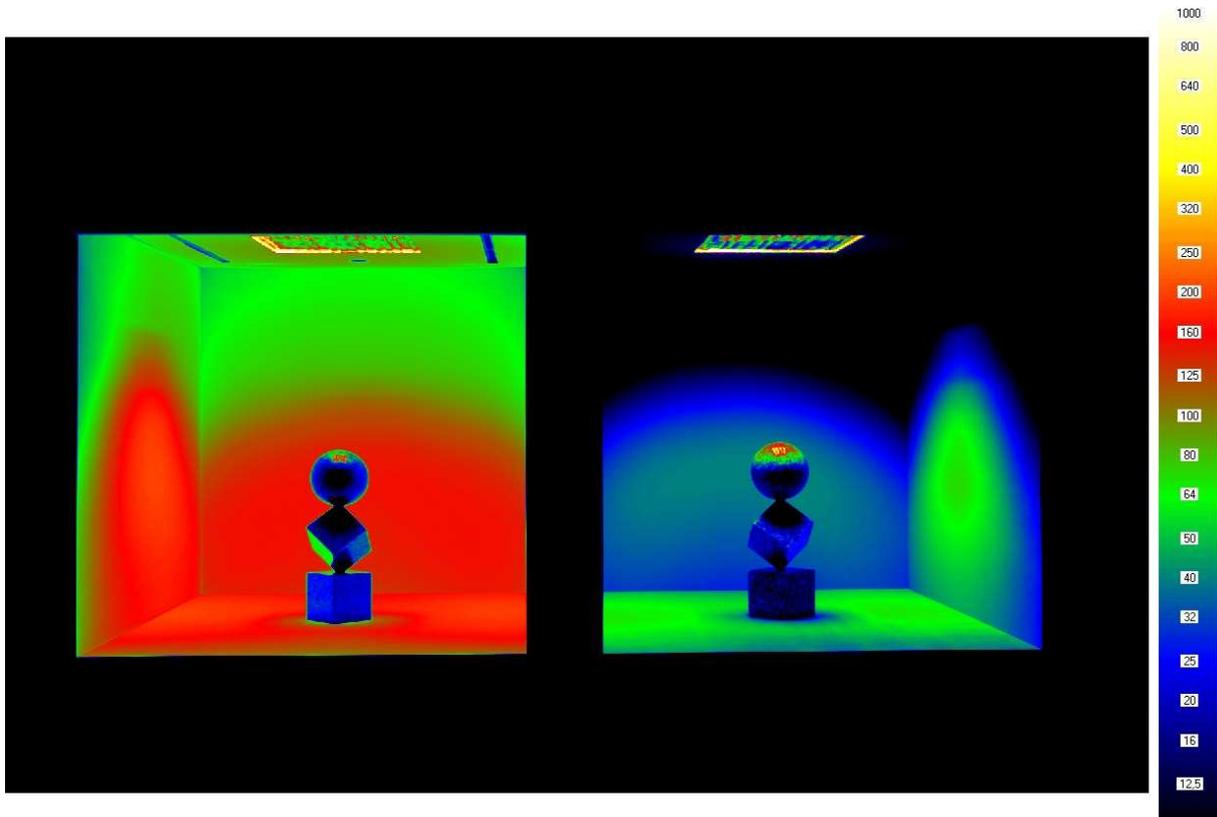
SPIEGELRASTERDECKE (300 Lx)
INNENRAUM: cremeweiß /363/
SKULPTUR: dunkelgrau hochglanzpoliert

45. Paarvergleich
platingrau /364/
hellgrau hochglanzpoliert



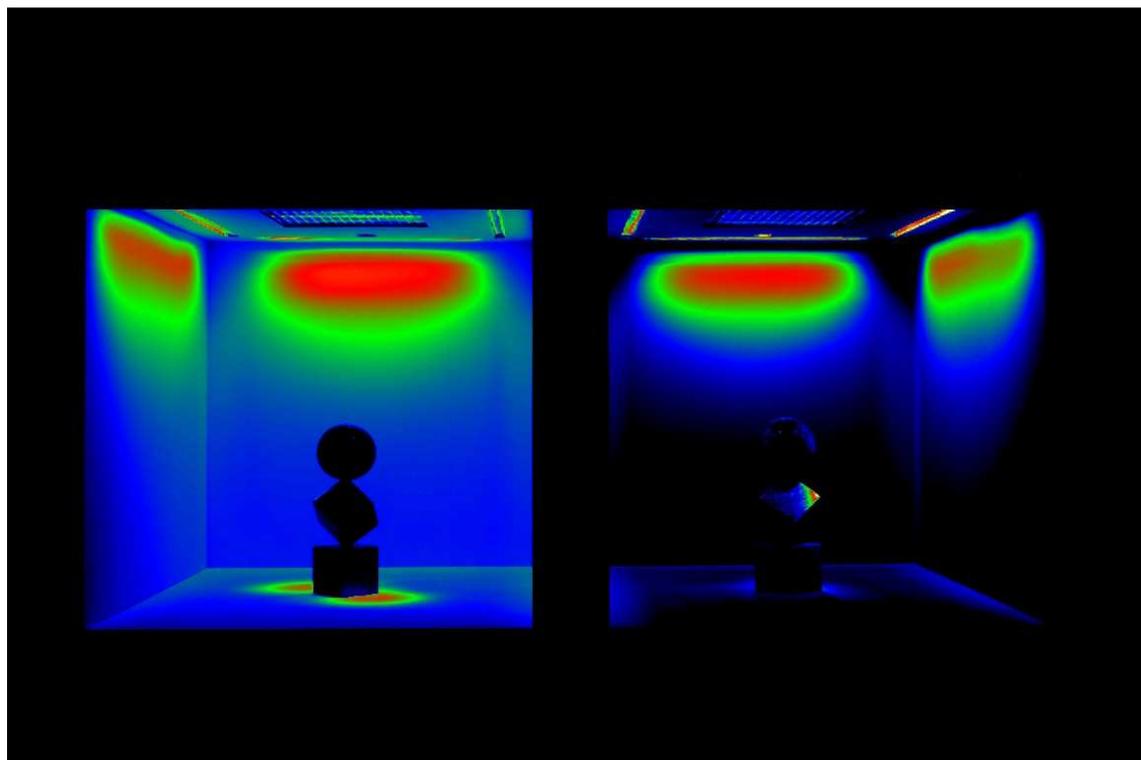
SPIEGELRASTERDECKE (1000 Lx)
INNENRAUM: cremeweiß /365/
SKULPTUR: dunkelgrau hochglanzpoliert

46. Paarvergleich
platingrau /366/
hellgrau hochglanzpoliert



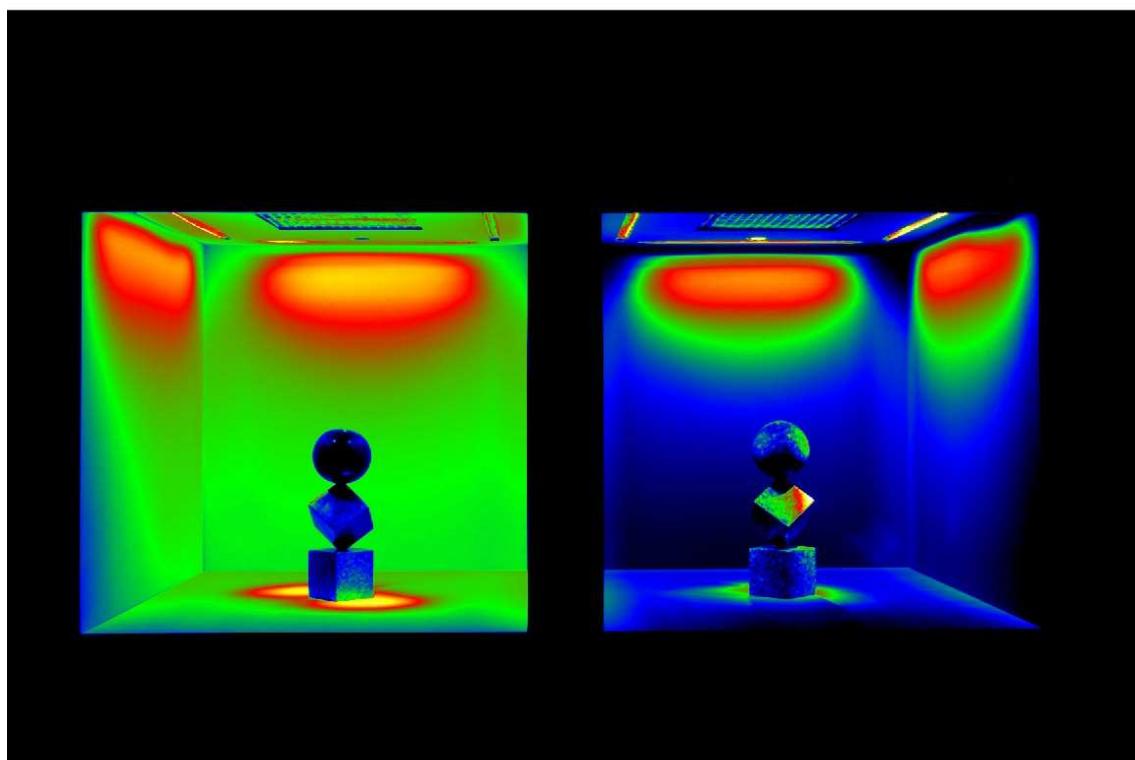
STRAHLER + WANDFLUTER (300/100 Lx)
 INNENRAUM: cremeweiß /367/
 SKULPTUR: dunkelgrau hochglanzpoliert

47. Paarvergleich
 platingrau /368/
 hellgrau hochglanzpoliert



STRAHLER + WANDFLUTER (1000/200 Lx)
 INNENRAUM: cremeweiß /369/
 SKULPTUR: dunkelgrau hochglanzpoliert

48. Paarvergleich
 platingrau /370/
 hellgrau hochglanzpoliert



7. Subjektive Bewertung der jeweiligen Licht- und Raumszenarien durch eine Gruppe von 30 Probanden

7.1 Durchführung der Probandenbefragung

Alle Untersuchungsreihen werden im Bartenbach Lichtlabor in Aldrans bei Innsbruck durchgeführt. Ein wichtiger Bestandteil in der Bewertung der zur lichttechnischen Untersuchung vorgesehenen visuellen Innenraumanordnungen, ist die Befragung und die damit verbundene Beurteilung der jeweiligen lichttechnischen Raumszenarien durch eine Gruppe von Probanden.

Hierbei werden den zuvor gewonnenen objektiven Messgrößen im Rahmen einer visuellen Beobachtung durch eine Gruppe von Probanden den hierbei gesammelten subjektiven Eindrücken gegenübergestellt. Für die gesamte Untersuchungsreihe sind 48 direkte Paarvergleiche vorgesehen. Die Grundlage der visuellen Bewertung bildet ein individuell erstellter Fragebogen auf Basis eines semantischen Differentials. Hierbei hat der Proband die Möglichkeit, die ihm präsentierten visuellen Raumszenarien anhand von zehn zur Verfügung stehenden Adjektiven einer Bewertung zu unterziehen. Die Auswahl der verschiedenen Adjektive erlaubt eine schnelle und ebenso eindeutige Beurteilung einer vorgegebenen visuellen Situation. So beinhalten die Adjektive klare und unmissverständliche Befragungsinhalte. Jeder einzelne Proband soll im Rahmen der Aufgabenstellung so wenig wie möglich in seiner Entscheidung abgelenkt werden.

So besteht z.B. die Möglichkeit, bei einer Fragestellung, die auf die Plastizität eines visuellen Erscheinungsbildes ausgerichtet ist, Modell „A“, Modell „B“ oder „beide“ anzugeben. Da jeder Proband einen eigenen Fragebogen erhält, ist eine gegenseitige Beeinflussung der Probanden untereinander auszuschließen.

Die Gesamtanzahl der eingesetzten Probanden wird auf 30 Personen festgelegt. Jeder Proband beurteilt alle 48 visuellen Innenraumsituationen anhand eines Fragebogens mit je 10 zur Verfügung stehenden Adjektiven. Die Untersuchungsreihen führen somit zu einer Gesamtanzahl von 14.400 abgegebenen subjektiven Bewertungen.

Unabhängig von den gewonnenen objektiven Messdaten werden die Einschätzungen und Bewertungen der Probanden Erkenntnisse darüber liefern, inwieweit die zur Untersuchung anstehenden Innenraumszenarien bestimmte visuelle Eigenschaften erfüllen. Die verschiedenen Adjektive hinterfragen hierbei insbesondere die für eine hochwertige visuelle Bewertung einer Skulptur durch einen Betrachter wichtigen Kriterien.

Anhand der gewonnenen Erkenntnisse wird es im Anschluss möglich sein, ausstellende Skulpturen schon im Vorfeld unter besonders optimalen visuellen Bedingungen einem Publikum zu präsentieren.

Auf der Folgeseite befindet sich ein Exemplar der zum Einsatz kommenden Fragebögen. Der abgebildete Fragebogen ist die Bewertungsgrundlage für die erste visuelle Modellanordnung.

7.2 Der Fragebogen als Bewertungsgrundlage

FRAGEBOGEN

Datum: _____ Name des Probanden: _____

Subjektive visuelle Bewertung von 48 ausgewählten Innenraumsituationen. Bitte beurteilen Sie die Ihnen präsentierten Innenraumsituationen anhand der nachfolgend aufgeführten 10 Adjektive.

(Bitte kreuzen Sie das betreffende Feld an. Bitte nur ein Feld ankreuzen)

1. Visuelle Modellanordnung

Welche Innenraumsituation empfinden Sie *heller*?

Linker Innenraum Rechter Innenraum Beide Innenräume gleich

Welche Innenraumsituation empfinden Sie *gleichmäßiger*?

Linker Innenraum Rechter Innenraum Beide Innenräume gleich

Welche Innenraumsituation empfinden Sie *plastischer*?

Linken Innenraum Rechten Innenraum Beide Innenräume gleich

Welche Innenraumsituation empfinden Sie *angenehmer*?

Linken Innenraum Rechten Innenraum Beide Innenräume gleich

Welche Innenraumsituation empfinden Sie *anregender*?

Linken Innenraum Rechten Innenraum Beide Innenräume gleich

Welche Innenraumsituation empfinden Sie *interessanter*?

Linken Innenraum Rechten Innenraum Beide Innenräume gleich

Welche Innenraumsituation empfinden Sie *schöner*?

Linken Innenraum Rechten Innenraum Beide Innenräume gleich

Welche Innenraumsituation empfinden Sie *natürlicher*?

Linken Innenraum Rechten Innenraum Beide Innenräume gleich

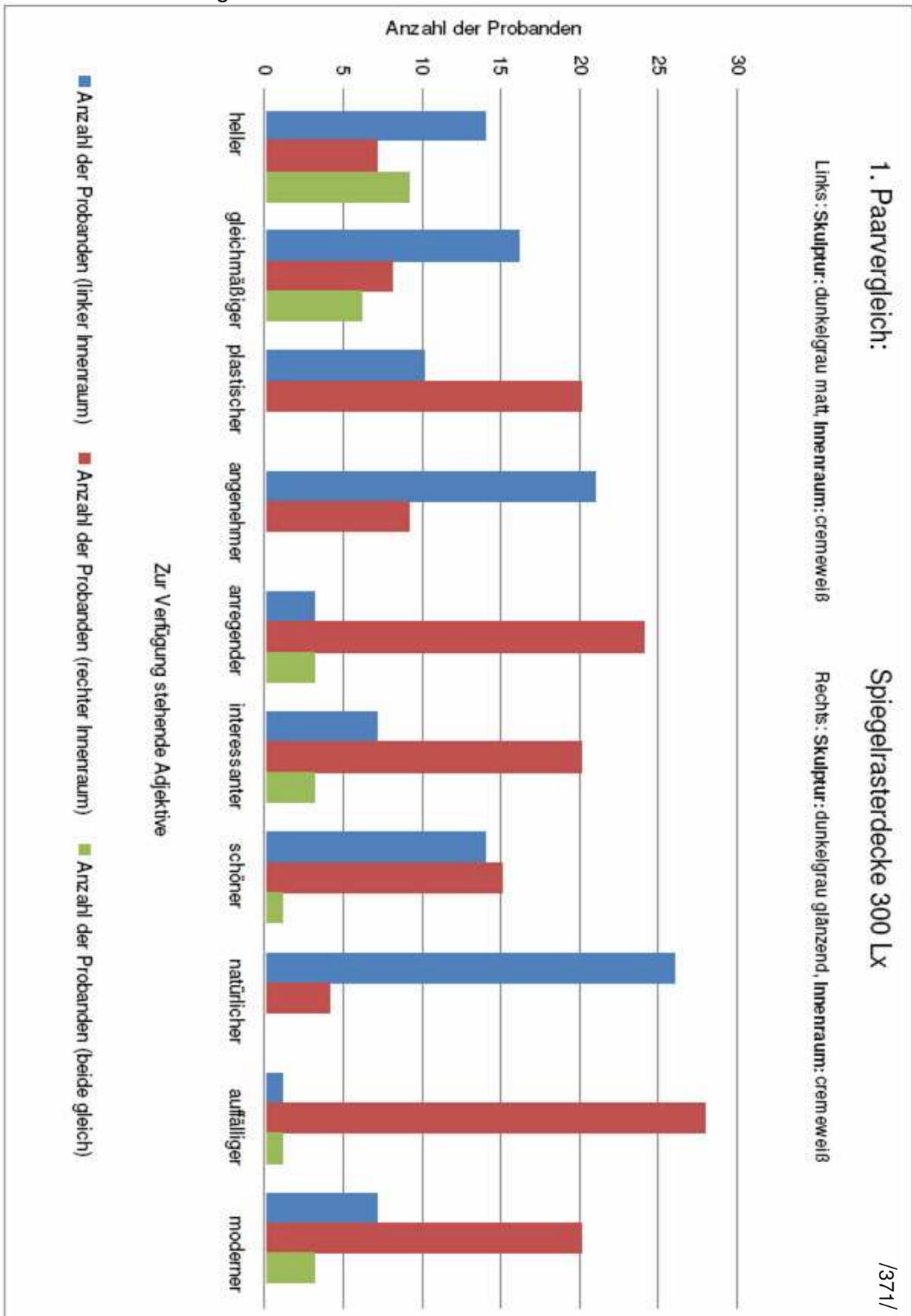
Welche Innenraumsituation empfinden Sie *auffälliger*?

Linken Innenraum Rechten Innenraum Beide Innenräume gleich

Welche Innenraumsituation empfinden Sie *moderner*?

Linken Innenraum Rechten Innenraum Beide Innenräume gleich

7.3 Darstellung der Untersuchungsergebnisse auf Basis grafischer Auswertungen
 7.3.1 Grafische Gesamtauswertung in Anlehnung an den Ablauf der Untersuchungsreihen



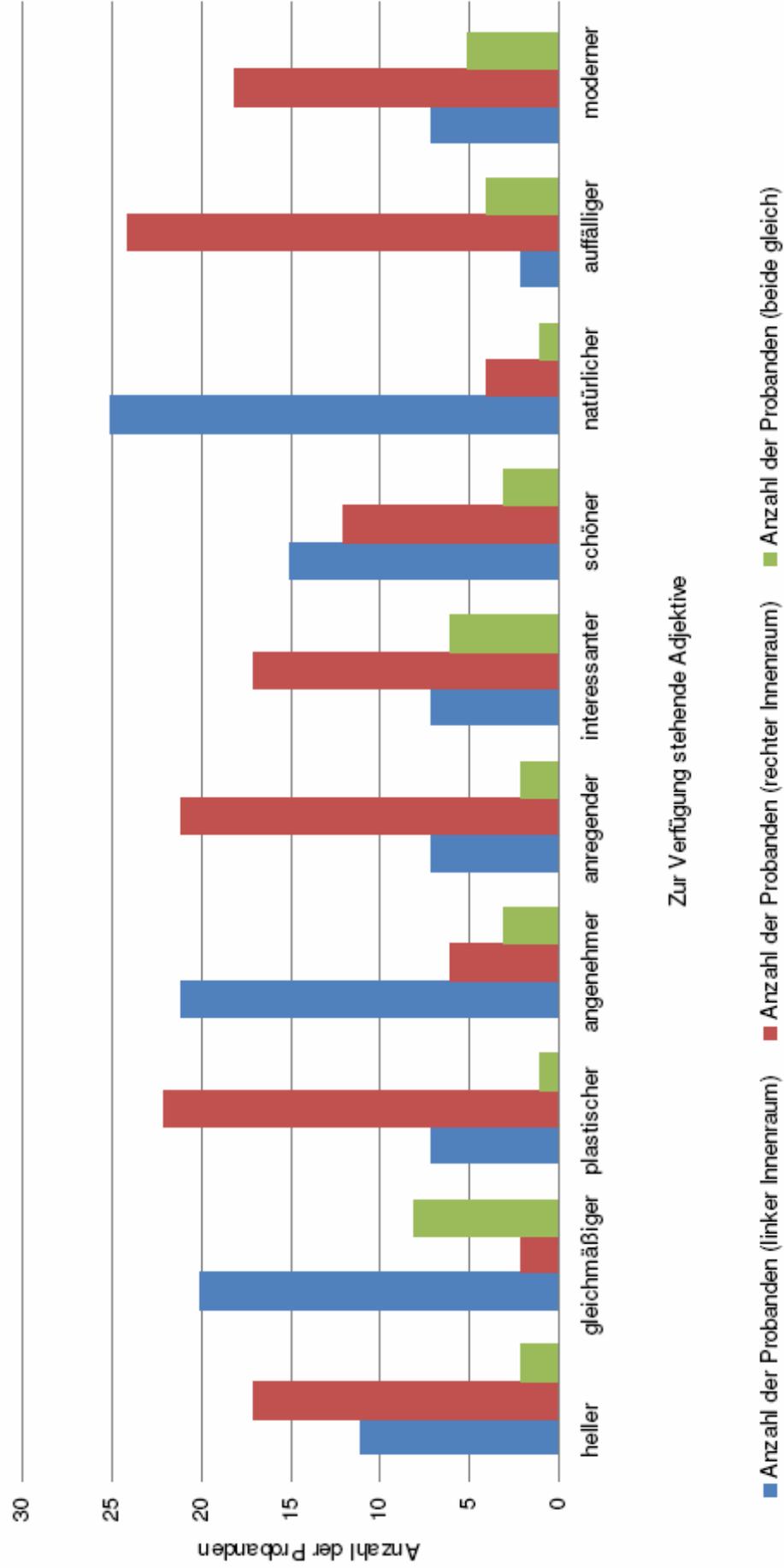
2. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 1000 Lx

/372/

Links: Skulptur: dunkelgrau matt, Innenraum: cremeweiß

Rechts: Skulptur: dunkelgrau glänzend, Innenraum: cremeweiß



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

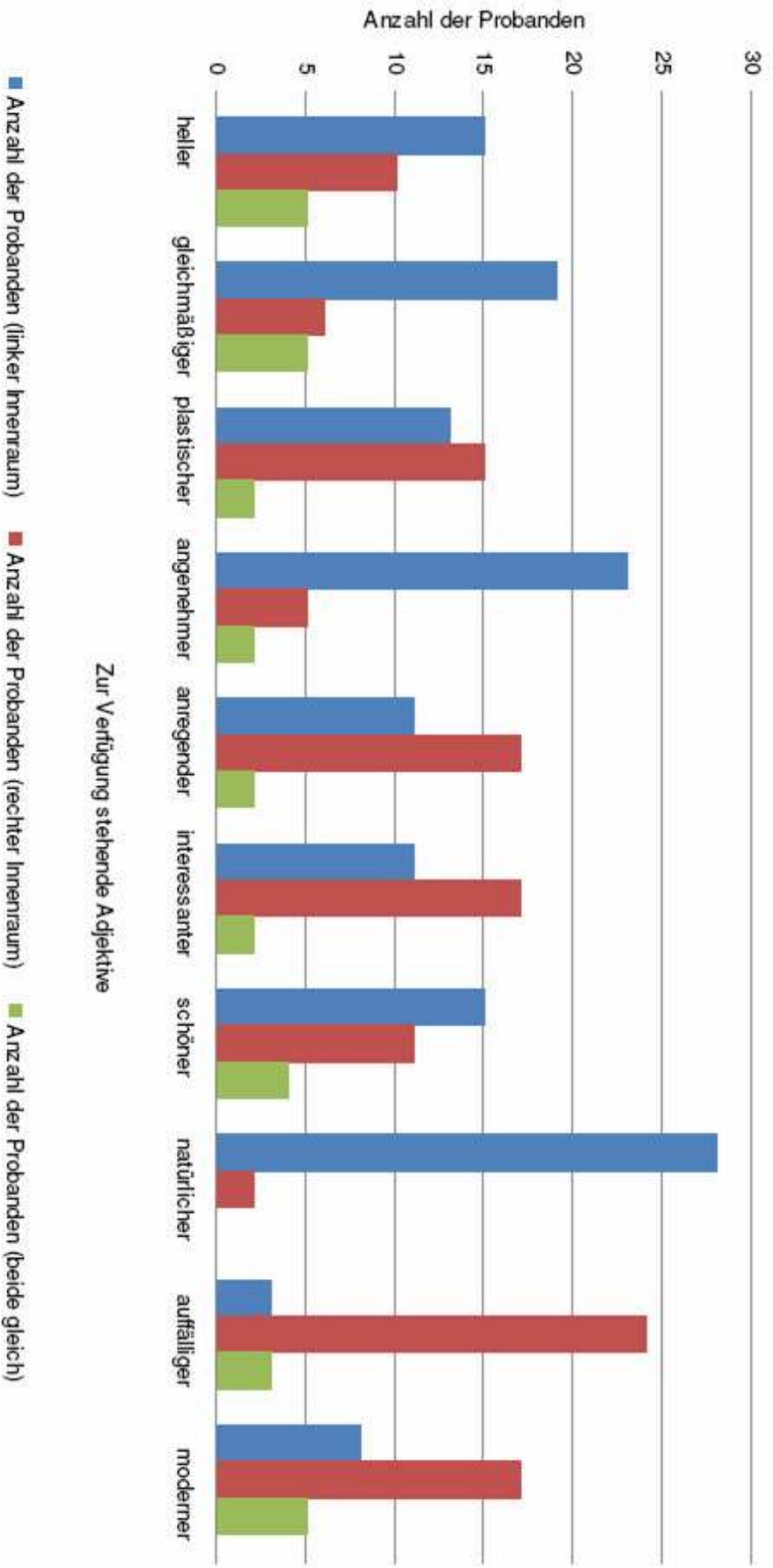
3. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 300/100 Lx

/373/

Links: Skulptur: dunkelgrau matt, Innenraum: cremeweiß

Rechts: Skulptur: dunkelgrau glänzend, Innenraum: cremeweiß



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum)

■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum)

■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

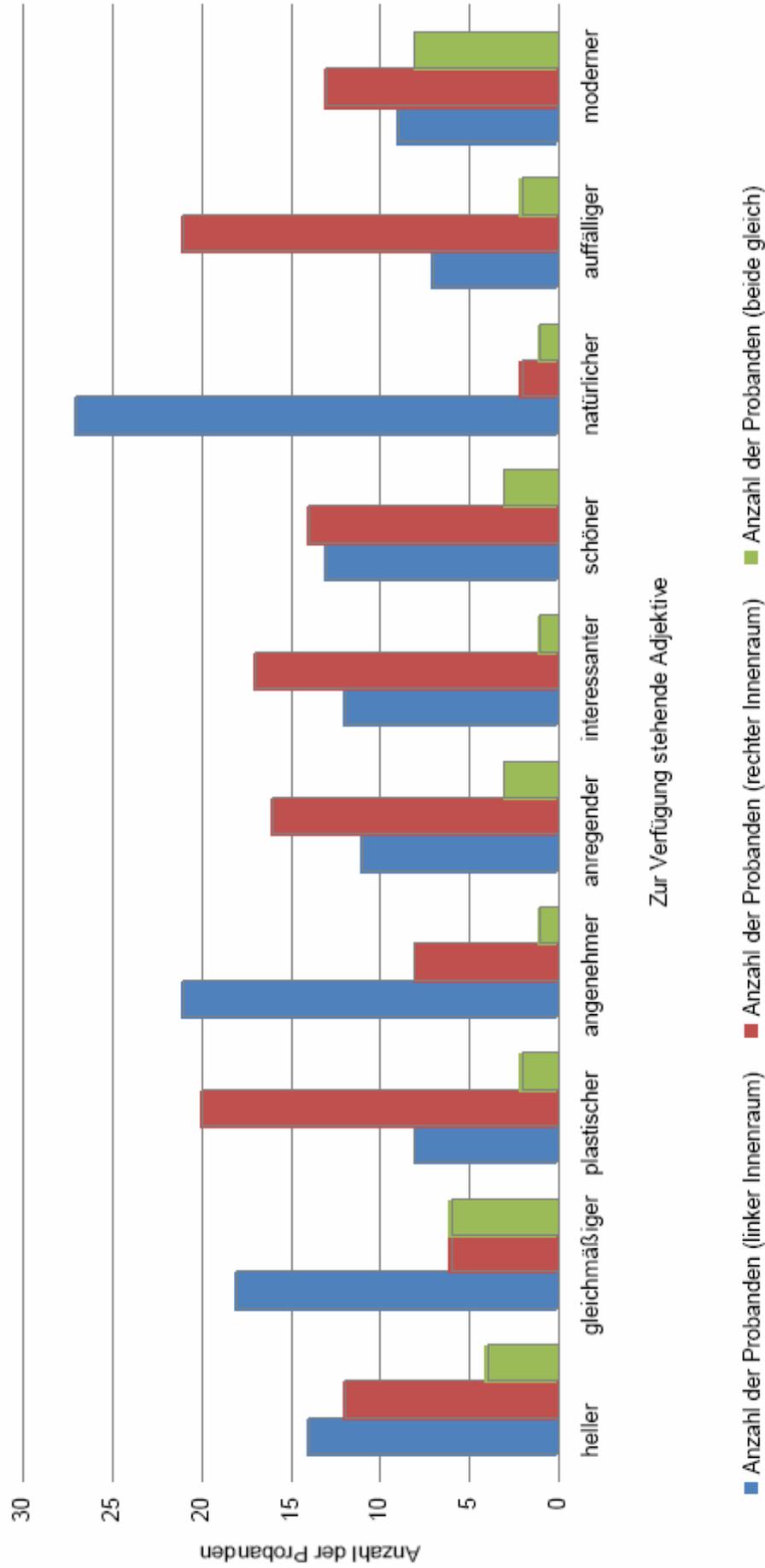
4. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 1000/300 Lx

/374/

Links: **Skulptur:** dunkelgrau matt, **Innenraum:** cremeweiß

Rechts: **Skulptur:** dunkelgrau glänzend, **Innenraum:** cremeweiß



Zur Verfügung stehende Adjektive

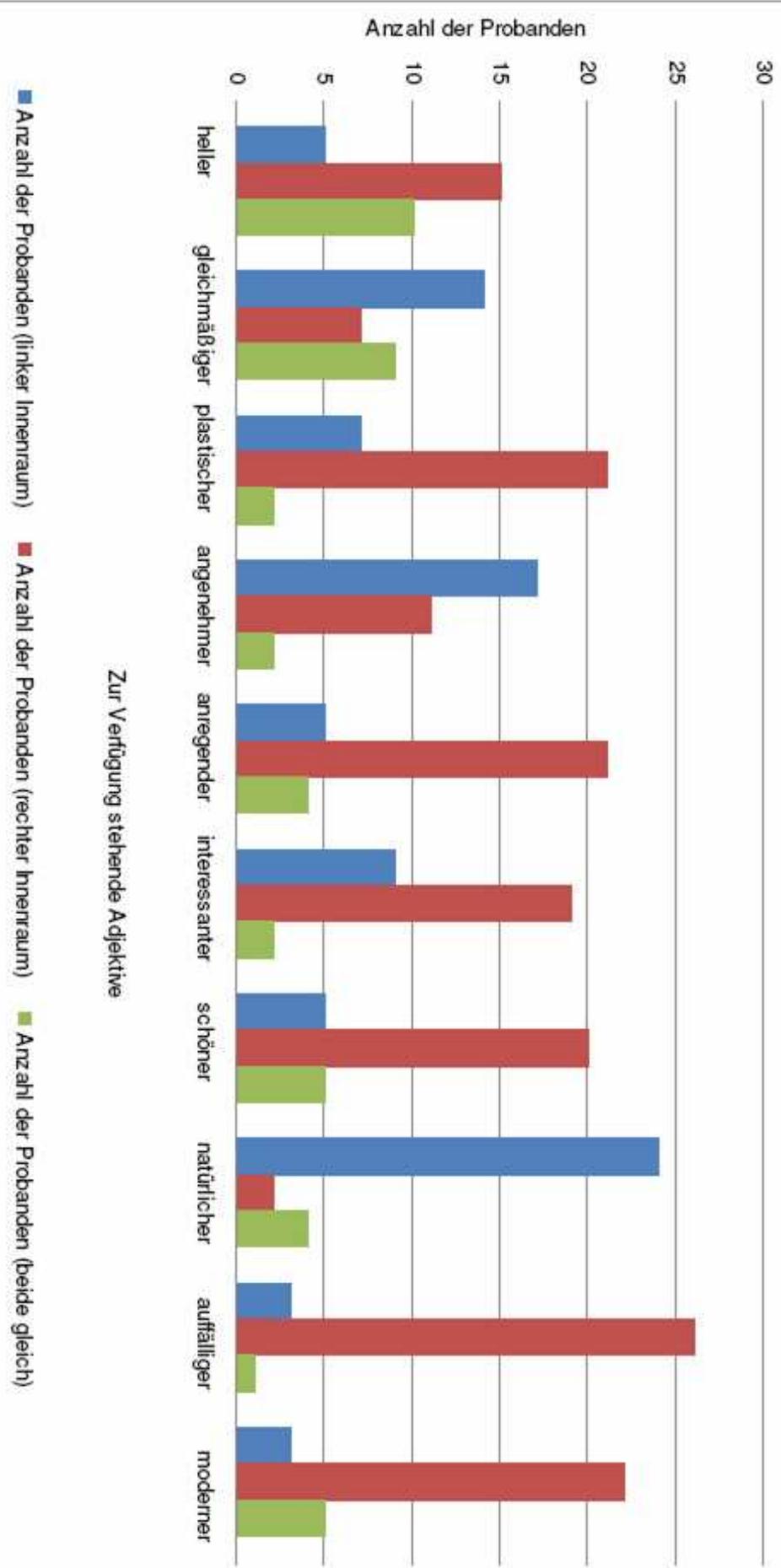
■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

5. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 300 Lx

Links: Skulptur: schwarz matt, Innenraum: cremeweiß

Rechts: Skulptur: schwarz glänzend, Innenraum: cremeweiß



Zur Verfügung stehende Adjektive

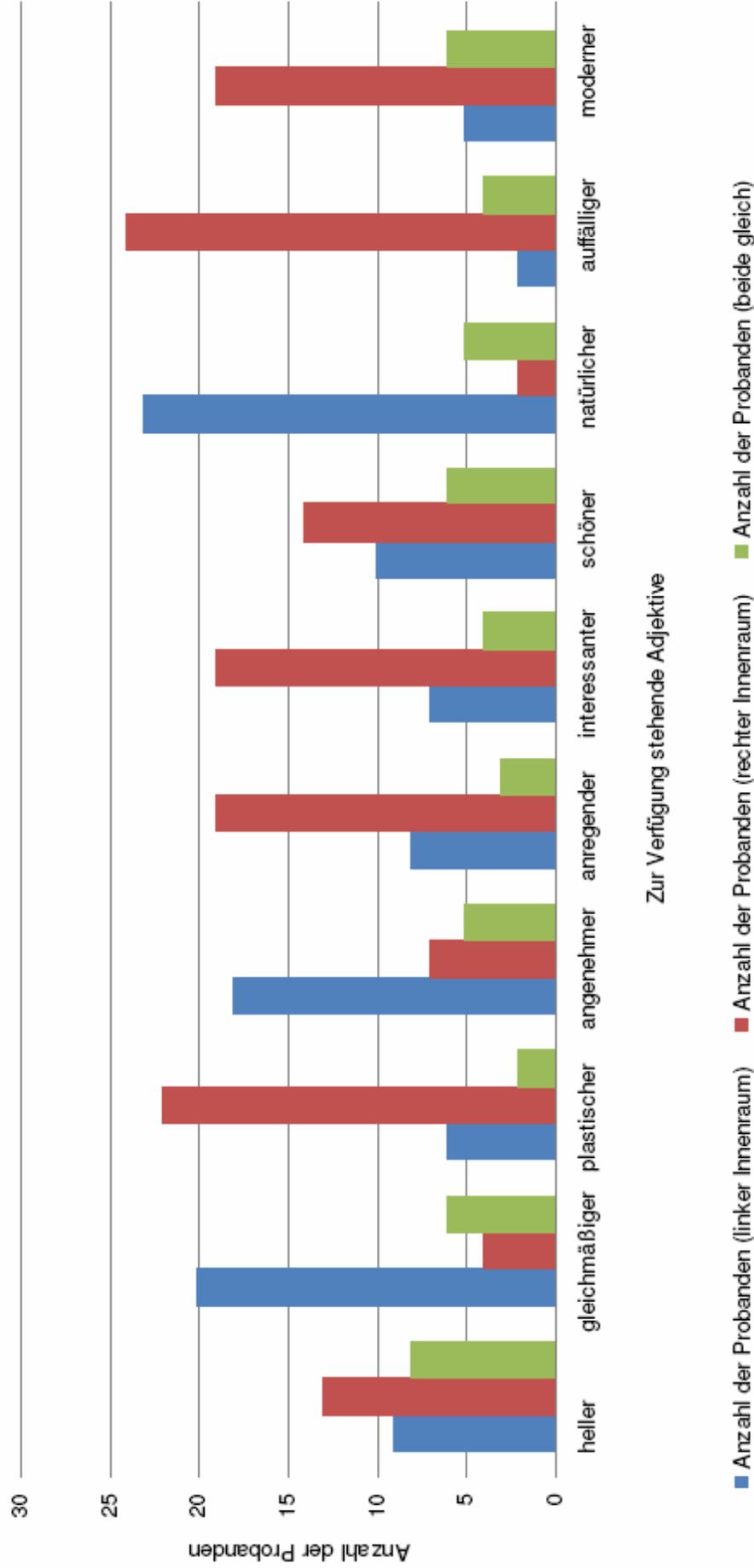
6. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 1000 Lx

/376/

Links: **Skulptur:** schwarz matt, **Innenraum:** cremeweiß

Rechts: **Skulptur:** schwarz glänzend, **Innenraum:** cremeweiß



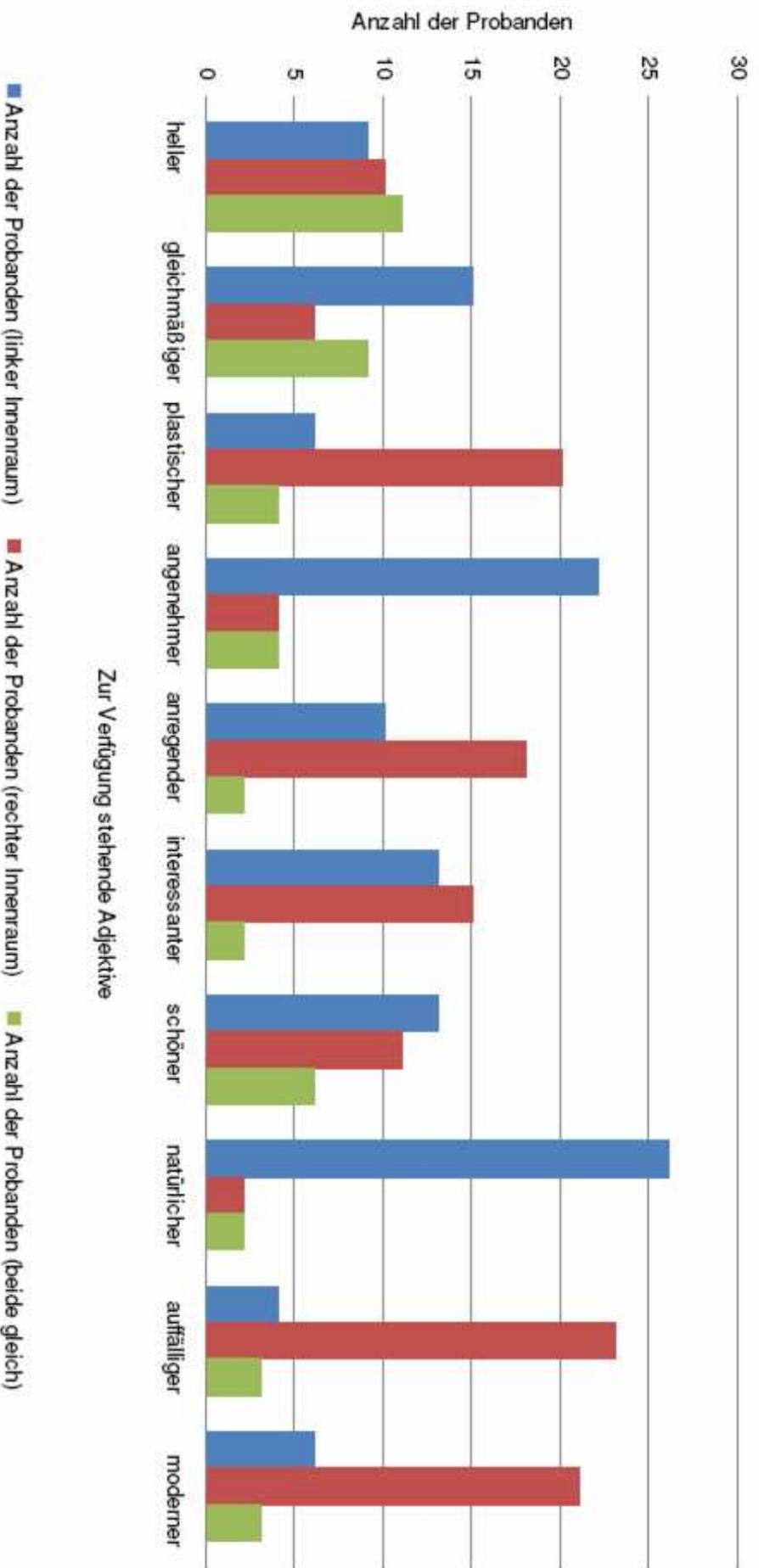
7. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 300/100 Lx

/377/

Links: Skulptur: schwarz matt, Innenraum: cremeweiß

Rechts: Skulptur: schwarz glänzend, Innenraum: cremeweiß



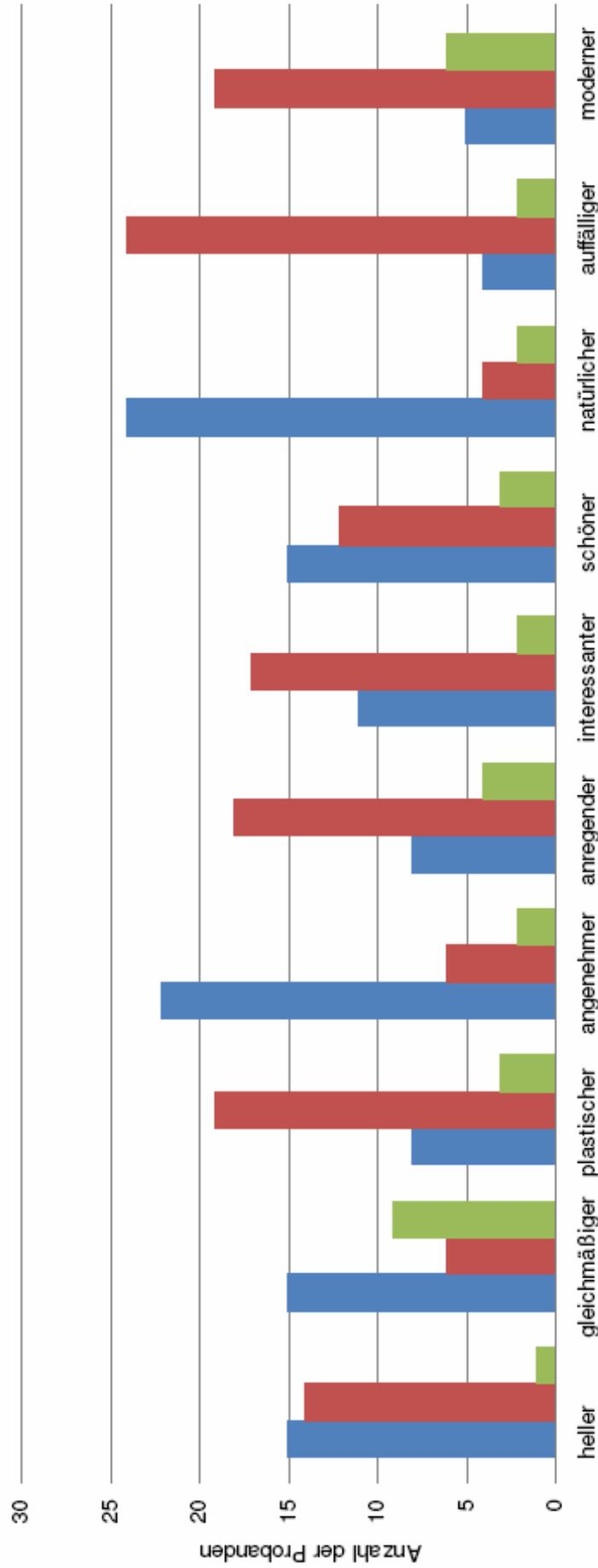
8. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 1000/200 Lx

/378/

Links: **Skulptur:** schwarz matt, **Innenraum:** cremeweiß

Rechts: **Skulptur:** schwarz glänzend, **Innenraum:** cremeweiß



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

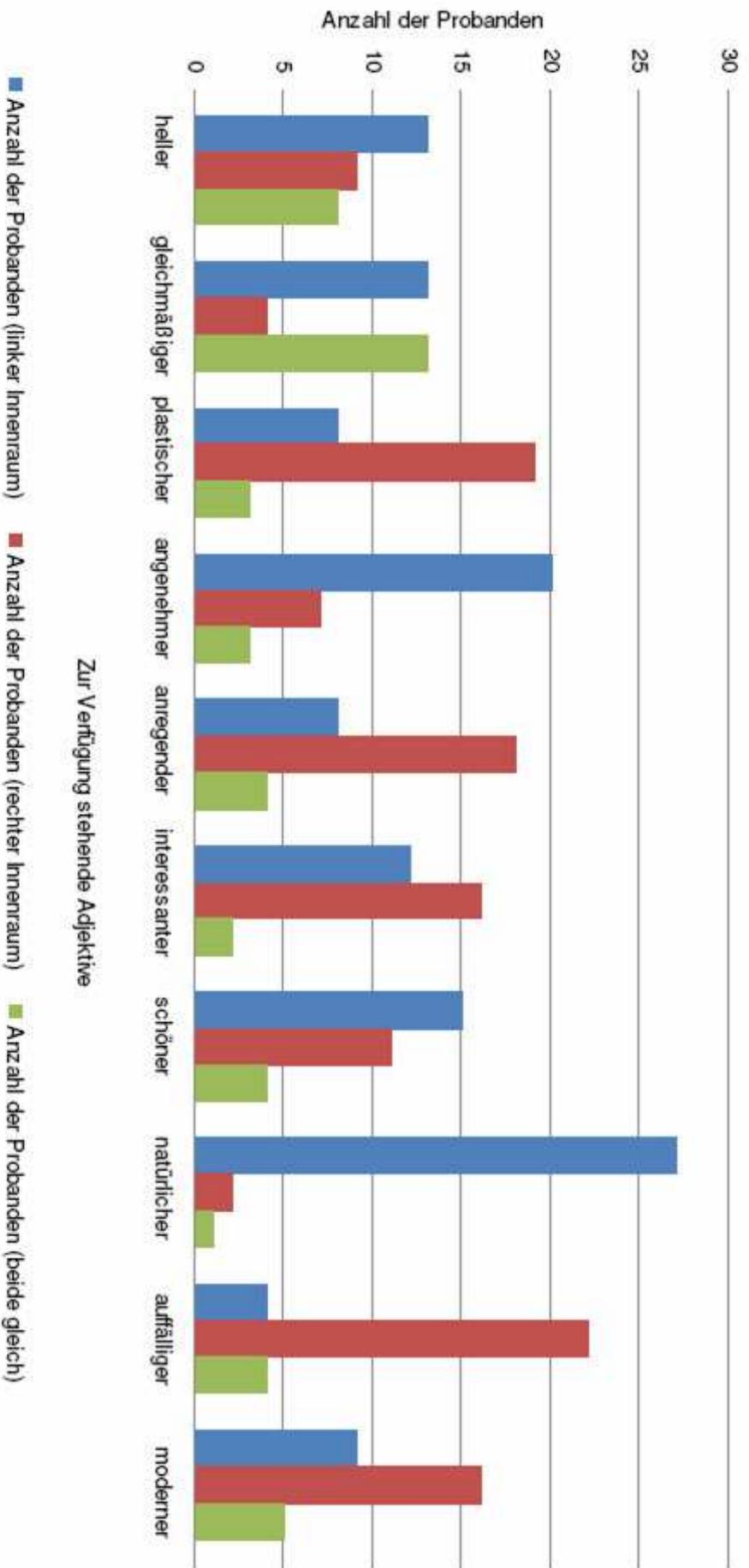
9. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 300 Lx

/379/

Links: **Skulptur: hellgrau matt, Innenraum: platingrau**

Rechts: **Skulptur: hellgrau glänzend, Innenraum: platingrau**



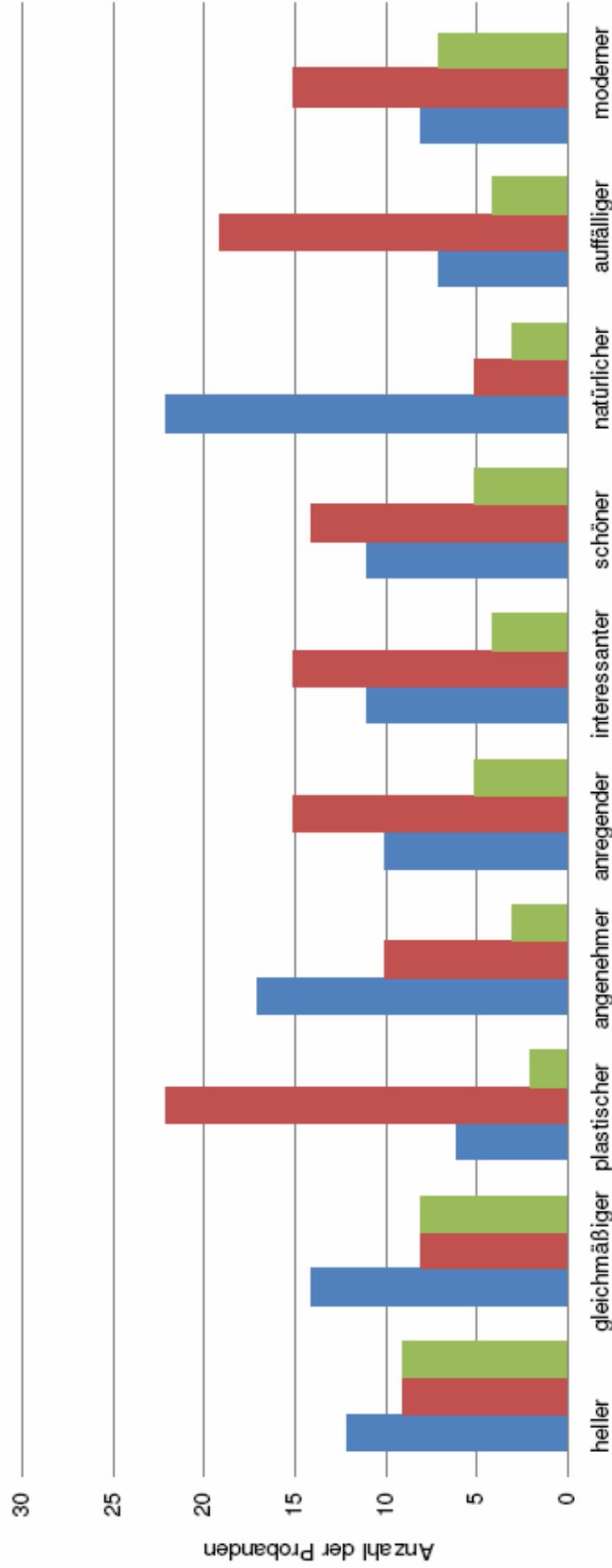
10. Paarvergleich:

Spiegelraasterdecke 1000 Lx

/380/

Links: **Skulptur:** hellgrau matt, **Innenraum:** platingrau

Rechts: **Skulptur:** hellgrau glänzend, **Innenraum:** platingrau



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

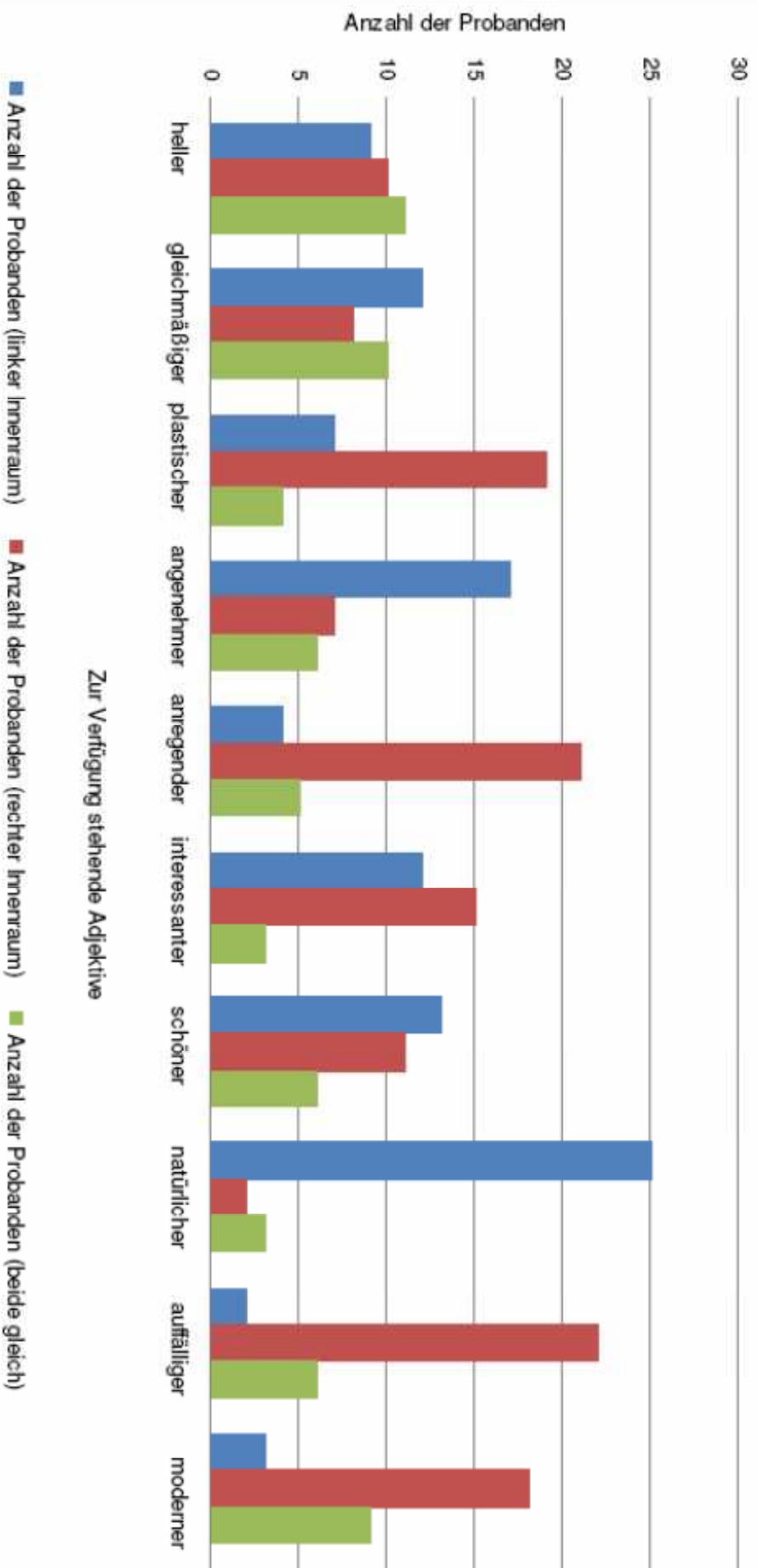
11. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 300/100 Lx

/381/

Links: Skulptur: hellgrau matt, Innenraum: platingrau

Rechts: Skulptur: hellgrau glänzend, Innenraum: platingrau



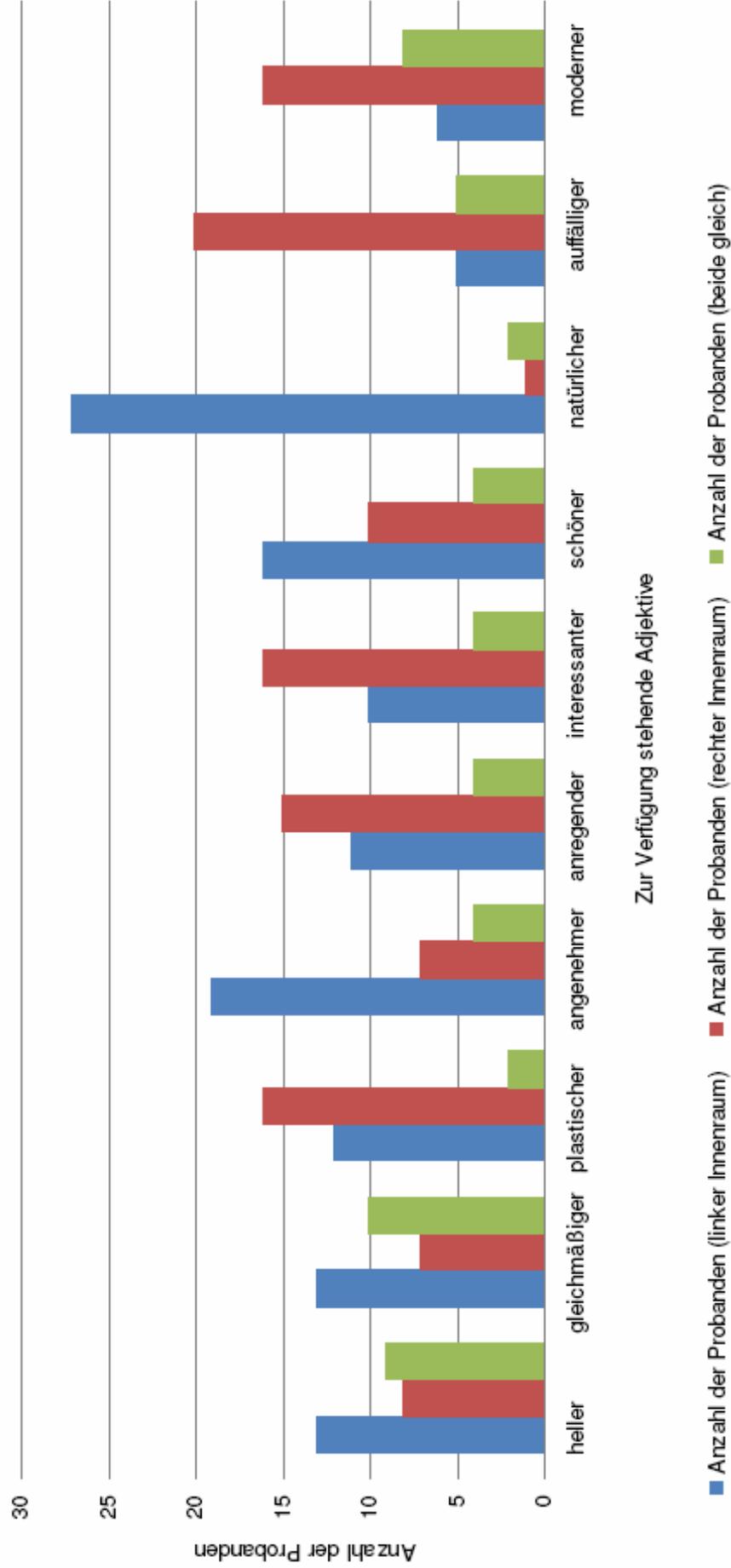
12. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 1000/200 Lx

/382/

Links: Skulptur: hellgrau matt, Innenraum: platingrau

Rechts: Skulptur: hellgrau glänzend, Innenraum: platingrau



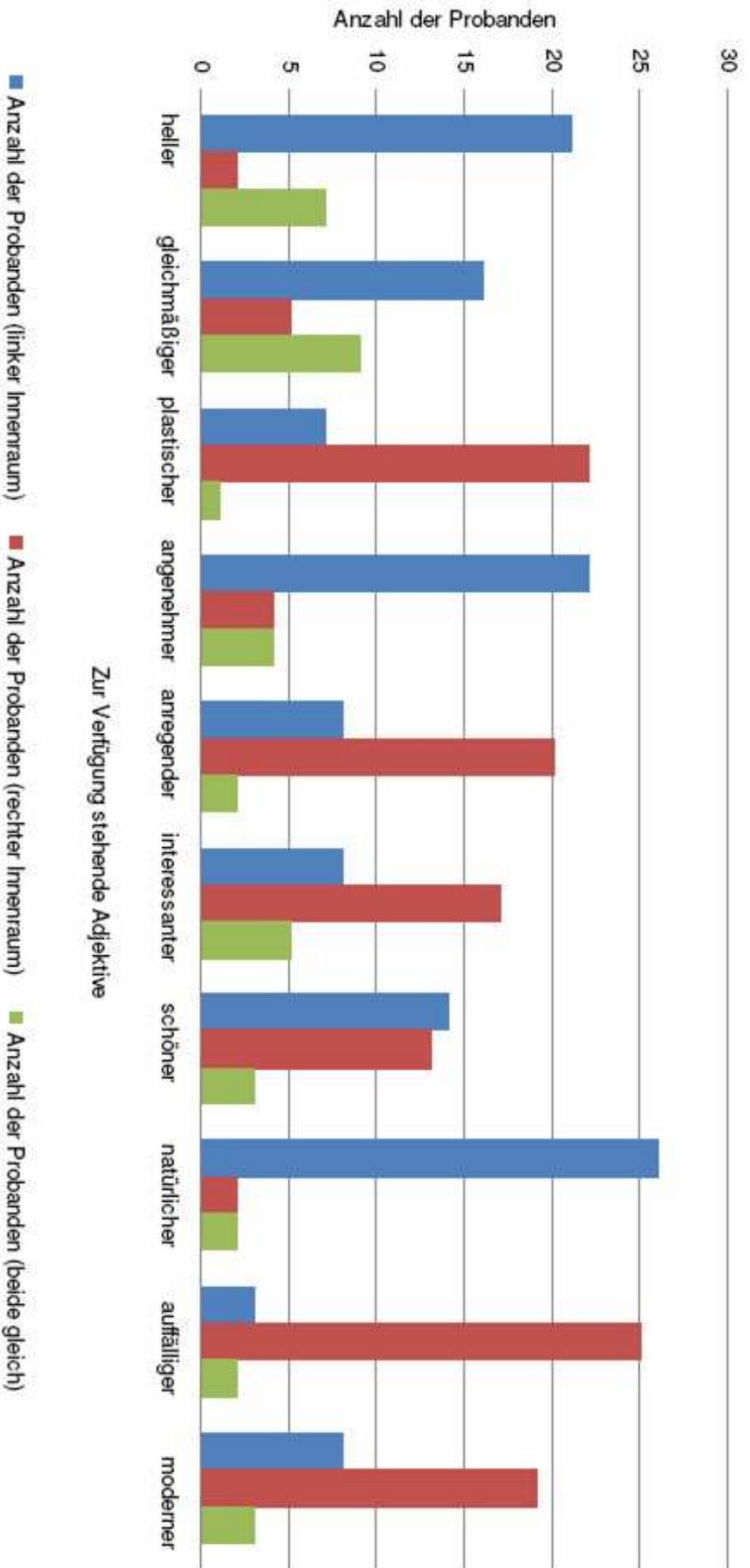
13. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 300 LX

/383/

Links: Skulptur: schwarz matt, Innenraum: platingrau

Rechts: Skulptur: schwarz glänzend, Innenraum: platingrau



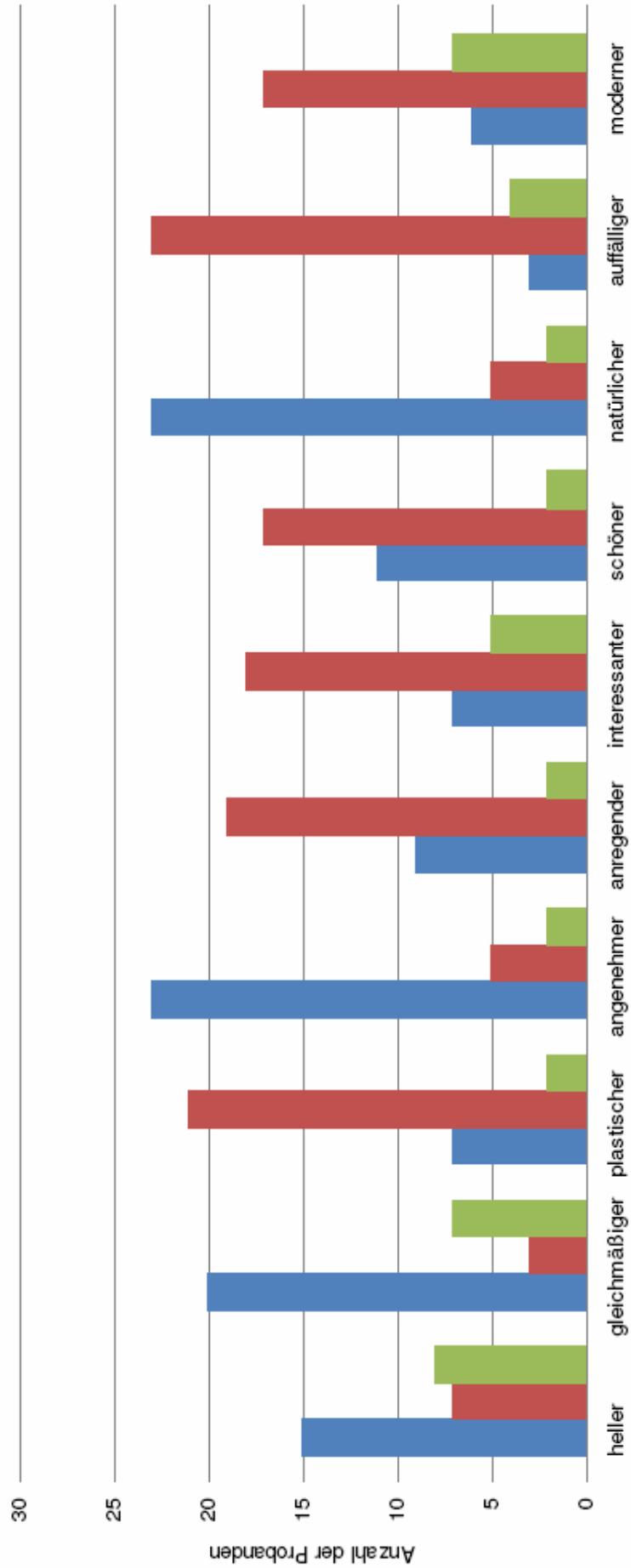
14. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 1000 Lx

/384/

Links: Skulptur: schwarz matt, Innenraum: platingrau

Rechts: Skulptur: schwarz glänzend, Innenraum: platingrau



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

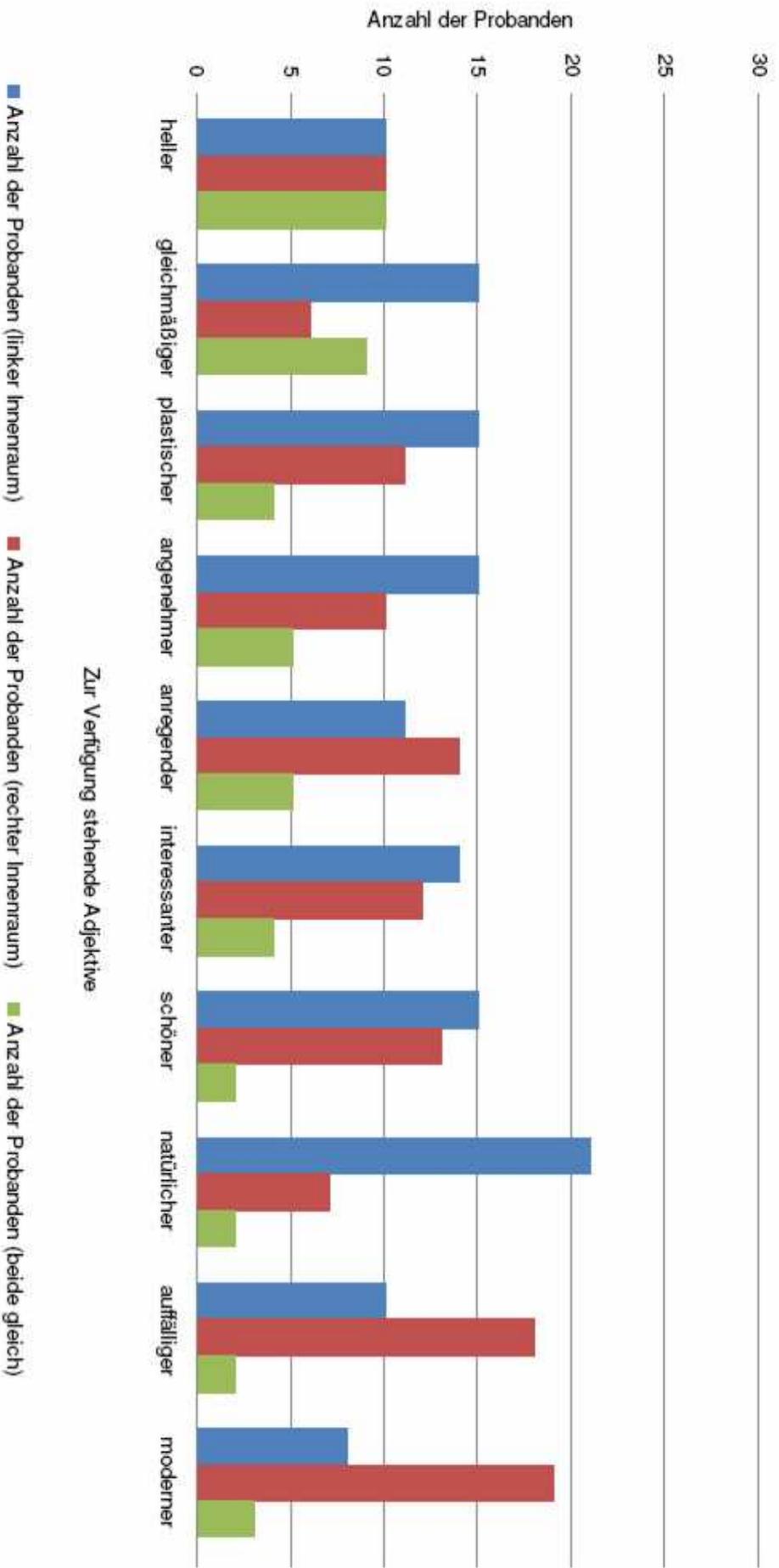
15. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 300/100 Lx

/385/

Links: Skulptur: schwarz mat, Innenraum: platingrau

Rechts: Skulptur: schwarz glänzend, Innenraum: platingrau



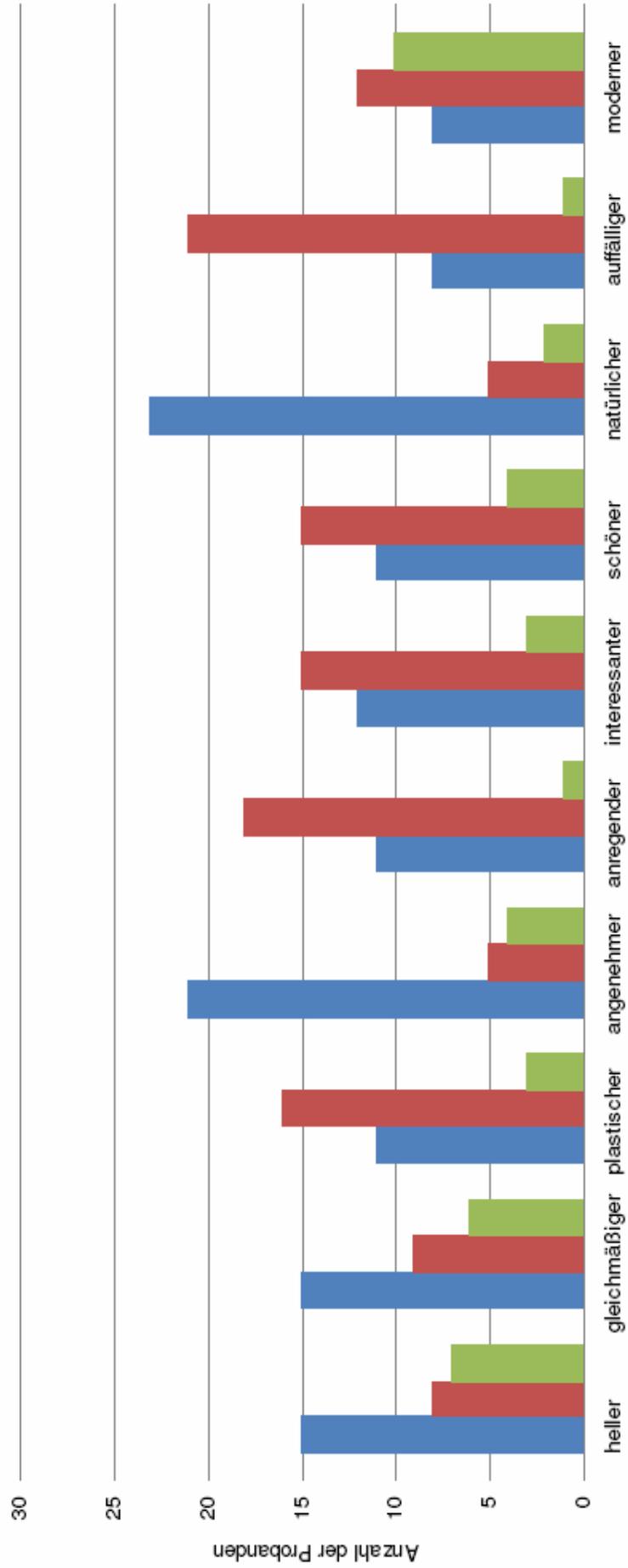
16. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 1000/200 Lx

/386/

Links: Skulptur: schwarz matt, Innenraum: platingrau

Rechts: Skulptur: schwarz glänzend, Innenraum: platingrau



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

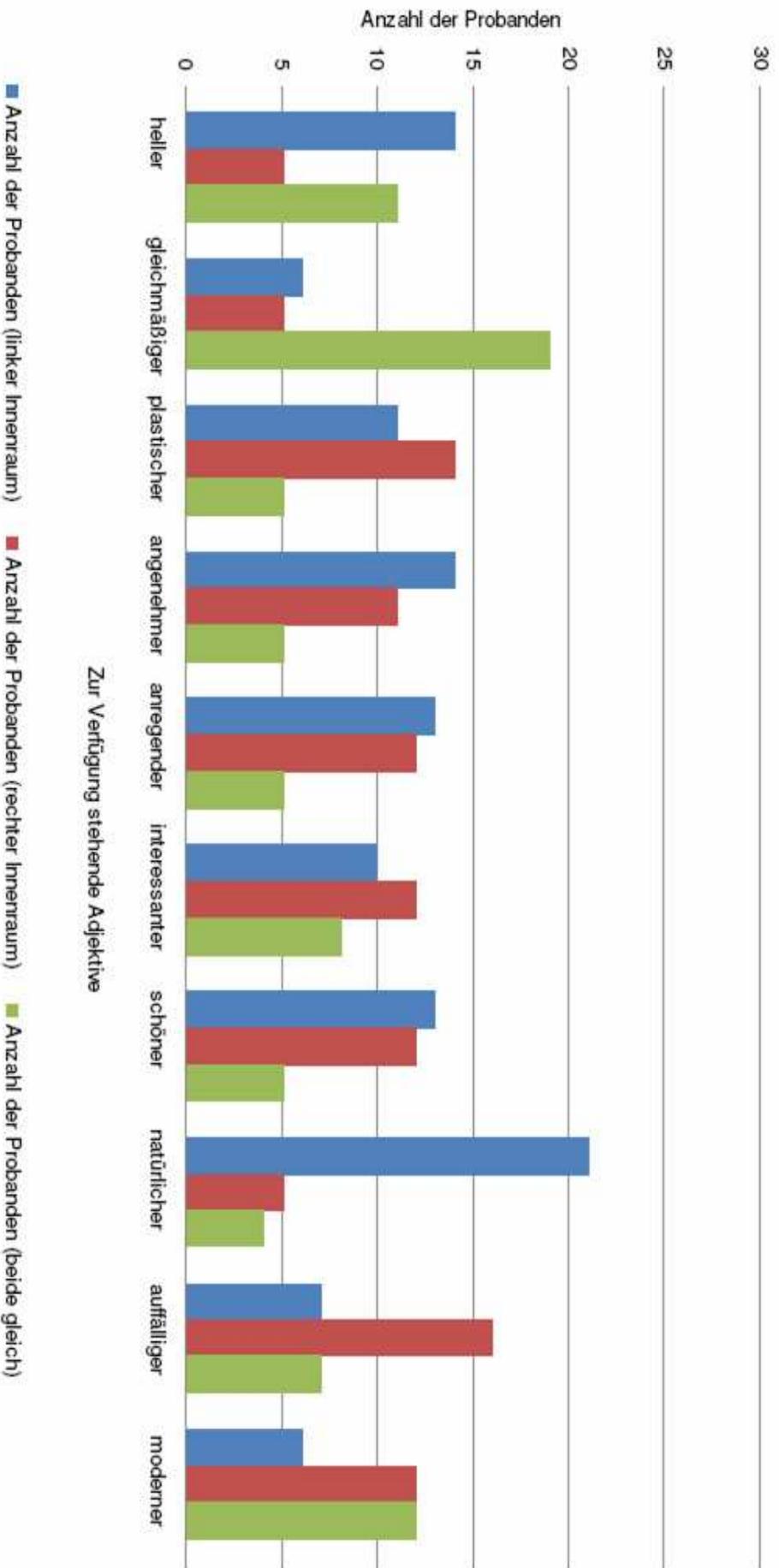
17. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 300 Lx

/387/

Links: Skulptur: hellgrau matt, Innenraum: tief-schwarz

Rechts: Skulptur: hellgrau glänzend, Innenraum: tief-schwarz



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum)

■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum)

■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

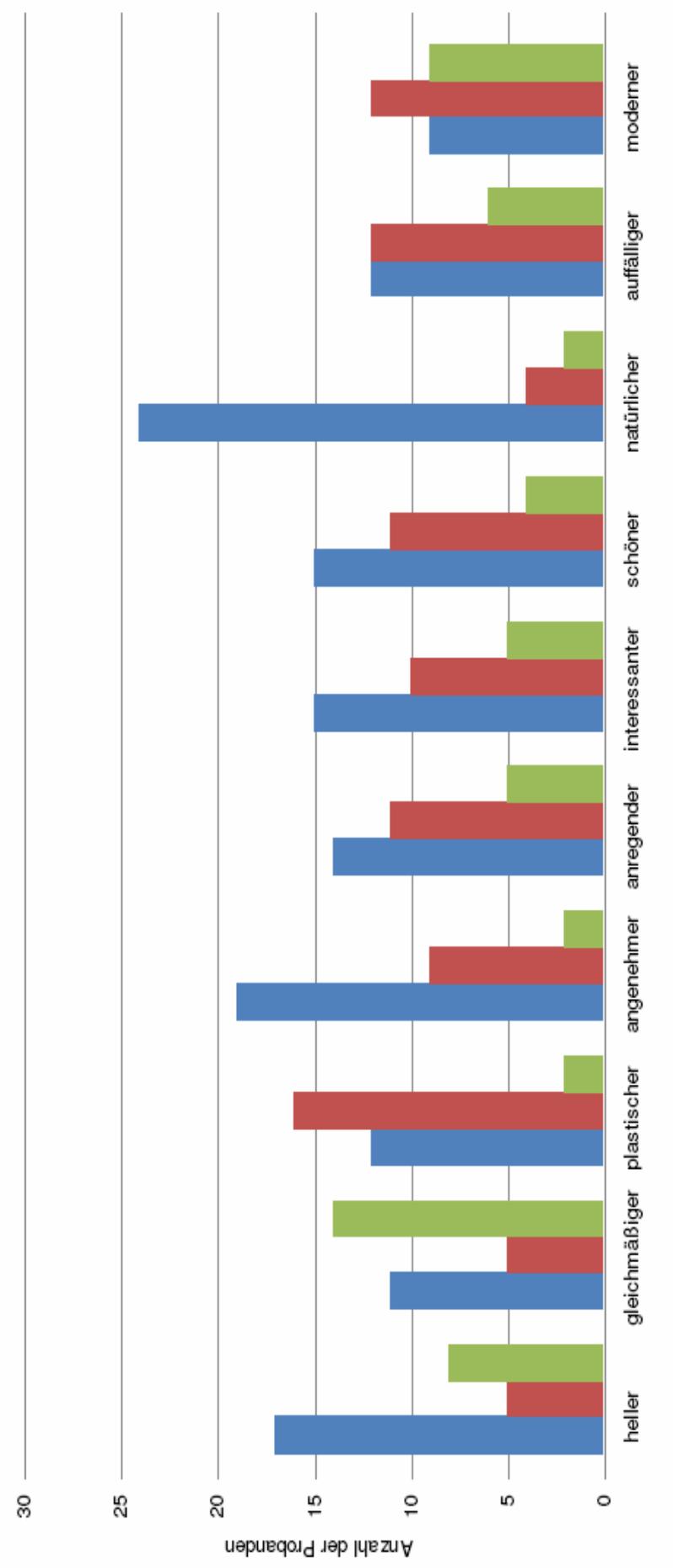
18. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 1000 Lx

/388/

Links: **Skulptur:** hellgrau matt, **Innenraum:** tiefschwarz

Rechts: **Skulptur:** hellgrau glänzend, **Innenraum:** tiefschwarz



Zur Verfügung stehende Adjektive

- Anzahl der Probanden (linker Innenraum)
- Anzahl der Probanden (rechter Innenraum)
- Anzahl der Probanden (beide gleich)

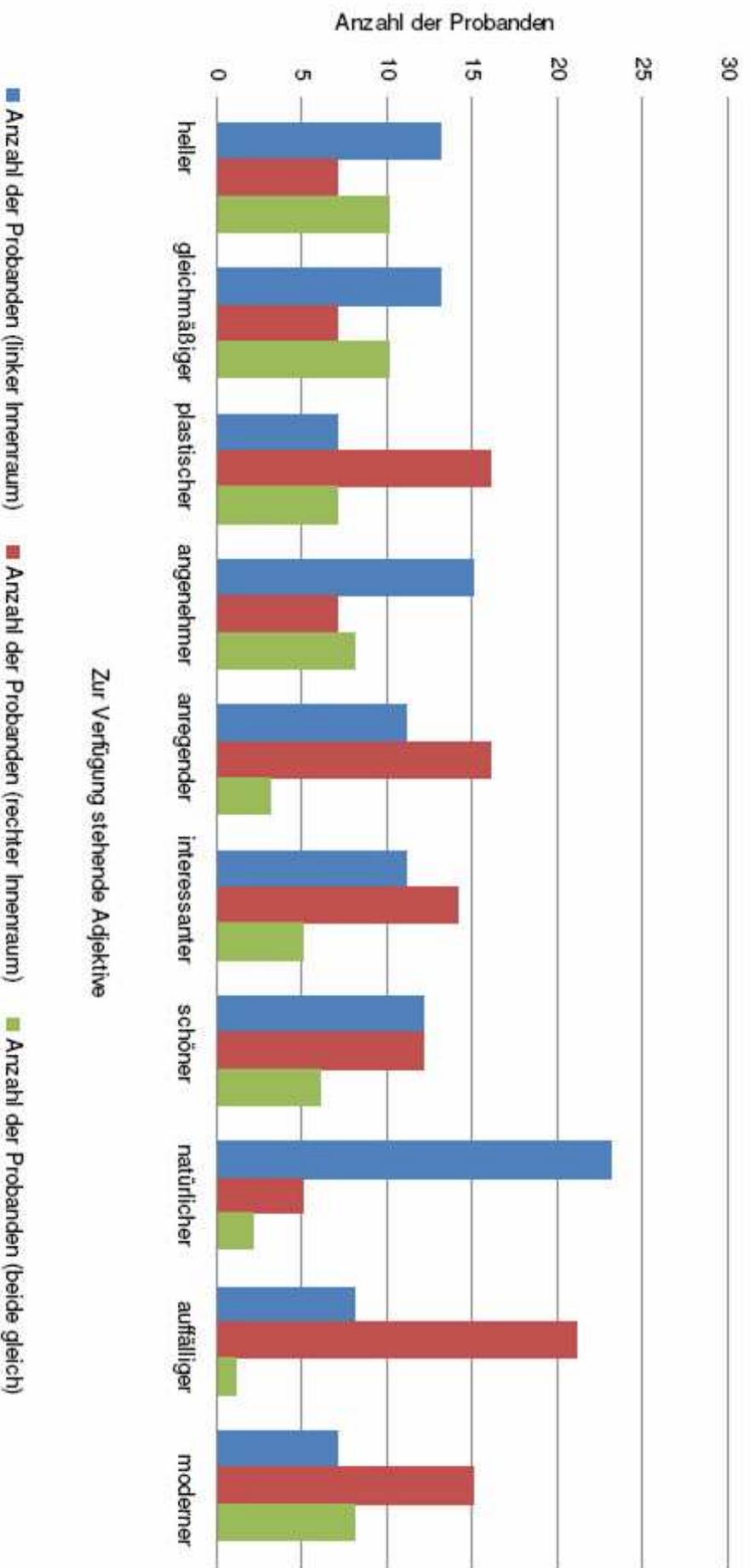
19. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 300/100 Lx

/389/

Links: Skulptur: hellgrau matt Innenraum: tietschwarz

Rechts: Skulptur: hellgrau glänzend, Innenraum: tietschwarz



Zur Verfügung stehende Adjektive

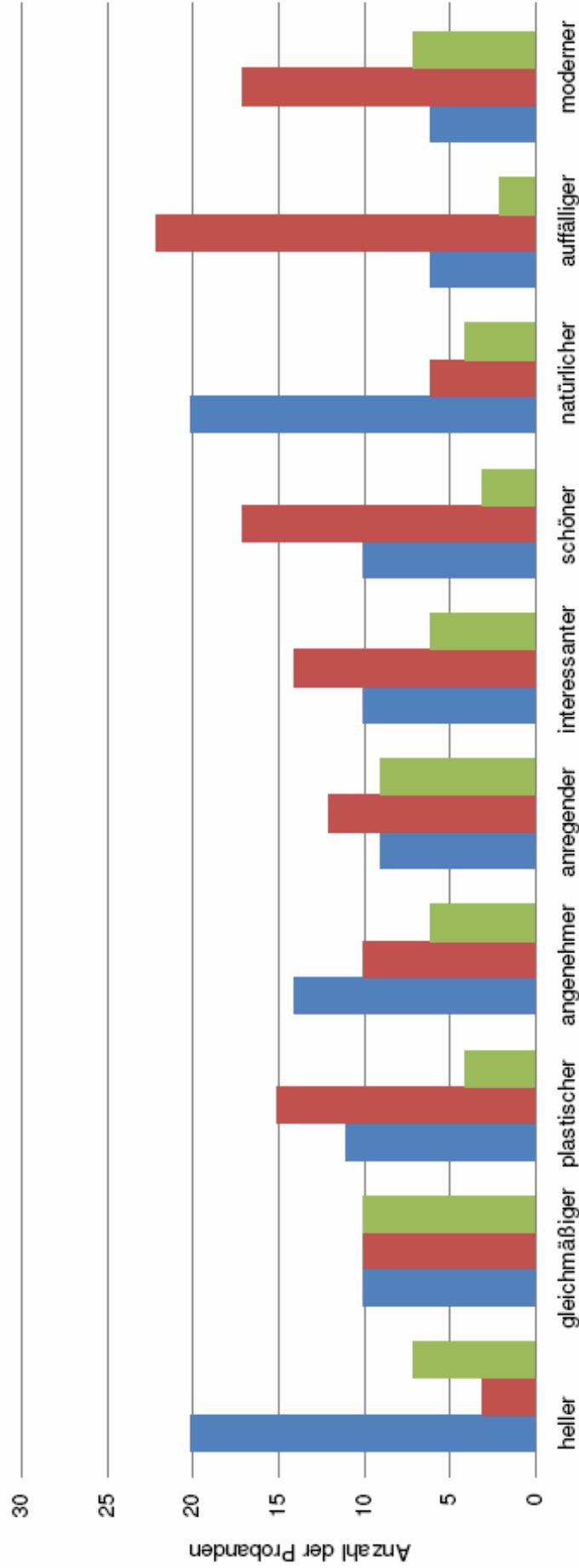
20. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 1000/200 Lx

/390/

Links: **Skulptur**: hellgrau matt, **Innenraum**: tiefschwarz

Rechts: **Skulptur**: hellgrau glänzend, **Innenraum**: tiefschwarz



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

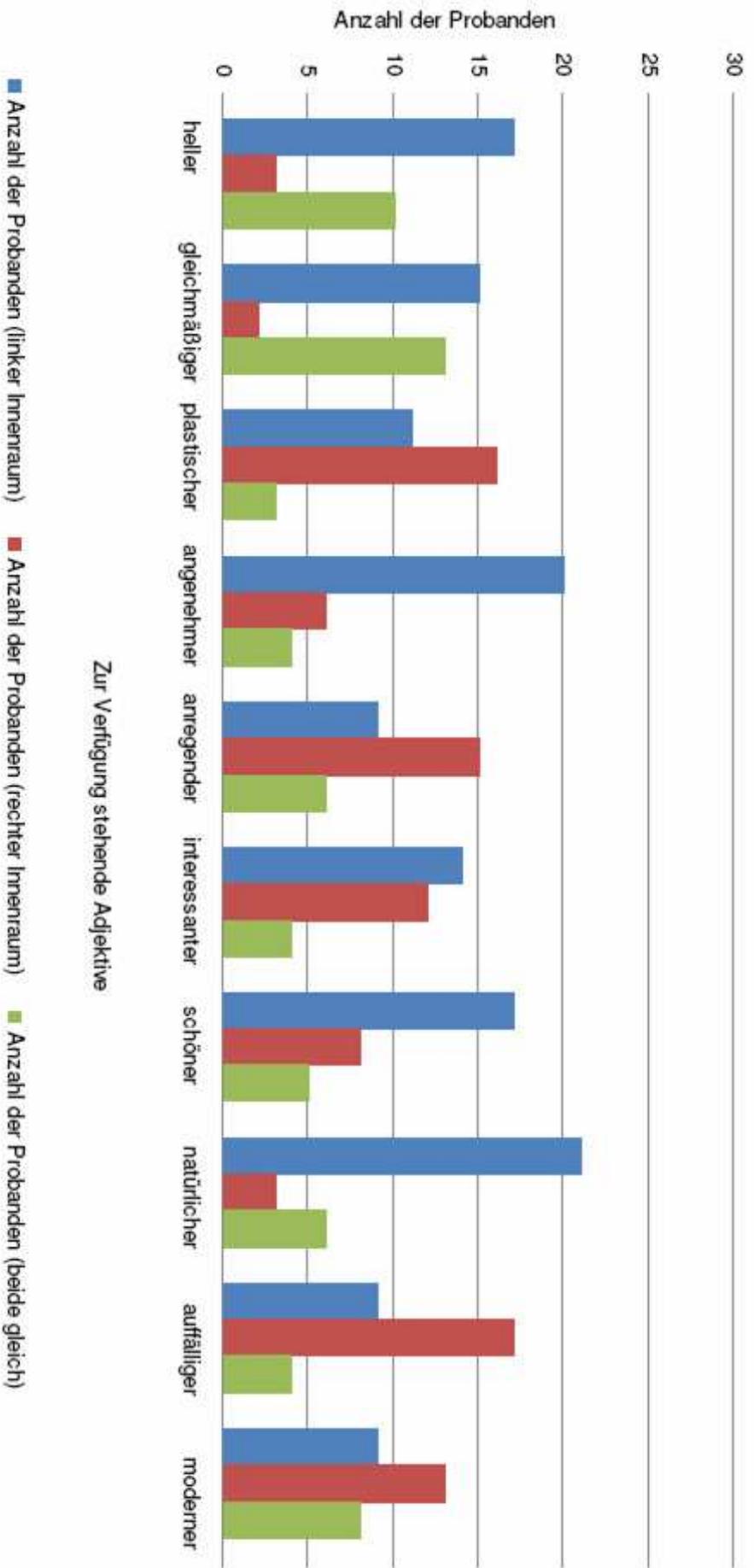
21. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 300 Lx

/391/

Links: **Skulptur: dunkelgrau matt, Innenraum: tietschwarz**

Rechts: **Skulptur: dunkelgrau glänzend, Innenraum: tietschwarz**



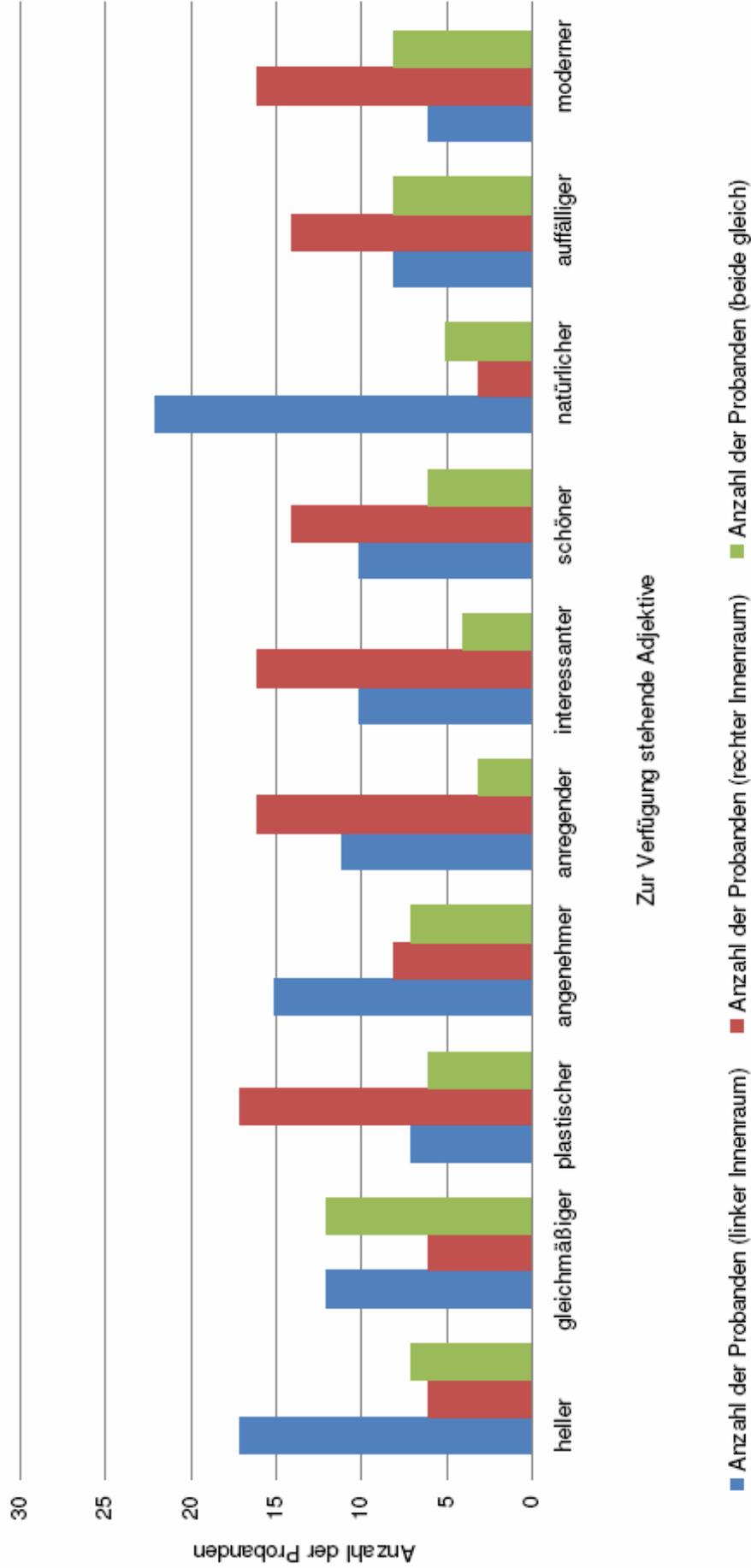
22. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 1000 Lx

/392/

Links: **Skulptur**: dunkelgrau matt, **Innenraum**: tiefschwarz

Rechts: **Skulptur**: dunkelgrau glänzend, **Innenraum**: tiefschwarz



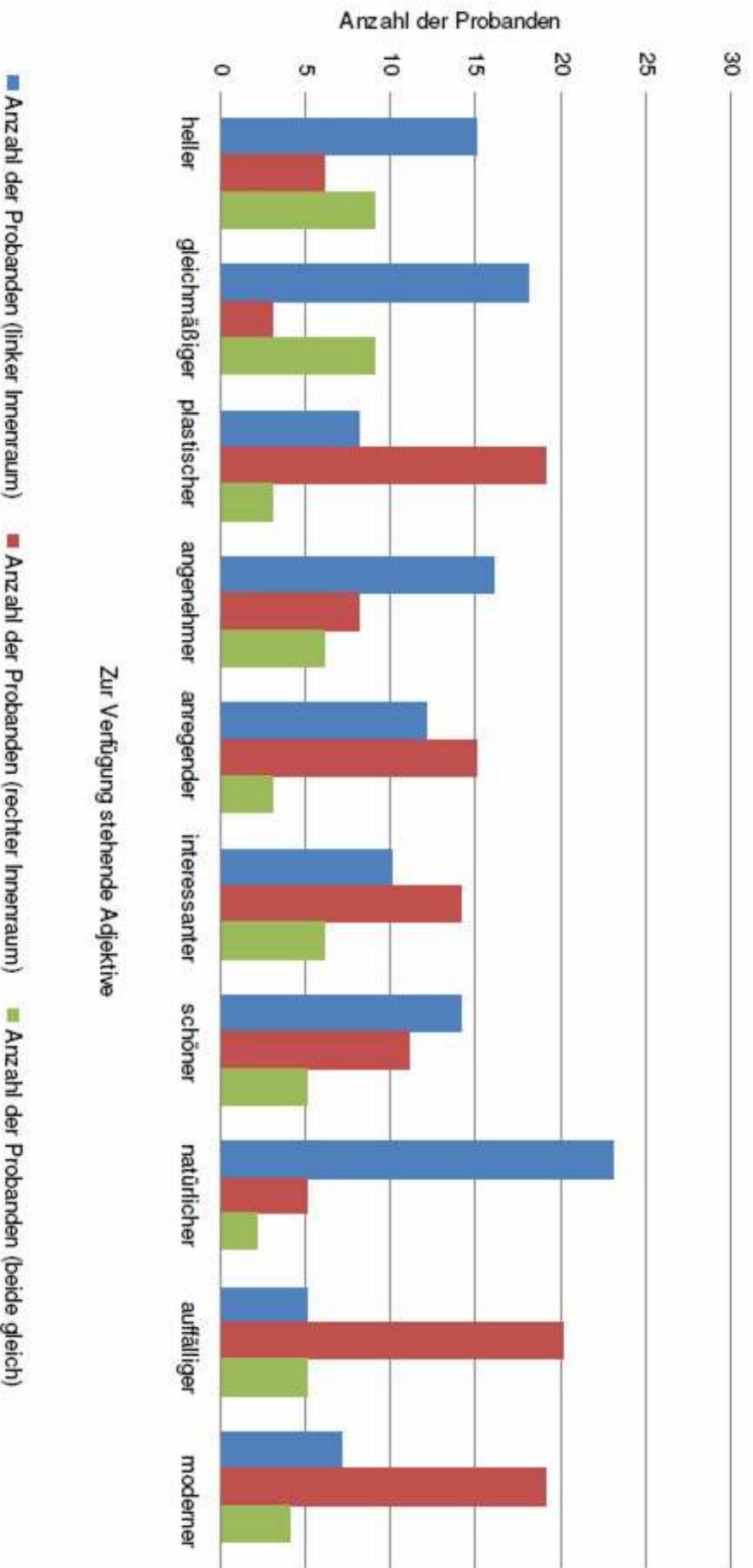
23. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 300/100 Lx

/393/

Links: Skulptur: dunkelgrau mat, Innenraum: tief schwarz

Rechts: Skulptur: dunkelgrau glänzend, Innenraum: tief schwarz



Zur Verfügung stehende Adjektive

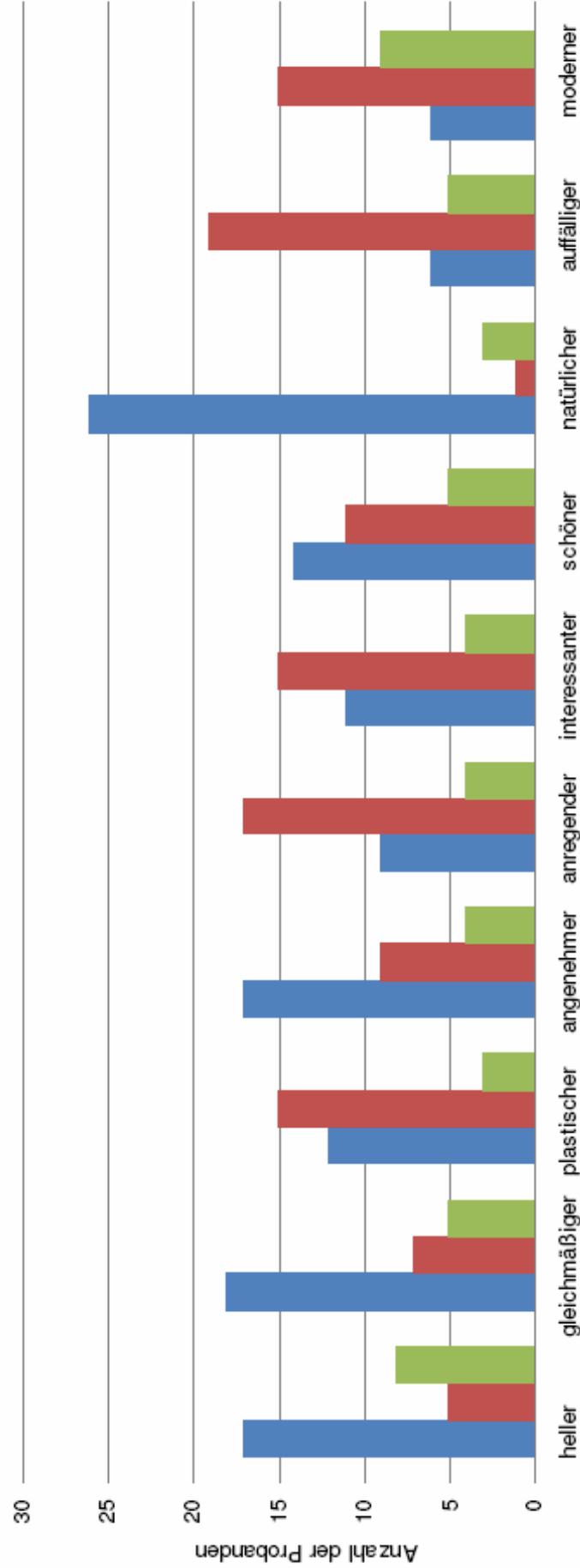
24. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 1000/200 Lx

/394/

Links: **Skulptur**: dunkelgrau matt, **Innenraum**: tiefschwarz

Rechts: **Skulptur**: dunkelgrau glänzend, **Innenraum**: tiefschwarz



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

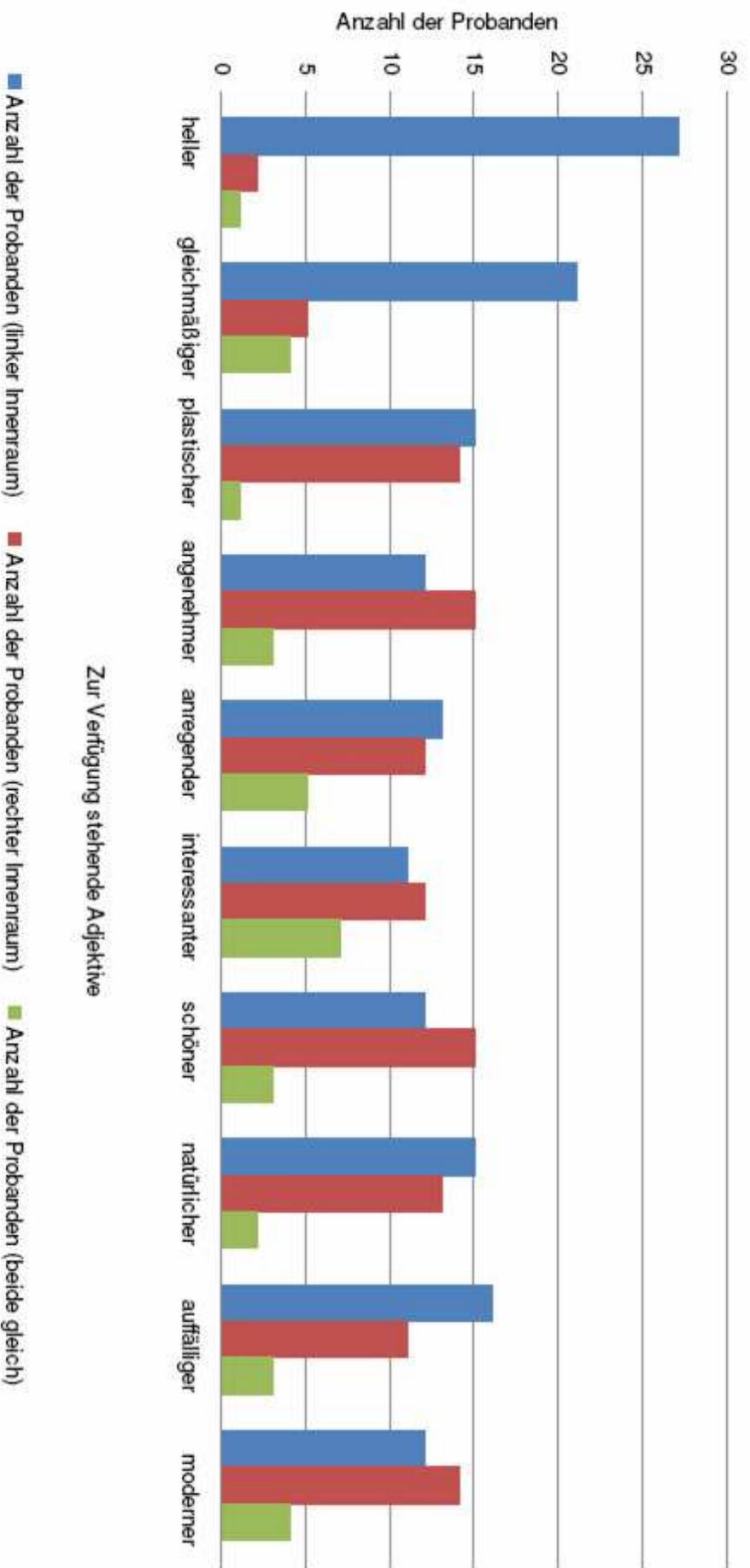
25. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 300 Lx

/395/

Links: Skulptur: dunkelgrau matt, Innenraum: cremeweiß

Rechts: Skulptur: hellgrau glänzend, Innenraum: platingrau



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum)

■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum)

■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

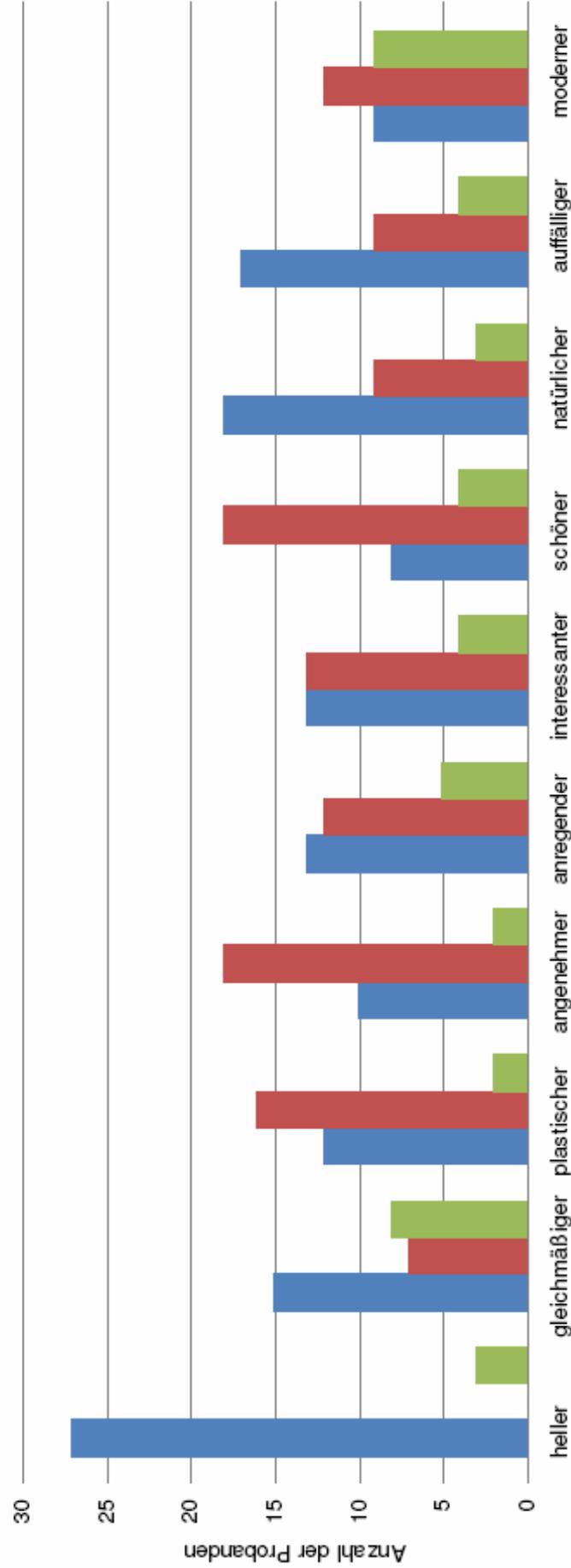
26. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 1000 Lx

/396/

Links: **Skulptur**: dunkelgrau matt, **Innenraum**: cremeweiß

Rechts: **Skulptur**: hellgrau glänzend, **Innenraum**: platingrau



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

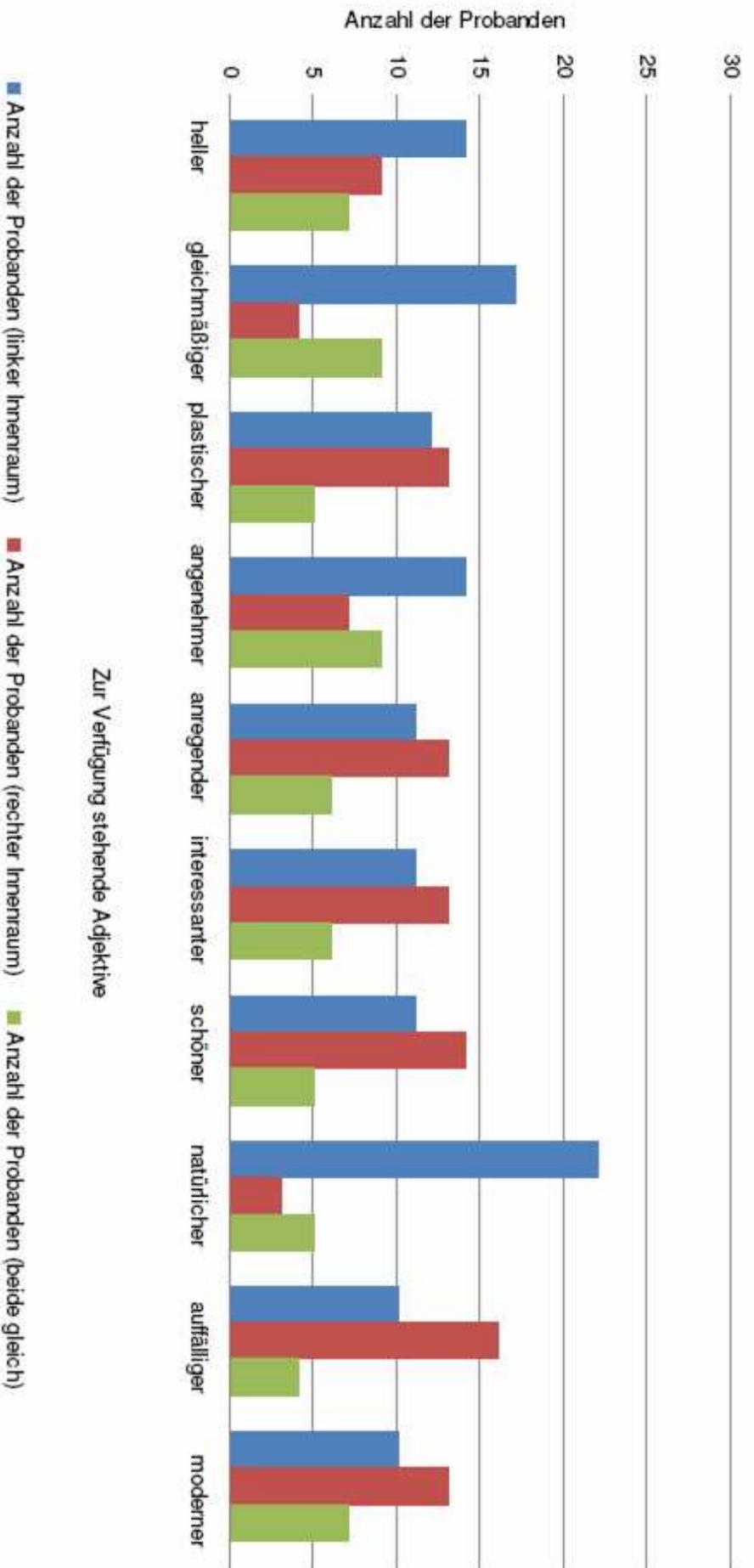
27. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 300/100 Lx

/397/

Links: Skulptur: dunkelgrau matt, Innenraum: cremeweiß

Rechts: Skulptur: hellgrau glanzend, Innenraum: platingrau



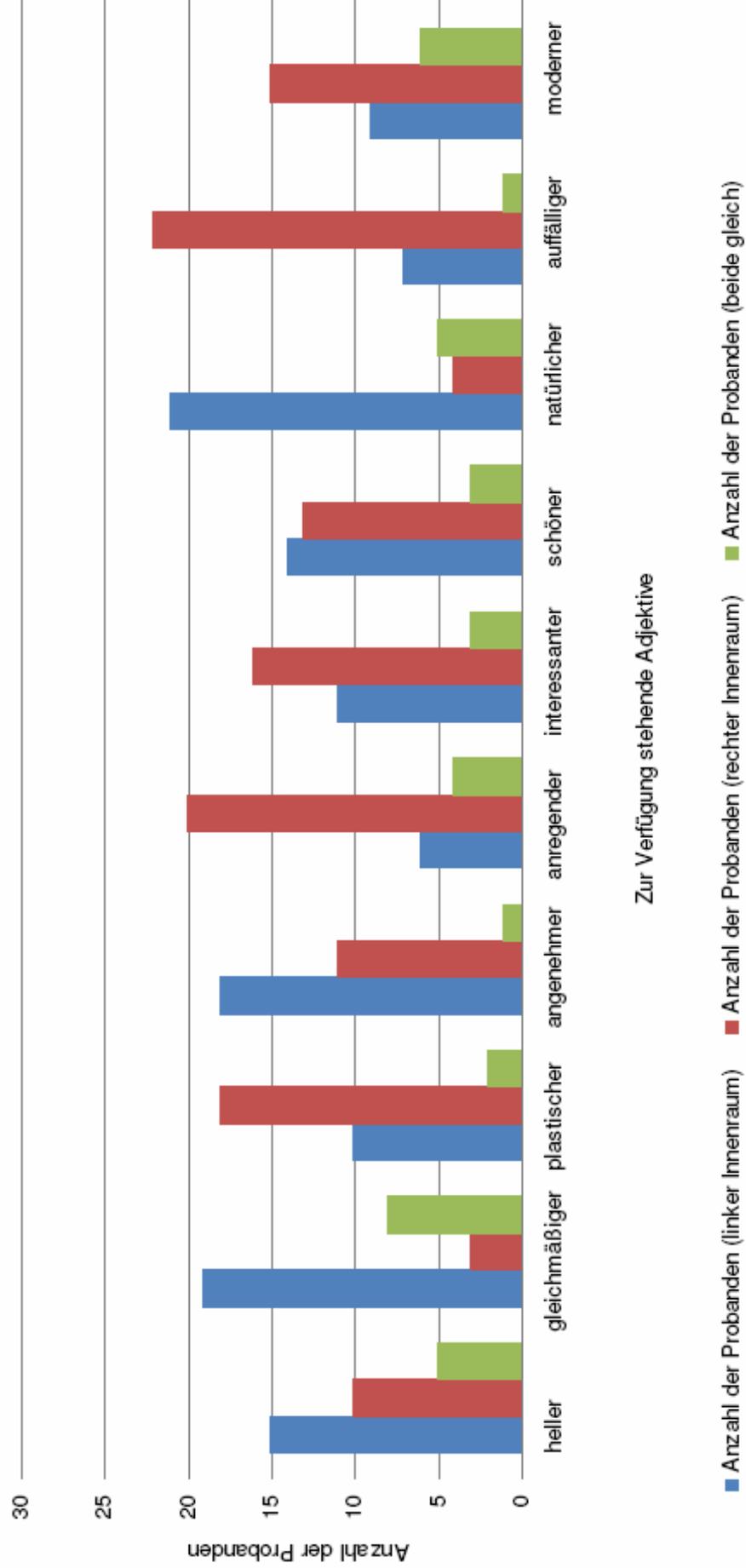
28. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 1000/200 Lx

/398/

Links: Skulptur: dunkelgrau matt, Innenraum: cremeweiß

Rechts: Skulptur: hellgrau glänzend, Innenraum: platingrau



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

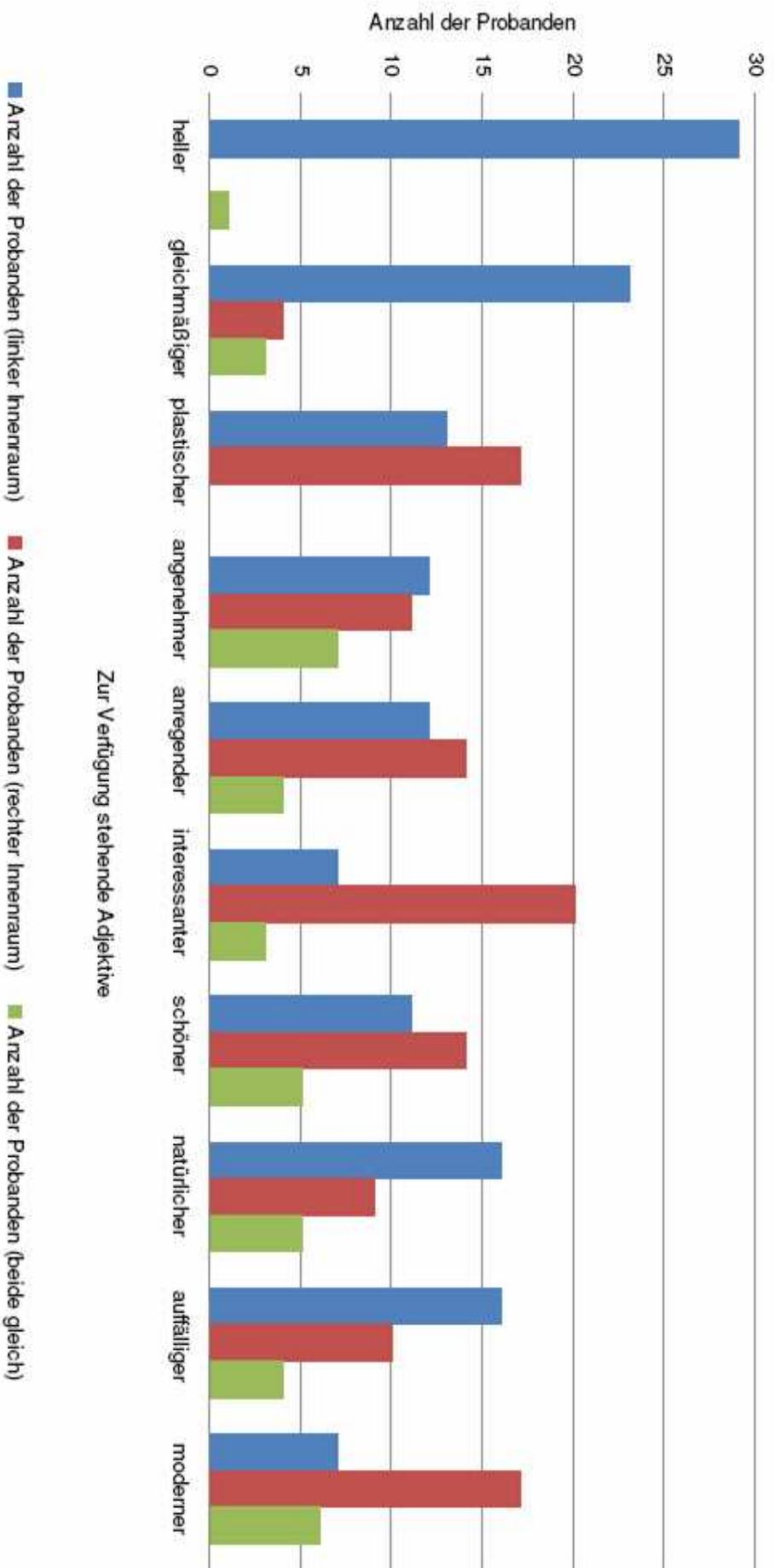
29. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 300 Lx

/399/

Links : Skulptur : schwarz matt, Innenraum: cremeweiß

Rechts : Skulptur : dunkelgrau glänzend, Innenraum: tief schwarz



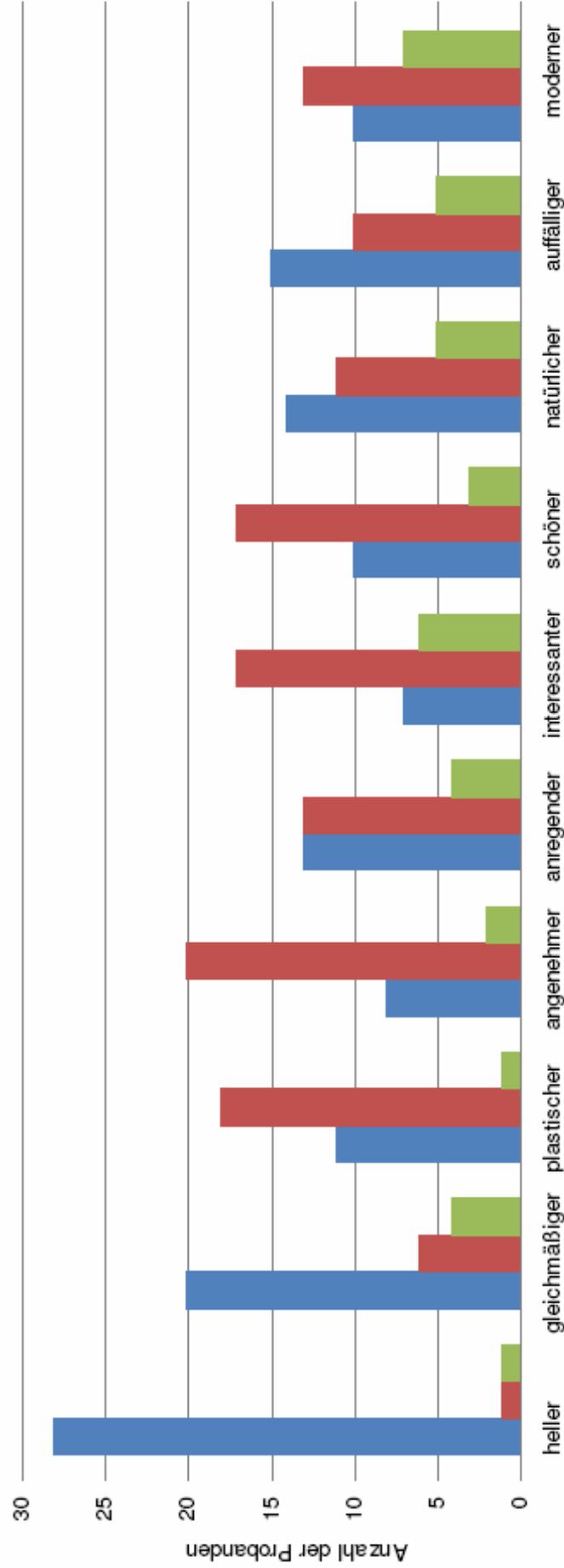
30. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 1000 Lx

/400/

Links: **Skulptur**: schwarz matt, **Innenraum**: cremeweiß

Rechts: **Skulptur**: dunkelgrau glänzend, **Innenraum**: tiefschwarz



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

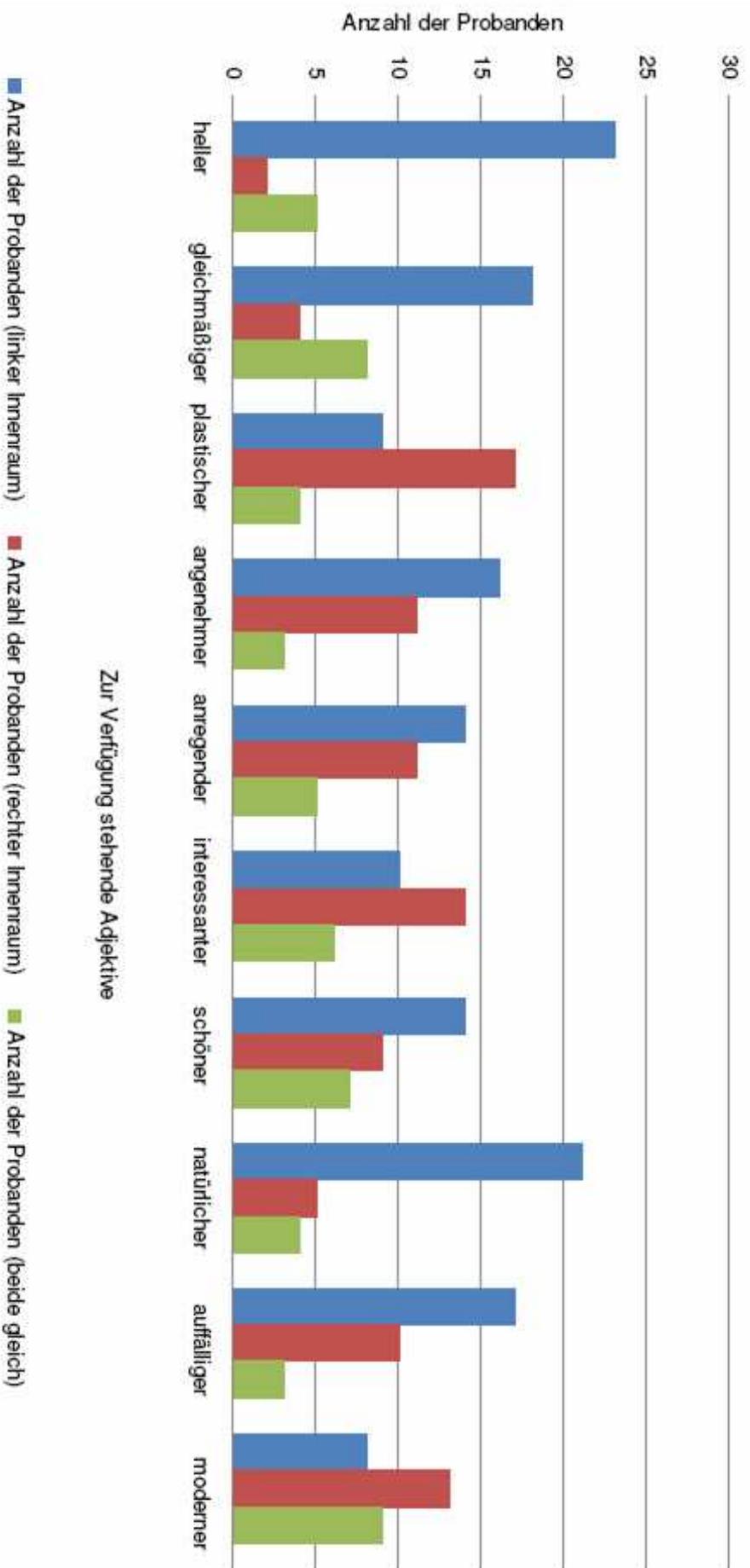
31. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 300/100 Lx

/401/

Links: Skulptur: schwarz matt, Innenraum: cremeweiß

Rechts: Skulptur: dunkelgrau glänzend, Innenraum: tief schwarz



Zur Verfügung stehende Adjektive

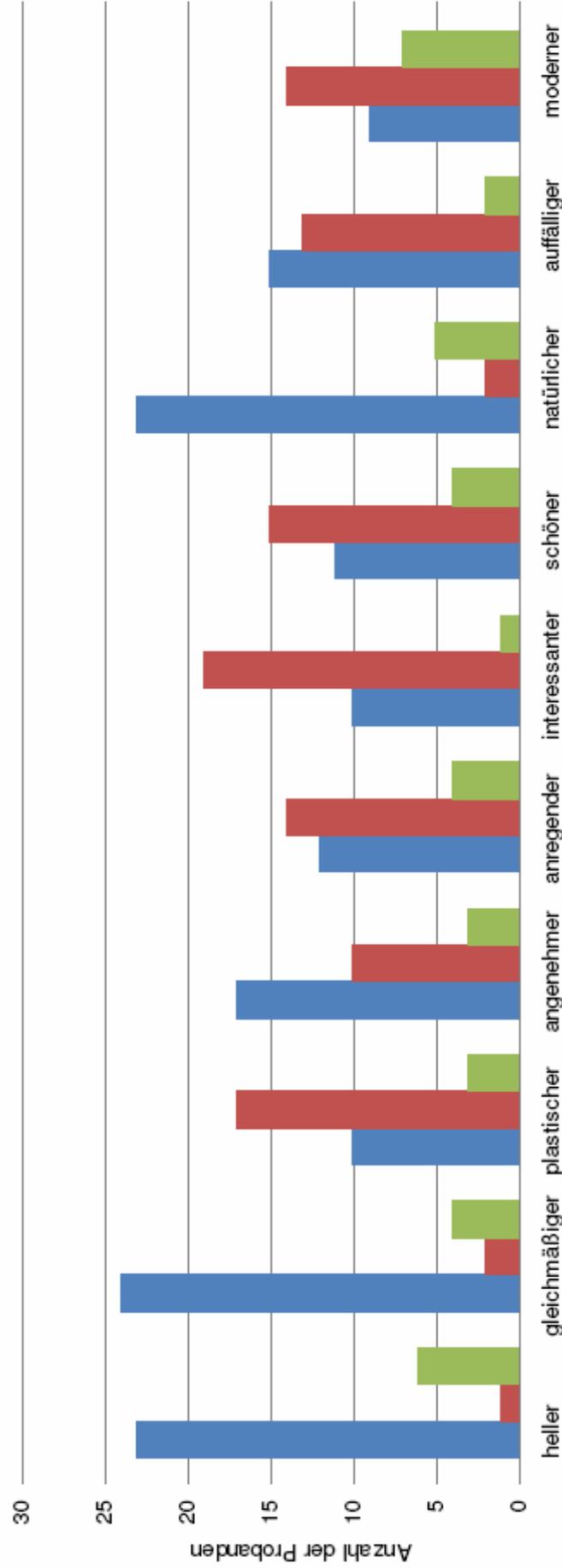
32. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 1000/200 Lx

/402/

Links: **Skulptur**: schwarz matt, **Innenraum**: cremeweiß

Rechts: **Skulptur**: dunkelgrau glänzend, **Innenraum**: tiefschwarz



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

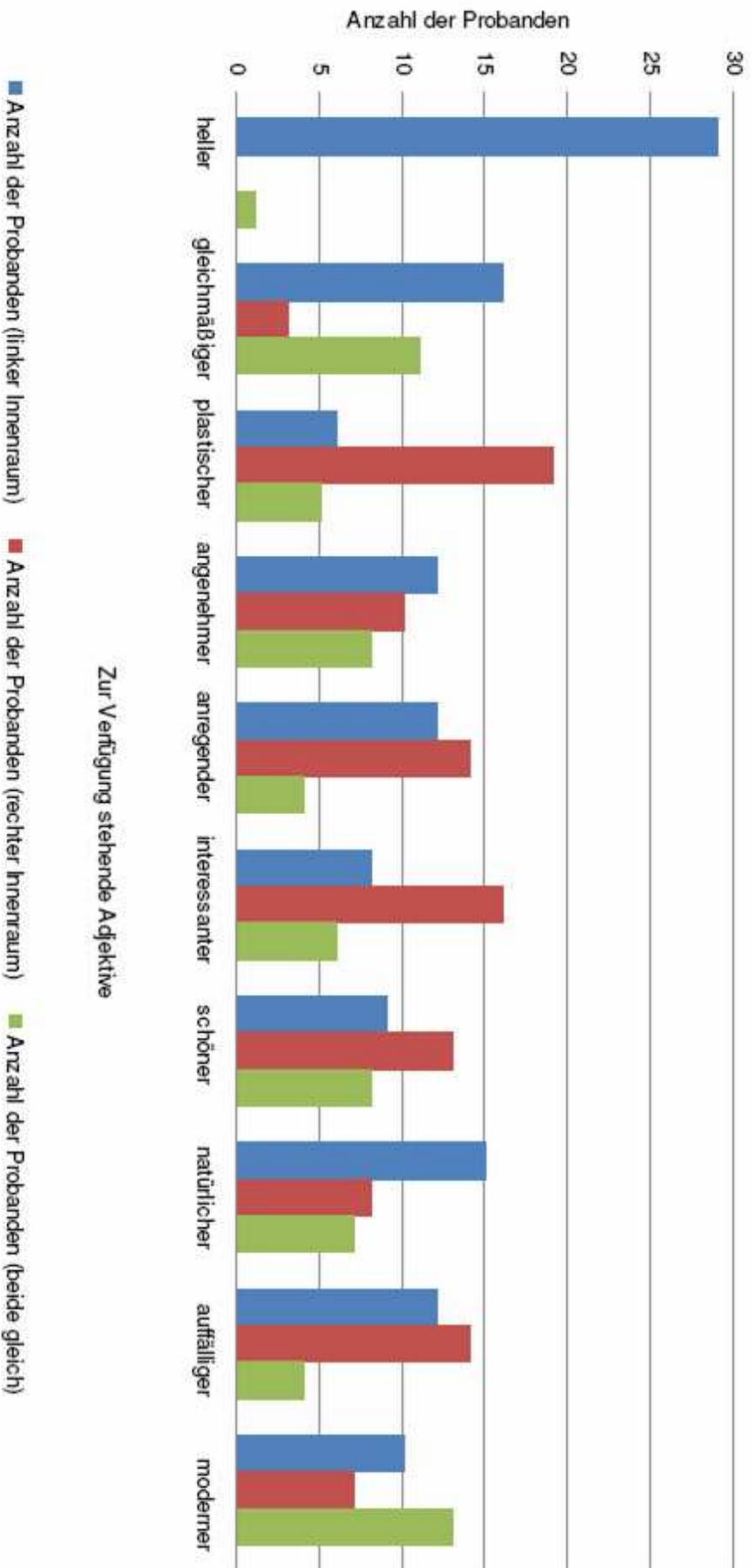
33. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 300 Lx

/403/

Links: Skulptur: hellgrau matt, Innenraum: platingrau

Rechts: Skulptur: dunkelgrau matt, Innenraum: tief schwarz



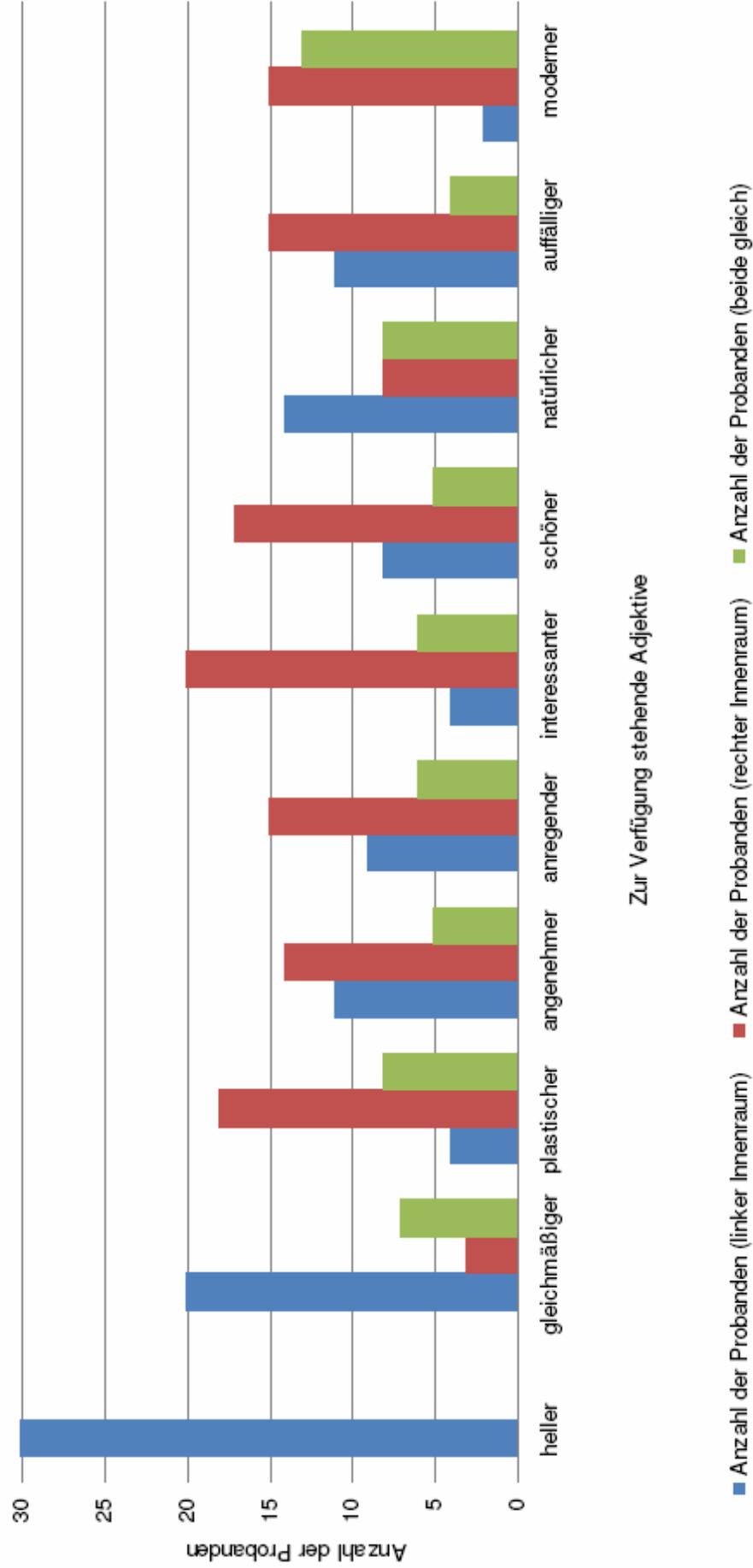
34. Paarvergleich:

Spiegelraasterdecke 1000 Lx

/404/

Links: **Skulptur:** hellgrau matt, **Innenraum:** platingrau

Rechts: **Skulptur:** dunkelgrau matt, **Innenraum:** tiefschwarz



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

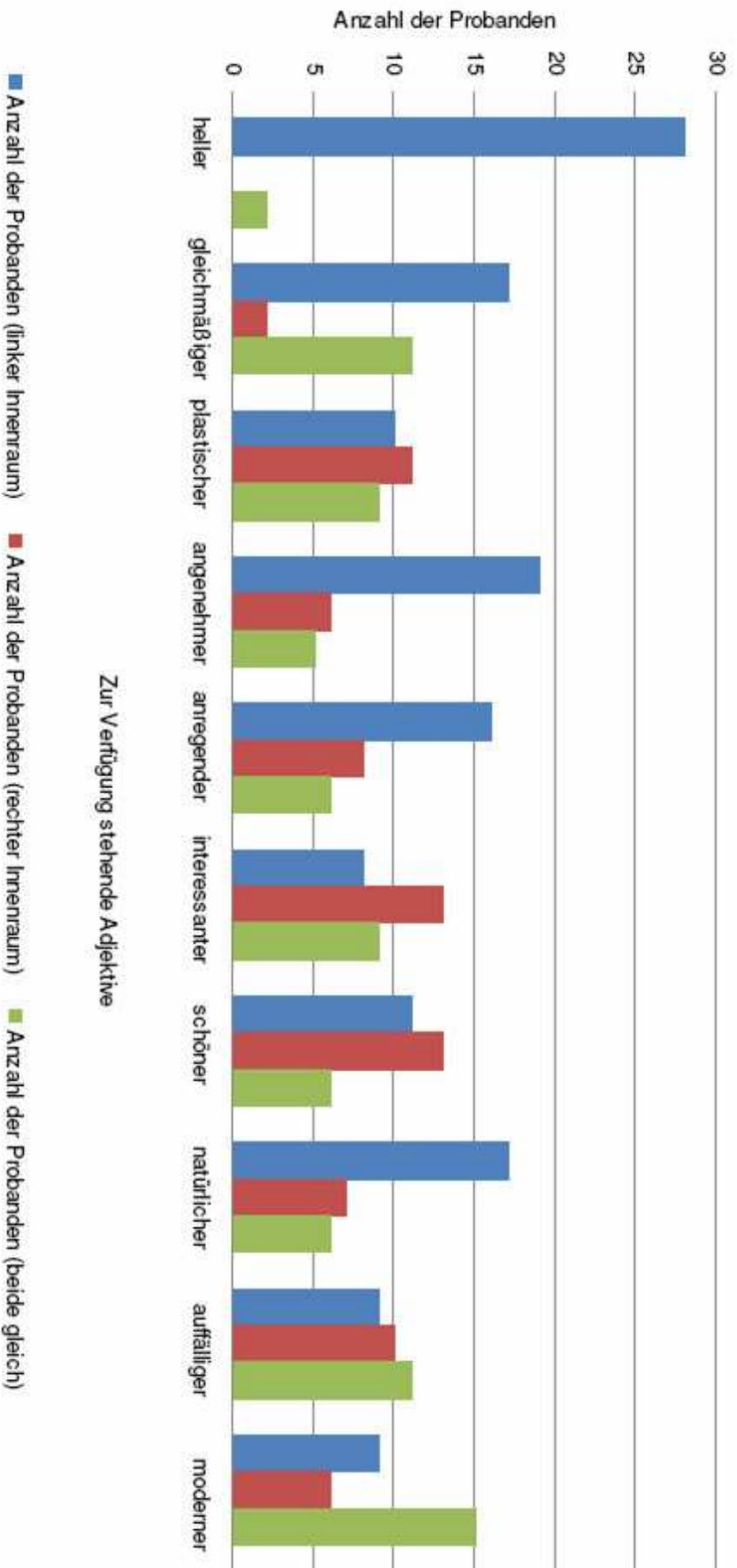
35. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 300/100 Lx

/405/

Links: Skulptur: hellgrau matt Innenraum: platingrau

Rechts: Skulptur: dunkelgrau matt Innenraum: tiefschwarz



Zur Verfügung stehende Adjektive

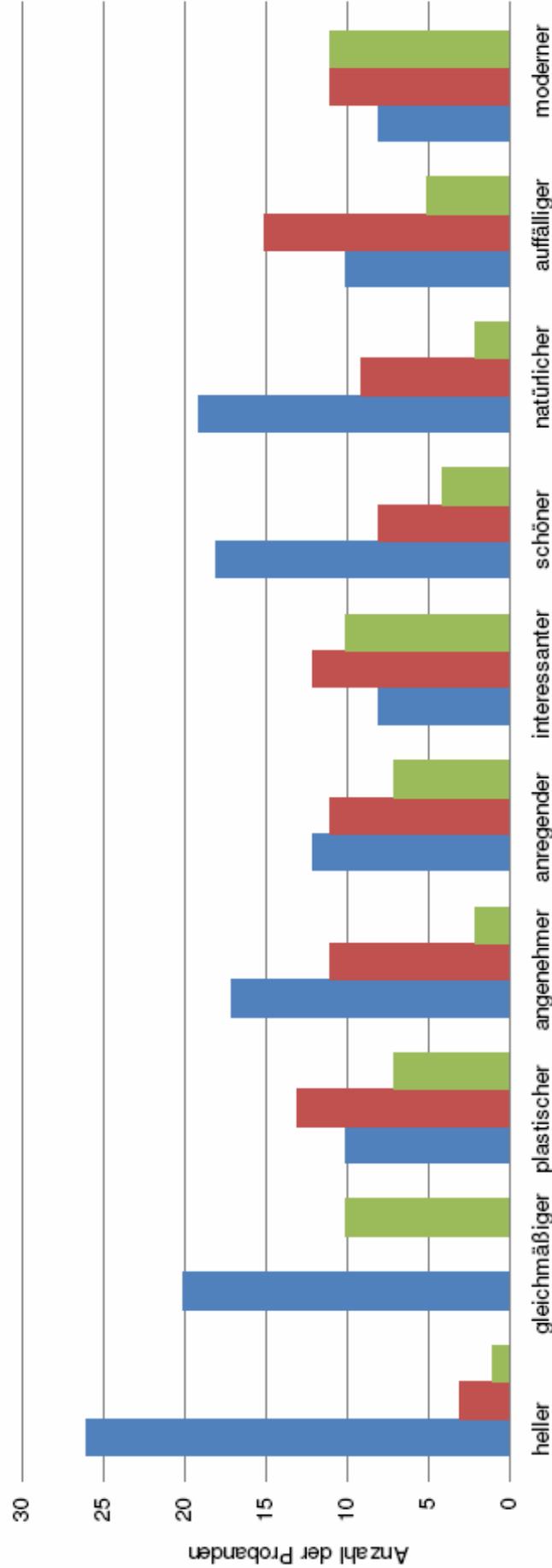
36. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 1000/200 Lx

/406/

Links: **Skulptur**: hellgrau matt, **Innenraum**: platingrau

Rechts: **Skulptur**: dunkelgrau matt, **Innenraum**: tiefenschwarz



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

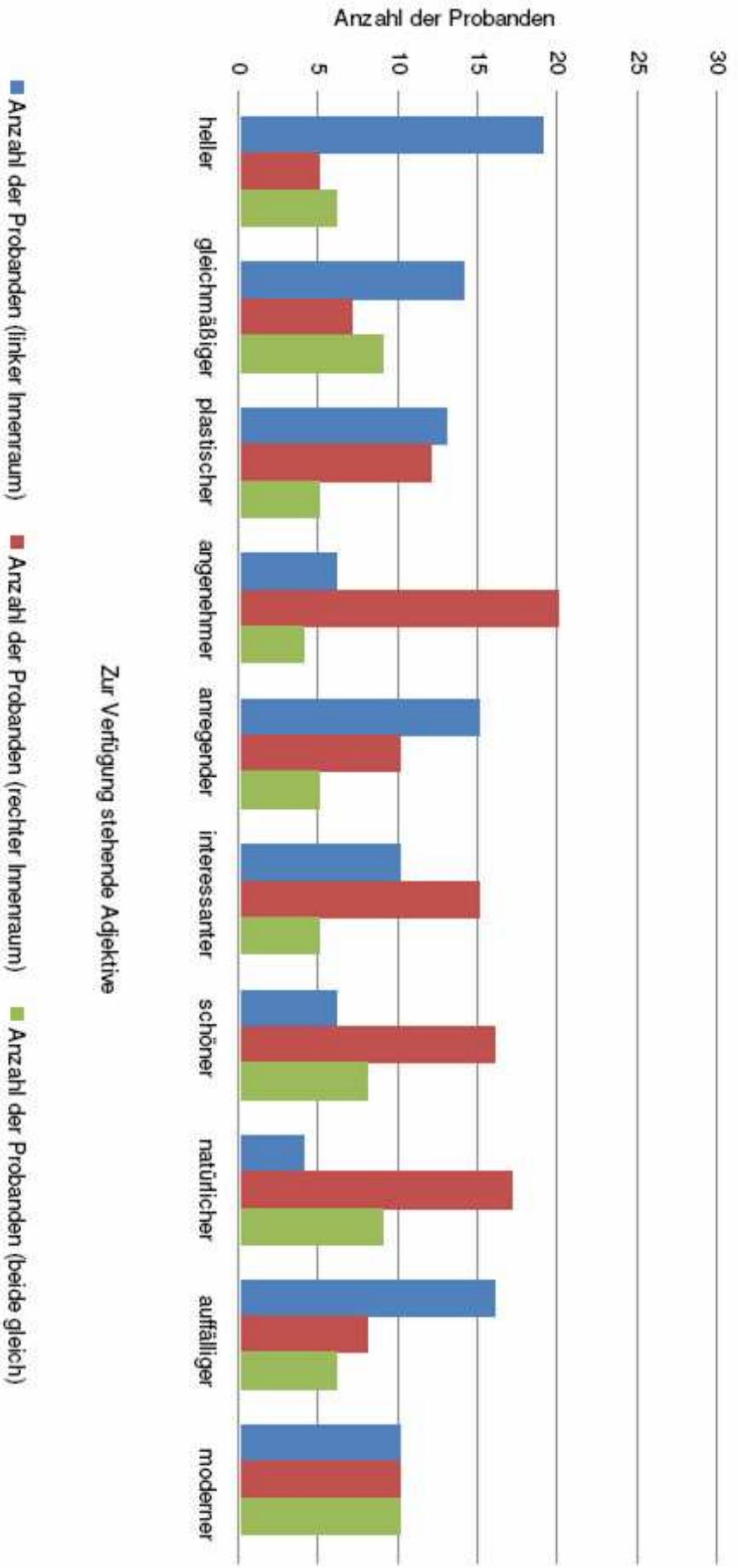
37. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 300 Lx

/407/

Links: Skulptur: dunkelgrau mat, Innenraum: cremeweiß

Rechts: Skulptur: hellgrau mat, Innenraum: platingrau



Zur Verfügung stehende Adjektive

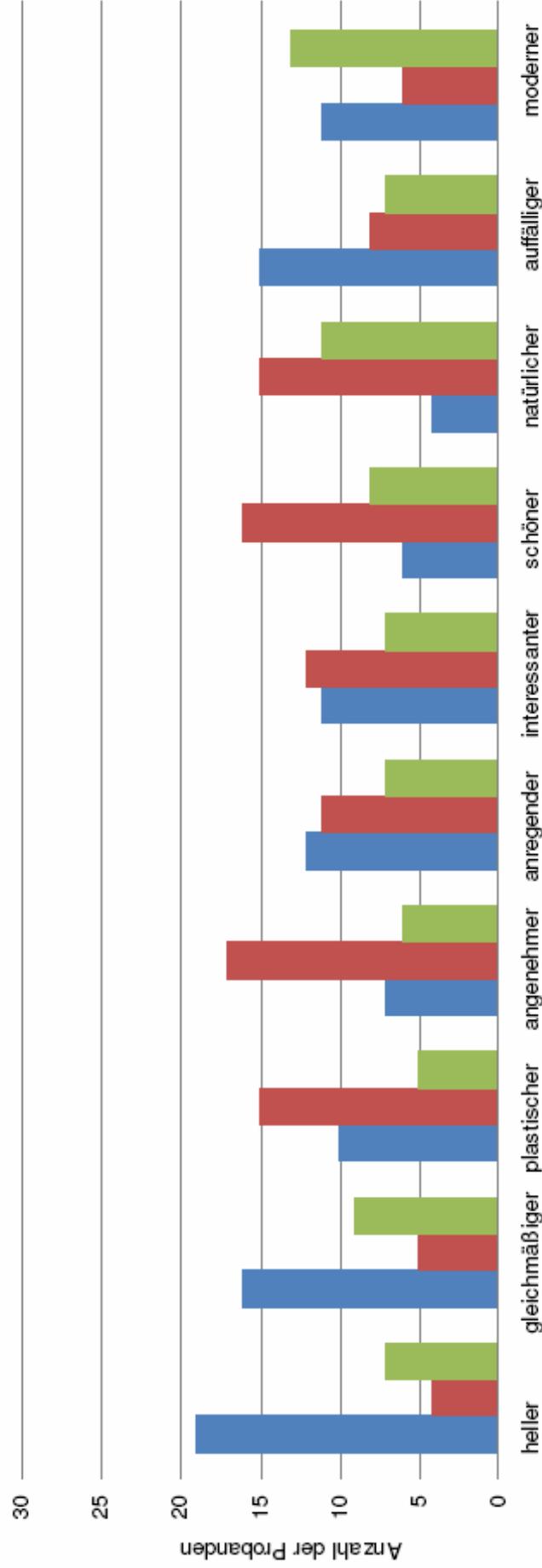
38. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 1000 Lx

/408/

Links: **Skulptur:** dunkelgrau matt, **Innenraum:** cremeweiß

Rechts: **Skulptur:** hellgrau matt, **Innenraum:** platingrau



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

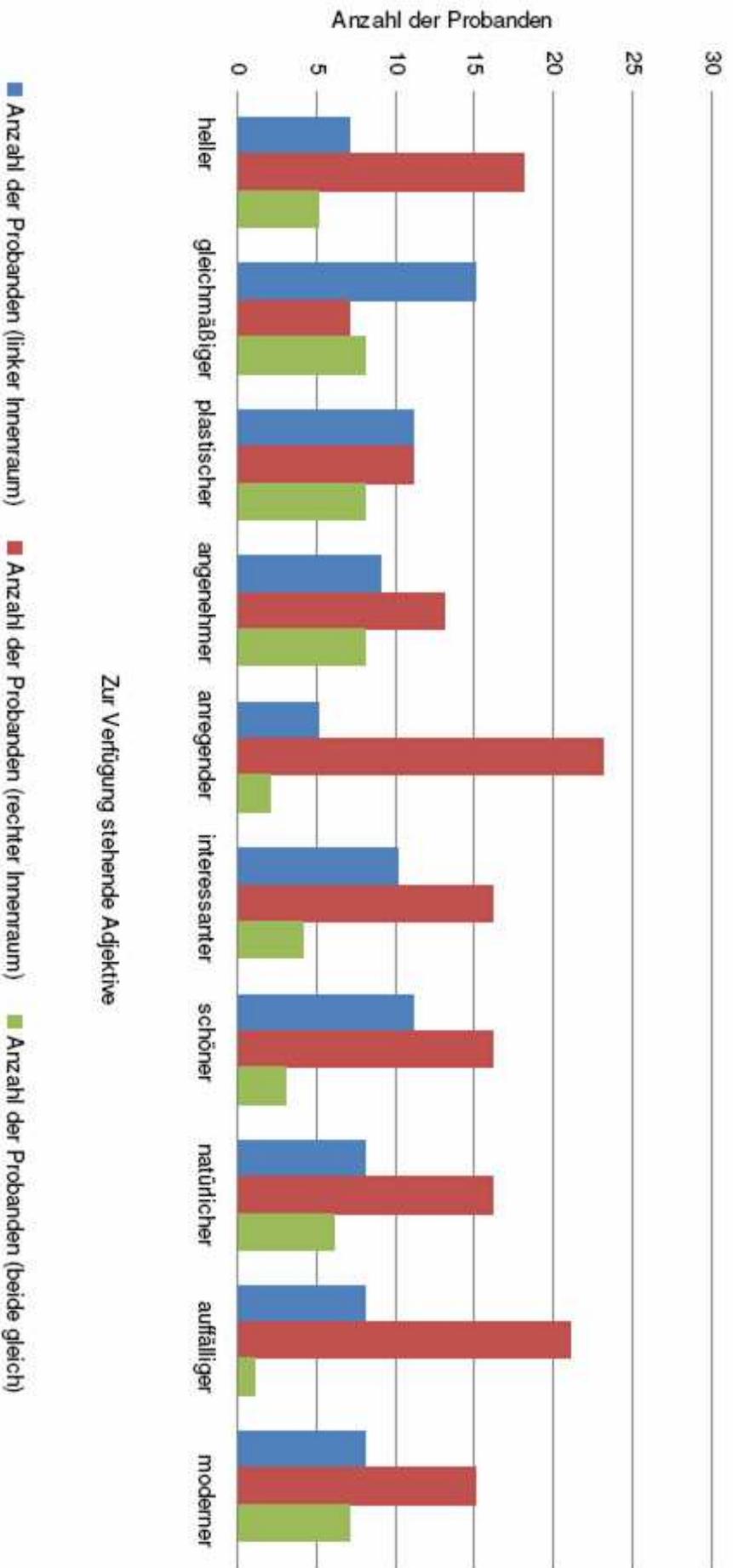
39. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 300/100 Lx

/409/

Links: Skulptur: dunkelgrau mat, Innenraum: cremeweiß

Rechts: Skulptur: hellgrau mat, Innenraum: platingrau



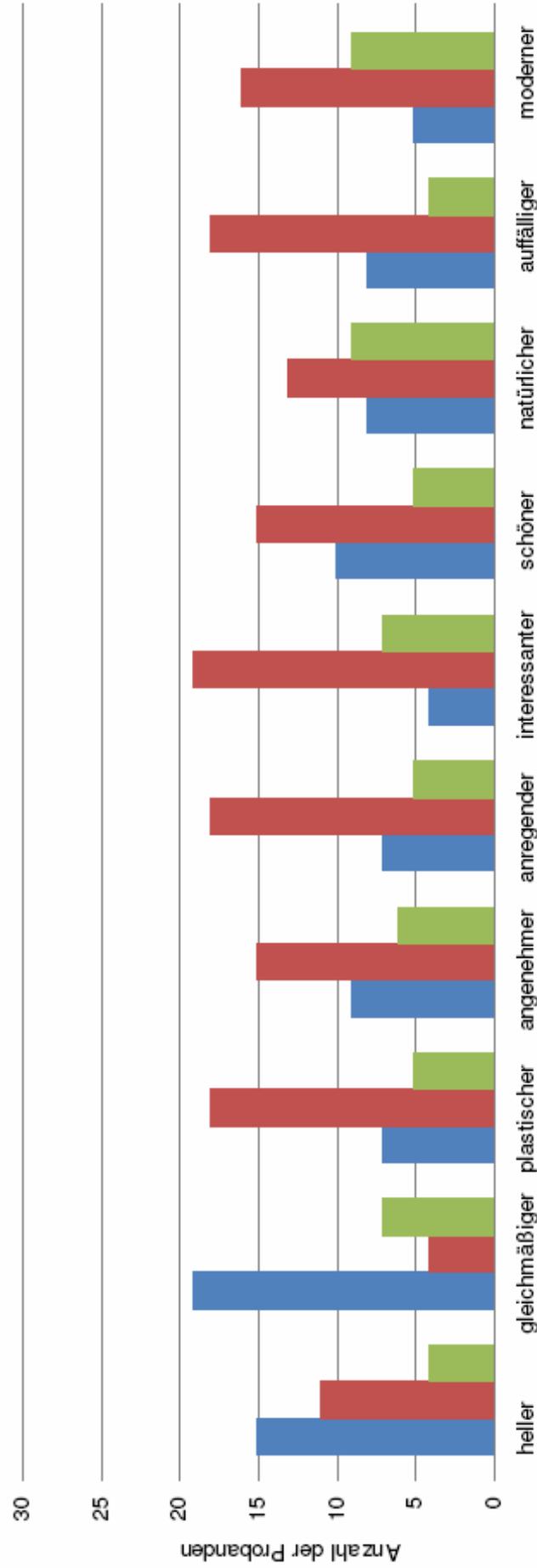
40. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 1000/200 Lx

/410/

Links: **Skulptur:** dunkelgrau matt, **Innenraum:** cremeweiß

Rechts: **Skulptur:** hellgrau matt, **Innenraum:** platingrau



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

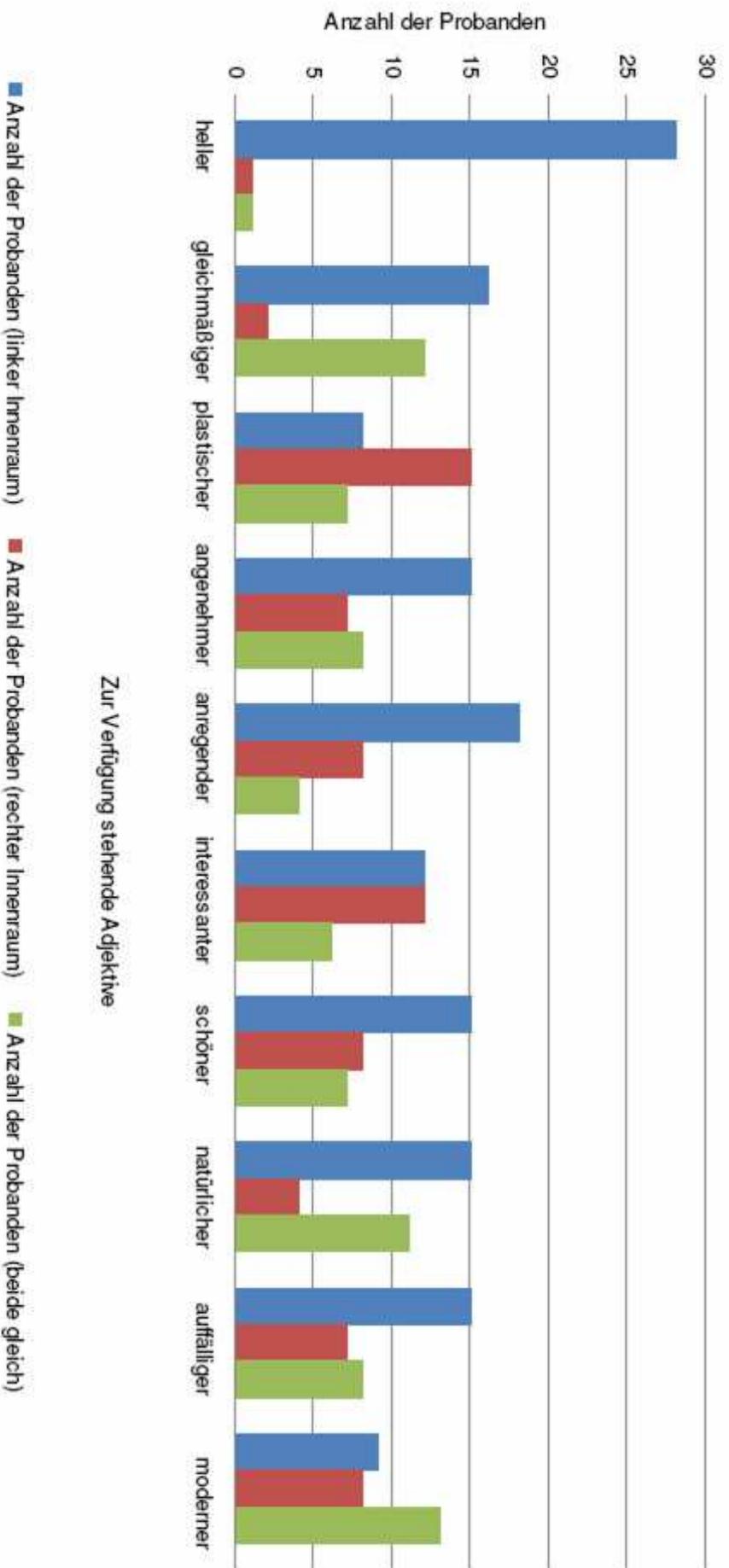
41. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 300 Lx

/411/

Links: **Skulptur**: hellgrau glänzend, **Innenraum**: platingrau

Rechts: **Skulptur**: dunkelgrau glänzend, **Innenraum**: tiefschwarz



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum)

■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum)

■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

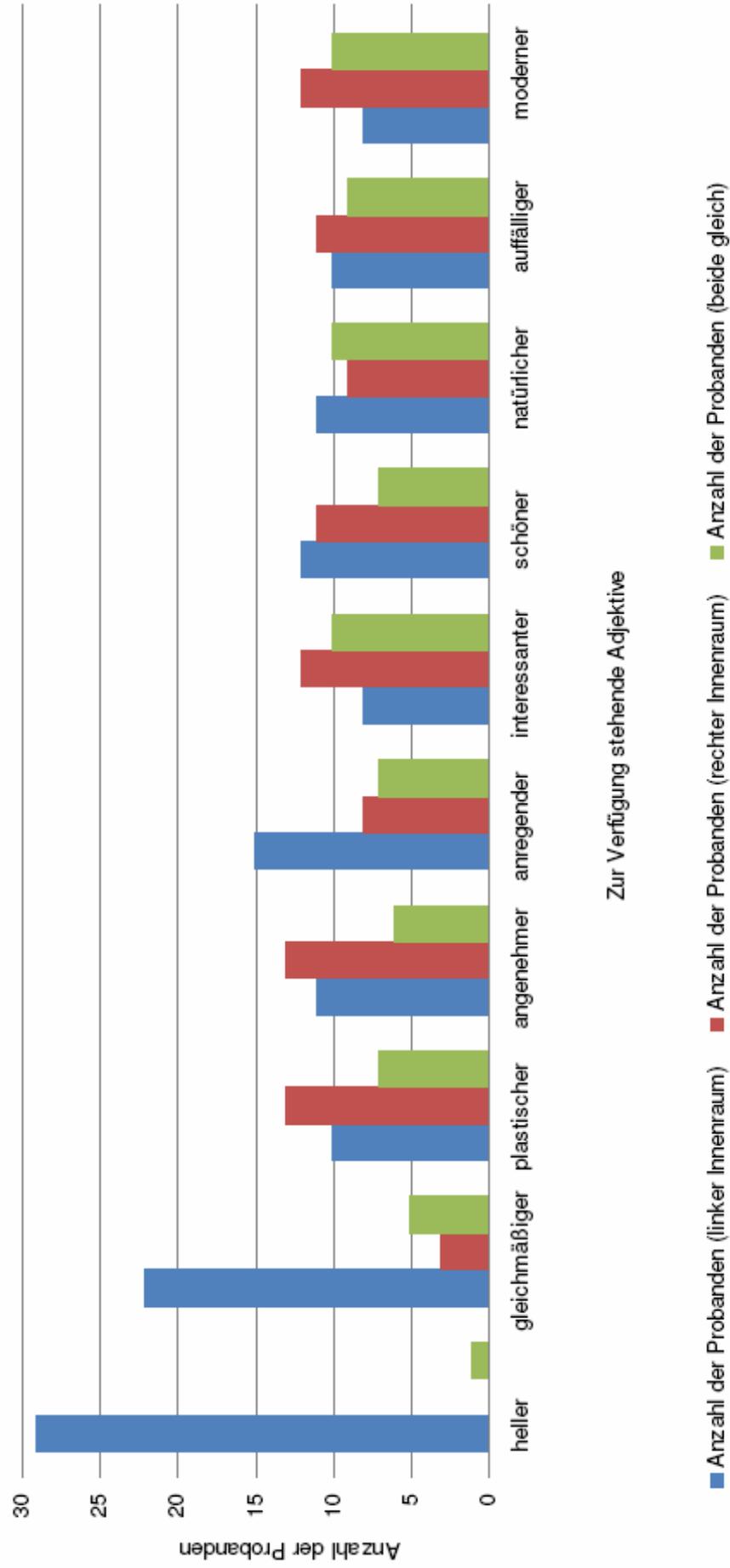
42. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 1000 Lx

/412/

Links: **Skulptur:** hellgrau glänzend, **Innenraum:** platingrau

Rechts: **Skulptur:** dunkelgrau glänzend, **Innenraum:** tiefschwarz



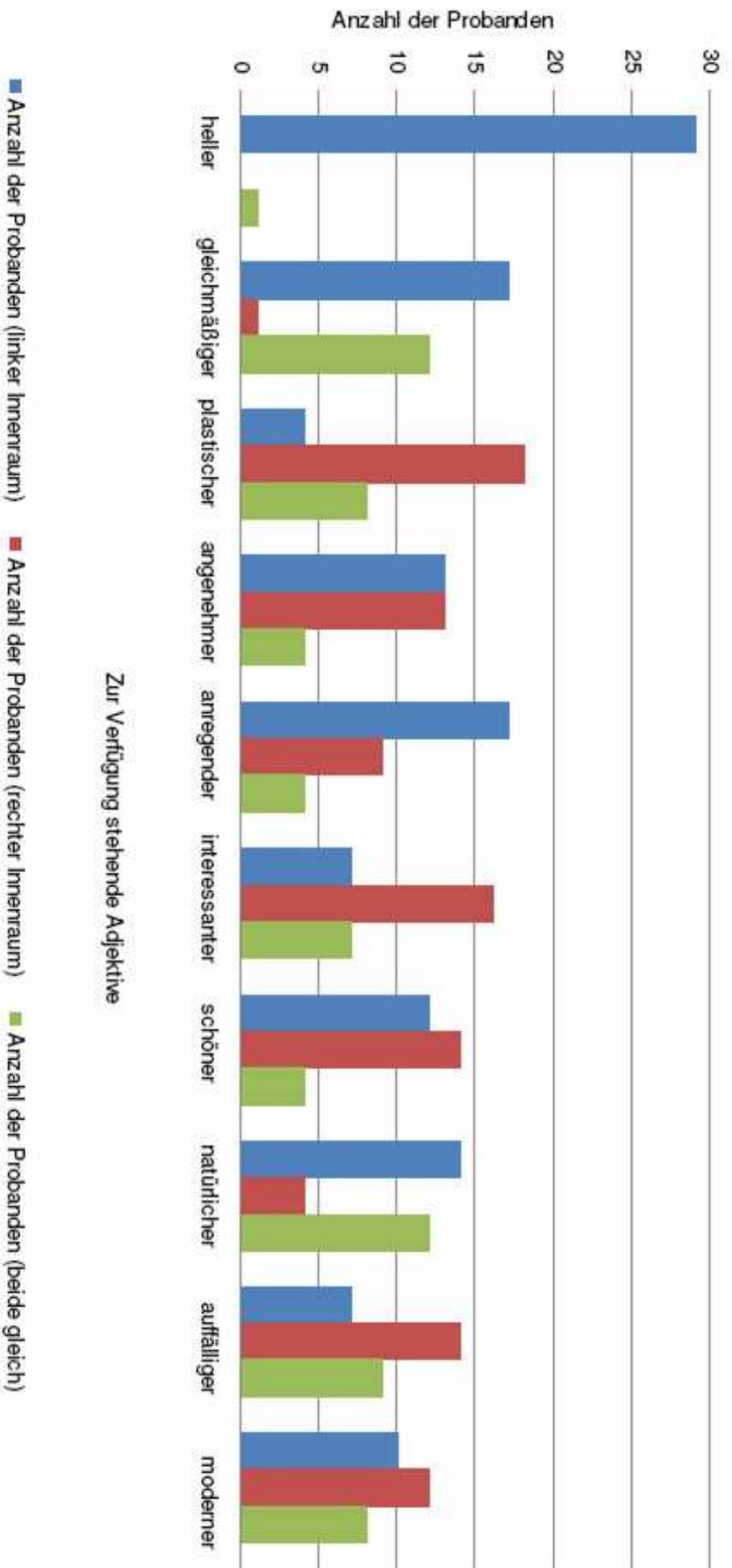
43. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 300/100 Lx

/413/

Links: Skulptur: hellgrau glänzend, Innenraum: platingrau

Rechts: Skulptur: dunkelgrau glänzend, Innenraum: fliefschwarz



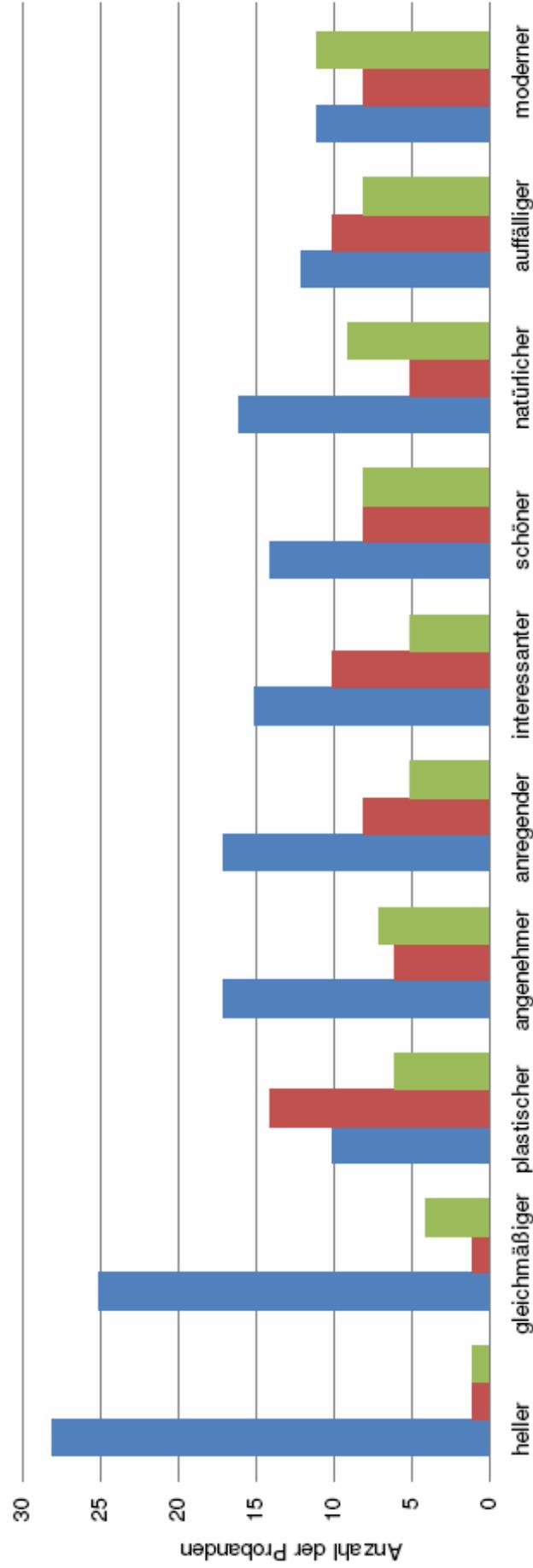
44. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 1000/200 Lx

/414/

Links: **Skulptur:** hellgrau glänzend, **Innenraum:** platingrau

Rechts: **Skulptur:** dunkelgrau glänzend, **Innenraum:** tiefschwarz



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

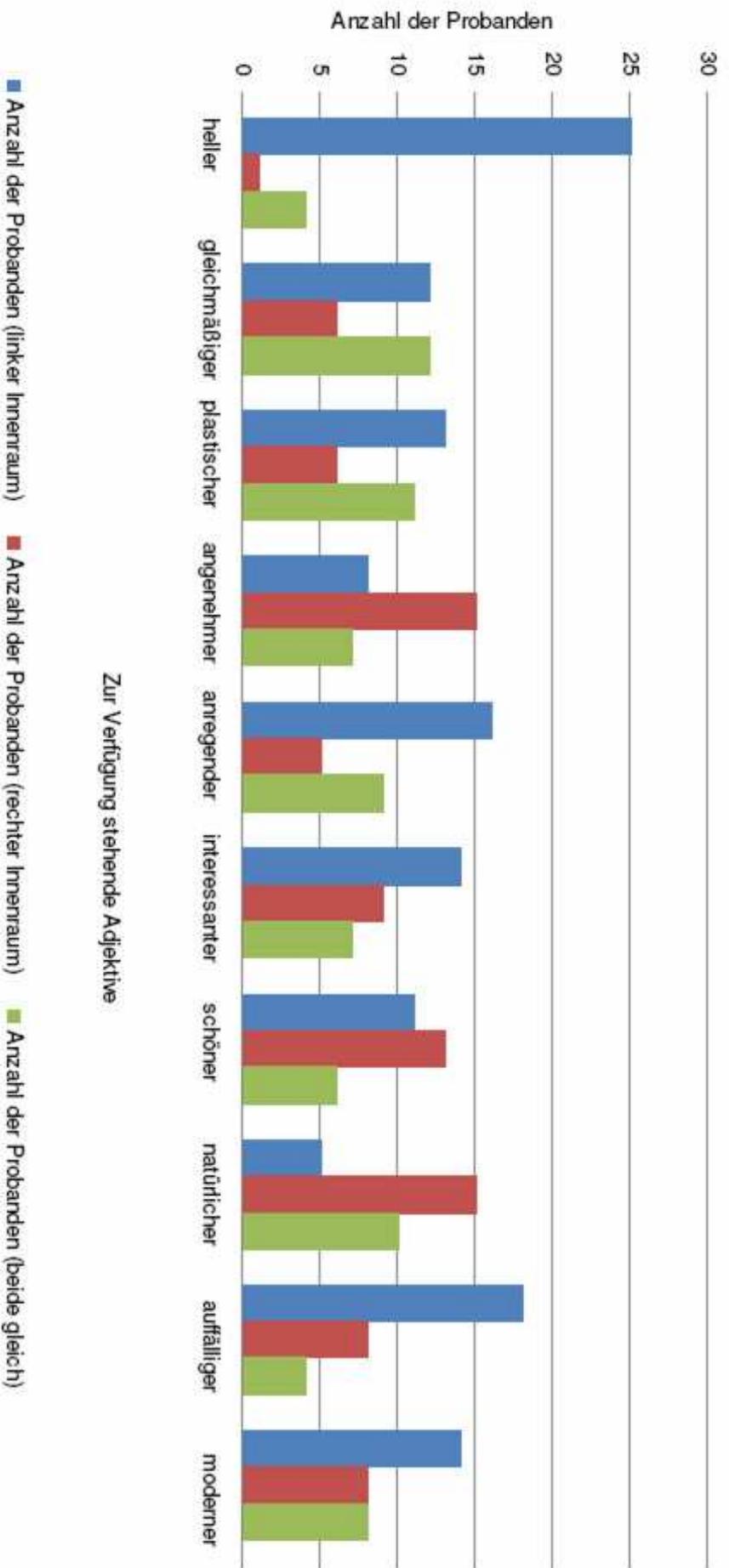
45. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 300 Lx

/415/

Links: Skulptur: dunkelgrau glänzend, Innenraum: cremeweiß

Rechts: Skulptur: hellgrau glänzend, Innenraum: platingrau



Zur Verfügung stehende Adjektive

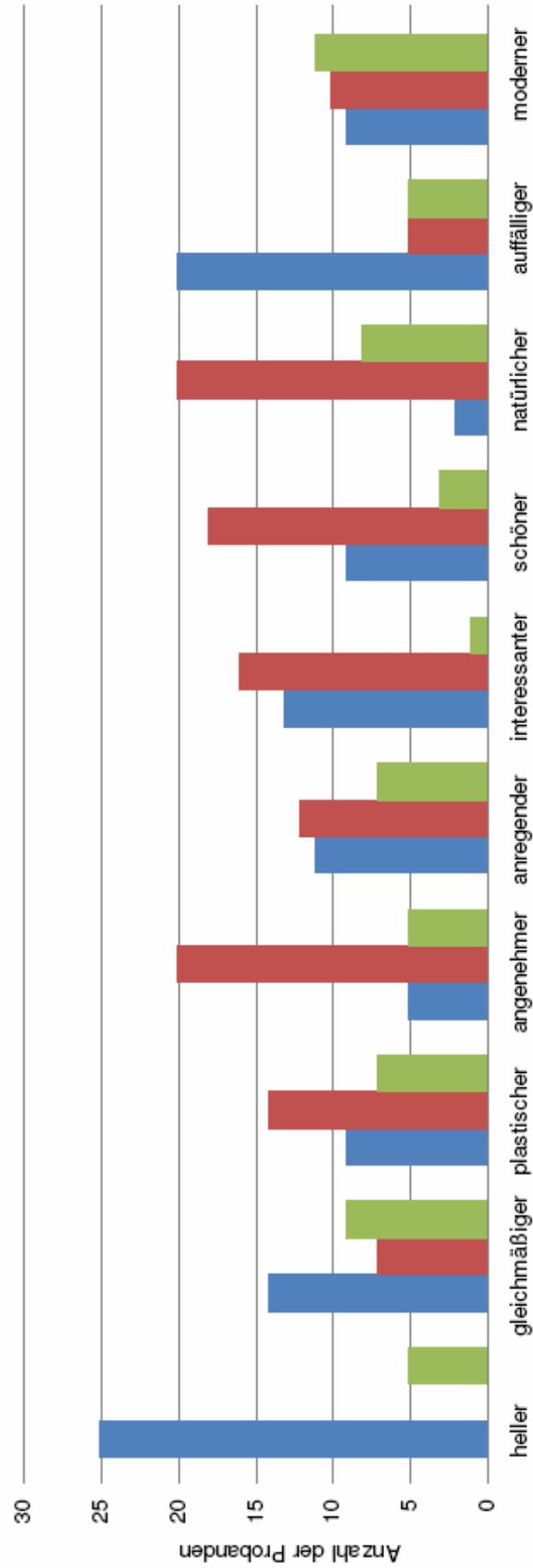
46. Paarvergleich:

Spiegelrasterdecke 1000 Lx

/416/

Links: **Skulptur**: dunkelgrau glänzend, **Innenraum**: cremeweiß

Rechts: **Skulptur**: hellgrau glänzend, **Innenraum**: platingrau



Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

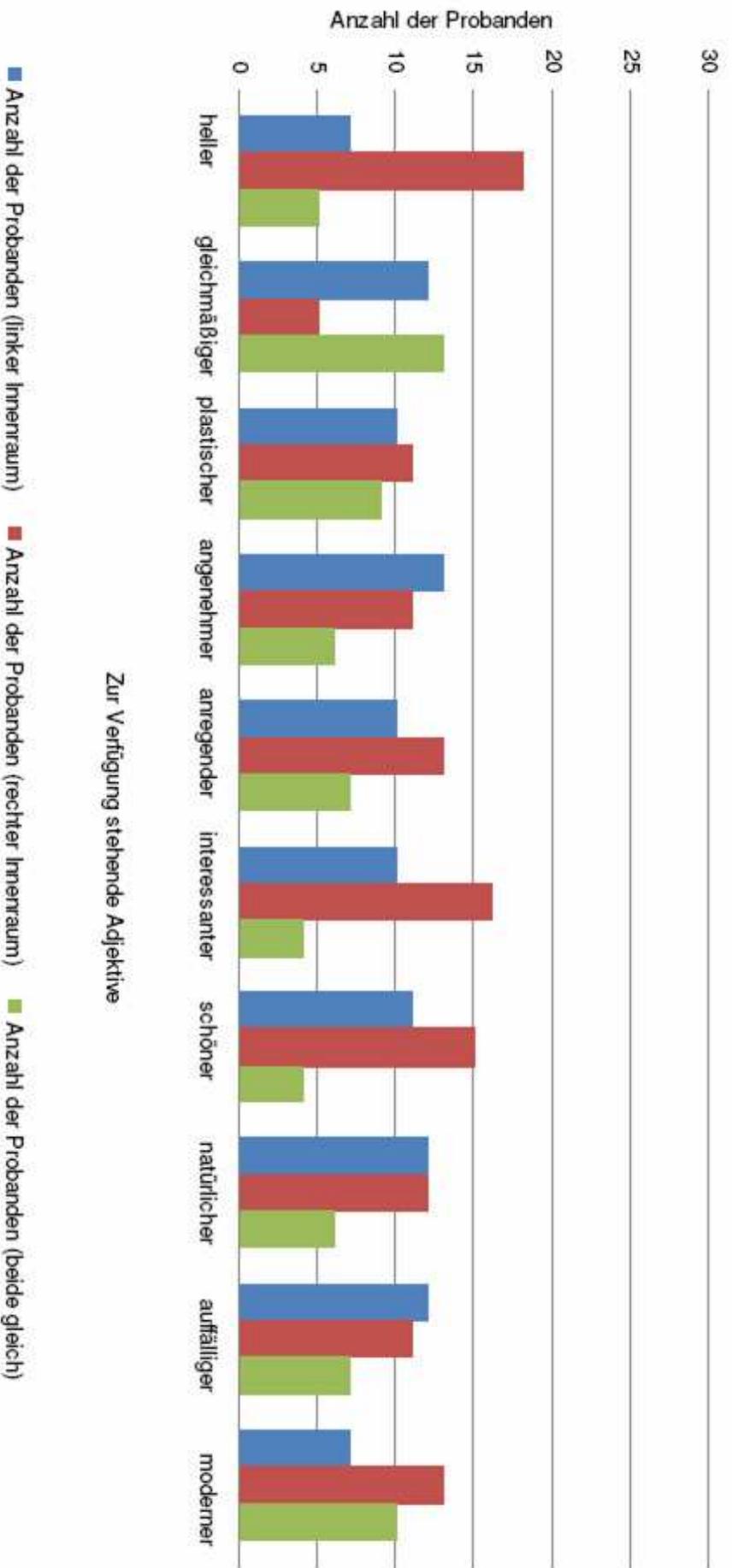
47. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 300/100 Lx

/417/

Links: Skulptur: dunkelgrau glänzend, Innenraum: cremeweiß

Rechts: Skulptur: hellgrau glänzend, Innenraum: platingrau



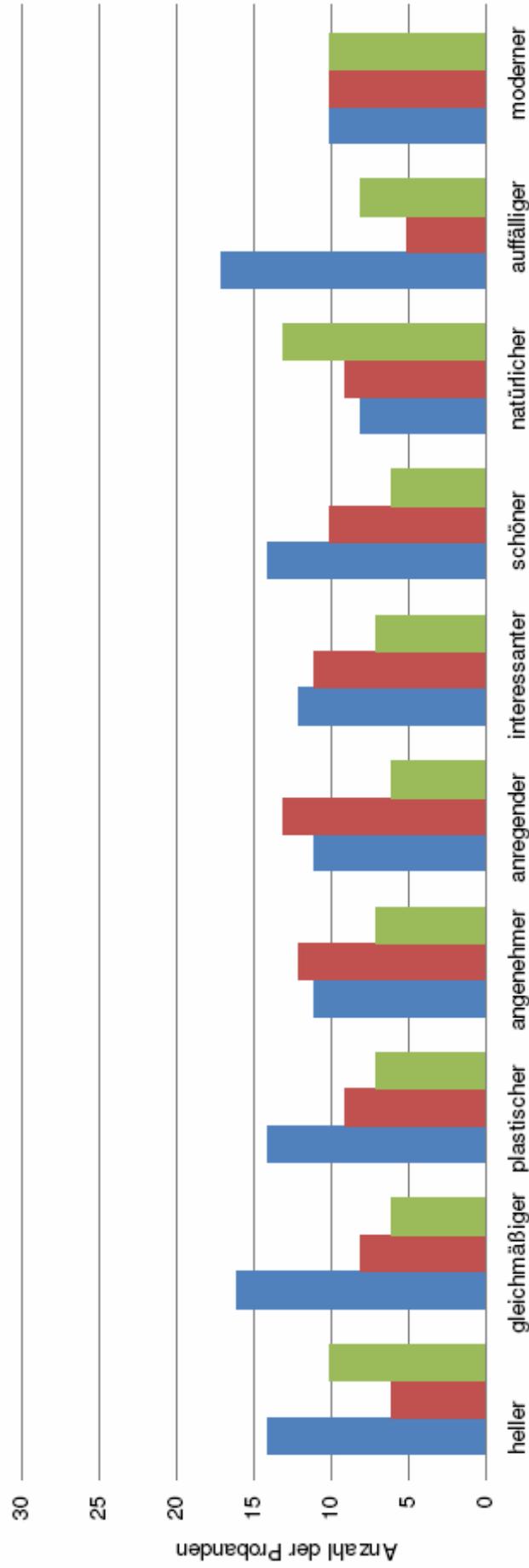
48. Paarvergleich:

Strahler + Wandfluter 1000/200 Lx

/418/

Links: **Skulptur:** dunkelgrau glänzend, **Innenraum:** cremeweiß

Rechts: **Skulptur:** hellgrau glänzend, **Innenraum:** platingrau

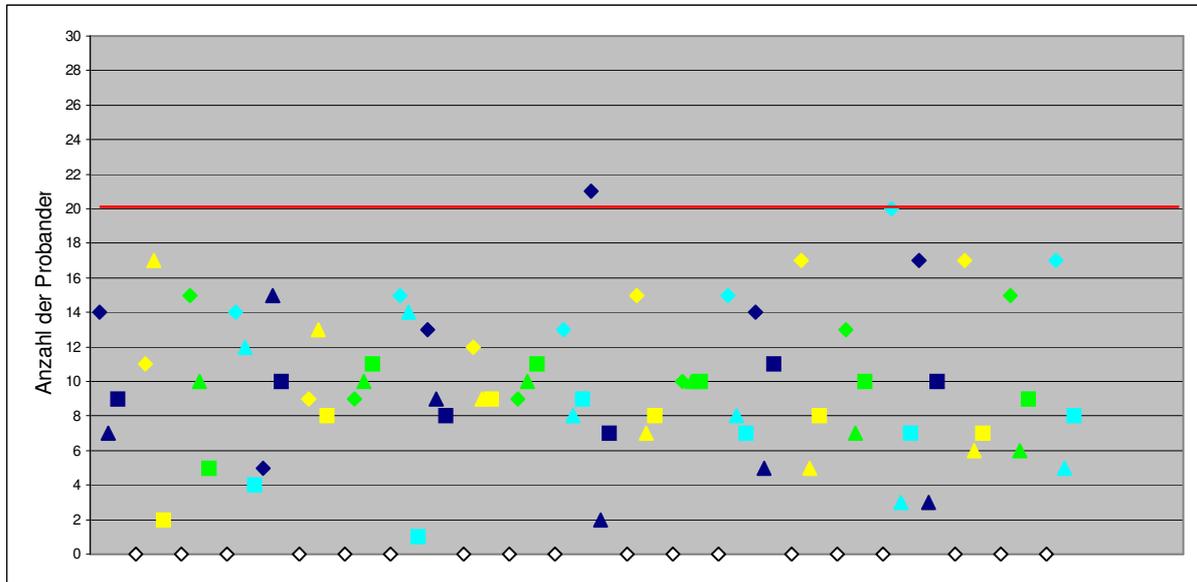


Zur Verfügung stehende Adjektive

■ Anzahl der Probanden (linker Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (rechter Innenraum) ■ Anzahl der Probanden (beide gleich)

7.3.2 Grafische Gesamtauswertung in Bezug auf das jeweilige Bewertungsadjektiv

PV 1-24, Bewertungsadjektiv „heller“
 PV 1,2,3,4 / 5,6,7,8 / 9,10,11,12 / 13,14,15,16 / 17,18,19,20 / 21,22,23,24

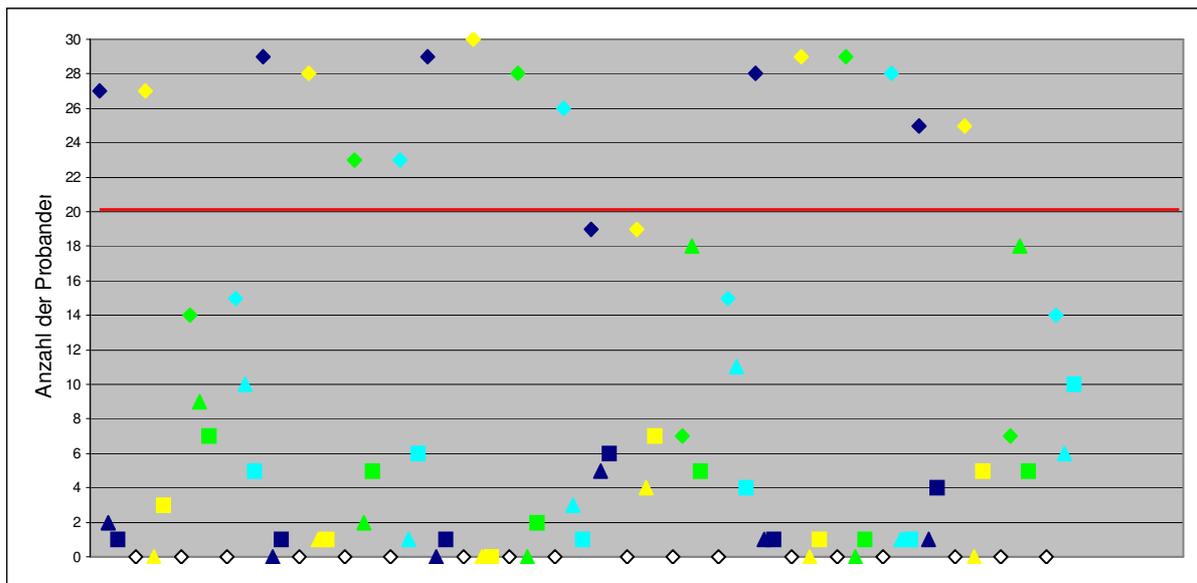


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 1, /419/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 25-48, Bewertungsadjektiv „heller“
 PV 25,26,27,28 / 29,30,31,32 / 33,34,35,36 / 37,38,39,40 / 41,42,43,44 / 45,46,47,48

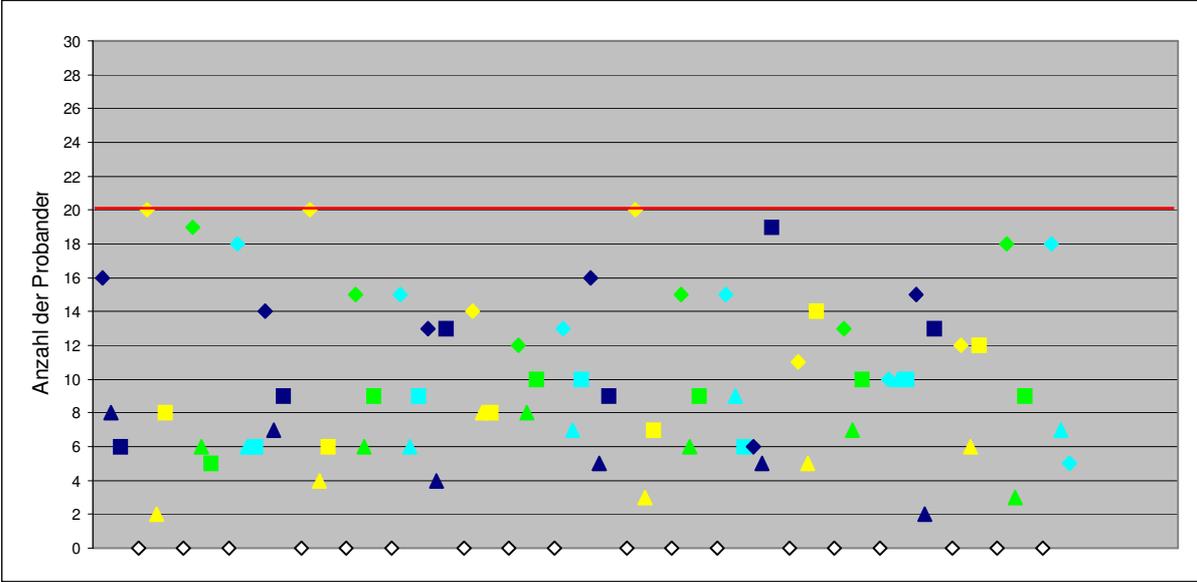


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 2, /420/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 1-24, Bewertungsadjektiv „gleichmäßiger“
 PV 1,2,3,4 / 5,6,7,8 / 9,10,11,12 / 13,14,15,16 / 17,18,19,20 / 21,22,23,24

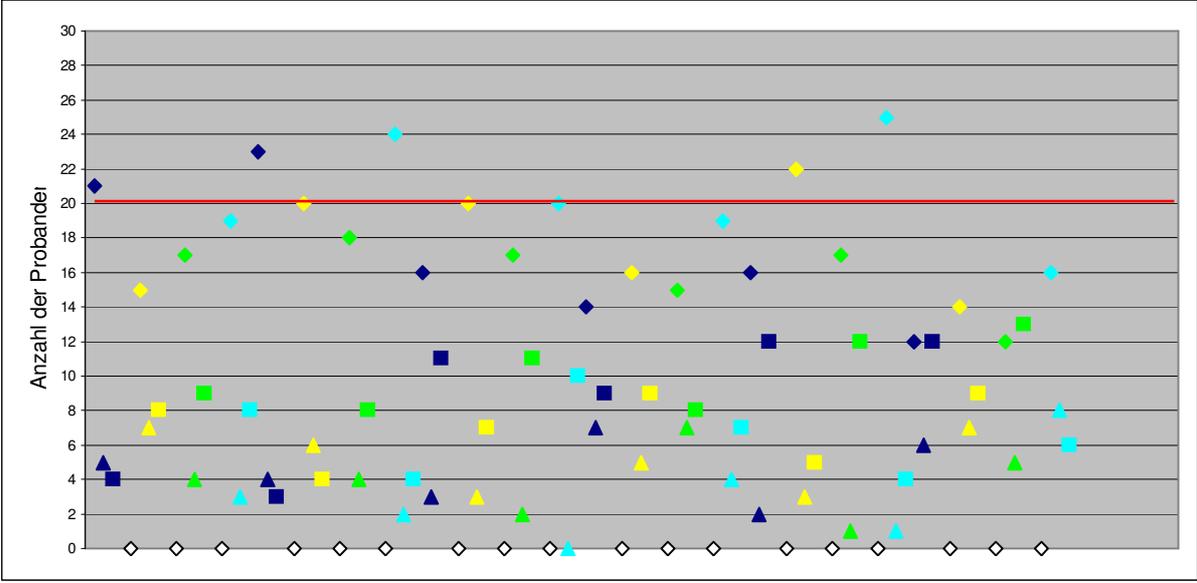


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 3, /421/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 25-48, Bewertungsadjektiv „gleichmäßiger“
 PV 25,26,27,28 / 29,30,31,32 / 33,34,35,36 / 37,38,39,40 / 41,42,43,44 / 45,46,47,48

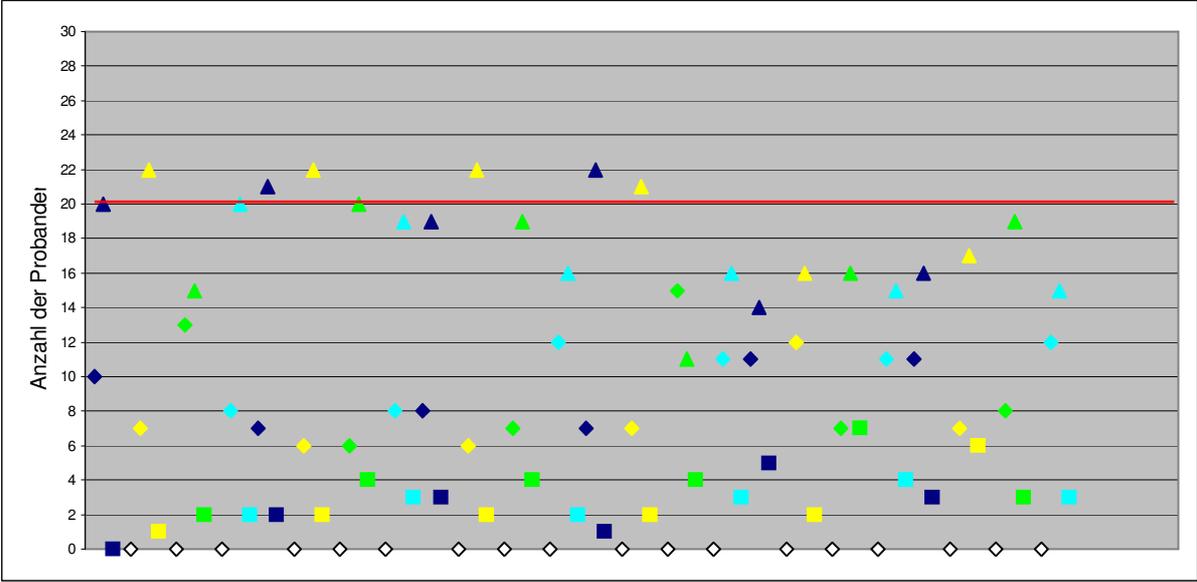


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 4, /422/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 1-24, Bewertungsadjektiv „plastischer“
 PV 1,2,3,4 / 5,6,7,8 / 9,10,11,12 / 13,14,15,16 / 17,18,19,20 / 21,22,23,24

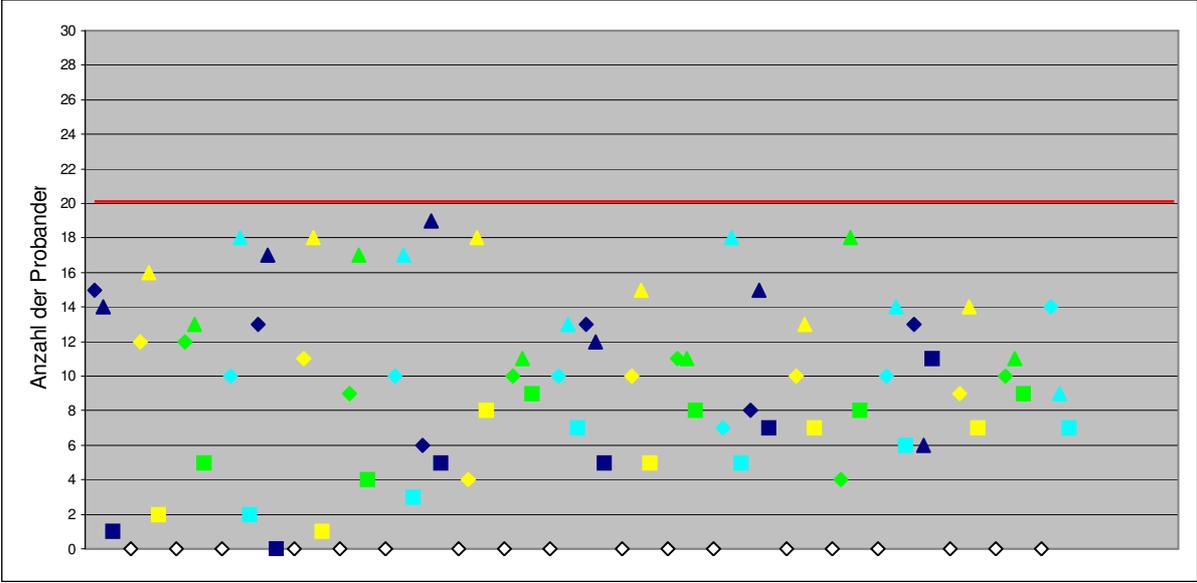


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 5, /423/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 25-48, Bewertungsadjektiv „plastischer“
 PV 25,26,27,28 / 29,30,31,32 / 33,34,35,36 / 37,38,39,40 / 41,42,43,44 / 45,46,47,48

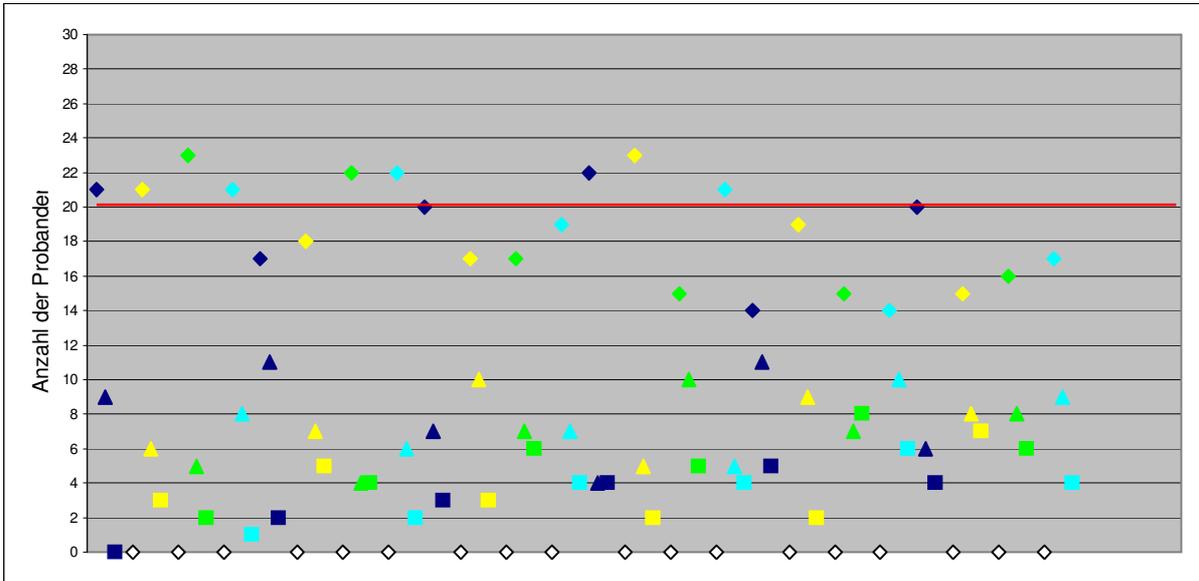


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 6, /424/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 1-24, Bewertungsadjektiv „angenehmer“
 PV 1,2,3,4 / 5,6,7,8 / 9,10,11,12 / 13,14,15,16 / 17,18,19,20 / 21,22,23,24

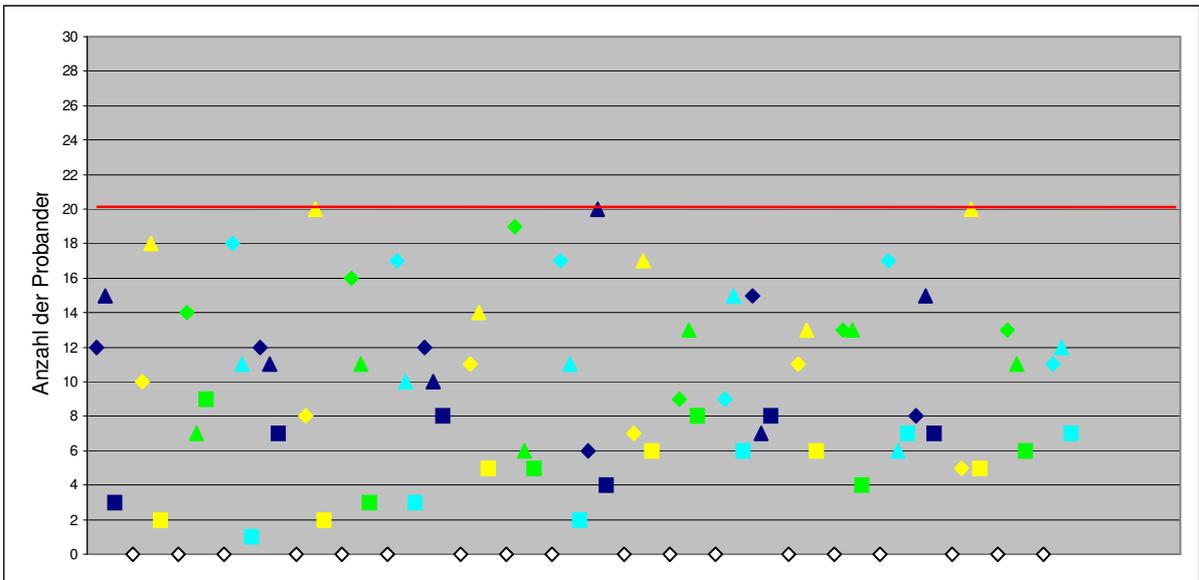


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 7, /425/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 25-48, Bewertungsadjektiv „angenehmer“
 PV 25,26,27,28 / 29,30,31,32 / 33,34,35,36 / 37,38,39,40 / 41,42,43,44 / 45,46,47,48

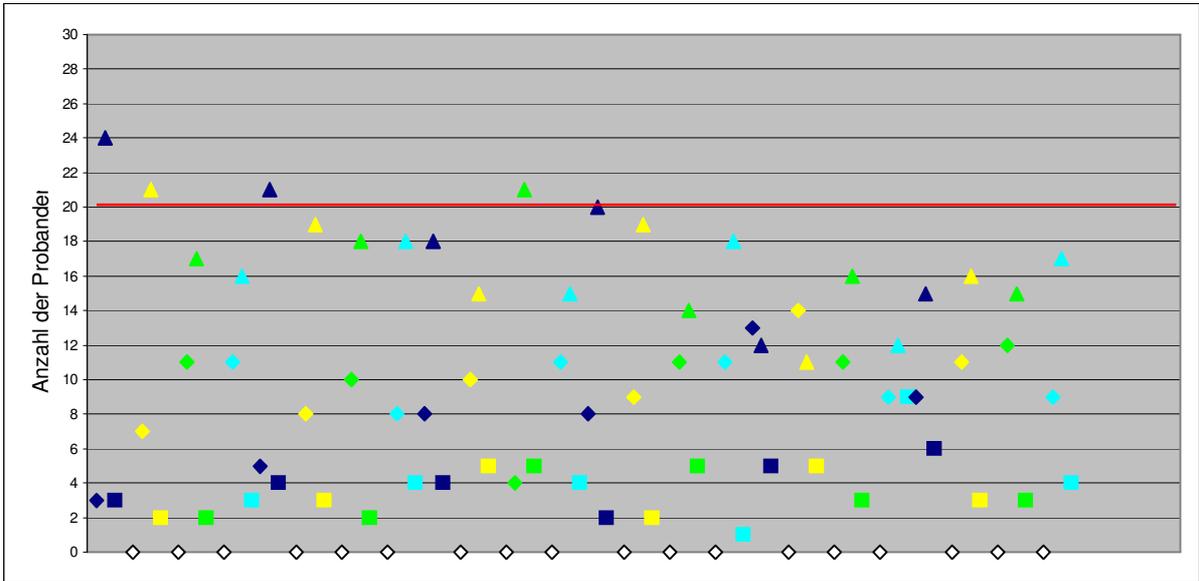


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 8, /426/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 1-24, Bewertungsadjektiv „anregender“
 PV 1,2,3,4 / 5,6,7,8 / 9,10,11,12 / 13,14,15,16 / 17,18,19,20 / 21,22,23,24

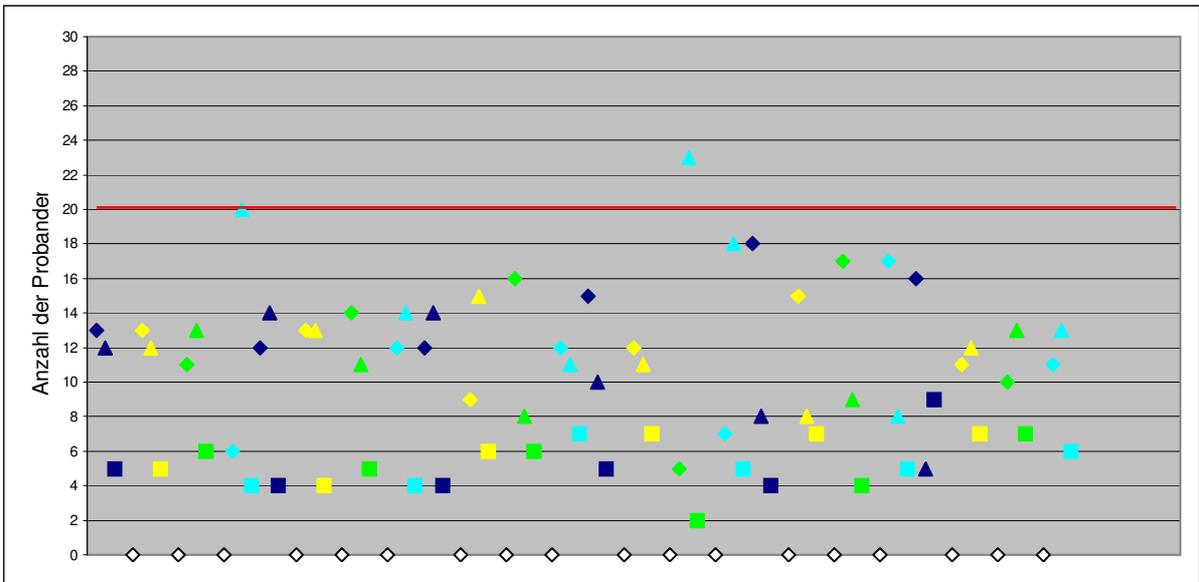


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 9, /427/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 25-48, Bewertungsadjektiv „anregender“
 PV 25,26,27,28 / 29,30,31,32 / 33,34,35,36 / 37,38,39,40 / 41,42,43,44 / 45,46,47,48

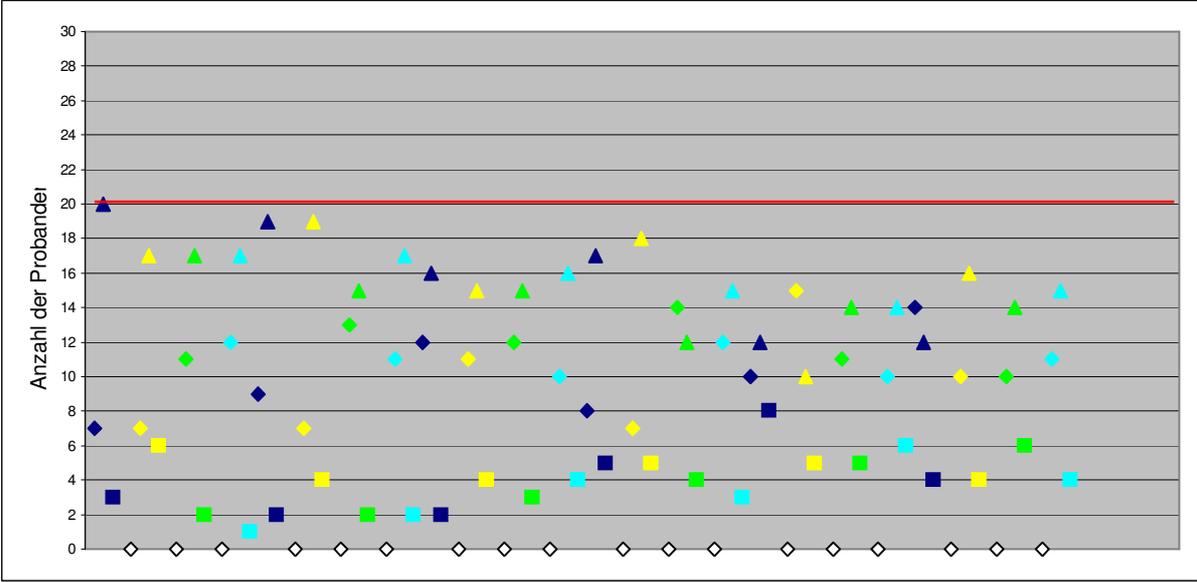


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 10, /428/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 1-24, Bewertungsadjektiv „interessanter“
 PV 1,2,3,4 / 5,6,7,8 / 9,10,11,12 / 13,14,15,16 / 17,18,19,20 / 21,22,23,24

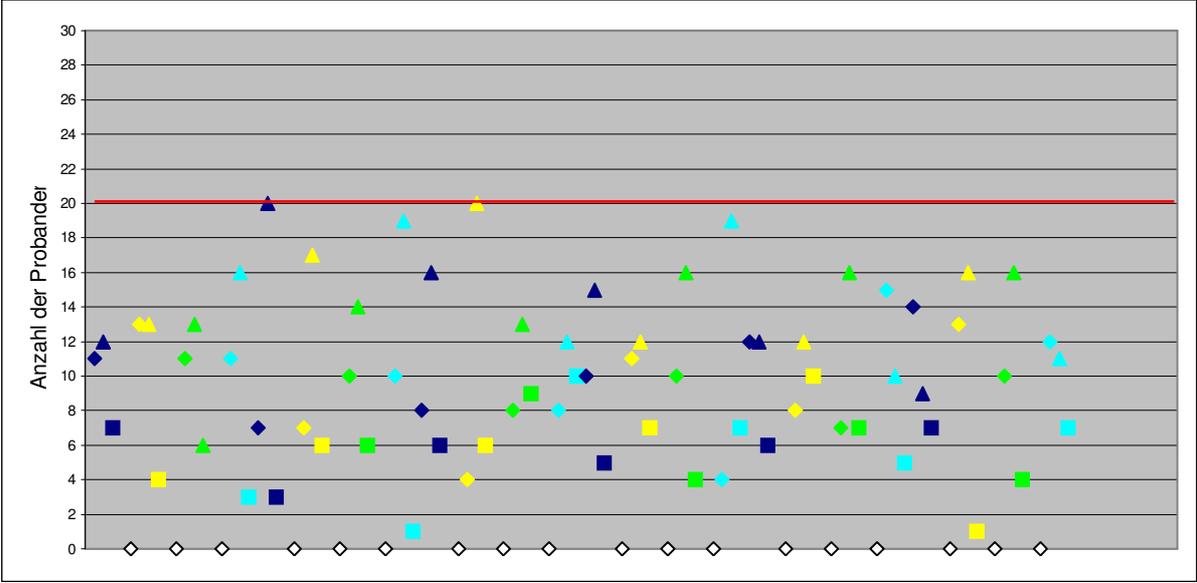


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 11, /429/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 25-48, Bewertungsadjektiv „interessanter“
 PV 25,26,27,28 / 29,30,31,32 / 33,34,35,36 / 37,38,39,40 / 41,42,43,44 / 45,46,47,48

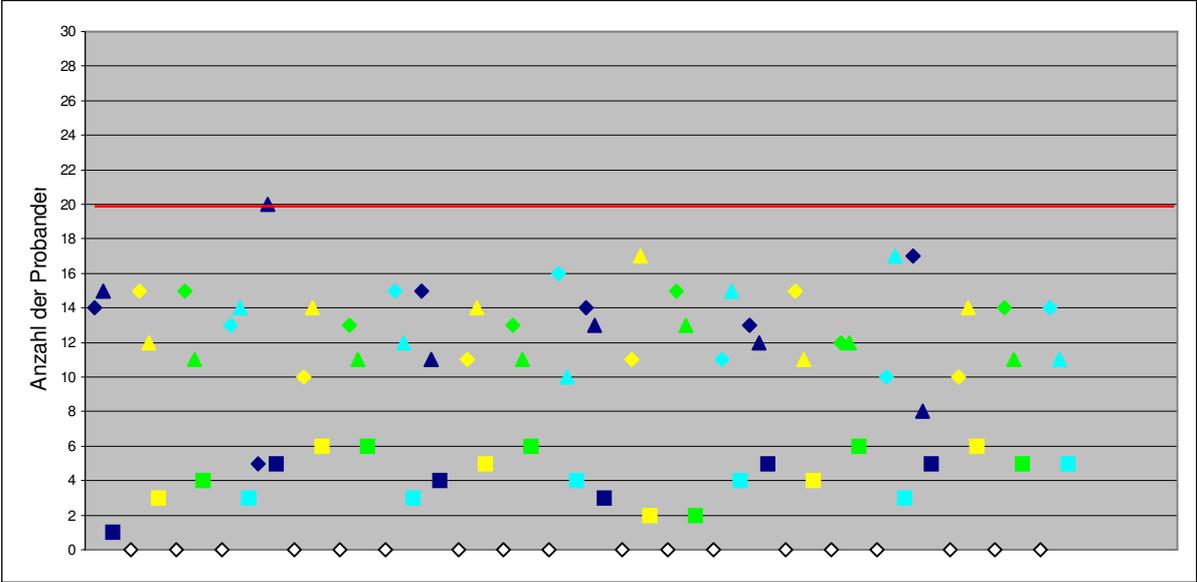


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 12, /430/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 1-24, Bewertungsadjektiv „schöner“
 PV 1,2,3,4 / 5,6,7,8 / 9,10,11,12 / 13,14,15,16 / 17,18,19,20 / 21,22,23,24

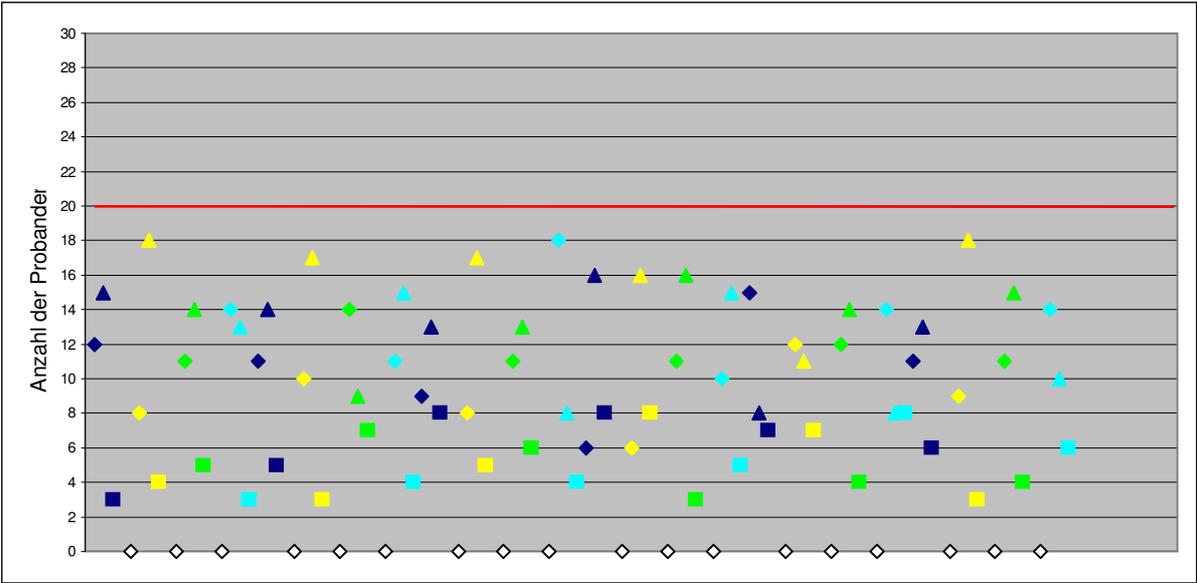


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 13, /431/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 25-48, Bewertungsadjektiv „schöner“
 PV 25,26,27,28 / 29,30,31,32 / 33,34,35,36 / 37,38,39,40 / 41,42,43,44 / 45,46,47,48

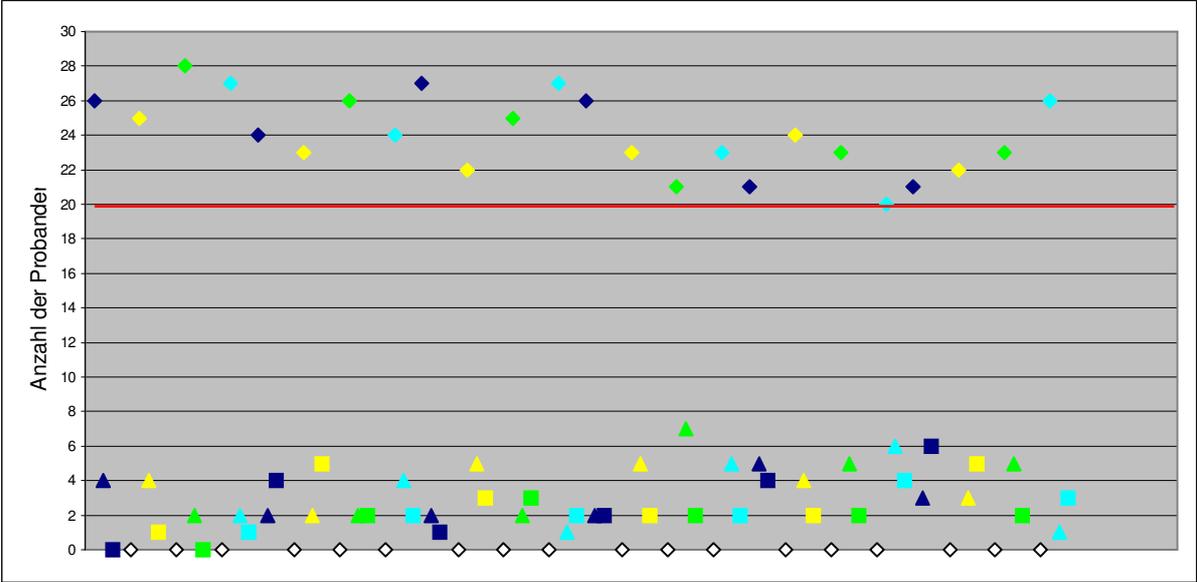


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 14, /432/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 1-24, Bewertungsadjektiv „natürlicher“
 PV 1,2,3,4 / 5,6,7,8 / 9,10,11,12 / 13,14,15,16 / 17,18,19,20 / 21,22,23,24

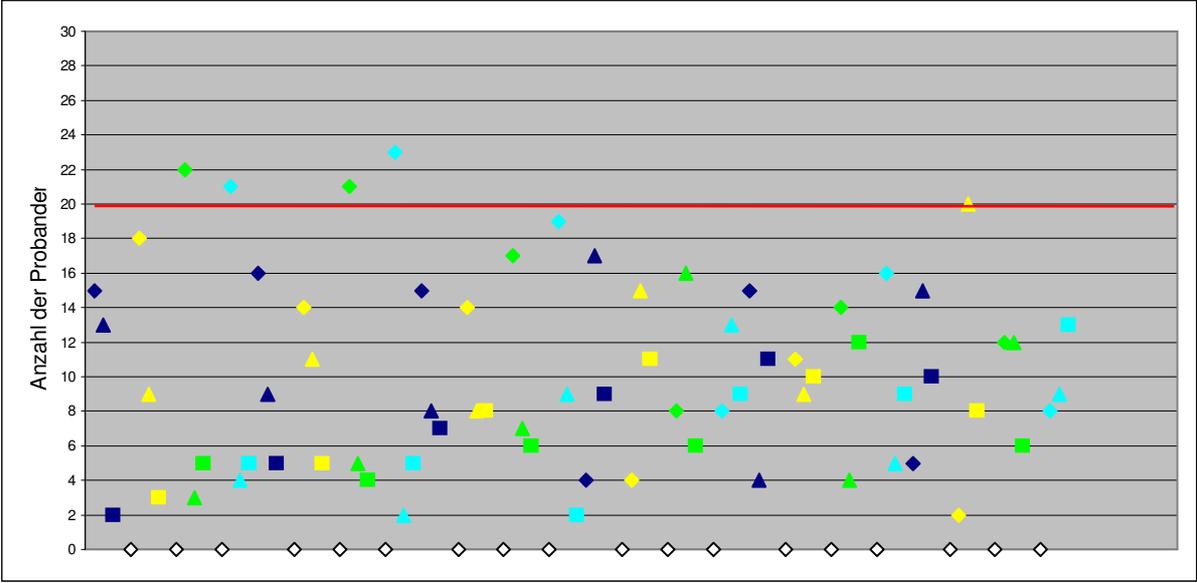


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 15, /433/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 25-48, Bewertungsadjektiv „natürlicher“
 PV 25,26,27,28 / 29,30,31,32 / 33,34,35,36 / 37,38,39,40 / 41,42,43,44 / 45,46,47,48

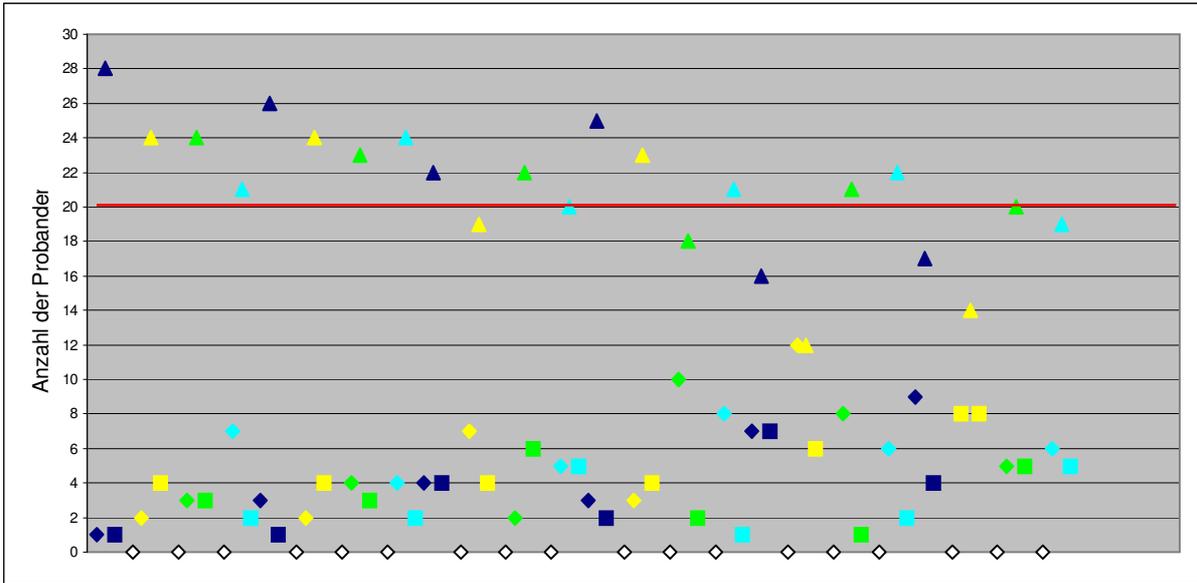


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 16, /434/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 1-24, Bewertungsadjektiv „auffälliger“
 PV 1,2,3,4 / 5,6,7,8 / 9,10,11,12 / 13,14,15,16 / 17,18,19,20 / 21,22,23,24

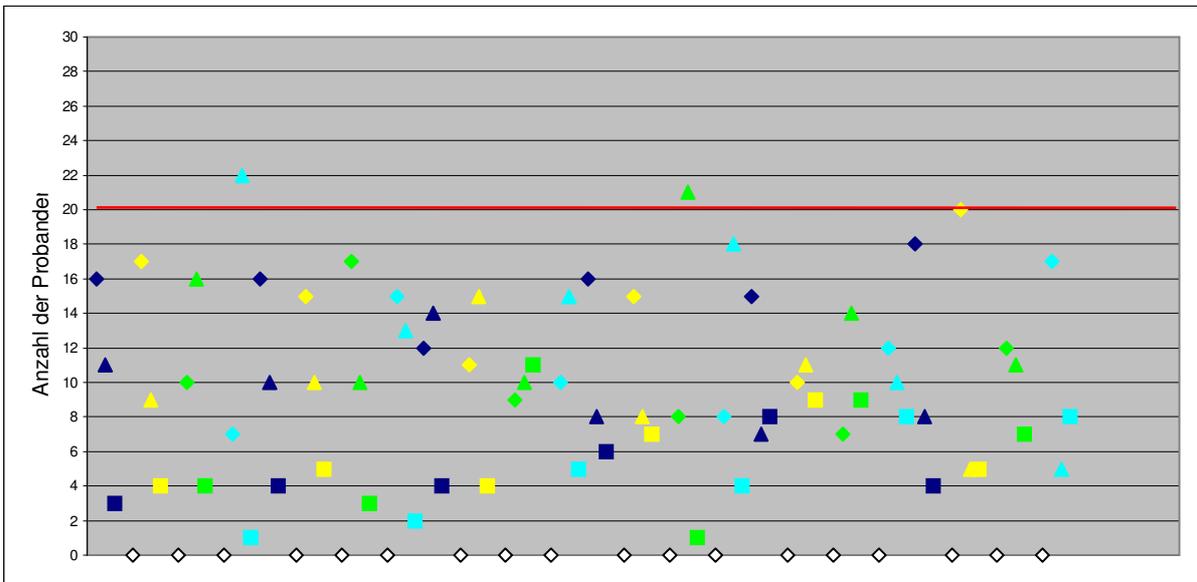


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 17, /435/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 25-48, Bewertungsadjektiv „auffälliger“
 PV 25,26,27,28 / 29,30,31,32 / 33,34,35,36 / 37,38,39,40 / 41,42,43,44 / 45,46,47,48

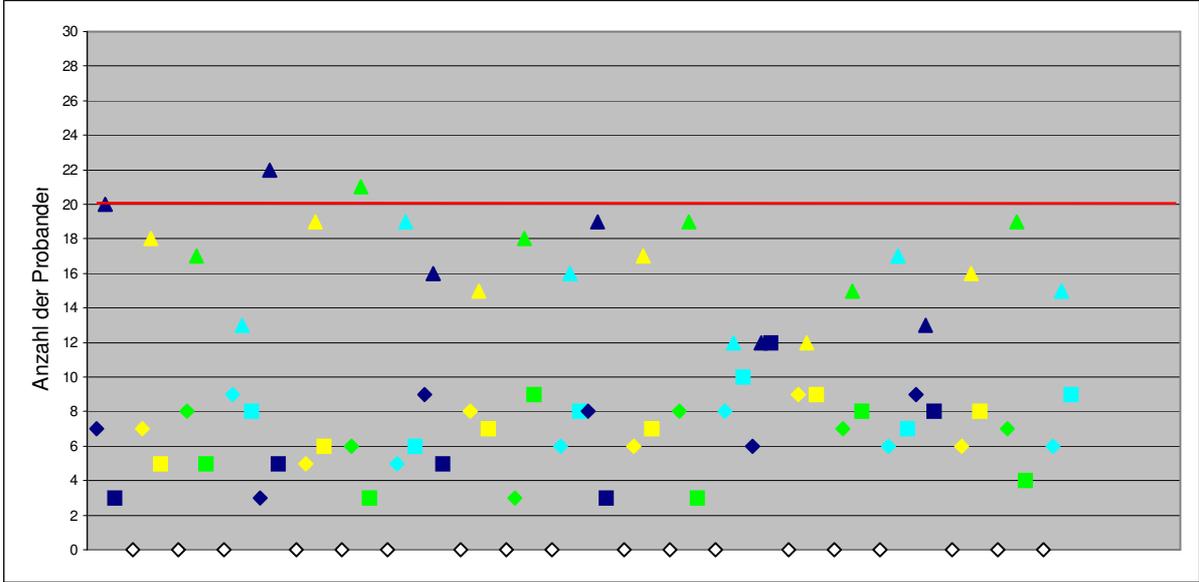


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 18, /436/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 1-24, Bewertungsadjektiv „moderner“
 PV 1,2,3,4 / 5,6,7,8 / 9,10,11,12 / 13,14,15,16 / 17,18,19,20 / 21,22,23,24

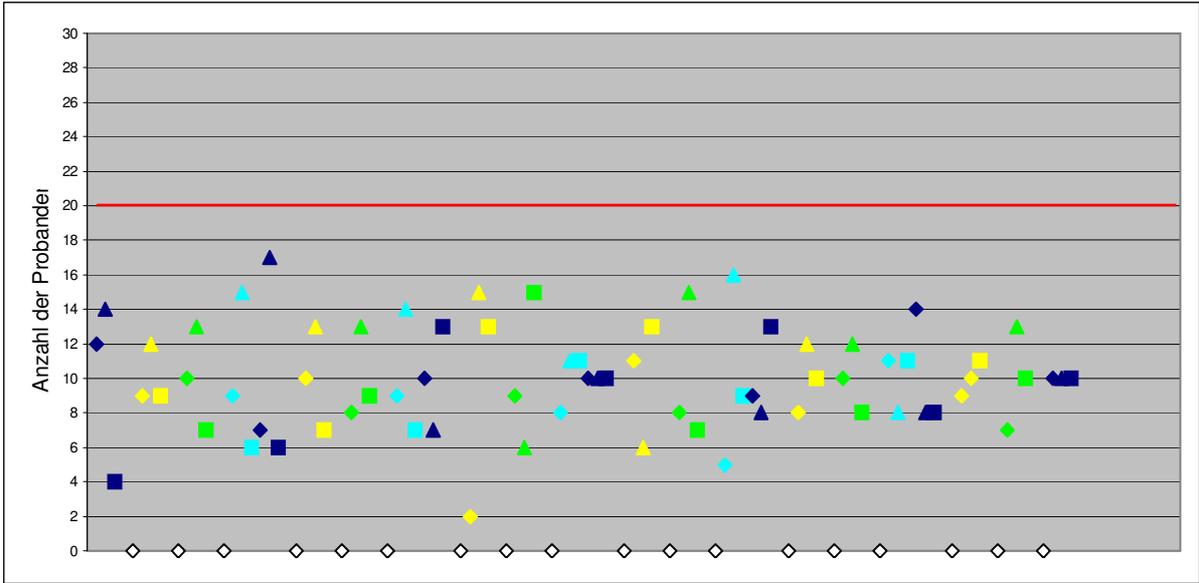


Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 19, /437/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

PV 25-48, Bewertungsadjektiv „moderner“
 PV 25,26,27,28 / 29,30,31,32 / 33,34,35,36 / 37,38,39,40 / 41,42,43,44 / 45,46,47,48



Rote Linie: 20 oder mehr Probanden

Grafik 20, /438/

- ◆ SRD 300 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 300 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 300 Lx beide gleich
- ◆ SRD 1000 Lx, linker Innenraum ▲ SRD 1000 Lx, rechter Innenraum ■ SRD 1000 Lx beide gleich
- ◆ S+W 300/100 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 300/100 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 300/100 Lx, beide gleich
- ◆ S+W 1000/200 Lx, linker Innenraum ▲ S+W 1000/200 Lx, rechter Innenraum ■ S+W 1000/200 Lx, beide gleich

Zu Grafik 1+2: Bewertungskriterium „heller“

Innerhalb der Untersuchungsreihen 1-24 zeigt die Grafik eine Tendenz zugunsten der matten Oberflächenausführungen. Die Gewichtung der einzelnen Bewertungskriterien lies aber keine allgemeingültige Aussage zu.

In den Paarvergleichen 25-48 zeigt die Grafik deutlich, dass im direkten Vergleich eines weißen oder grauen Ausstellungsraumes mit einem schwarzen Ausstellungsraum der weiße oder graue Ausstellungsraum immer eindeutig mit dem Adjektiv heller bewertet wurde. Die Art der Beleuchtung, die Beleuchtungsstärke, die Farbe der Skulpturen und deren Oberflächenbeschaffenheit hatten keinen Einfluss auf das Bewertungsverhalten.

Wurde ein weißer Ausstellungsraum einem grauen Raum gegenübergestellt, so hatten die Art der Beleuchtung und die Oberflächenbeschaffenheit der Skulpturen einen großen Einfluss auf das Bewertungsverhalten.

In den PV 25-28 halbierte sich die Zustimmung mit der Umstellung der Beleuchtungsart um ca. 50 %.

Mit der Gegenüberstellung zweier matter oder zweier hochglanzpolierter Skulpturen hatten die Untersuchungen ergeben, dass mit der Beleuchtungsart Strahler + Wandfluter (300/100 Lx) die Skulptur in dem dunkleren Ausstellungsraum visuell ins Zentrum gerückt wurde und deutlich heller, als die Skulptur in dem weißen Raum bewertet wurde.

Zu Grafik 3+4: Bewertungskriterium „gleichmäßiger“

Innerhalb der Untersuchungsreihen 1-24 zeigt die Grafik, dass in überwiegendem Maße die matte Skulpturenoberfläche als gleichmäßig bewertet wurde. Die Gewichtung der einzelnen Bewertungskriterien ließ aber keine allgemeingültige Aussage zu.

Innerhalb der Untersuchungsreihen 25-32 zeigt die Grafik, dass trotz unterschiedlich farbiger Hüllflächen, verschiedenfarbigen Skulpturen, unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheiten und differierenden Beleuchtungseinstellungen stets die matte Oberflächenausführung als gleichmäßiger eingestuft wurde. Tendenziell wurden in den Untersuchungsreihen 33-36 und 41-44 platingraue Ausstellungsräume im Vergleich mit tiefschwarzen Ausstellungsräumen deutlich als gleichmäßiger bewertet. Die Untersuchungsreihen 37-40 und 45-48 zeigten hier kein einheitliches Bewertungsverhalten.

Zu Grafik 5+6: Bewertungskriterium „plastischer“

Innerhalb der Untersuchungsreihen 1-24 zeigt die Grafik, dass bis auf den 15. PV in allen verbleibenden 23 Paarvergleichen die hochglanzpolierte Skulptur mehrheitlich mit dem Adjektiv „plastischer“ bewertet wurde. Auffallend hierbei ist, dass die Paarvergleiche mit cremeweißen oder platingrauen Hüllflächen über eine hohe Anzahl (9 von 16) eindeutiger Bewertungen verfügen. In den PV 17-20 und 21-24 (tiefschwarze

Hüllflächen) war hier die Stimmenanzahl deutlich geringer. Eine eindeutige Bewertung konnte nicht mehr verzeichnet werden.

Zudem zeigten die Untersuchungsergebnisse, dass in den PV 1-14 die Art der Beleuchtung nur eine untergeordnete Rolle spielte. Ab dem 15.-24. PV hatte die Beleuchtungsart ebenfalls keinen nennenswerten Einfluss auf das Bewertungsverhalten.

Die Grafik zeigt auch, dass in den Untersuchungsreihen 25-32 die hochglanzpolierten Skulpturen ebenfalls tendenziell als plastisch bewertet wurden.

Zu Grafik 7+8: Bewertungskriterium „angenehmer“

Die Grafik zeigt deutlich, dass in den Untersuchungsreihen 1-24 alle matten Skulpturen in ihrer visuellen Erscheinung als angenehm bewertet wurden. Besonders in Verbindung mit cremeweißen oder platingrauen Hüllflächen konnte eine hohe Anzahl eindeutiger Bewertungen registriert werden.

Die Untersuchungsreihen 25-32 zeigten kein einheitliches Bewertungsverhalten. Auch im Rahmen der Gegenüberstellung zweier matten oder glänzender Skulpturen in den Untersuchungsreihen 33-48 konnte kein einheitliches Bewertungsverhalten verzeichnet werden.

Zu Grafik 9+10: Bewertungskriterium „anregender“

Mit 22 von 24 Gegenüberstellungen wurde die hochglanzpolierte Oberflächenausführung als anregender bewertet. Die Präsentationen vor tiefschwarzen Hüllflächen verringerte die Stimmenanzahl deutlich.

Die Untersuchungsreihen 25-48 zeigten keinerlei einheitliche Ergebnisse.

Zu Grafik 11+12: Bewertungskriterium „interessanter“

Innerhalb der Untersuchungsreihen 1-24 konnte festgestellt werden, dass mit zunehmend dunkleren Hüllflächen das Bewertungsverhalten der Probanden in ihrer Aussagekraft tendenziell abnehmend ist. In 21 von 24 Gegenüberstellungen wurde die hochglanzpolierte Skulptur mehrheitlich als interessanter bewertet.

Innerhalb der Untersuchungsreihen 25-48 war ebenfalls eine Tendenz für die hochglanzpolierte Skulptur oder einer Präsentation vor dunklen (platingrau + tiefschwarz) Hüllflächen zu erkennen. In Bezug auf die Stimmenzahlen führte aber das Bewertungsverhalten zu keiner klaren Aussage.

Zu Grafik 13+14: Bewertungskriterium „schöner“

Die Bewertungsergebnisse ergaben hierzu in allen Untersuchungsreihen kein einheitliches und eindeutiges Ergebnis.

Zu Grafik 15+16: Bewertungskriterium „natürlicher“

Die grafische Ergebnisauswertung zeigt, dass im Rahmen der Untersuchungsreihen 1 bis 24 die matte Skulptur immer eindeutig als „natürlicher“ von den Probanden bewertet wurde.

Die Art der Beleuchtung, die farbliche Gestaltung der Hüllflächen und die verschiedenen Beleuchtungsstärken hatten keinen Einfluss auf das Bewertungsverhalten der Probanden.

In den Untersuchungsreihen 25 bis 48 zeigen die Paarvergleiche 27+28 sowie 31+32 eine eindeutige Bewertung durch den Einsatz der Beleuchtungskombination aus Strahler und Wandfluter.

Die Untersuchungsreihen 33-48, in denen entweder zwei matte oder zwei hochglanzpolierte Skulpturen einem Paarvergleich unterzogen wurden, ergaben kein klares Bewertungsverhalten.

Zu Grafik 17+18: Bewertungskriterium „auffälliger“

Die Grafik zeigt für die Untersuchungsreihen 1-24 ein eindeutiges Bewertungsverhalten der Probanden. Lediglich 4 von 24 Paarvergleichen erhielten unter 20 Probandenstimmen. Zwanzig Gegenüberstellungen bekamen eindeutige Bewertungen in Bezug auf die hochglanzpolierte Skulptur. Im Wesentlichen konnte eine eindeutige Aussage dahingehend getroffen werden, dass alle hochglanzpolierten Skulpturen als visuell auffällig bewertet wurden.

Die Untersuchungsreihen 25-48 zeigten hier kein einheitliches Bewertungsverhalten.

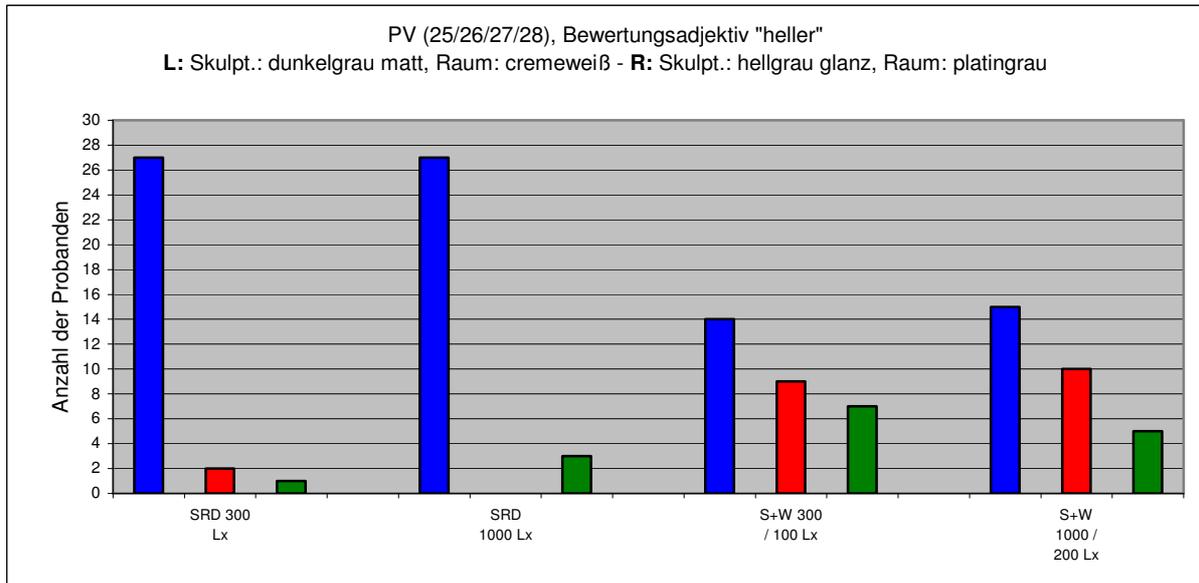
Zu Grafik 19+20: Bewertungskriterium „moderner“

Im Rahmen der Untersuchungsreihen 1-24 wurden in allen Paarvergleichen die hochglanzpolierten Skulpturen tendenziell als modern bewertet. Vor dem Hintergrund tiefschwarzer Hüllflächen war die Zustimmung allerdings deutlich abnehmend.

Die Untersuchungsreihen 25-48 zeigen diesbezüglich kein aussagekräftiges Bewertungsverhalten.

Die Bewertungsergebnisse zeigten hier ein völlig uneinheitliches Bewertungsverhalten. So ergaben die Paarvergleiche 25-48, in Bezug auf das Bewertungsadjektiv moderner, die aussageschwächsten Untersuchungsergebnisse.

7.3.3 Grafische Auswertungen des Bewertungsverhaltens in Bezug auf die unterschiedlichen Beleuchtungssituationen innerhalb eines Paarvergleiches.



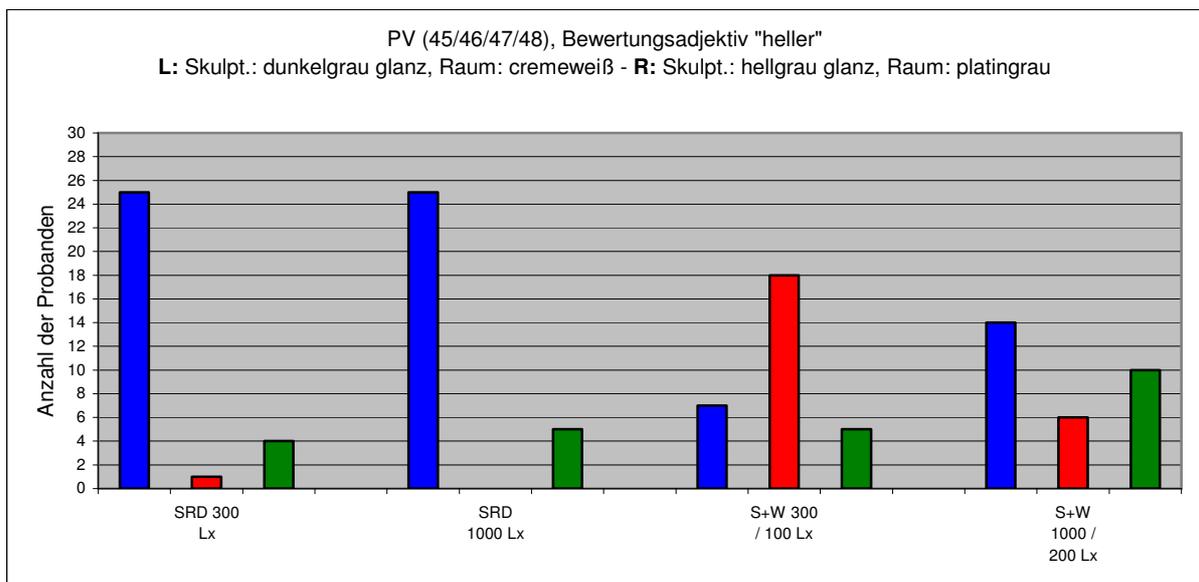
Antwortmöglichkeiten der Probanden: **linker Raum** – **rechter Raum** – **beide gleich**

Grafik 1, /439/

Die Grafik zeigt deutlich, dass mit der Umstellung von einer reinen Spiegelrasterdeckenbeleuchtung auf eine Kombination aus Strahlern und Wandfluter, sich das Bewertungsverhalten der Probanden stark geändert hat.

Die visuelle Helldominanz der cremeweißen Hüllflächen wurde durch die Beleuchtungsumstellung um ca. 50 % reduziert. Die hellgraue Skulptur wurde wieder deutlich stärker als eigentliches Innfeld wahrgenommen.

Innerhalb der Beleuchtungsarten hatte allerdings die Höhe der Beleuchtungsstärke keine Auswirkung auf das Bewertungsverhalten der Probanden.



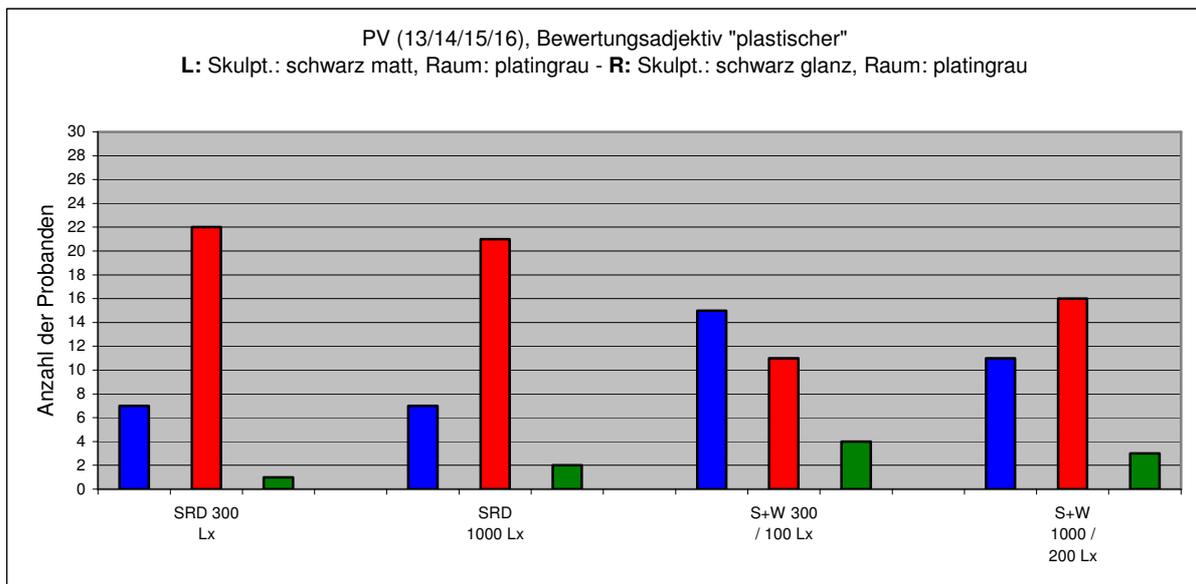
Antwortmöglichkeiten der Probanden: **linker Raum** – **rechter Raum** – **beide gleich**

Grafik 2, /440/

Innerhalb der Spiegelrasterdeckenbeleuchtung hat die Höhe der Beleuchtungsstärke keinen Einfluss auf das Bewertungsverhalten der Probanden. Die Zustimmung für das Adjektiv „heller“ ist mit jeweils 25 von 30 Probanden eindeutig. Die Helldominanz der cremeweißen Hüllflächen ist visuell dominierend und somit maßgeblich für die Bewertung. Das eigentliche Innfeld, mit der deutlich dunkleren Skulptur hatte auf die Bewertung keinen Einfluss.

Mit der Umstellung auf die Beleuchtungskombination Strahler+Wandfluter (300/100 Lx), hatte sich das Bewertungsverhalten komplett umgekehrt. Die deutlich hellere hellgraue Skulptur tritt vor den platingrauen Hüllflächen als eigentliches Innfeld in den visuellen Mittelpunkt des Betrachters. Die cremeweißen Hüllflächen im linken Innenraum verloren deutlich ihre visuelle Dominanz.

Mit einer weiteren Anhebung auf (1000/200 Lx) gewannen die cremeweißen Hüllflächen wieder an Dominanz. Sie konnten allerdings an die eindeutigen Zustimmungen unter einer reinen SRD-Beleuchtung nicht mehr anknüpfen.



Antwortmöglichkeiten der Probanden: **linker Raum** – **rechter Raum** – **beide gleich**

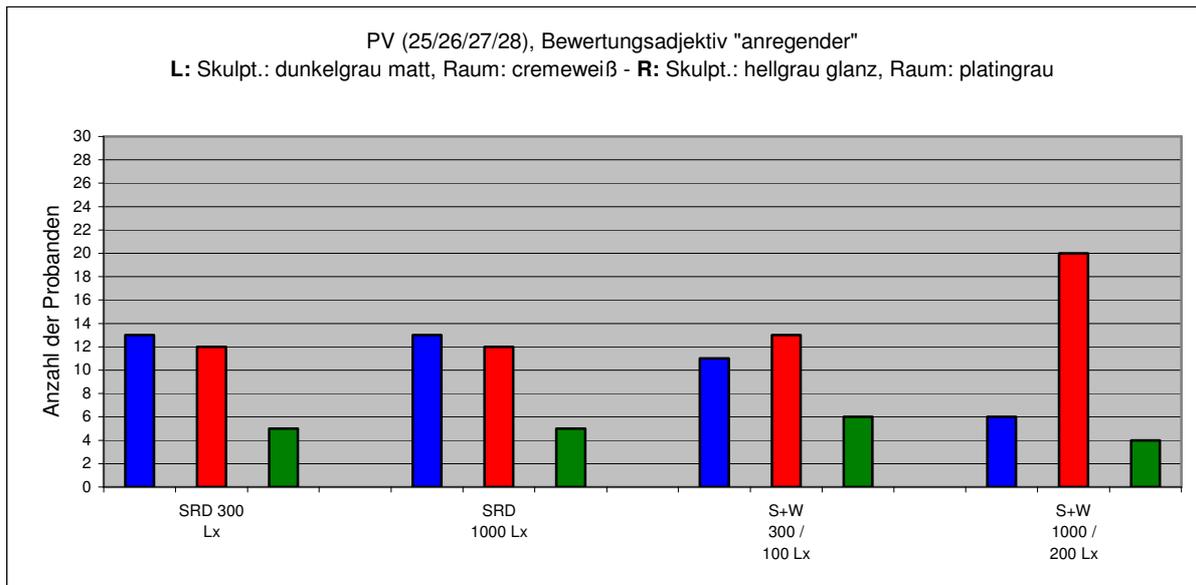
Grafik 3, /441/

Unter einer reinen Spiegelrasterdeckenbeleuchtung hat die Höhe der Beleuchtungsstärke keinen Einfluss auf das Bewertungsverhalten. Die hochglanzpolierte Oberflächenausführung wurde mit 22 und 21 Stimmen als eindeutig plastischer bewertet.

Mit der Umstellung auf die Kombination aus Strahlern und Wandflutern (300/100 Lx), trat eine starke Veränderung des Bewertungsverhaltens ein. Die Stimmen für das Adjektiv „plastischer“ halbierten sich, während sich die Zustimmung für die matte Oberfläche verdoppelte.

Die Erhöhung auf (1000/200 Lx) führte dazu, dass sich das Bewertungsverhalten im Hinblick auf die Oberflächengestaltungen verdrehte.

Unter einer Beleuchtung aus Strahlern+Wandfluter hatte die Beleuchtungsstärke eine hohe Auswirkung auf das Bewertungsverhalten der Probanden.

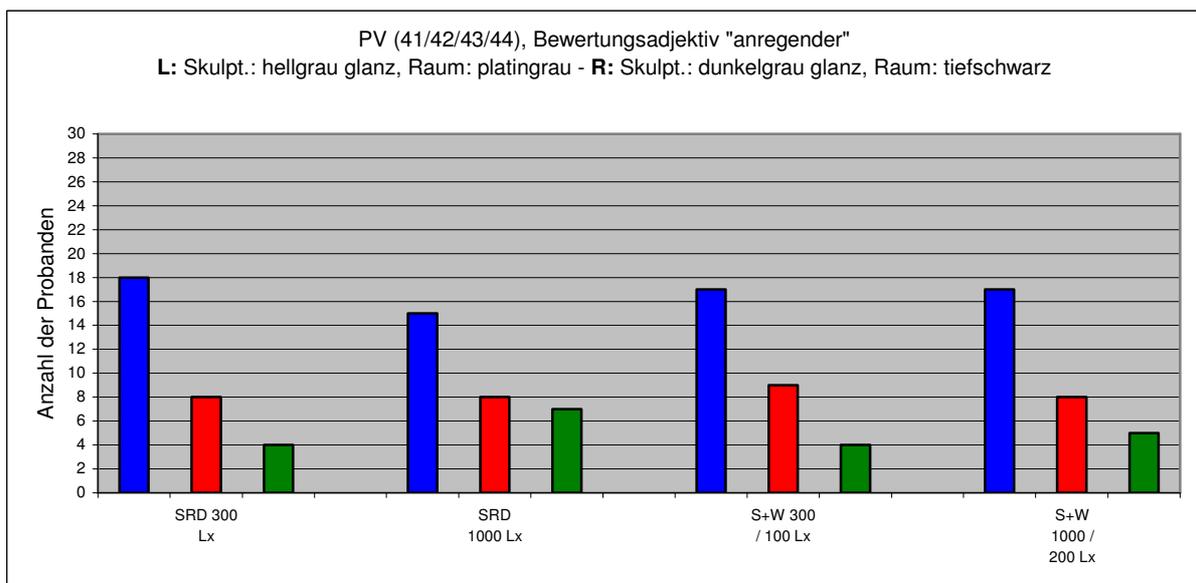


Antwortmöglichkeiten der Probanden: **linker Raum** – **rechter Raum** – **beide gleich**

Grafik 4, /442/

Es ist deutlich ablesbar, dass unter einer reinen SRD-Beleuchtung die Stärke der Beleuchtung keinerlei Auswirkungen auf das Bewertungsverhalten der Probanden hatte. Die drei Antwortmöglichkeiten verfügten bei beiden Beleuchtungsstärken (SRD 300 Lx und SRD 1000 Lx) über exakt die gleichen Stimmenanteile.

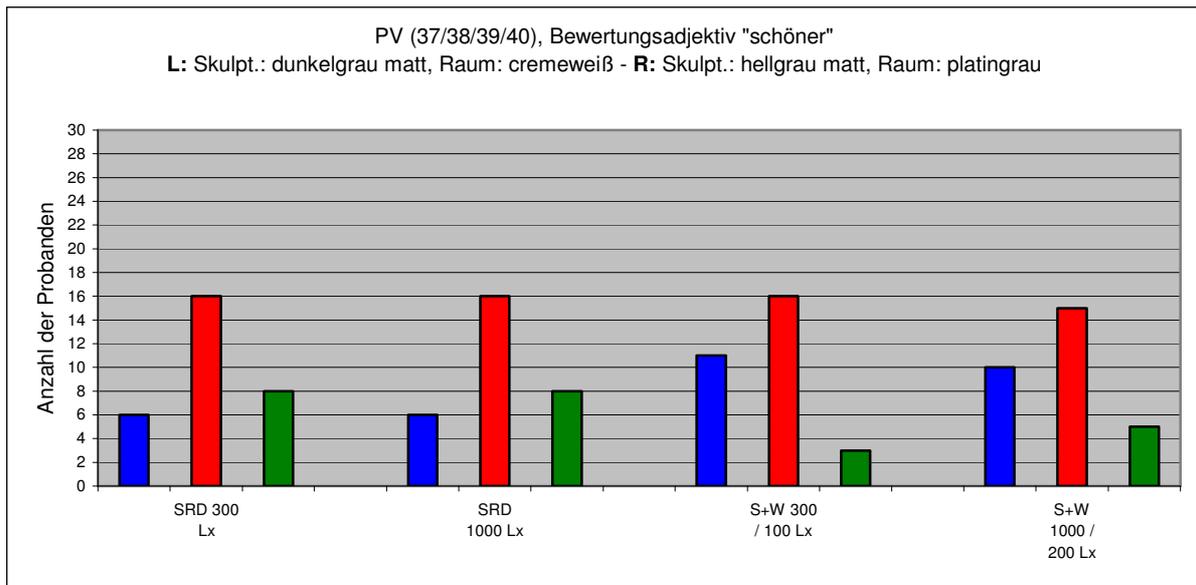
Mit der Umstellung auf Strahler + Wandfluter veränderte sich das Bewertungsverhalten und drehte sich in Bezug auf die rechte und linke Innenraumsituation. Innerhalb der Beleuchtungskombination aus Strahlern und Wandflutern hatte die Beleuchtungsstärke wiederum einen großen Einfluss auf das Bewertungsverhalten.



Antwortmöglichkeiten der Probanden: **linker Raum** – **rechter Raum** – **beide gleich**

Grafik 5, /443/

Die Grafik zeigt deutlich, dass im Rahmen der Paarvergleiche 41-44 weder die Beleuchtungsart, noch die Beleuchtungsstärke einen Einfluss auf das Bewertungsverhalten der Probanden hatten. Die hellgraue, hochglanzpolierte Skulptur wurde in jeder Lichteinstellung mehrheitlich als „anregender“ bewertet“.



Antwortmöglichkeiten der Probanden: **linker Raum** – **rechter Raum** – **beide gleich**

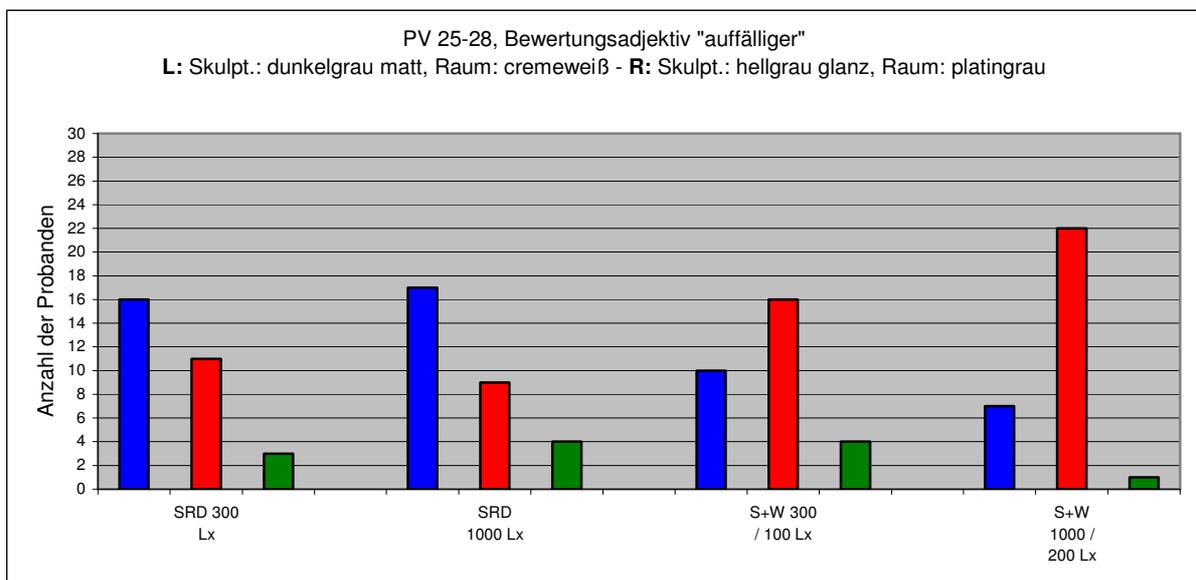
Grafik 6, /444/

Die Anhebung der Beleuchtungsstärke von 300 Lx auf 1000 Lx innerhalb der Spiegelrasterdecken Beleuchtung hatte bei den PV 37-40 keinerlei Auswirkungen auf das Bewertungsverhalten der Probanden. Beide Beleuchtungsstärken erzielten exakt die gleiche Anzahl an Probandenstimmen.

Mit der Umstellung der Beleuchtungsart auf Strahler+Wandfluter wechselte ein Teil der Probanden von vormals „beide gleich“ auf den „linken Innenraum“. Mit der Umstellung der Beleuchtungsart änderte sich somit auch das Bewertungsverhalten.

Die Beleuchtungsstärke hatte aber auch innerhalb der Beleuchtungsart (Strahler + Wandfluter) keinen Einfluss auf das Bewertungsverhalten.

Es muss allerdings festgehalten werden, dass weder die Beleuchtungsart, noch die Beleuchtungsstärke einen Einfluss darauf hatten, die hellgraue, matte Skulptur in dem platingrauen Raum mehrheitlich als „schöner“ zu bewerten.



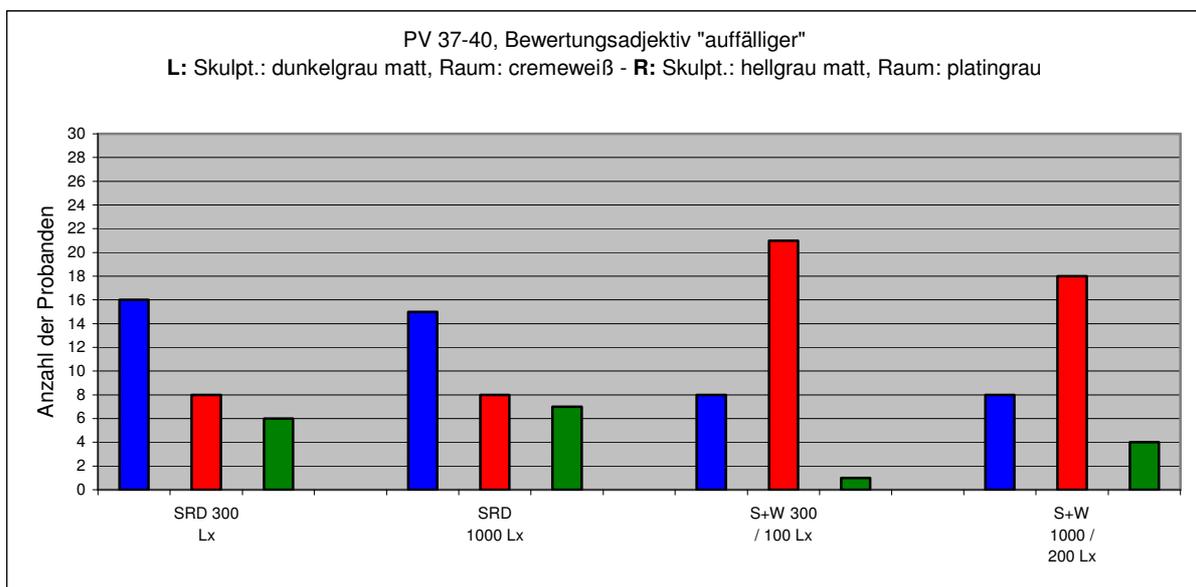
Antwortmöglichkeiten der Probanden: **linker Raum** – **rechter Raum** – **beide gleich**

Grafik 7, /445/

Die Grafik zeigt, dass Innerhalb der SRD-Beleuchtung die Beleuchtungsstärke keinen Einfluss auf das Bewertungsverhalten hatte. Der linke Raum wird mehrheitlich als „auffälliger bewertet“.

Mit der Umstellung der Beleuchtungsart stellte sich ein völlig anderes Bewertungsverhalten ein. In beiden Beleuchtungsstärken (300/100 Lx und 1000/200 Lx) wurde nun der rechte Raum als visuell „auffälliger“ eingestuft.

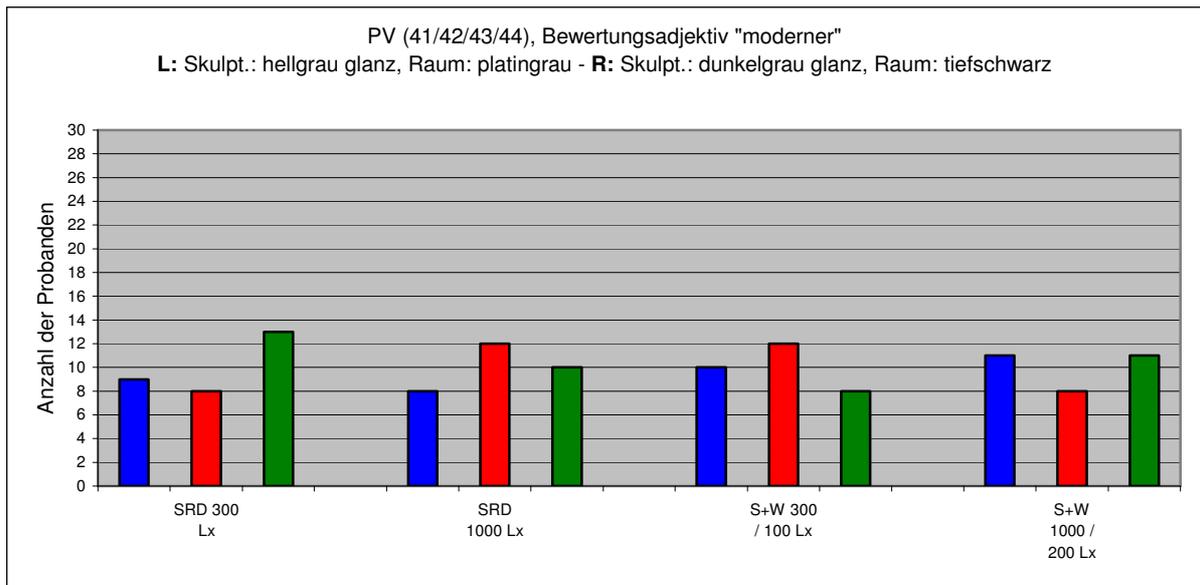
Eine Erklärung hierfür ist, dass bei der SRD-Beleuchtung die cremeweißen Hüllflächen visuell dominierend waren. Mit der Umstellung auf die Kombination aus Strahler + Wandfluter war die hellgraue, hochglanzpolierte Skulptur als eigentliches Innfeld maßgebend für die Bewertung. Die platingrauen Hüllflächen traten visuell in den Hintergrund.



Antwortmöglichkeiten der Probanden: linker Raum – rechter Raum – beide gleich

Grafik 8, /446/

Die Grafik bestätigt die Ergebnisse der Paarvergleiche 25-28 (Grafik 7), was bedeutet, dass die Oberflächenausführungen der Skulpturen keinen Einfluss auf das Bewertungsverhalten der Probanden hatten.



Antwortmöglichkeiten der Probanden: linker Raum – rechter Raum – beide gleich

Grafik 9, /447/

Die Grafik zeigt für die Paarvergleiche 41-44, dass in Bezug auf das Adjektiv „moderner“, die Untersuchungen keine eindeutige Aussage oder Trend ergaben.

8 Darstellung der Paarvergleiche unter Bezugnahme objektiver Messdaten und subjektiver visueller Eindrücke

8.1 Berechnung der Leuchtdichteverhältnisse im Bereich der Messpunkte auf Basis des theoretischen Leuchtdichtemodells

(Li h sk „Teilflächen parallel zur Decke“, Li v sk „Teilflächen parallel zur Wand“)

1. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = konstant = 300 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.)= 11,8%, rho(raum)= 77 %

Li h sk = $0,118 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 11,27 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,118 \times (150 \text{Lx} / \pi) = 5,63 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 73,53 \text{cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.)=14,1%, rho(raum)= 77%

Li h sk = $0,141 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 13,46 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (150 \text{Lx} / \pi) = 6,73 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 73,53 \text{cd/m}^2$

2. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 1000 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 77%

Li h sk = $0,118 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 37,56 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,118 \times (540 \text{Lx} / \pi) = 20,28 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (970 \text{Lx} / \pi) = 237,75 \text{cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) =14,1%, rho(raum)= 77%

Li sk = $0,141 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 44,88 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (530 \text{Lx} / \pi) = 23,79 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (1040 \text{Lx} / \pi) = 254,9 \text{cd/m}^2$

3. Paarvergleich: Halogenstrahler = 300 Lx / lineare Wandfluter 100 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 77%

Li h sk = $0,118 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 11,27 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,118 \times (150 \text{Lx} / \pi) = 5,63 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 24,51 \text{cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) =14,1%, rho(raum)= 77%

Li h sk = $0,141 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 13,46 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (150 \text{Lx} / \pi) = 6,73 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 24,51 \text{cd/m}^2$

4. Paarvergleich: Halogenstrahler = 1000 Lx / lineare Wandfluter 200 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 77%

Li h sk=0,118x(1000Lx/π)=37,56cd/m²

Li v sk=0,118x(550Lx/π)=20,66cd/m²

Lu v wa=0,77x(200Lx/π)=49,02cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.)= 14,1%, rho(raum)= 77%

Li h sk=0,141x(1000Lx/π)=44,88cd/m²

Li v sk=0,141x(550Lx/π)=24,68cd/m²

Lu v wa=0,77x(200Lx/π)=49,02cd/m²

5. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 300 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 4,7%, rho(raum)= 77%

Li h sk =0,047x(300Lx/π)=4,49cd/m²

Li v sk =0,047x(150Lx/π)=1,91cd/m²

Lu v wa=0,77x(300Lx/π)=73,53 cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 6,0%, rho(raum)= 77%

Li h sk =0,06x(300Lx/π)=5,73cd/m²

Li v sk =0,06x(150Lx/π)=2,86cd/m²

Lu v wa=0,77x(300Lx/π)=73,53cd/m²

6. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 1000 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 4,7%, rho(raum)= 77%

Li h sk = 0,047x(1000Lx/π)=14,96cd/m²

Li v sk = 0,047x(450Lx/π)=6,73cd/m²

Lu v wa= 0,77x(750Lx/π) =183,8cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 6,0%, rho(raum)= 77%

Li h sk =0,06x(1000Lx/π)=19,10cd/m²

Li v sk =0,06x(450Lx/π)=8,59cd/m²

Lu v wa=0,77x (750Lx/π)=183,8cd/m²

7. Paarvergleich: Halogenstrahler = 300 Lx / lineare Wandfluter 100 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 4,7%, rho(raum)= 77%

Li h sk =0,047x(300Lx/π)=4,49cd/m²

Li v sk =0,047x(150Lx/π)=1,91cd/m²

Lu v wa=0,77x(100Lx/π)=24,51 cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 6,0%, rho(raum)= 77%

Li h sk =0,06x(300Lx/π)=5,73cd/m²

Li v sk =0,06x(150Lx/π)=1,91cd/m²

Lu v wa=0,77x(100Lx/π)=24,51 cd/m²

8. Paarvergleich: Halogenstrahler = 1000 Lx / lineare Wandfluter 200 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 4,7%, rho(raum)= 77%

Li h sk = $0,047 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 14,96 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,047 \times (450 \text{Lx} / \pi) = 6,73 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 49,02 \text{cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 6,0%, rho(raum)= 77%

Li h sk = $0,06 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 19,10 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,06 \times (450 \text{Lx} / \pi) = 8,59 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 49,02 \text{cd/m}^2$

9. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 300 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)= 32%

Li h sk = $0,228 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 21,77 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,228 \times (60 \text{Lx} / \pi) = 4,35 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (250 \text{Lx} / \pi) = 25,46 \text{cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.)= 25,2%, rho(raum)=32%

Li h sk = $0,252 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 24,06 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,252 \times (60 \text{Lx} / \pi) = 4,81 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (330 \text{Lx} / \pi) = 33,61 \text{cd/m}^2$

10. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 1000 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)= 32%

Li h sk = $0,228 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 72,26 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,228 \times (250 \text{Lx} / \pi) = 18,14 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (870 \text{Lx} / \pi) = 88,62 \text{cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)=32%

Li h sk = $0,252 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 80,21 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,252 \times (220 \text{Lx} / \pi) = 17,65 \text{cd/m}^2$

Luvwa = $0,32 \times (1100 \text{Lx} / \pi) = 112,05 \text{cd/m}^2$

11. Paarvergleich: Halogenstrahler = 300 Lx / lineare Wandfluter 100 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)= 32%

Li h sk = $0,228 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 21,77 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,228 \times (140 \text{Lx} / \pi) = 10,16 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 10,19 \text{cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)=32%

Li h sk = $0,252 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 24,06 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,252 \times (120 \text{Lx} / \pi) = 9,63 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 10,19 \text{cd/m}^2$

12. Paarvergleich: Halogenstrahler = 1000 Lx / lineare Wandfluter 200 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)= 32%

Li h sk = $0,228 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 72,26 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,228 \times (400 \text{Lx} / \pi) = 29,03 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 20,31 \text{cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)=32%

Li h sk = $0,252 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 80,21 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,252 \times (350 \text{Lx} / \pi) = 28,07 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 20,31 \text{cd/m}^2$

13. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 300 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 4,7%, rho(raum)= 32%

Li h sk = $0,047 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 4,49 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,047 \times (50 \text{Lx} / \pi) = 0,75 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (250 \text{Lx} / \pi) = 25,47 \text{cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 6,0%, rho(raum)= 32%

Li h sk = $0,06 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 4,73 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,06 \times (50 \text{Lx} / \pi) = 0,95 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 30,56 \text{cd/m}^2$

14. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 1000 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 4,7%, rho(raum)= 32%

Li h sk = $0,047 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 14,96 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,047 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 2,99 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 101,86 \text{cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 6,0%, rho(raum)= 32%

Li h sk = $0,06 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 19,10 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,06 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 3,82 \text{cd/m}^2$

Luvwa = $0,32 \times (1100 \text{Lx} / \pi) = 112,04 \text{cd/m}^2$

15. Paarvergleich: Halogenstrahler = 300 Lx / lineare Wandfluter 100 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 4,7%, rho(raum)= 32%

Li h sk = $0,047 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 4,49 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,047 \times (130 \text{Lx} / \pi) = 1,94 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 10,18 \text{cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 6,0%, rho(raum)= 32%

Li h sk = $0,06 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 4,73 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,06 \times (130 \text{Lx} / \pi) = 2,48 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 10,18 \text{cd/m}^2$

16. Paarvergleich: Halogenstrahler = 1000 Lx / lineare Wandfluter 200 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 4,7%, rho(raum)= 32%

Li h sk=0,047x(1000Lx/π) = 14,96 cd/m²

Li h sk=0,047x(330Lx/π) = 4,94 cd/m²

Lu v wa= 0,32x(200Lx / π)=20,37cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 6,0%, rho(raum)= 32%

Li h sk=0,06x(1000Lx/π)=19,10 cd/m²

Li h sk=0,06x(350Lx/π)=6,68 cd/m²

Lu v wa=0,32x(200Lx/π)= 20,37cd/m²

17. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 300 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)= 4%

Li h sk=0,228x(300Lx/π)=21,77 cd/m²

Li v sk=0,228x(15Lx/π)=1,09 cd/m²

Lu v wa=0,04x (250Lx / π)=3,18 cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)= 4%

Li h sk=0,252x(300Lx/π)=24,06cd/m²

Li v sk=0,252x(15Lx/π)=1,20 cd/m²

Lu v wa= 0,04x(320Lx/π) = 4,07cd/m²

18. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 1000 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)= 4%

Li h sk=0,228x(1000Lx/π) = 72,57 cd/m²

Li v sk=0,228x(40Lx/π) = 2,90 cd/m²

Lu v wa= 0,04x(850Lx/π)=10,82 cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)= 4%

Li h sk=0,252x(1000Lx/π)=80,21cd/m²

Li v sk=0,252x(60Lx/π)=4,81 cd/m²

Lu v wa=0,04x(1040Lx/π)=13,24cd/m²

19. Paarvergleich: Halogenstrahler = 300 Lx / lineare Wandfluter 100 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)= 4%

Li h sk = 0,228x(300Lx/π) = 21,77 cd/m²

Li v sk = 0,228x(110Lx/π) = 7,98 cd/m²

Lu v wa= 0,04x (100Lx / π) = 1,27 cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)= 4%

Li h sk=0,252x(300Lx/π) =24,06 cd/m²

Li v sk=0,252x(90Lx/π) =7,22 cd/m²

Lu v wa= 0,04x(100Lx/π)=1,27 cd/m²

20. Paarvergleich: Halogenstrahler = 1000 Lx / lineare Wandfluter 200 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)= 4%

Li h sk = $0,228 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 72,57 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,228 \times (400 \text{Lx} / \pi) = 29,03 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,04 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 2,55 \text{ cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)= 4%

Li h sk = $0,252 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 80,21 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,252 \times (310 \text{Lx} / \pi) = 24,87 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,04 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 2,55 \text{ cd/m}^2$

21. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 300 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 4%

Li h sk = $0,118 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 11,27 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,118 \times (15 \text{Lx} / \pi) = 0,56 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,04 \times (250 \text{Lx} / \pi) = 3,18 \text{ cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 4%

Li h sk = $0,141 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 13,46 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (20 \text{Lx} / \pi) = 0,90 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,04 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 3,82 \text{ cd/m}^2$

22. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 1000 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 4%

Li h sk = $0,118 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 37,56 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,118 \times (40 \text{Lx} / \pi) = 1,50 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,04 \times (760 \text{Lx} / \pi) = 9,68 \text{ cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 4%

Li h sk = $0,141 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 44,88 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (45 \text{Lx} / \pi) = 2,02 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,04 \times (1040 \text{Lx} / \pi) = 13,24 \text{ cd/m}^2$

23. Paarvergleich: Halogenstrahler = 300 Lx / lineare Wandfluter 100 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 4%

Li h sk = $0,118 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 11,27 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,118 \times (120 \text{Lx} / \pi) = 4,51 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,04 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 1,27 \text{ cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 4%

Li h sk = $0,141 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 13,46 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (80 \text{Lx} / \pi) = 3,59 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,04 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 1,27 \text{ cd/m}^2$

24. Paarvergleich: Halogenstrahler = 1000 Lx / lineare Wandfluter 200 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 4%

Li h sk=0,118x(1000Lx/π)=37,56 cd/m²

Li v sk=0,118x(400Lx/π)=15,02 cd/m²

Lu v wa= 0,04x (200Lx / π) =2,55 cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 4%

Li h sk=0,141x(1000Lx/π)=44,88cd/m²

Li v sk=0,141x(300Lx/π)=13,46cd/m²

Lu v wa=0,04x(200Lx / π)=2,55cd/m²

25. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 300 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 77%

Li h sk =0,118x(300Lx/π) = 11,27 cd/m²

Li v sk =0,118x(150Lx/π) = 5,63 cd/m²

Lu v wa= 0,77x (300Lx/π)=73,53 cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)=32%

Li h sk=0,252x(300Lx/π)=24,06 cd/m²

Li v sk=0,252x(50Lx/π)=4,01 cd/m²

Lu v wa=0,32x(300Lx/π)=30,56cd/m²

26. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 1000 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 77%

Li h sk=0,118x(1000Lx/π)=37,56 cd/m²

Li v sk=0,118x(550Lx/π)=20,66 cd/m²

Lu v wa= 0,77x(1000Lx/π)=245,10cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)=32%

Li h sk=0,252x(1000Lx/π)=80,21cd/m²

Li v sk=0,252x(200Lx/π)=16,04 cd/m²

Luvwa=0,32x(1000Lx/π)=101,86cd/m²

27. Paarvergleich: Halogenstrahler = 300 Lx / lineare Wandfluter 100 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 77%

Li h sk =0,118x(300Lx/π) = 11,27 cd/m²

Li v sk =0,118x(150Lx/π) = 5,63 cd/m²

Lu v wa=0,77x(100Lx / π)=24,51 cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)=32%

Li h sk=0,252x(300Lx/π)=24,06 cd/m²

Li v sk=0,252x(100Lx/π)=8,02 cd/m²

Lu v wa=0,32x(100Lx/π)=10,19cd/m²

28. Paarvergleich: Halogenstrahler = 1000 Lx / lineare Wandfluter 200 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 77%

Li h sk = $0,118 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 37,56 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,118 \times (450 \text{Lx} / \pi) = 16,90 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 49,02 \text{cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)=32%

Li h sk = $0,252 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 80,21 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,252 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 24,06 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 20,37 \text{cd/m}^2$

29. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 300 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 4,7%, rho(raum)= 77%

Li h sk = $0,047 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 4,49 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,047 \times (180 \text{Lx} / \pi) = 2,69 \text{cd/m}^2$

Lu wa = $0,77 \times (340 \text{Lx} / \pi) = 83,33 \text{cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 4%

Li h sk = $0,141 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 13,46 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (15 \text{Lx} / \pi) = 0,67 \text{cd/m}^2$

Lu wa = $0,04 \times (320 \text{Lx} / \pi) = 4,07 \text{cd/m}^2$

30. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 1000 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 4,7%, rho(raum)= 77%

Li h sk = $0,047 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 14,96 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,047 \times (650 \text{Lx} / \pi) = 9,72 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (1200 \text{Lx} / \pi) = 294,11 \text{cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 4%

Li h sk = $0,141 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 44,88 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (60 \text{Lx} / \pi) = 2,69 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,04 \times (1050 \text{Lx} / \pi) = 13,36 \text{cd/m}^2$

31. Paarvergleich: Halogenstrahler = 300 Lx / lineare Wandfluter 100 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 4,7%, rho(raum)= 77%

Li h sk = $0,047 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 4,49 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,047 \times (190 \text{Lx} / \pi) = 2,84 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 24,51 \text{cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 4%

Li h sk = $0,141 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 13,46 \text{cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (85 \text{Lx} / \pi) = 3,81 \text{cd/m}^2$

Lu v wa = $0,04 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 1,27 \text{cd/m}^2$

32. Paarvergleich: Halogenstrahler = 1000 Lx / lineare Wandfluter 200 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 4,7%, rho(raum)= 77%

Li h sk=0,047x(1000Lx/π)=14,96 cd/m²

Li v sk=0,047x(480Lx/π)=7,18 cd/m²

Lu wa=0,77x(200Lx/π)=49,02cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 4%

Li h sk=0,141x(1000Lx/π)=44,88cd/m²

Li v sk=0,141x(260Lx/π)=11,67 cd/m²

Lu wa=0,04x(200Lx/π)=2,55 cd/m²

33. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 300 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)= 32%

Li h sk = 0,228x(300Lx/π) = 21,77 cd/m²

Li v sk = 0,228x(50Lx/π) = 3,63 cd/m²

Lu v wa=0,32x(250Lx/π) = 25,46 cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 4%

Li h sk =0,118x(300Lx/π)=11,27 cd/m²

Li v sk =0,118x(20Lx/π)=0,75 cd/m²

Lu v wa = 0,04x(300Lx/π)=3,82 cd/m²

34. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 1000 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)= 32%

Li h sk=0,228x(1000Lx/π) = 72,57cd/m²

Li v sk=0,228x(190Lx/π) = 13,79cd/m²

Lu v wa=0,32x(900Lx/ π)=91,67 cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 4%

Li h sk=0,118x(1000Lx/π)=37,56cd/m²

Li v sk=0,118x(60Lx/π)=2,25 cd/m²

Lu v wa=0,04x(1030Lx/π)=13,11cd/m²

35. Paarvergleich: Halogenstrahler = 300 Lx / lineare Wandfluter 100 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)= 32%

Li h sk=0,228x(300Lx/π) = 21,77cd/m²

Li v sk=0,228x(220Lx/π) = 15,97 cd/m²

Lu v wa=0,32x(100Lx/ π)=10,19 cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 4%

Li h sk=0,118x(300Lx/π)= 12,27cd/m²

Li v sk=0,118x(150Lx/π)= 5,63 cd/m²

Lu v wa=0,04x(100Lx/π)= 1,27 cd/m²

36. Paarvergleich: Halogenstrahler = 1000 Lx / lineare Wandfluter 200 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)= 32%

Li h sk=0,228x(1000Lx/π) =72,57 cd/m²

Li v sk=0,228x(400Lx/π) = 29,02 cd/m²

Lu v wa=0,32x(200Lx/ π)=20,37 cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 4%

Li h sk=0,118x(1000Lx/π)=37,56cd/m²

Li v sk=0,118x(350Lx/π)=13,15 cd/m²

Lu v wa=0,04x(200Lx/π)=2,55 cd/m²

37. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 300 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 77%

Li h sk = 0,118x(300Lx/π) = 11,27 cd/m²

Li v sk = 0,118x(150Lx/π) = 5,63 cd/m²

Lu v wa= 0,77x (250Lx / π) = 61,27 cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)=32%

Li h sk = 0,228x(300Lx/π)=21,77cd/m²

Li h sk = 0,228x(50Lx/π)=3,63cd/m²

Lu = 0,32x (300Lx / π) = 30,56 cd/m²

38. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 1000 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 77%

Li h sk = 0,118x(1000Lx/π) = 37,56 cd/m²

Li v sk = 0,118x(550Lx/π) = 20,66 cd/m²

Lu = 0,77x (900Lx / π) = 220,70 cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)=32%

Li h sk=0,228x(1000Lx/π)=72,57cd/m²

Li v sk=0,228x(200Lx/π)=14,51cd/m²

Lu = 0,32x (1000Lx / π) = 101,91cd/m²

39. Paarvergleich: Halogenstrahler = 300 Lx / lineare Wandfluter 100 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 77%

Li h sk = 0,118x(300Lx/π) = 11,27 cd/m²

Li v sk = 0,118x(150Lx/π) = 5,63 cd/m²

Lu v wa= 0,77x (100Lx / π) = 24,52 cd/m²

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)=32%

Li h sk = 0,228x(300Lx/π)=21,77cd/m²

Li h sk = 0,228x(100Lx/π)=7,26 cd/m²

Lu = 0,32x (100Lx / π) = 10,19 cd/m²

40. Paarvergleich: Halogenstrahler = 1000 Lx / lineare Wandfluter 200 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 11,8%, rho(raum)= 77%

Li h sk = $0,118 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 37,56 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,118 \times (500 \text{Lx} / \pi) = 18,78 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 49,04 \text{ cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 22,8%, rho(raum)=32%

Li h sk = $0,228 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 72,57 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,228 \times (350 \text{Lx} / \pi) = 25,40 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 20,38 \text{ cd/m}^2$

41. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 300 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)= 32%

Li h sk = $0,252 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 24,06 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,252 \times (50 \text{Lx} / \pi) = 4,01 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (250 \text{Lx} / \pi) = 25,46 \text{ cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 4%

Li h sk = $0,141 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 13,46 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (20 \text{Lx} / \pi) = 0,90 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,04 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 3,82 \text{ cd/m}^2$

42. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 1000 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)= 32%

Li h sk = $0,252 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 80,21 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,252 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 16,04 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (900 \text{Lx} / \pi) = 32,0 \text{ cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 4%

Li h sk = $0,141 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 44,88 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (60 \text{Lx} / \pi) = 2,69 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,04 \times (1030 \text{Lx} / \pi) = 13,11 \text{ cd/m}^2$

43. Paarvergleich: Halogenstrahler = 300 Lx / lineare Wandfluter 100 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)= 32%

Li h sk = $0,252 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 24,06 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,252 \times (150 \text{Lx} / \pi) = 12,03 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 10,18 \text{ cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 4%

Li h sk = $0,141 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 13,46 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 4,49 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,04 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 1,27 \text{ cd/m}^2$

44. Paarvergleich: Halogenstrahler = 1000 Lx / lineare Wandfluter 200 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)= 32%

Li h sk = $0,252 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 80,21 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,252 \times (450 \text{Lx} / \pi) = 36,10 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 20,37 \text{ cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 4%

Li h sk = $0,141 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 44,88 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 13,64 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,04 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 2,55 \text{ cd/m}^2$

45. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 300 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 77%

Li h sk = $0,141 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 13,46 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (150 \text{Lx} / \pi) = 6,73 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 73,53 \text{ cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)=32%

Li h sk = $0,252 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 24,06 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,252 \times (50 \text{Lx} / \pi) = 4,01 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (150 \text{Lx} / \pi) = 15,28 \text{ cd/m}^2$

46. Paarvergleich: Spiegelrasterdecke E = Konstant = 1000 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 77%

Li h sk = $0,141 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 44,88 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (600 \text{Lx} / \pi) = 26,93 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 245,10 \text{ cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)=32%

Li h sk = $0,252 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 80,21 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,252 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 16,04 \text{ cd/m}^2$

Luvwa = $0,32 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 101,86 \text{ cd/m}^2$

47. Paarvergleich: Halogenstrahler = 300 Lx / lineare Wandfluter 100 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 77%

Li h sk = $0,141 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 13,46 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (150 \text{Lx} / \pi) = 6,73 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 24,51 \text{ cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)=32%

Li h sk = $0,252 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 24,06 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,252 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 8,02 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,32 \times (100 \text{Lx} / \pi) = 10,19 \text{ cd/m}^2$

48. Paarvergleich: Halogenstrahler = 1000 Lx / lineare Wandfluter 200 Lx

Linkes Modell

rho(skulp.) = 14,1%, rho(raum)= 77%

Li h sk = $0,141 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 44,88 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,141 \times (500 \text{Lx} / \pi) = 22,44 \text{ cd/m}^2$

Lu v wa = $0,77 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 49,02 \text{ cd/m}^2$

Rechtes Modell

rho(skulp.) = 25,2%, rho(raum)=32%

Li h sk = $0,252 \times (1000 \text{Lx} / \pi) = 80,21 \text{ cd/m}^2$

Li v sk = $0,252 \times (300 \text{Lx} / \pi) = 24,06 \text{ cd/m}^2$

Luvwa = $0,32 \times (200 \text{Lx} / \pi) = 20,37 \text{ cd/m}^2$

8.2 Beurteilung und Beschreibung der Paarvergleiche im Hinblick auf ihr visuelles Erscheinungsbild unter Berücksichtigung objektiver Messdaten, Realbild- und Leuchtdichteaufnahmen

1. Paarvergleich

In den Paarvergleichen 1-24 werden jeweils zwei gleichfarbige, monochrome Innenräume in Verbindung mit materialgleichen Skulpturen einem direkten Paarvergleich unterzogen. Die Skulpturen unterscheiden sich hierbei lediglich in ihrer Oberflächenbeschaffenheit. So weisen die im linken Innenraummodell präsentierten Skulpturen eine geschliffene Oberflächenausführung auf, während in der rechten Innenraumsituation die Skulptur über eine hochglanzpolierte Oberfläche verfügt.

In der ersten visuellen Modellanordnung weist die geschliffene Diorit-Skulptur einen Reflexionsgrad von 11,4 % auf. Im Rahmen einer Betrachtung der Skulptur durch einen Museumsbesucher, repräsentiert die Skulptur für den Betrachter das sogenannte Infeld. Die cremeweiße Innenraumgestaltung der die Skulptur umgebenden Hüllflächen verfügt über einen Reflexionsgrad von 77 % und stellt das visuelle Umfeld dar.

Bei einer gemessenen horizontalen Beleuchtungsstärke von 300 Lx, die über eine zentral positionierte Spiegelrasterdecke abgegeben wird, entsteht auf der Skulpturoberfläche eine Infeld-Leuchtdichteerscheinung (Li h sk), in Höhe des Messpunktes, von 11,27 cd/m². Die gemessene vertikale Beleuchtungsstärke liegt bei jeweils 150 Lx, was zu einer Infeld-Leuchtdichte (Li v sk) von 5,63 cd/m² führt. Die Oberflächen der Innenwände weisen dagegen aufgrund ihres wesentlich höheren Reflexionsgrades einen Leuchtdichtewert von 73,53 cd/m² auf. Die errechneten Leuchtdichteerscheinungen werden in der dazugehörigen Leuchtdichteaufnahme bestätigt.

Die geschliffene Oberfläche der dunkelgrauen Diorit-Skulptur bewirkt sehr gleichmäßige und weich auslaufende Übergänge der aneinander angrenzenden Infeld-Leuchtdichtebereiche. Diese Erscheinung wird speziell auf der Kugeloberfläche der

Skulptur sichtbar. Die eingefärbten Leuchtdichtebereiche der umliegenden Innenwandflächen lassen deutlich den Übergang erkennen, in welcher Raumhöhe die Primärlichtstrahlen der Spiegelrasterdecke die umliegenden Innenwände berühren. Auch hier verlaufen die Übergänge aufgrund der matten Innenwandfarbe sehr weich. Leuchtdichterscheinungen in Form von Spiegelungen können nicht beobachtet werden.

In dem rechten Innenraummodell des ersten visuellen Paarvergleiches sind die Skulpturfarbe und die monochrome Innenraumfarbe mit der linken visuellen Innenraummodellordnung identisch. Der Unterschied besteht in der Oberflächenausführung der zu präsentierenden Skulptur. Im Gegensatz zu der linken Diorit-Skulptur verfügt die rechte Diorit-Skulptur über eine hochglänzende Oberflächenausführung.

Der Reflexionsgrad der Skulptur beträgt 14,1 %. Die hochglänzende Oberflächenausführung der Skulptur führt allerdings zu einer deutlichen Abgrenzung der einzelnen Leuchtdichtebereiche auf der Skulpturoberfläche zueinander. Insbesondere können Leuchtdichterscheinungen in Form von Spiegelungen beobachtet werden, in denen ein kleines Feld einer deutlich erhöhten Leuchtdichte an einen Bereich sehr niedriger Leuchtdichte angrenzt.

Die auf der Leuchtdichteaufnahme deutlich sichtbare partielle Infeldleuchtdichte von ca. 64 cd/m^2 bei einer errechneten Infeldleuchtdichte im Bereich der Messpunkte (Li h sk) von $13,46 \text{ cd/m}^2$ und Li v sk von $6,73 \text{ cd/m}^2$ muss auf den Vorgang der direkten Reflexion zurückgeführt werden. Der Übergangsbereich verläuft auch hier in einer scharfen Linie. Die visuelle Präsenz der Skulptur erscheint in der rechten Modellordnung schärfer und kontrastreicher als in der linken visuellen Anordnung. Allerdings sorgt die geschliffene Oberflächenausführung für eine bessere visuelle Erkennung der räumlichen Formen.

Aufgrund des gleichen Reflexionsgrades der Innenwandoberfläche, bleibt die gemessene vertikale Beleuchtungsstärke im Zentrum der Skulptur mit 150 Lx gleich.

2. Paarvergleich

Mit der Erhöhung der Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx erhöhen sich die Leuchtdichtewerte der Oberflächen. Da die Ausgangssituation zum vorherigen Paarvergleich unverändert ist und nur die Beleuchtungsstärke erhöht wird, steigt die Umgebungsleuchtdichte ($Lu \text{ v wa}$) im Bereich der Messpunkte auf einen Wert von $237,45$ bzw. $254,90 \text{ cd/m}^2$ bei einem gleichbleibenden Reflexionsgrad von 77 %. Der Unterschied der beiden Leuchtdichtewerte beruht auf einer Differenz der gemessenen vertikalen Beleuchtungsstärken an den jeweiligen Messpunkten von 970 Lx in der linken Anordnung und 1040 Lx in der rechten Anordnung. Der Höhere Wert beruht hier auf dem höheren Anteil an direkter Reflexion durch die hochglänzende Oberfläche der ausgestellten Skulptur in der rechten Anordnung. Die gemessenen vertikalen Beleuchtungsstärken auf halber Skulpturenhöhe von 540 bzw. 530 Lx sind

leuchtungsstärken auf halber Skulpturenhöhe von 540 bzw. 530 Lx sind annähernd gleich.

In beiden Innenraumsituationen wird die Erhöhung der Leuchtdichtewerte für In- und Umfeldbereiche durch die dazugehörige Leuchtdichteaufnahmen bestätigt. Im Kopfbereich der linken Skulptur kann auch bei einer Beleuchtungsstärke von 1000 Lx und einer geschliffenen Oberflächenausführung der weiche Grenzverlauf der einzelnen Leuchtdichtebereiche zueinander beobachtet werden. So können im Kopfbereich der linken Skulptur einzelne Leuchtdichtefelder von ca. 125 cd/m² bis unter 12,5 cd/m² beobachtet werden.

Vergleicht man nun die linke geschliffene Skulptur mit der rechten hochglanzpolierten Skulptur, so weist die hochglanzpolierte Skulptur Leuchtdichtespitzen von bis zu 500 cd/m² auf, was auf den hohen Anteil direkter Reflexion infolge der hochglanzpolierten Oberfläche zurückzuführen ist. Ebenfalls grenzen sich die einzelnen Leuchtdichtefelder wieder scharf voneinander ab.

Infolge der hohen Beleuchtungsstärke von 1000 Lx wirken die ausgestellten Skulpturen leicht eingetrübt. Auch hier wirkt die hochglanzpolierte Oberfläche der Skulptur schärfer und kontrastreicher als die geschliffene Oberflächenausführung. Die gleichmäßigere Hell- Dunkelverteilung der geschliffenen Ausführung lässt aber wiederum ein besseres, visuelles Erkennen der räumlichen Formensprache der Skulptur zu.

3. Paarvergleich

Innerhalb des dritten und vierten visuellen Paarvergleichs werden die Beleuchtungsstärken von 300 bzw. 1000 Lx beibehalten. Die Art der Beleuchtung wechselt von einer reinen Spiegelrasterdecke zu einer Leuchtenkombination aus linearen Wandflutern zu jeweils 100 bzw. 200 Lx und drei Halogen-Einzelstrahlern zu je 300 bzw. 1000 Lx.

Alle drei Halogenspots sind auf das Zentrum der ausgestellten Skulptur gerichtet und erzeugen im dritten Paarvergleich eine horizontale Beleuchtungsstärke von 300 Lx im Bereich des Messpunktes. Die Hinzugeschalteten Wandfluter erzeugen auf mittlerer Wandhöhe eine vertikale Beleuchtungsstärke von 100 Lx. In der Leuchtdichteaufnahme kann man erkennen, dass die Wandfluter eine sehr zonenhafte Ausleuchtung der Seitenwandbereiche verursachen. Eine ausreichend großflächige Beleuchtung der Innenwandflächen aufgrund direkter und indirekter Strahlungsanteile bleibt aus. Der weitaus größte Innenwandflächenanteil entwickelt eine Leuchtdichteerscheinung von 20-25 cd/m².

Die Installierten Halogen-Deckeneinbauleuchten versorgen die Skulptur mit einer rein gerichteten Strahlungscharakteristik. Durch die Verwendung der Decken-Einbaustrahler wird auch der Schattenwurf auf der geschliffenen Skulpturoberfläche gesteigert. Auch die formbestimmenden räumlichen Außenkanten treten deutlicher hervor.

Die Gleichmäßigkeit der Lichtverteilung einer reinen Spiegelrasterdeckenbeleuchtung wird allerdings nicht erreicht.

Betrachtet man die rechte Modellanordnung, so fällt auf, dass durch die hochglänzende Oberflächenausführung der Skulptur die jeweiligen Lichtquellen der Einbaustrahler durch direkte Reflexion auf der Skulpturoberfläche visuell abgebildet werden. Der Übergang von beleuchteten Flächenbereichen zu verschatteten Bereichen erscheint auf der hochglanzpolierten Skulptur prägnanter. Ebenfalls tragen sichtbare Spiegelungen an den Außenkanten der Skulptur zu einer gesteigerten Plastizität und Brillanz im Vergleich zu der geschliffenen Oberflächenausführung bei. Im Vergleich mit der Spiegelrasterdecke kann für beide Oberflächenausführungen eine gesteigerte Plastizität beobachtet werden.

4. Paarvergleich

Auch im vierten Paarvergleich bleiben die Ausgangsbedingungen wie Wandfarben, Skulpturfarben und Oberflächenbeschaffenheiten gleich. Durch die Anhebung der Beleuchtungsstärken der Strahler von 300 auf 1000 Lx werden die Leuchtdichten ebenfalls gesteigert. Die Wandfluter werden so eingestellt, dass sie auf halber Innenwandhöhe eine vertikale Beleuchtungsstärke von 200 Lx erzeugen.

Beginnt man wieder mit der linken Innenraumsituation, so kann auch hier wieder aufgrund der geschliffenen Skulpturoberfläche ein weicher Übergang zwischen den einzelnen Leuchtdichtefeldern beobachtet werden. Die hochglanzpolierte Skulptur in der rechten Modellanordnung weist wiederum eine deutlich härtere Abgrenzung der einzelnen Leuchtdichtefelder zueinander auf. Durch den hohen Anteil an direkter Reflexion auf der hochglanzpolierten Oberfläche sind wiederum die Lichtquellen der Halogenspots im Kopfbereich der Skulptur sichtbar. Diese eher störenden visuellen Leuchtdichteerscheinungen sind auch bei der deutlich niedrigeren Beleuchtungsstärke von 300 Lx erkennbar.

Betrachtet man das dazugehörige Leuchtdichtebild bei einer Beleuchtungsstärke von 1000 Lx, so stellt man fest, dass gerade in den Randbereichen der hochglanzpolierten Skulptur partielle Leuchtdichtebereiche von bis zu 160 cd/m² bei einer berechneten Infeldleuchtdichte $L_{h\ sk}$ von 44,88 und $L_{v\ sk}$ von 24,68 cd/m² im Bereich der Messpunkte erkennbar sind.

5. Paarvergleich

Innerhalb der Paarvergleiche 5-8 bleibt die cremeweise Hüllflächenfarbe erhalten und die dunkelgrauen Skulpturen werden gegen schwarze Basalt-Skulpturen ausgetauscht. Im Vergleich zu den dunkelgrauen Diorit-Skulpturen weisen die schwarzen Basalt-Skulpturen einen deutlich niedrigeren Reflexionsgrad auf. Die matte Basalt-Skulptur verfügt demnach über einen Reflexionsgrad von 4,7 %, während die hoch-

glanzpolierte Oberflächengestaltung im rechten Innenraum über einen Reflexionsgrad von 6.0 % verfügt. Durch die sehr unterschiedlichen Reflexionsgrade von Umfeld zu der ausgestellten Skulptur (Infeld) bildet sich ein rechnerisch unvorteilhaftes Leuchtdichteverhältnis von Infeld zu Umfeld aus.

Die Leuchtdichtewerte der Hüllflächen im Bereich der Messpunkte bleiben in Ihrer rechnerischen Höhe unverändert. Die Infeldleuchtdichte der matten Basalt-Skulptur erreicht bei einer horizontalen Beleuchtungsstärke von 300 Lx einen Wert von 4,49 cd/m² (Li h sk). Die einzelnen Leuchtdichtebereiche auf der Skulpturoberfläche laufen wieder sehr weich ineinander über. Durch den hohen Anteil an reflektiertem Licht infolge des hohen Reflexionsgrades der umliegenden Innenwandflächen erscheint die matte Skulptur wieder etwas trüb.

Die hochglanzpolierte Basalt-Skulptur weist im Gegensatz zu der matten Skulptur eine prägnantere Leuchtdichtevertelung auf. Die farbliche Erscheinung der hochglanzpolierten Skulptur erscheint kräftiger. Im Bereich des Skulpturenkopfes ist die Spiegelrasterdecke als Lichtquelle aufgrund direkter Reflexion visuell deutlich erkennbar. Es kann sogar die geometrischen Form der Spiegelrasterdecke visuell beobachtet werden. Im Bereich dieser direkten Reflexion können auf der dazugehörigen Leuchtdichteaufnahme Leuchtdichtewerte von ca. 64 cd/m² abgelesen werden. Trotz einer optisch kräftigeren Farbpräsenz und einer prägnanten licht- und Schattenverteilung stellt sich die exakte Erkennung der räumlichen Formen als schwierig dar.

6. Paarvergleich

Die Beleuchtungsstärke der Spiegelrasterdecke wird von 300 Lx auf 1000 Lx gesteigert. Durch die Erhöhung der Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx erscheinen beide Skulpturen im Vergleich zu der 300 Lx Einstellung eingetrübter. Die Hell-Dunkelverteilung auf der matten Basalt-Skulptur bewegt sich auf einem höheren Leuchtdichtenniveau als bei der 300 Lx Einstellung, wobei die einzelnen Übergänge zwischen helleren und dunkleren Bereichen weiterhin sehr weich verlaufen.

Auch auf der rechten hochglanzpolierten Oberfläche der Basalt-Skulptur ist das Leuchtdichteniveau infolge der angehobenen Beleuchtungsstärke und der damit verbundenen Erhöhung des Anteiles an Mehrfachreflexionen gestiegen. Die hochglanzpolierte Oberfläche wirkt aber im Vergleich zu der matten Oberfläche farblich wiederum satter und kontrastreicher. Eine bessere Erkennung der dreidimensionalen Formsprache der Skulptur kann allerdings nicht beobachtet werden.

Betrachtet man den Übergangsverlauf der einzelnen Leuchtdichtebereiche auf den Skulpturoberflächen, so bestätigt die Leuchtdichteaufnahme die weich verlaufenden Bereichsübergänge für die geschliffene Oberflächenausführung. Bei einer errechneten Infeldleuchtdichte von Li h sk = 14,96 bzw Li v sk = 6,73 cd/m² bei einer horizontalen Beleuchtungsstärke von 1000 Lx bzw. vertikalen Beleuchtungsstärke von 450 Lx können auf der matten Oberfläche Spitzenwerte infolge diffuser Reflexion von ca.

112 cd/m² beobachtet werden. Im rechten Innenraummodell des Paarvergleiches werden auf der hochglanzpolierten Skulpturoberfläche partielle Leuchtdichtebereiche durch direkte Reflexion von bis zu 180 cd/m² bei einer errechneten Infieldleuchtdichte im Bereich der Messpunkte von $Li\ h\ sk = 19,10$ bzw. $Li\ v\ sk = 8,59$ cd/m² registriert.

7. Paarvergleich

Im siebten visuellen Paarvergleich wird die Spiegelrasterdecke wieder durch eine Leuchtenkombination aus Halogenstrahlern und linearen Wandflutern ersetzt. In beiden Innenraumsituationen bewirken die linearen Wandfluter sehr partielle, auf das obere Viertel der Umlaufenden Innenwandflächen, bezogene hohe Leuchtdichtefelder. Im Inneren dieser Leuchtdichtebereiche werden Leuchtdichtewerte von 125-160 cd/m² erzielt. Die linearen Wandfluter versorgen die ausgestellten Skulpturen mit einer indirekten Strahlungscharakteristik, welche durch Reflexion an den Innenwandflächen entsteht.

Im Vergleich hierzu versorgen die Deckenstrahler die Basalt-Skulpturen mit einer rein direkten Strahlungscharakteristik. Auf den Skulpturen selbst kann dadurch eine erhöhte Licht- und Schattenverteilung beobachtet werden. Aussenkanten werden infolge direkter Reflexion besonders herausgehoben und im Schatten befindliche Oberflächenbereiche zeichnen sich besonders dunkel ab. Es kann eine gesteigerte visuelle plastische Wirkung beobachtet werden.

Wie schon bei den Diorit-Skulpturen zeichnen sich auch bei den Basalt-Skulpturen besonders im Bereich der direkten Strahlung deutliche Unterschiede zwischen der matten und der hochglanzpolierten Oberflächenausführung ab.

Während auf der matten Oberfläche die einzelnen Lichtquellen der Leuchtmittel nicht visuell wahrnehmbar sind, können auf der glänzenden Oberfläche die Lichtquellenzentren der Halogenstrahler in Form von Glanzpunkten auf der Skulpturoberfläche genau beobachtet werden. Eine visuelle Erscheinung infolge direkter Reflexion.

8. Paarvergleich

Im achten Paarvergleich bleiben die visuellen Randbedingungen erhalten. Die horizontale Beleuchtungsstärke der Halogenstrahler wird von 300 Lx auf 1000 Lx erhöht. Die linearen Wandfluter werden wie bei den Paarvergleich 3 und 4 auf 200 Lx eingestellt. Der Fühler des Luxmeters nimmt die vertikale Beleuchtungsstärke von 200 Lx der linearen Wandfluter im Zentrum der Seitenwandflächen ab.

Auf den ersten Blick fällt natürlich eine deutliche Erhöhung der allgemeinen Raumhelligkeit auf, welche auf die Steigerung der indirekten Lichtmengenanteile zurückzuführen ist. Durch die Erhöhung der Beleuchtungsstärken der Halogenspots wird die Schattigkeit auf den Skulpturoberflächen erhöht. In Verbindung mit der Erhöhung des

direkten Strahlungsanteiles nimmt auch die Intensität an direkter Reflexion in Form von Spiegelungen zu. Die Leuchtdichteaufnahmen zeigen auch hier die Reflexion der eingesetzten Leuchtmittelquellen auf der hochglanzpolierten Skulpturoberfläche deutlich.

Bei der matten Skulptur kann auch nach einer Erhöhung der Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx keine Spiegelung der vorhandenen Lichtquellen auf der Skulpturoberfläche beobachtet werden. Auch trotz einer deutlichen Zunahme der Licht- und Schattenausbildung auf der matten Oberflächenausführung kann die räumliche Ausdehnung und Formensprache der dreidimensionalen Skulptur im Gegensatz zu der hochglänzenden Oberflächengestaltung wesentlich besser wahrgenommen werden.

9. Paarvergleich

In den Paarvergleichen 9 bis 12 wird die farbliche Innenraumgestaltung von dem RAL-Farbtönen cremeweiß auf platingrau umgestellt. Die in den Paarversuchen 5-8 ausgestellten anthrazitfarbenen Basalt-Skulpturen werden durch hellgraue Granit-Skulpturen ausgetauscht. Beide Innenraummodelle verfügen somit über gleiche farblich visuelle Untersuchungsbedingungen. Die Granitskulptur im rechten Innenraummodell verfügt allerdings über eine hochglanzpolierte Oberflächenausführung, während die linke Granit-Skulptur eine geschliffene, sprich matte Oberflächencharakteristik aufweist.

Der neunte Paarvergleich verfügt über eine Spiegelrasterdecke als zentrale Lichtquelle. Die horizontale Beleuchtungsstärke wird auf 300 Lx eingestellt und wiederum in mittlerer Skulpturenhöhe gemessen. In der Realbildaufnahme kann man erkennen, dass die Spiegelrasterdecke mit ihren direkten und indirekten Lichtanteilen für eine sehr gleichmäßige Lichtverteilung sorgt.

Die platingraue RAL-Farbe der Innenwandflächen weist einen Reflexionsgrad von 32 % auf. In Verbindung mit den gemessenen vertikalen Beleuchtungsstärken von 250 Lx (linker Raum) und 330 Lx (rechter Raum) ergeben sich vertikale Umfeldleuchtdichtewerte von 25,46 bzw. 33,61 cd/m^2 im Bereich der Messpunkte. Die Leuchtdichten des Infeldes (Skulpturen) liegen bei errechneten 21,77 (Li h sk) und 4,35 (Li v sk) cd/m^2 (matte Oberflächenausführung) bzw. 24,06 (Li h sk) und 4,81 (Li v sk) cd/m^2 (hochglanzpolierte Oberflächengestaltung). Die Leuchtdichteaufnahmen bestätigen diese Werte.

Der Leuchtdichteverlauf auf den Skulpturoberflächen zeigt auf der Oberseite des Skulpturenkopfes einen wesentlich höheren Leuchtdichtewert als im Sockelbereich der Skulptur. Auf der Oberseite der Skulpturenköpfe trifft der direkte Strahlungsanteil der Spiegelrasterdecke unmittelbar auf. Weiter unten liegende horizontale Oberflächenanteile, insbesondere der Sockelbereich der Skulptur werden verschattet. Zusätzlich verursacht die horizontale Beleuchtungsstärke von 300 Lx, in Verbindung mit den platingrauen Wänden mit einem Reflexionsgrad von 32 %, eine vertikale Be-

leuchtungsstärke im Infeldbereich der Skulptur von nur 60 Lx. Somit ergeben sich Infeldleuchtdichten infolge vertikaler Beleuchtungsstärke von 4,35 cd/m² für die matte Skulptur bzw. 4,81 cd/m² für die hochglänzende Oberflächenausführung.

Des Weiteren kann wiederum beobachtet werden, dass die verschiedenen Infeld-Leuchtdichtezonen im Kopfbereich der matten Skulptur einen sehr weichen Übergang aufweisen. Der Vergleich mit der hochglänzenden Oberfläche ergibt dort einen schärferen Übergang. So können hier auch Infeld-Leuchtdichtewerte aufgrund von partiellen Spiegelungen einen Wert von 160 cd/m² aufweisen.

Die objektiven Messdaten der vertikalen Beleuchtungsstärken im Zentrum der Seitenwände zeigen, dass infolge des höheren Reflexionsvermögens der hochglanzpolierten Skulptur (330 Lx), die vertikale Beleuchtungsstärke im Bereich der Messpunkte um 80 cd/m² über dem Wert in dem linken Innenraum liegt (250 Lx).

10. Paarvergleich

Im zehnten visuellen Paarvergleich ändert sich die Beleuchtungsstärke von 300 Lx auf 1000 Lx. Die Anhebung der Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx bewirkt eine rechnerische vertikale Umfeld-Leuchtdichte im Bereich der Messpunkte von 88,61 (linker Raum) bzw. 112,05 cd/m² (rechter Raum). Auch hier resultiert der höhere Wert aus der Eigenschaft der hochglanzpolierten Skulpturoberfläche, einen größeren Lichtmengenanteil durch Reflexion an die Innenwandflächen weiterzuleiten.

Infolge diffuser Reflexion bildet sich auf der Oberseite der matten Skulptur eine großflächige Leuchtdichtezone mit einem Leuchtdichtewert von 160 bis 250 cd/m². Die einzelnen Leuchtdichtebereiche ordnen sich sehr gleichmäßig ringförmig um den Kopfbereich der Skulptur an. Ein Vergleich mit der hochglanzpolierten Skulptur zeigt, dass dort die einzelnen Leuchtdichtefelder in Ihrer Ausdehnung und Intensität eine andere Charakteristik aufweisen. So verlaufen die einzelnen Leuchtdichtebereiche sehr wellenförmig und zerklüftet ineinander. Spitzenwerte im Zentrum der oberen Halbkugel verfügen über Leuchtdichtewerte infolge direkter Reflexion von bis zu 400 cd/m².

Die Realbildaufnahmen zeigen, dass im oberen Kopfbereich der matten Skulptur die Oberflächenzeichnung des Natursteines nicht mehr visuell erkannt werden kann. In den unteren Bereichen ist die Struktur des Granits noch deutlicher zu erkennen. Im Allgemeinen ist die typische Granitstruktur unter der hochglanzpolierten Oberfläche besser zu sehen, wobei auch hier aufgrund direkter und indirekter Reflexionen die granittypische Struktur nicht mehr wahrnehmbar ist. Die matte Skulptur wirkt in Ihrer visuelle Gesamterscheinung wesentlich trüber.

11. Paarvergleich

Im elften Paarvergleich wird die Spiegelrasterdecke wieder gegen die Leuchtenkombination aus linearen Wandflutern mit Halogenstrahlern ausgetauscht. Auf mittlerer Skulpturenhöhe erzeugen die Halogenspots eine horizontale Beleuchtungsstärke von 300 Lx, während die Wandfluter auf mittlerer Seitenwandhöhe eine vertikale Beleuchtungsstärke von 100 Lx erzeugen.

Die blau eingefärbten Bereiche auf der dazugehörigen Leuchtdichteaufnahme weisen darauf hin, dass durch den Einsatz der Halogenstrahler auch weiter unten liegende Oberflächenbereiche der Skulpturen mit direkter Strahlung versorgt werden. Des Weiteren zeigt die Leuchtdichteaufnahme, dass auf der hochglanzpolierten Skulpturoberfläche Leuchtdichtewerte von bis zu 400 cd/m² zu sehen sind. Die matte Oberflächengestaltung weist hier deutlich niedrigere Leuchtdichtewerte auf. Der Leuchtdichteverlauf der linearen Wandfluter zeigt sich auf den jeweiligen Innenwandflächen wieder sehr zonenhaft.

Die Licht- und Schattenverteilung wirkt auf der glänzenden Skulpturoberfläche visuell prägnanter und sorgt somit für eine gesteigerte Plastizität. Im Bereich der matten Oberflächenausführung sind die Grenzverläufe zwischen den beleuchteten und verschatteten Teilbereichen wesentlich weicher gezeichnet, was allerdings auch zu einer weniger plastischen visuellen Gesamterscheinung führt. Im Kopfbereich der hochglanzpolierten Oberfläche sind die Lichtquellen der eingesetzten Halogenstrahler infolge direkter Reflexion klar zu erkennen. Die natürliche Zeichnung des Granitsteines erscheint unter der hochglänzenden Oberfläche schärfer.

12. Paarvergleich

Die drei Halogenstrahler werden auf halber Skulpturenhöhe auf eine horizontale Beleuchtungsstärke von 1000 Lx eingestellt. In zentraler Seitenwandposition erzeugen die linearen Wandfluter nun eine vertikale Beleuchtungsstärke von 200 Lx. Alle anderen visuellen Randbedingungen bleiben unverändert.

Ein erster Vergleich mit dem elften Paarvergleich zeigt eine deutliche Steigerung der Gesamthelligkeit des Innenraumes. Unterzieht man nun die beiden Skulpturen weiteren visuellen vergleichen, so fallen gerade im Oberflächenbereich der hochglanzpolierten Skulptur visuelle Beeinträchtigungen infolge Blenderscheinungen auf. Das dazugehörige Leuchtdichtebild zeigt hier Leuchtdichtewerte von 800 -1000 cd/m² an. Wie auch schon im elften Paarvergleich sind im Kopfbereich der hochglänzenden Skulptur die Leuchtquellen aufgrund direkter Spiegelung deutlich sichtbar.

Infolge der stärkeren Abgrenzung der einzelnen Licht- und Schattenbereiche wirkt die glänzende Skulptur wiederum plastischer. Auch ist die granittypische Zeichnung des Gesteines besser erkennbar als bei der matten Skulptur. Eine starke visuelle Beeinträchtigung stellen allerdings die Blenderscheinungen infolge direkter Reflexion

auf der hochglanzpolierten Oberfläche für einen Betrachter da. Eine klare visuelle Erkennung der räumlichen Formensprache gestaltet sich für die hochglanzpolierte Oberflächenausführung als sehr problematisch.

13. Paarvergleich

Im Rahmen der Paarvergleiche 13-16 werden die Granit-Skulpturen durch schwarze Basalt-Skulpturen ausgetauscht. Der Reflexionsgrad der matten Skulptur sinkt somit von 22,8 % auf 4,7 %. Bei der hochglanzpolierten Skulptur fällt der Reflexionsgrad von 25,2 % auf einen Wert von 6,0 %.

Der 13. Paarvergleich startet wieder mit einer zentral angeordneten Spiegelrasterdecke mit einer Beleuchtungsstärke von 300 Lx. Die errechneten Leuchtdichtewerte werden von der dazugehörigen Leuchtdichteaufnahme bestätigt. Der visuelle Paarvergleich beinhaltet ein sehr dunkles Infeld. Alle errechneten Leuchtdichtewerte können der Auflistung von Punkt 6.1.4.1 entnommen werden.

Auf Grundlage der Realbildaufnahme zeigt der direkte Paarvergleich, dass die hochglanzpolierte Skulptur trotz einer rechnerisch höheren Leuchtdichte eine dunklere Erscheinung aufweist. Wie in den vorangegangenen Paarvergleichen verfügt hier die hochglänzende Skulpturoberfläche über eine prägnantere und sich schärfer abgrenzende Licht- und Schattenverteilung. Die matte Oberflächenausführung zeigt wie in den vorangegangenen Vergleichen einen sehr weichen Übergangsverlauf. Die visuelle Erscheinung der matten Skulptur fällt trotz rechnerisch geringerem Leuchtdichtewert heller aus.

Partielle Leuchtdichtebereiche fallen auf der matten Oberfläche flächenmäßig größer aus, liegen allerdings in Bezug auf Ihre Intensität um ca. 1/3 unter den Werten der hochglanzpolierten Oberfläche. Die von Ihrer Flächenausdehnung kleineren partiellen Leuchtdichtebereiche der hochglänzenden Skulpturoberfläche liegen demnach um ca. 1/3 über denen der matten Oberfläche. Aufgrund des höheren Leuchtdichtewertes verfügen sie im Hinblick auf eine visuelle Wahrnehmung über ein höheres Störpotential.

Im Bereich der hochglänzenden Skulptur liegt der Betrag der gemessenen vertikalen Beleuchtungsstärke im Zentrum der Innenwandfläche bei 300 Lux, während der Wert im Bereich der matten Skulptur bei 250 Lx liegt. Eine Differenz der vertikalen Beleuchtungsstärke auf der Innenwandfläche infolge direkter Reflexion der hochglänzenden Skulpturenoberfläche von 50 Lx.

14. Paarvergleich

Der 14. visuelle Paarvergleich beinhaltet eine Steigerung der horizontalen Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx. Die Folge ist erstmal eine hellere Gesamterscheinung der beiden Innenraumsituationen.

Im Kopfbereich der matten Skulptur ist ein ringförmiger Verlauf der einzelnen partiellen Leuchtdichtfelder zu erkennen. Die Leuchtdichtfelder steigen am größten Radius des Skulpturenkopfes beginnend nach oben an. Gleichzeitig nimmt der Betrag der einzelnen ringförmigen Leuchtdichtfelder nach oben hin zu. Der unterste, blau eingefärbte Leuchtdichtring entspricht dem errechneten Leuchtdichtwert infolge einer horizontalen Beleuchtungsstärke (1000 Lx) von 14,96 cd/m². Auf der Kugeloberseite zeigt die Leuchtdichteaufnahme einen Wert von ca. 125 cd/m² an.

Die Charakteristik der einzelnen Übergänge ist wiederum als weich zu bezeichnen. Darunter liegende Skulpturenbereiche werden verschattet und weisen aufgrund einer gemessenen vertikalen Beleuchtungsstärke von 200 Lx in Verbindung mit dem eigenen sehr geringen Oberflächenreflexionsgrad von 4,7 bzw. 6,0 % nur eine Infeldleuchtdichte (Li v sk) von lediglich 2,99 bzw. 3,82 cd/m² auf.

Während bei der matten Skulptur die komplette obere Halbkugel verschiedene Bereiche an Leuchtdichtezonen aufweist, konzentriert sich bei der hochglanzpolierten Oberfläche der Anstieg der Leuchtdichtewerte auf die höchste Stelle des Skulpturenkopfes. Ein Übergangsbereich einzelner Leuchtdichtewerte ist kaum visuell wahrnehmbar. Ein Infeldleuchtdichtewert von ca. 160 cd/m² stellt den maximalwert dar, und nimmt gleichzeitig die größte flächige Ausdehnung an.

Im Realbildvergleich zeigt sich die höchste partielle Leuchtdichte auf den hochglänzenden Skulpturenoberflächen als deutliche Blenderscheinung infolge direkter Reflexion. Auf der matten Oberfläche erscheint diese Blenderscheinung wesentlich großflächiger, bei einem niedrigeren Leuchtdichtewert. Die Spiegelrasterdecke bewirkt im Allgemeinen eine sehr gleichmäßige Ausleuchtung, was bei der matten Skulpturoberfläche zu einer besseren räumlichen Erkennbarkeit der Formensprache führt.

Durch die Zunahme an direkten und indirekten Strahlungsanteilen wirken beide Skulpturen im Vergleich zu der 300 Lx Einstellung visuell heller.

15. Paarvergleich

Wie bei den vorangegangenen Paarvergleichen wird die Spiegelrasterdecke mit einer Beleuchtungsstärke von 1000 Lx durch die Leuchtenkombination aus linearen Wandflutern mit Halogenstrahlern abgelöst.

Im Vergleich zu der Spiegelrasterdecke mit gleicher Beleuchtungsstärke fällt auf, dass die Skulpturen in Verbindung mit einer direkt strahlenden Lichtquelle an Plastizität gewinnen. Teilflächen, welche von den direkten Lichtstrahlen getroffen werden,

weisen einen deutlich erhöhten Leuchtdichteverlauf auf, wohingegen Teilflächen, die der direkt strahlenden Lichtquelle abgewandt sind, einen erheblich niedrigeren Leuchtdichtewert aufweisen. Der Einsatz direkt strahlender Leuchtmittel erhöht demnach deutlich den Gegensatz zwischen beleuchteten und verschatteten Oberflächenanteilen, was zu einer visuellen Steigerung an Plastizität führt.

Der direkte Paarvergleich zeigt auch bei dieser Einstellung, dass die hochglanzpolierte Oberfläche Blenderscheinungen in Form von Spiegelungen aufweist. Hier sind wieder die Spiegelungen der einzelnen Halogenstrahler im Kopfbereich der Skulptur zu nennen. Aufgrund der sehr niedrigen Reflexionsgrade der Skulpturen treten diverse Blenderscheinungen z.B. an den Aussenkanten visuell sehr stark hervor und beeinträchtigen die visuelle Wahrnehmung stark.

Trotz einer rechnerisch niedrigeren Infeldleuchtdichte wirkt die geschliffene Skulpturoberfläche in Ihrer Gesamterscheinung heller als die polierte. Im Vergleich zur Spiegelrasterdecke (300 Lx) wirken die Skulpturen in Ihrer Gesamtheit aber zu dunkel.

16. Paarvergleich

Im 16. Paarvergleich werden die Halogenstrahler wieder auf 1000 Lx hochgestellt, während die Wandfluter im Bereich der Messpunkte auf eine vertikale Beleuchtungsstärke ($L_{u,v,w}$) von 200 Lx gestellt werden.

Der visuelle Gesamteindruck wirkt deutlich heller als im vorangegangenen Paarvergleich. Die Erhöhung der Beleuchtungsstärken lässt allerdings auch die partiellen Leuchtdichtebereiche auf den Oberflächen der Skulpturen merklich ansteigen. Spiegelungen infolge direkter Reflexion nehmen zu.

So weist in der rechten visuellen Innenraumsituation die rechte Kante des Würfels eine hohe Leuchtdichte auf. In der dazugehörigen Leuchtdichteaufnahme werden hier Leuchtdichtewerte von bis zu ca. 640 cd/m^2 erreicht. Glanzpunkte im oberen Kopfbereich der Skulptur zeigen auch bei dieser Einstellung die Lichtquellen der Halogen-Deckenstrahler.

Wie schon im 15. Paarvergleich wirkt auch hier die matte Skulpturoberfläche trotz einem niedrigeren Infeldleuchtewert heller als die hochglänzende Skulptur.

Vergleicht man die beiden Skulpturen miteinander, so wirkt die Skulptur mit der matten Oberflächenausführung diesmal plastischer als die hochglanzpolierte Skulptur. Die Skulptur mit der glänzenden Oberflächenausführung weist hier zu viele Leuchtdichte-Überschreitungen in Form von Blendungen auf, welche in Verbindung mit der sehr dunklen Erscheinung über ein hohes visuelles Ablenkungspotential verfügen. Der Betrachter wird hier von der eigentlichen räumlichen Formensprache der Skulptur abgelenkt.

17. Paarvergleich

Im Rahmen der visuellen Paarvergleiche 17-20 wird die farbliche Innenwandgestaltung von platingrau mit einem Reflexionsgrad von 32 % auf tiefschwarz mit einem Reflexionsgrad von 4 % umgestellt. Die schwarze Basalt-Skulptur wird durch die hellgraue Granit-Skulptur ersetzt. Die geschliffene Granit-Skulptur verfügt über einen Reflexionsgrad von 22,8 % die hochglanzpolierte Ausführung von 25,2 %.

Die visuellen Paarvergleiche starten wieder mit einer Spiegelrasterdeck bei einer Beleuchtungsstärke von 300 Lx. Die hierfür errechneten Leuchtdichtewerte können wieder den Tabellen unter Punkt 6.1.5.1 entnommen werden.

Der erste visuelle Eindruck wird durch die tiefschwarzen Hüllflächen visuell geprägt. Die Oberflächenreflexionsgrade der Skulpturen sind deutlich höher als die der tiefschwarzen Innenwände.

Die gemessene vertikale Beleuchtungsstärke im Zentrum der Innenwandflächen (Lu v wa) liegt bei 250 bzw. 320 Lx. Aufgrund des sehr niedrigen Reflexionsgrades der Innenwandflächen von 4 % kann nur eine niedrige vertikale Beleuchtungsstärke in mittlerer Skulpturenhöhe von jeweils 15 Lx gemessen werden.

In den Leuchtdichteaufnahmen sind nur die oberen Halbkugeln der Skulpturen farblich ablesbar. Die errechnete Infeldleuchtdichte ($L_{i, h, sk}$) infolge einer horizontalen Beleuchtungsstärke von 300 Lx liegt bei 21,77 bzw. 24,06 cd/m^2 . Dieser Leuchtdichtewert wird durch eine Blaufärbung gekennzeichnet. Auf beiden Kugeloberseiten befindet sich dieser errechnete Leuchtdichtewert jeweils im Außenbereich des Kugelkopfes. Im Bereich der matten Oberflächenausführung kann wieder der weiche Übergang der einzelnen Leuchtdichtebereiche ineinander beobachtet werden. Die Leuchtdichtewerte steigen zur Kugeloberseite hin an und erreichen bei der matten Skulptur einen Wert von ca. 64 cd/m^2 und auf der hochglanzpolierten Oberfläche Werte von bis zu 125 cd/m^2 .

Auf der polierten Oberfläche sind die Randverläufe der partiellen Leuchtdichtefelder wieder sehr zerklüftet und fleckig ausgebildet. Die Übergänge wirken sehr hart und die Form der einzelnen Teilflächen ist sehr unsymmetrisch und entspricht nicht der Grundform einer Kugel.

Die Realbildaufnahmen zeigen, dass im Bereich hoher Leuchtdichten also speziell auf horizontalen Teilflächen oder Schrägflächen die natürliche Oberflächenzeichnung des Granitsteines visuell nicht mehr wahrnehmbar ist. Die matte Skulptur wirkt dagegen in Ihrer visuellen Gesamterscheinung optisch heller als die hochglanzpolierte Oberflächenausführung.

18. Paarvergleich

Die Spiegelrasterdecke wird auf eine horizontale Beleuchtungsstärke von 1000 Lx hochgestellt. Die beiden Innenräume gewinnen hierdurch an Helligkeit.

Es kann beobachtet werden, dass die Helligkeit der Skulpturen deutlich zunimmt. Vor dem Hintergrund der tiefschwarzen Innenwände mit einem Reflexionsgrad von lediglich 4 % wirken die Skulpturen optisch überbelichtet.

In vielen horizontalen oder schrägen Oberflächenbereichen kann auch hier die natürliche Zeichnung des Granits nicht mehr wahrgenommen werden.

Infolge direkter Reflexion durch die hochglanzpolierte Skulptur weist die gemessene vertikale Beleuchtungsstärke ($L_{u \ v \ wa}$) einen höheren Wert (1040 Lx) als im Bereich der matten Skulptur (850 Lx) auf. Gleichzeitig liegt auch die Infieldleuchtdichte ($L_{i \ v \ sk}$) mit einem Wert von 60 Lx höher als im Bereich der matten Skulptur (40 Lx). Der höhere Reflexionsanteil der polierten Skulpturoberfläche in Richtung seitliche Innenwand ist hierfür ursächlich.

Die einzelnen Leuchtdichtebereiche der Skulpturen verhalten sich in Ihrer Ausdehnung wie im 17. Paarvergleich. Allerdings steigen die einzelnen Werte deutlich an, und liegen bei der matten Oberfläche bei ca. 250 cd/m² und bei der polierten Oberfläche bei ca. 400 cd/m².

19. Paarvergleich

Die Spiegelrasterdecke wird wieder gegen die Leuchtenkombination aus linearen Wandfluter (100 Lx) und Halogenstrahler (300 Lx) ersetzt.

Der Hell- Dunkelverlauf auf den Skulpturenoberflächen wirkt sehr prägnant und steigert die visuelle plastische Wirkung. Durch die Verwendung von Deckenstrahlern können auch weiter unten liegende Skulpturbereiche visuell auffälliger in Szene gesetzt werden.

Der harte Übergang der belichteten und verschatteten Oberflächenbereiche der hochglanzpolierten Oberfläche erschwert allerdings die visuelle Erkennung der räumlich ausladenden Formensprache beträchtlich. So begünstigen zwar die weicheren Übergänge der matten Oberfläche ein Erkennen der dreidimensionalen Formen aber die hell- dunkeldifferenzen der Leuchtdichtebereiche in den einzelnen Teilzonen ist zu groß um eine gute visuelle Wahrnehmung zu ermöglichen. Die Leuchtdichteaufnahmen zeigen hier Oberflächenbereiche die mit einem Leuchtdichtewert von ca. 64 cd/m² unmittelbar auf Bereiche mit einer Leuchtdichteerscheinung von unter 10 cd/m² treffen. Auch weist die hochglänzende Oberfläche Leuchtdichteverläufe auf ein und derselben Skulpturenfläche von ca. 12,5 bis zu 500 cd/m² auf.

Die Realbildaufnahme zeigt auch bei diesem Paarvergleich die drei punktuellen Blenderscheinungen im Kopfbereich der hochglanzpolierten Skulptur infolge der Halogenstrahler.

20. Paarvergleich

Der 20. Paarvergleich weist wieder eine deutlich hellere Gesamterscheinung auf, nachdem die linearen Wandfluter auf eine vertikale Beleuchtungsstärke von 200 Lx (auf mittlerer Wandhöhe) und die Halogenstrahler auf eine horizontale Beleuchtungsstärke von 1000 Lx (mittlerer Skulpturenhöhe) eingestellt wurden.

Die visuelle Erscheinung der Skulpturen wirkt an vielen Stellen überbelichtet. So zeigen sich auf der matten Skulpturoberfläche Leuchtdichtewerte von bis zu 240 cd/m² und auf der polierten Oberfläche sogar Spitzenwerte von 640 cd/m². In diesen Leuchtdichtebereichen wird der Betrachter einer direkten Blendung ausgesetzt. Eine visuelle Erkennung der Materialspezifischen Eigenschaften wie Oberflächenzeichnung oder Farbgebung kann nicht mehr gegeben.

Auch in Bezug auf eine gute visuelle räumliche Wahrnehmung der dreidimensionalen Formen wird ein Betrachter aufgrund der zahlreichen Blenderscheinungen durch ein hohes Ablenkungspotential visuell beeinträchtigt.

Wiederum verfügt die matte Oberflächenausführung über einen errechneten niedrigeren Leuchtdichtewert als die hochglanzpolierte Skulpturoberfläche. Trotzdem wirkt die matte Skulptur visuell heller als die polierte Skulptur.

21. Paarvergleich

In den Paarvergleichen 21-24 werden die hellgrauen Granitskulpturen durch die dunkelgrauen Dioritskulpturen ersetzt. Die tiefschwarze Innenwandfarbe bleibt. Die Beleuchtungsarten werden wie bei den vorangegangenen Paarvergleichen nach dem gleichen Schema ablaufen. Es wird demnach mit einer Spiegelrasterdecke (300 Lx) begonnen.

Die Spiegelrasterdecke beleuchtet die Ausstellungsräume sehr gleichmäßig. Der obere Teil des Skulpturenkopfes ist der hellste Oberflächenbereich der Skulptur. Trotz einer errechneten niedrigeren Infeldleuchtdichte auf der matten Skulpturoberfläche wirkt die Skulptur in ihrer Gesamtheit deutlich heller als die hochglanzpolierte Skulptur. Ihre visuelle Erscheinung wirkt im Vergleich mit der glänzenden Skulptur etwas trüber. Im Bereich der polierten Skulpturoberfläche überwiegen die verschatteten Flächenbereiche in ihrer flächigen Ausdehnung.

Durch den geringeren Reflexionsgrad der dunkelgrauen Diorit-Skulptur im Vergleich zu der vorangegangenen hellgrauen Granit-Skulptur, werden die auf den Leuchtdichteaufnahmen noch nachweisbaren Leuchtdichteerscheinungen immer kleiner.

Auf dem Leuchtdichtebild der matten Skulptur kann im oberen Kopfbereich noch ein Leuchtdichtewert von ca. 32 cd/m^2 beobachtet werden. Der Leuchtdichtebereich ist im Vergleich mit der hochglanzpolierten Skulpturoberfläche sehr ausgedehnt. Der Randbereich verläuft wieder sehr weich nach unten in den verbleibenden Leuchtdichtebereich mit einer deutlich geringeren Leuchtdichte über.

Das Leuchtdichtebild der polierten Skulptur zeigt nur eine sehr kleine Teilflächenbereiche auf der Oberseite der Skulptur mit einer durchschnittlichen Leuchtdichte von ca. 64 cd/m^2 . Niedrigere Leuchtdichtewerte, die auf der Leuchtdichteaufnahme in Form von einer Blaufärbung angezeigt werden könnten, sind nicht sichtbar. Es wird nur der Leuchtdichtebereich infolge direkter Reflexion auf der hochglanzpolierten Oberfläche registriert. Die Gesamtausdehnung des Leuchtdichtebereiches ist wesentlich kleiner als der Bereich auf der matten Oberfläche. Seine geometrische Außenform entspricht dabei genau der Außenform der Spiegelrasterdecke.

22. Paarvergleich

Durch die Anhebung der horizontalen Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx wirken die Innenraumsituationen merklich heller. Allerdings fällt auch bei dieser Lichteinstellung der fehlende Kontrast zu den umgebenden Innenwandflächen auf. Insbesondere wirkt die matte Skulptur deutlich überbelichtet was zu einem trüben Erscheinungsbild führt. Die verschatteten Teilflächen sind heller geworden und nehmen in ihrer Ausdehnung ab, während die beleuchteten Teilflächen in ihrer Intensität zugenommen haben und sich flächenmäßig vergrößert haben.

Ein Blick auf das Leuchtdichtebild bestätigt diese visuelle Beurteilung. So ist die Anzahl der Teilflächen, welche durch die Leuchtdichtekamera noch erfasst werden angestiegen. Auch weist die matte Skulptur einen Höchstwert in Bezug auf eine partielle Leuchtdichte von ca. 125 cd/m^2 auf. Der Wert für die vertikale Beleuchtungsstärke im Bereich der Messpunkte (Lu v wa) liegt im linken Innenraum bei gemessenen 760 Lx . In der rechten Innenraumsituation zeigt der gleiche Messpunkt nur in direkter Nähe zu der hochglanzpolierten Skulptur eine vertikale Beleuchtungsstärke von 1040 Lx . Der höhere Wert resultiert hierbei aufgrund des größeren Anteils an direkter Reflexion durch die glänzende Skulpturoberfläche in Richtung Seitenwand.

Auf der Oberfläche der polierten Skulptur können nun verschiedene ringförmige Leuchtdichtebereiche erkannt werden. Die flächige Ausbreitung ist im Vergleich zu der matten Oberfläche sehr unregelmäßig und weist wiederum harte Übergänge zwischen den einzelnen Teilbereichen auf. Für die matte Oberflächenausführung können dagegen wieder weiche Übergangsverläufe zwischen den einzelnen Teilbereichen beobachtet werden.

Die polierte Skulptur wirkt in ihrer Gesamterscheinung weiterhin dunkler als die matte Skulptur.

23. Paarvergleich

Im 23. und 24. Paarvergleich ersetzen wieder die Halogenstrahler in Verbindung mit den linearen Wandflutern die Spiegelrasterdecke.

Die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung wie unter der Spiegelrasterdecke wird nicht erreicht. Die eingesetzten Strahler erzeugen auf den Skulpturenoberflächen einen prägnanten Hell-Dunkel-Akzent. Einzelne Teilflächen liegen sichtbar im beleuchteten Bereich oder werden verschattet. Durch diese Akzentuierung der Oberflächen gewinnen die Skulpturen visuell an Plastizität.

Im Bereich der matten Skulpturoberfläche gestalten sich die Grenzbereiche zwischen den beleuchteten und den verschatteten Teilflächen als sehr weich verlaufend. Die visuelle Erkennbarkeit der räumlichen Strukturen ist auf der matten Oberfläche besser.

Auf der Oberfläche der hochglanzpolierten Skulptur verlaufen die Übergänge zwischen den einzelnen Teilflächen wesentlich härter. Die schärferen Abgrenzungen der einzelnen Teilflächen zueinander erschweren aber deutlich die visuelle Wahrnehmung der dreidimensionalen Formensprache der Skulpturen.

So verursachen gerade Blenderscheinungen infolge direkter Reflexion und stark verschattete Teilflächenbereiche eine gestörte visuelle Wahrnehmung. Wie bei den vorangegangenen hochglanzpolierten Skulpturen sind auch hier die Lichtquellen der eingebauten Deckenstrahler visuell im Kopfbereich der ausgestellten Skulptur erkennbar.

24. Paarvergleich

Bei einer horizontalen Beleuchtungsstärke von 1000 Lx tritt noch eine Steigerung der Plastizität der Skulpturen ein. Beleuchtete Teilflächen weisen einen höheren Leuchtdichtebetrag auf und vergrößern gleichzeitig ihre Flächenausdehnung. Im gleichen Maße reduzieren sich die einzelnen verschatteten Teilflächen in ihrer Ausdehnung und werden aufgrund der Zunahme an direkter und indirekter Reflexionen etwas heller.

Für die visuelle Informationsaufnahme ist die Zunahme der Leuchtdichtewerte im Bereich der visuellen Blenderscheinungen infolge direkter Reflexionen nachteilig. So zeigt die Leuchtdichteaufnahme im Bereich dieser visuellen Blenderscheinungen partielle Leuchtdichtewerte von bis zu 160 cd/m².

Wieder kann die natürliche Zeichnung des Dioritgesteines unter der hochglanzpolierten Oberfläche besser erkannt werden. Geht es allerdings um die räumliche visuelle Wahrnehmung, ermöglicht die matte Oberflächengestaltung eine bessere visuelle Informationsaufnahme.

25. Paarvergleich

Die Paarvergleiche 25-28 sind die ersten Paarvergleiche, wo beide visuellen Innenraumsituationen nicht die gleiche Innenwandfarbe besitzen. So verfügt die linke Innenraumsituation über eine cremeweiße Farbgebung (Reflexionsgrad: 77%), während die rechte Innenraumsituation über eine platingraue Farbgebung (Reflexionsgrad: 32%) verfügt.

Die cremeweiße Innenraumsituation beinhaltet zudem eine Diorit-Skulptur mit einer geschliffenen Oberflächenausführung (Reflexionsgrad: 11,8%). Der rechte, platingraue Innenraum enthält dagegen eine hellgraue Granit-Skulptur mit einer hochglanzpolierten Oberfläche (Reflexionsgrad: 25,2%).

Somit kann ein heller Innenraum mit einer dunkleren Skulptur mit einem dunkleren Innenraum mit einer helleren Skulptur verglichen werden.

Die Realbildaufnahme des beschriebenen Paarvergleiches zeigt eine sehr unterschiedliche Kontrastsituation von Skulptur zu den räumlichen Hüllflächen der jeweiligen Innenraumsituation. In beiden Innenraumsituationen wirkt die Beleuchtung sehr gleichmäßig.

Auf der linken Seite können die dreidimensionalen Formen der Skulptur gut erkannt werden, wobei der sehr helle Hintergrund vom eigentlichen Infeld der Skulptur stark ablenkt. Die Skulptur selber weist nur eine sehr geringe Hell- Dunkelverteilung auf. Auch Blenderscheinungen infolge direkter Reflexion können nicht beobachtet werden.

Bei der gleichen horizontalen Beleuchtungsstärke von 300 Lx zeigt die hochglanzpolierte Granit-Skulptur im oberen Bereich des Skulpturenkopfes eine Blenderscheinung infolge direkter Reflexion. Aufgrund des geringeren Anteiles an indirekter Reflexion durch die umgebenden Innenwandflächen und der polierten Skulpturoberfläche ist der Licht- und Schattenverlauf stärker ausgeprägt als bei der rechten Skulptur.

Diese Beobachtung bestätigt sich auch anhand der gemessenen Werte für die vertikale Beleuchtungsstärke E_v auf halber Skulpturenhöhe. So reflektieren die cremeweißen Innenwandflächen Lichtmengenanteile in Richtung Skulptur in der gemessenen Höhe von 150 Lx. Bei gleicher horizontaler Beleuchtungsstärke von 300 Lx reflektiert die platingraue Innenwandfarbe einen wesentlich geringeren Lichtmengenanteil, so dass auf halber Höhe der hellgrauen Granit-Skulptur nur eine vertikale Beleuchtungsstärke E_{vsk} von 50 Lx gemessen wird.

Aufgrund der besseren Infeld-Umfeld Konstellation wirkt die rechte Innenraumsituation visuell stabiler.

26. Paarvergleich

Die allgemeine Erhöhung der horizontalen Beleuchtungsstärke von 300 Lx auf 1000 Lx bewirkt in erster Linie eine Anhebung der Gesamthelligkeit in beiden Innenräumen.

In der linken Innenraumsituation ist das Leuchtdichteverhältnis von Infeld zu Umfeld sehr ungünstig. So wirkt die cremeweiße Innenraumgestaltung mit einem Reflexionsgrad von 77 % stark überbelichtet und lenkt von der eigentlichen Sehaufgabe (Infeld) stark ab. Das entsprechende Leuchtdichtebild zeichnet hier Umfeldleuchtdichten von bis zu 200 cd/m² auf. Infolge des Anstiegs an diffuser Reflexion wirkt die geschliffene Diorit-Skulptur in Ihrer Gesamterscheinung trüber als bei einer Beleuchtungsstärke von 300 Lx. Gleichzeitig bewirkt auch der flächenmäßige Rückgang der verschatteten Teilflächen ein helleres Erscheinungsbild.

In der rechten Innenraumsituation wirkt die Skulptur infolge der Zunahme an indirekter Reflexion in ihrem Erscheinungsbild heller. Der Glanzpunkt in der oberen Hälfte des Skulpturenkopfes nimmt in seiner Intensität zu und steigert seinen Leuchtdichtewert von vormals ca. 125 cd/m² auf einen Wert von ca. 400 cd/m². Die äußere Form des Blendpunktes entspricht wieder der Außenform der Spiegelrasterdecke. Das gesamte visuelle Erscheinungsbild wirkt ruhiger. Die härtere Abgrenzung der belichteten zu den verschatteten Teilflächen beeinträchtigt allerdings eine gute visuelle Wahrnehmung der räumlichen Formensprache der Skulptur.

27. Paarvergleich

Im Rahmen des 27. Paarvergleiches wird die Spiegelrasterdecke wieder durch die Kombination aus linearen Wandflutern mit Halogenstrahlern ersetzt.

Die linke Innenraumsituation verfügt über einen hohen visuellen Kontrast zwischen dem Infeld (Skulptur) und dem Umfeld (umgebende Hüllflächen). Die Skulptur bildet in dieser Innenraumkonstellation ein sehr dunkles Infeld.

Durch den Einsatz der Deckenstrahler und der damit verbundenen Versorgung der Skulptur mit einer rein direkten Strahlung, werden auch weiter unten liegende Skulpturabschnitte effektiver mit Licht versorgt. Dadurch gewinnt die Skulptur im Ganzen an Helligkeit und der Kontrast wirkt nicht ganz so hart wie bei der Beleuchtung mit der Spiegelrasterdecke und einer Beleuchtungsstärke von 300 Lx.

Dennoch lenkt die hohe Leuchtdichte der umgebenden Hüllflächen mit einem Reflexionsgrad von 77 % von der visuellen Wahrnehmung des eigentlichen Infeldes stark

ab. Die Skulptur gewinnt durch den Einsatz der Deckenstrahler an Plastizität welche auch, bedingt durch die matte Oberflächengestaltung, keinerlei Blenderscheinungen infolge direkter Reflexionen aufweist.

Die Skulptur zeigt in Ihrer Gesamterscheinung einen sehr weichen Übergang zwischen beleuchteten und verschattete Teilflächenbereiche. Die räumliche Formensprache kann somit von einem Betrachter visuell gut wahrgenommen werden. Über einen längeren Zeitraum führt allerdings das viel zu helle Umfeld zu Informationsverlusten aufgrund von permanenten Adaptionsvorgängen der Augen.

In der rechten Innenraumsituation ist der Unterschied zwischen dem Infeld mit einem Reflexionsgrad von 25,2 % und dem Umfeld mit 32 % wesentlich geringer. Die Reflexionsgrade sind fast gleich groß und sorgen für eine bessere Wahrnehmung des Infeldes. Die Halogenstrahler versorgen auch in der rechten Innenraumsituation weiter unten liegende Bereiche der ausgestellten Skulptur mit direkter Strahlung.

Durch das zusammentreffen der direkten Strahlung aus den Halogenstrahlern mit der hochglanzpolierten Skulpturoberfläche entstehen Leuchtdichteüberschreitungen infolge direkter Reflexionen. Das Leuchtdichtebild zeigt hier Leuchtdichtewerte von bis zu 500 cd/m² auf. Diese Art von großflächigen Blenderscheinungen infolge direkter Reflexionen lässt eine gute visuelle Wahrnehmung der Skulptur nicht zu. Ferner trägt auch die Spiegelung der Lichtquellen im Kopfbereich der Skulptur zu einer Minderung der visuellen Erkennbarkeit bei.

28. Paarvergleich

Im 28. Paarvergleich bewirkt die Anhebung der horizontalen Beleuchtungsstärke einen deutlich helleren visuellen Gesamteindruck.

Die Plastizität beider Skulpturen nimmt zu und verursacht eine prägnante Hell- Dunkel Verteilung auf den Skulpturoberflächen. Das Leuchtdichtebild der matten Oberfläche zeigt hier Leuchtdichtespitzen von ca. 64 cd/m². Auf der matten Oberfläche wirkt die Hell- Dunkelverteilung sehr harmonisch, was auf die weichen Übergänge der einzelnen Teilflächenbereiche zurückzuführen ist. Auch weist die matte Oberfläche keinerlei Blenderscheinungen infolge direkter Reflexionen auf.

Das cremeweiße Umfeld wirkt im Vergleich zu der Beleuchtung mit einer Spiegelrasterdecke etwas dunkler, was auch den dazugehörigen Leuchtdichtebildern entnommen werden kann.

Im rechten Innenraummodell ist die Leuchtdichteverteilung von Infeld zu Umfeld wieder etwas besser, was auch zu einer effektiveren visuellen Wahrnehmung führt. Die hochglanzpolierte Oberfläche verursacht, wie auch schon bei der 300 Lx Einstellung, partielle Leuchtdichteüberschreitungen infolge direkter Reflexion. Auf der dazugehörigen Leuchtdichteaufnahme können hierfür Spitzenwerte von bis zu 640 cd/m² abgelesen werden.

Die Übergangsbereiche der beleuchteten und verschatteten Teilflächen sind in Ihrem Verlauf wieder wesentlich härter als auf der matten Skulpturoberfläche. Eine gute räumliche visuelle Erkennung wird somit erschwert. Aufgrund der insgesamt helleren Gesamterscheinung der beiden Skulpturen infolge einer Zunahme direkter und indirekter Lichtmengenanteile sind die Lichtquellenspiegelungen im Kopfbereich der polierten Skulptur visuell schwächer geworden. Auf der dazugehörigen Leuchtdichteaufnahme verzeichnen diese Lichtpunkte aber einen deutlichen Leuchtdichtezuwachs.

29. Paarvergleich

In den Paarvergleichen 29-32 wird die platingraue Innenwandfarbe durch eine tief-schwarze Innenwandfarbe ersetzt. Die linke, cremeweiße Innenwandfarbe bleibt bis zum 32. Paarvergleich erhalten. Die linke geschliffene Diorit-Skulptur wird durch eine geschliffene Basalt-Skulptur ersetzt. Im rechten Innenraummodell wird die hochglanzpolierte Granit-Skulptur durch eine hochglanzpolierte Diorit-Skulptur ersetzt.

Die lichttechnischen Paarvergleiche starten wieder mit einer Spiegelrasterdecke mit einer horizontalen Beleuchtungsstärke von 300 Lx. Die linke Innenraumsituation weist einen sehr hohen Kontrast zwischen der ausgestellten Skulptur (Reflexionsgrad: 4,7%) und den Innenwandflächen (Reflexionsgrad: 77%) auf.

Die cremeweiße Innenwandfarbe entwickelt bei einer horizontalen Beleuchtungsstärke von 300 lx einen Leuchtdichtewert ($L_{u \ v \ wa}$) von errechneten 83,33 cd/m² im Zentrum der Seitenwandfläche. Gleichzeitig entsteht auf der Skulpturoberfläche ein leuchtdichtewert ($L_{i \ h \ sk}$) infolge der horizontalen Beleuchtungsstärke von 4,49 cd/m² im Bereich der Messpunkte. Der Leuchtdichtewert ($L_{i \ v \ sk}$) infolge einer gemessenen vertikalen Beleuchtungsstärke von 180 Lx liegt bei 2,69 cd/m².

In der linken Innenraumsituation liegen die Leuchtdichtewerte für Infeld und Umfeld weit auseinander. Eine visuelle Wahrnehmung der Skulptur fällt sehr schwer, da das umliegende cremeweiße Umfeld mit seinem hohen Reflexionsgrad die ausgestellte Skulptur überstrahlt. Eine genaue Beobachtung der ausgestellten Skulptur ist aufgrund eines ständig ablaufenden Adaptionsvorganges der Augen nicht möglich. Es besteht die Gefahr, dass wesentliche Informationsinhalte der ausgestellten Skulptur verloren gehen.

Im rechten Innenraummodell kann die ausgestellte hochglanzpolierte Diorit-Skulptur kaum mehr visuell erfasst werden. Im oberen Bereich des Skulpturenkopfes und auf wenigen, nach oben gerichteten Teilflächen kann noch ein gewisser räumlicher umriss der Formen erkannt werden. Allerdings können diese Leuchtdichtebereiche auf den Leuchtdichteaufnahmen nicht mehr nachgewiesen werden.

Aufgrund des sehr niedrigen Reflexionsgrades der tiefschwarzen Wandfarbe liegt die gemessene vertikale Beleuchtungsstärke bei 15 Lx. Diese erzeugen auf einer mittlere-

ren Skulpturenhöhe eine Leuchtdichte ($L_{i v sk}$) von lediglich $0,67 \text{ cd/m}^2$. Allein die hochglanzpolierte Oberfläche der Diorit-Skulptur verursacht im oberen Kopfbereich eine Blenderscheinung mit einem Leuchtdichtewert von ca. 64 cd/m^2 .

Eine visuelle Beobachtung der räumlichen Diorit-Skulptur ist unter diesen Umständen nicht möglich. Wesentliche Teilflächenbereiche sind in ihrer Ausdehnung nicht wahrnehmbar.

30. Paarvergleich

Die bestehende Spiegelrasterdeckenbeleuchtung wird auf eine horizontale Beleuchtungsstärke von 1000 lx erhöht. Die Folge ist eine Anhebung der allgemeinen Innenraumhelligkeit.

In der linken Innenraumsituation steigt der Leuchtdichtewert im Zentrum der Seitenwandbereiche auf einen rechnerischen Wert von $294,11 \text{ cd/m}^2$ im Bereich der Messpunkte an. Dieser Leuchtdichtewert wird durch das Leuchtdichtebild bestätigt. Der damit verbundene Anstieg an direkter und indirekter Reflexionen lässt die ausgestellte matte Basalt-Skulptur sehr trüb erscheinen. Die umgebenden Hüllflächen wirken deutlich überbelichtet. Obwohl die matte Oberflächengestaltung auch bei einer horizontalen Beleuchtungsstärke von 1000 lx keinerlei Blendungserscheinungen infolge direkter Reflexionen zulässt, ist eine qualitative visuelle Beurteilung der ausgestellten Basalt-Skulptur kaum noch möglich. Informationsverluste aufgrund permanent ablaufender Adaptionsvorgänge sind die Folge.

Die rechte Innenraumsituation hat sich zwar durch die Anhebung der horizontalen Beleuchtungsstärke etwas aufgehellt, wobei die visuellen Wahrnehmungsprobleme jedoch erhalten bleiben. So sind weiterhin wesentliche Oberflächenbereiche völlig verschattet und machen somit eine Beobachtung unmöglich.

Im oberen Bereich des Skulpturenkopfes hat die Blendungserscheinung an Intensität zugenommen und erreicht jetzt Werte von bis zu 250 cd/m^2 . Die geometrische Außenform des Blendenden Oberflächenbereiches nimmt die geometrische Form der Spiegelrasterdecke ein.

31. Paarvergleich

Durch die Verwendung der eingebauten Decken-Halogenstrahler werden die Skulpturen lichttechnisch besser in Szene gesetzt. So werden gerade die Seitenbereiche der Skulpturen besser ausgeleuchtet und sind trotz der ungünstigen Leuchtdichtesituationen visuell erfassbarer.

Obwohl die matte Basalt-Skulptur seitlich mit einer rein direkten Beleuchtung versorgt wird, zeigen sich auf der Skulpturenoberfläche keinerlei Blendungserscheinun-

gen infolge direkter Reflexionen. Die Versorgung mit direktem Licht steigert die visuelle Plastizität der Skulptur deutlich. Die Hell- Dunkelverteilung erscheint flächenmäßig ausgeglichen.

Die sehr ungünstige Leuchtdichtesituation zwischen der Skulptur (Infeld) und den umgebenden Hüllflächen (Umfeld) erschwert eine gute visuelle Wahrnehmung. Hier gehen durch einen ständig ablaufenden Adaptionsprozess einem Betrachter zu viele visuelle Daten verloren.

In der rechten Anordnung können die eingesetzten Halogenstrahler die Skulptur und deren Umrisse etwas von den umgebenden Hüllflächen visuell abheben, aber aufgrund des sehr niedrigen Leuchtdichtewertes der Seitenwandflächen von errechneten $13,36 \text{ cd/m}^2$ (im Bereich des Messpunktes) ist auch die erzeugte Lichtmenge infolge indirekter Reflexion zu niedrig.

Die hochglanzpolierte Oberflächengestaltung der Diorit-Skulptur erzeugt Blendungserscheinungen durch direkt reflektierende Lichtstrahlen, welche aus den eingebauten Halogen-Deckenstrahlern emittiert werden und direkt auf die Skulpturenoberfläche auftreffen. Die linearen Wandfluter haben aufgrund des sehr niedrigen Reflexionsgrades der umgebenden Hüllflächen von nur 4,0 % keinen Einfluss auf die Beleuchtung der Skulptur.

32. Paarvergleich

Der 32. Paarvergleich verfügt über Beleuchtungsstärken von 1000 Lx (Strahler) bzw. 200 Lx (Wandfluter).

Beide Innenraumsituationen gewinnen deutlich an Helligkeit. In der linken Innenraumsituation wird die matte Basalt-Skulptur nun deutlich besser visuell wahrgenommen im Vergleich zu der Beleuchtungsstärke von 300 Lx. Das visuelle Erscheinungsbild der Skulptur verzeichnet zudem einen Zuwachs an Plastizität. Die Hell-Dunkelverteilung wirkt prägnanter und lässt ein Erkennen der räumlichen Formensprache zu. Trotz einer Anhebung der horizontalen Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx weist die matte Skulpturoberfläche keine Blendungserscheinungen infolge direkter Reflexionen auf.

Ein direkter Vergleich der Leuchtdichtewerte im Bereich der Messpunkte von In- und Umfeld zeigt allerdings einen sehr labilen Wahrnehmungszustand. So ist das visuelle Umfeld mit einem errechneten Leuchtdichtewert von $49,02$ im Bereich des Messpunktes deutlich zu hell. Die Folge ist eine visuelle Wahrnehmung, bei der das menschliche Auge einem permanenten Adaptionsprozess ausgeliefert ist. Wertvolle Detailinformationen gehen somit im Rahmen der Betrachtung der Skulptur verloren.

In der rechten Innenraumsituation zeigen die errechneten Leuchtdichtewerte eine stabile visuelle Wahrnehmungsmöglichkeit an. Aber im Gegensatz zu rein zweidimensionalen Gebilden weisen die Skulpturen eine dreidimensionale Formensprache

auf. Manche Oberflächenbereiche sind horizontal oder vertikal ausgerichtet, andere Flächenbereiche sind teilweise- oder ganz verschattet. Diese Teilflächen verfügen dann über einen sehr geringen Leuchtdichtewert. Wird nun wie in der rechten Modellanordnung eine sehr dunkle Skulptur vor einem tiefschwarzen Hintergrund beobachtet, lösen sich komplett verschattete Oberflächenbereiche mit den Innenwandflächen optisch auf. Die räumliche Formensprache der Skulptur kann visuell nicht mehr erfasst werden. Auf Grund des niedrigen Reflexionsgrades von 4,0% wird die Skulptur nicht mit einer ausreichenden diffusen Lichtmenge versorgt, welche durch Reflexion des einfallenden Lichts an den Innenwandflächen erzeugt wird.

Ein weiteres großes visuelles Störpotential beinhalten die Blendungserscheinungen auf der hochglanzpolierten Diorit-Skulptur.

33. Paarvergleich

In den Paarvergleichen 33-36 können zwei matte Skulpturen in Ihrer visuellen Erscheinung beurteilt werden. In der rechten Modellanordnung bleibt die tiefschwarze Innenwandfarbgebung erhalten. Die hochglanzpolierte Diorit-Skulptur wird durch eine geschliffene Diorit-Skulptur ersetzt. In der linken Innenraumsituation wird eine geschliffene Granit-Skulptur vor einem platingrauen Hintergrund positioniert.

Der 33. Paarvergleich zeigt die Modellanordnungen unter einer reinen Spiegelrasterdecke mit einer horizontalen Beleuchtungsstärke von 300 Lx. Der visuell größte Unterschied zwischen den Beiden Innenraummodellanordnungen besteht darin, dass trotz gleicher Beleuchtungsstärke, der linke Innenraum deutlich heller wahrgenommen wird als der rechte Raum. Im Bereich der Messpunkte erzeugt die platingraue Oberfläche mit einem Reflexionsgrad von 32 % einen Leuchtdichtewert von errechneten 25,46 cd/m². Der tiefschwarze Hintergrund im rechten Modell erreicht bei einem Reflexionsgrad von 4,0 % einen Leuchtdichtewert von nur 3,82 cd/m² jeweils im Bereich der Messpunkte.

Beide Innenraumanordnungen weisen einen geringen Kontrast zwischen der ausgestellten Figur und ihren umgebenden Hüllflächen auf. Aufgrund des höheren Reflexionsgrades der platingrauen Wandfarbe liegt die gemessene vertikale Beleuchtungsstärke in mittlerer Skulpturenhöhe bei 50 Lx. In Verbindung mit einem Reflexionsgrad der Granit-Skulptur von 22,8 % kann auf den vertikalen Seitenflächen der Skulptur noch ein Leuchtdichtewert von 3,63 cd/m² erzielt werden. Die verschieden geneigten Skulpturflächen sind visuell erkennbar.

In der rechten Modellanordnung liegt dieser Wert aufgrund eines Reflexionsgrades der Wand von 4,0 % und einem Reflexionsgrad der Skulptur von 11,8 % bei nur 0,75 cd/m². Dieser Unterschied zeigt sich in der wesentlich dunkleren Erscheinung der geschliffenen Diorit-Skulptur. Beide Skulpturen weisen keine großen Blendungserscheinungen infolge direkter Reflexionen auf. Die Übergänge zwischen den beleuchteten und den verschatteten Oberflächenbereich fallen sehr weich aus.

Bei der rechten Modellanordnung besteht die visuelle Problematik, dass die stark verschatteten Oberflächenbereiche der Skulptur beginnen, mit dem tiefschwarzen Hintergrund optisch zu verschmelzen. Eine genaue visuelle Wahrnehmung der räumlichen Formensprache der Skulptur ist nur schwer möglich.

34. Paarvergleich

Bei einer horizontalen Beleuchtungsstärke von 1000 Lx ist der obere Kopfbereich der Granit-Skulptur in seiner Helligkeit deutlich überzeichnet. Das Leuchtdichtebild zeigt hier partielle Leuchtdichtebereiche von bis zu ca. 320 cd/m² auf. Wie schon vor dem tiefschwarzen Hintergrund zu beobachten war, beginnt der obere Teil des Skulpturenkopfes optisch mit dem platingrauen Hintergrund zu verschmelzen. Auch hier ist eine gute visuelle Wahrnehmung der dreidimensionalen Struktur der Granit-Skulptur nicht mehr möglich. Die visuelle Gesamterscheinung der linken Skulptur erscheint überbelichtet.

Auch bei der Diorit-Skulptur in der rechten Modellanordnung ist der Skulpturenkopf in seiner Helligkeit deutlich überzeichnet. Das Leuchtdichtebild zeichnet hier einen Leuchtdichtewert von bis zu ca. 200 cd/m² auf. Der damit verbundene Kontrast zu der tiefschwarzen Rückwand erscheint als zu hoch. Verschattete Oberflächenbereiche bleiben weiterhin nur schwer visuell erfassbar.

35. Paarvergleich

Auch durch die Verwendung von linearen Wandflutern in Verbindung mit Halogen-Deckenstrahlern bleibt die linke Modellanordnung in Ihrer visuellen Gesamterscheinung wesentlich heller.

Die Halogenstrahler ermöglichen zudem eine direkte Ausleuchtung der seitlichen Skulpturenbereiche, was zu einer besseren visuellen Wahrnehmung der räumlichen Struktur führt. Eine deutliche Überbelichtung der oberen Kopfbereiche der Skulpturen bleibt aus. Verschattete Oberflächenbereiche bleiben vor dem platingrauen Hintergrund visuell noch wahrnehmbar.

In der rechten Modellanordnung fällt der starke Gegensatz zwischen beleuchteten und verschatteten Oberflächenbereiche auf. Während einzelne Teilbereiche eine partielle Leuchtdichte von bis zu ca. 320 cd/m² aufweisen, bleiben andere Teilbereiche völlig verschattet und heben sich vor dem tiefschwarzen Hintergrund visuell nicht mehr ab. So sind die seitlichen Konturen des Skulpturenkopfes in den oberen zwei Drittel noch zu erkennen, lösen sich aber in den unteren Bereichen vor dem Hintergrund auf. Eine visuelle Wahrnehmung der dreidimensionalen Oberflächenstruktur ist nicht mehr möglich.

36. Paarvergleich

Die Veränderung der horizontalen Beleuchtungsstärke von 300 auf 1000 Lx verursacht auf beiden Skulpturen Blendungserscheinungen infolge direkter Reflexionen. So weist die geschliffene Granit-Skulptur Oberflächenbereiche mit einer partiellen Leuchtdichte von bis zu ca. 250 cd/m² auf. Die Diorit-Skulptur zeigt hier in einem Kantenbereich einen Leuchtdichtewert von ca. 400 cd/m² auf.

In der linken Modellanordnung ist es aufgrund des höheren Reflexionsgrades des platingrauen Hintergrundes möglich, selbst verschattete Oberflächenbereiche noch visuell zu erkennen. Die Blendungserscheinungen beinhalten allerdings ein hohes Störpotential, was einen Betrachter zu ständigen Adaptionprozessen zwingt und somit zu Informationsverlusten führt.

In der rechten Modellanordnung kann prinzipiell von einer stabilen Wahrnehmungssituation ausgegangen werden. Leuchtdichtewerte infolge einer horizontalen Beleuchtungsstärke (1000 Lx) von 37,56 cd/m² und einer vertikalen Beleuchtungsstärke (350 Lx) von 13,15 cd/m² weisen auf eine ausreichende Leuchtdichtesituation im Infeldbereich der Skulptur hin. Trotz einer ausreichend hohen Infeldleuchtdichte ist eine visuell einwandfreie Wahrnehmung der dreidimensionalen Oberflächenstruktur nicht möglich. Wesentliche Teilflächenbereiche, die teilweise oder völlig verschattet sind, können von einem Betrachter optisch nicht erfasst werden. Die Skulptur beginnt visuell zu zerfallen.

37. Paarvergleich

In den Paarvergleichen 37-40 werden zwei Innenraumsituationen gegenübergestellt, in denen im linken Innenraummodell eine geschliffene Diorit-Skulptur vor einem cremeweißen Hintergrund und in der rechten Modellanordnung eine geschliffene Granit-Skulptur vor einem platingrauen Hintergrund positioniert wird. Die Reihenfolge der Beleuchtungssituationen bleibt wie in den vorangegangenen Paarvergleichen erhalten.

Bereits in den Paarvergleichen 25-28 wurde in der linken visuellen Innenraumsituation eine geschliffene Diorit-Skulptur in einem cremeweißen Innenraum beschrieben. In den Paarvergleichen 37-40 wird demnach nur noch auf die Besonderheit eingegangen, dass die andere Skulptur statt einer hochglanzpolierten Oberfläche über eine matte Oberflächenausführung verfügt.

Die matte Granit-Skulptur lässt aufgrund ihrer matten Oberflächenausführung keinerlei Blenderscheinungen infolge direkter Reflexionen zu. Lediglich auf der Kugelkopfoberseite zeigt sich ein Teilflächenbereich, mit einem erhöhten Leuchtdichtewert von ca. 64 cd/m². Aufgrund des sehr geringen Kontrastes zwischen dem platingrauen Hintergrund und der hellgrauen Farbe der Granit-Skulptur ist eine visuelle Wahrnehmung eher schwierig.

Verschattete Teilflächenbereiche können aber noch vor dem platingrauen Hintergrund erkannt werden. Die Übergangsbereiche von belichteten zu verschatteten Bereichen verlaufen, für eine matte Oberflächenausführung typisch, sehr weich.

Infolge des höheren Reflexionsgrades der Granitskulptur von 22,8% zu 11,8 % (Diorit-Skulptur) verfügt die Granit-Skulptur insbesondere im oberen Bereich des Skulpturenkopfes über eine großflächigere und hellere Leuchtdichterscheinung.

38. Paarvergleich

Eine Erhöhung der Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx hebt die allgemeine Innenraumhelligkeit an. Infolge dessen nimmt die Ausdehnung der beleuchteten Teilflächen zu, während in gleichem Masse die verschatteten Teilflächen in ihrer Größe abnehmen.

Durch die Reflexion des einfallenden Lichts an den Innenwandflächen nimmt auch die vertikale Beleuchtungsstärke im Infeld zu. Die Folge ist eine bessere, seitliche Ausleuchtung der Granitskulptur. Im oberen Bereich des Skulpturenkopfes werden die partiellen Leuchtdichtewerte auf einen Wert von ca. 250 cd/m² angehoben, was zu einem eher überbelichteten visuellen Eindruck führt.

Der zu geringe Kontrast zwischen der Skulptur und dem platingrauen Innenraum lässt eine bessere visuelle Wahrnehmung der Skulptur nicht zu.

39. Paarvergleich

Durch die Verwendung der Halogenstrahler können seitliche Bereich der Skulptur direkt mit direktem Licht versorgt werden. Die Licht- und Schattenbildung nimmt in ihrer Ausbildung deutlich zu und verleiht der Skulptur eine optische plastischere Präsenz. Durch die Entstehung stark belichteter und deutlich verschatteter Oberflächenbereiche zeichnen sich einige Teilbereiche scharf vor der sehr dunklen Innenwandfarbe ab, während andere durch den tiefschwarzen Hintergrund optisch verschluckt werden.

Eine seitliche, gleichmäßige Belichtung der Skulptur mit diffusen Lichtmengenanteilen bleibt aufgrund des sehr niedrigen Reflexionsgrades der tiefschwarzen Innenwandflächen von 4,0 % aus.

Blendungserscheinungen infolge direkter Reflexionen können bei einer Beleuchtungsstärke von 300 Lx und einem Reflexionsgrad der Granit-Skulptur vom 22,8 % nicht beobachtet werden.

40. Paarvergleich

Die Anhebung der Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx bewirkt eine deutliche Anhebung der allgemeinen Innenraumhelligkeit in beiden Modellräumen.

Trotz der Erhöhung auf eine Beleuchtungsstärke von 1000 Lx zeigt die geschliffene Granitskulptur kaum Blendungserscheinungen infolge direkt reflektierter Lichtstrahlen. Das visuelle Bild ist in seiner Gesamterscheinung klarer geworden und lässt eine visuelle Beobachtung der räumlichen Formensprache zu. Der verschattete Bereich unterhalb des Skulpturenkopfes und die beiden schrägen Teilflächen unterhalb des Mittelteiles lassen sich allerdings nur sehr schwer vor dem platingrauen Hintergrund visuell erkennen.

In der linken Innenraumsituation merkt man deutlich dass das zu helle Umfeld in Verbindung mit dem zu dunklen Infeld, die Skulptur trüb erscheinen lässt.

41. Paarvergleich

Die Paarvergleiche 41 bis 44 vergleichen zwei hochglanzpolierte Skulpturen. In der linken Modellanordnung wird eine hellgraue Granit-Skulptur in einem platingrauen Innenraum positioniert. Die rechte Innenraumsituation beherbergt eine dunkelgraue Diorit-Skulptur in einem tiefschwarzen Ausstellungsraum.

Beide Skulpturen zeigen auf der oberen Halbkugel des Skulpturenkopfes eine Blenderscheinung infolge direkter Reflexionen. Das dazugehörige Leuchtdichtebild zeigt hier Leuchtdichtewerte von bis zu ca. 64 cd/m².

In der linken Innenraumsituation wirkt die platingraue Wandfarbe mit ihrem Reflexionsgrad von 32 % und einem errechneten Leuchtdichtewert im Bereich des Messpunktes von 25,46 cd/m² visuell sehr hell. Hinzu kommt in beiden Raummodellen der sehr geringe Kontrast der Skulpturen zu ihrem Hintergrund.

Der höhere Reflexionsgrad der platingrauen Innenwand ermöglicht durch Lichtreflexionen auf den Innenwandseiten eine gute Ausleuchtung der seitlichen Skulpturbereiche. So können auf der hellgrauen Granit-Skulptur die Granittypischen Gesteinstexturen visuell erfasst werden. Die räumliche Formensprache kann trotz geringem Kontrastverhältnis zu den umgebenden Innenwandflächen visuell wahrgenommen werden. Das ungünstige Kontrastverhältnis macht eine störungsfreie und optimale visuelle Wahrnehmung allerdings sehr schwierig.

Die tiefschwarzen Innenwände in der rechten Innenraumsituation lassen eine ausreichende Ausleuchtung der seitlichen Skulpturbereiche der Diorit-Skulptur nicht zu. Der reflektierte Lichtmengenanteil ist zu gering. Durch die hohe Anzahl an verschatteten Teilflächenbereiche kann die dreidimensionale Formensprache der Diorit-Skulptur nur schwer wahrgenommen werden.

42. Paarvergleich

Durch eine Anhebung der Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx wird eine deutliche Aufhellung beider Innenräume erzielt. Die hellgraue Granit-Skulptur wirkt in ihrer visuellen Gesamterscheinung stark überbelichtet. Insbesondere weist der obere Teil des Skulpturenkopfes partielle Leuchtdichtewerte von ca. 400 cd/m² auf. Das durch die Einstellung der Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx noch schlechter gewordene Kontrastverhältnis zwischen Infeld und Umfeld macht eine visuelle Beobachtung der Granit-Skulptur noch schwieriger.

Durch den flächenmäßigen Rückgang der verschatteten Teilflächenbereiche wirkt die Diorit-Skulptur etwas heller. Eine ausreichende Versorgung der seitlichen Skulpturbereiche mit indirekten Lichtmengenanteilen wird durch den sehr niedrigen Reflexionsgrad der tiefschwarzen Innenwandfarbe von nur 4,0 % nicht gewährleistet. Für eine gute visuelle Wahrnehmung bleibt die Skulpturoberfläche zu dunkel. Eine errechneter Leuchtdichtewert von nur 0,90 cd/m², im Bereich der Messpunkte, in folge einer vertikalen Beleuchtungsstärke von 60 Lx bestätigt dies.

43. Paarvergleich

Durch den Einsatz der Halogenstrahler (300 Lx) und der linearen Wandfluter (100 Lx) befindet sich die linke Innenraumsituation in einem stabilen Wahrnehmungsverhältnis. Die gemessenen Leuchtdichtewerte im Bereich der Messpunkte infolge horizontaler und vertikaler Beleuchtungsstärken liegen bei 24,06 bzw. 12,03 cd/m². Die umlaufenden platingrauen Innenwandflächen erreichen einen Leuchtdichtewert in zentraler Seitenwandposition von 10,18 cd/m².

Die Granit-Skulptur wirkt in ihrer visuellen Erscheinung ausreichend kontrastreich zu ihrem platingrauen Hintergrund. Durch den Einsatz der Halogen-Deckenstrahler werden die seitlichen Skulpturbereiche mit direktem Licht versorgt, was eine visuelle Erfassung der Gesamtskulptur leichter macht. Im oberen Teil des Skulpturenkopfes spiegeln sich allerdings die einzelnen Lichtquellen der Halogenstrahler. Die Hell-Dunkelverteilung erscheint ausgeglichen aber insgesamt noch zu dunkel.

Aufgrund des sehr niedrigen Leuchtdichtewertes in zentraler Seitenwandposition von errechneten 1,27 cd/m² sind die verschatteten Oberflächenbereiche der hochglanzpolierten Diorit-Skulptur visuell kaum wahrnehmbar. Durch den Einsatz der Halogenstrahler können zwar einzelne kleinflächige Oberflächenbereiche mit direktem Licht versorgt werden, allerdings reicht dies nicht aus, um die ausgestellte Skulptur in Ihrer Ganzheit visuell zu erkunden.

44. Paarvergleich

Die Anhebung der horizontalen Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx bewirkt eine deutliche Steigerung der allgemeinen Raumhelligkeiten.

Auch durch die Anhebung der Beleuchtungsstärke auf 1000/200 Lx verbleibt die visuelle Innenraumsituation in einem stabilen Wahrnehmungsverhältnis. Alle Oberflächenbereiche der Granit-Skulptur heben sich in ausreichendem Maße von dem platingrauen Hintergrund ab und können somit visuell erfasst werden. Die polierte Oberflächenausführung weist allerdings im mittleren Skulpturenbereich eine Blenderscheinung infolge direkter Reflexionen auf. Das Leuchtdichtebild zeigt hierfür partielle Leuchtdichtewerte von ca. 250 cd/m² auf. Die Gesamterscheinung der Granit-Skulptur wirkt optisch sehr klar.

Durch den fehlenden Anteil an seitlicher Reflexion sind einige Teilflächenbereiche der Diorit-Skulptur stark verschattet und heben sich von der tiefschwarzen Innenwandfarbe mit einem errechneten Leuchtdichtewert von 2,55 cd/m², in zentraler Seitenwandposition, kaum ab. Zusätzlich erschweren Blendungserscheinungen den eigentlichen visuellen Betrachtungsvorgang. Unter diesen Umständen ist eine optimale visuelle Wahrnehmung der dreidimensionalen Formensprache der Diorit-Skulptur nicht möglich.

45. Paarvergleich

In den Paarvergleichen 45-48 werden zwei hochglanzpolierte Skulpturen visuell miteinander verglichen. Die linke Innenraumsituation beinhaltet eine dunkelgraue polierte Diorit-Skulptur umgeben von cremeweißen Hüllflächen. Im rechten Innenraummodell befindet sich eine hellgraue Granit-Skulptur vor einer platingrauen Innenwandgestaltung.

Im Rahmen der ersten visuellen Bewertung der Innenraumsituationen fällt das sehr unterschiedliche Kontrastverhältnis zwischen der jeweils ausgestellten Skulptur und deren umgebenden Hüllflächen auf. Mit einem Reflexionsgrad von 14,1 % verfügt die Diorit-Skulptur in der linken Innenraumsituation über einen wesentlich geringeren Reflexionsgrad als die Innenwandoberflächen mit einem Reflexionsgrad von 77 %.

Die Skulptur als visuelles Infeld wirkt in seiner optischen Erscheinung sehr dunkel. Aufgrund des hohen Reflexionsgrades der umlaufenden Innenwandoberflächen und dem damit verbundenen hohen Anteil an indirekter Beleuchtung wirkt die Skulptur trüb und die Wände überbelichtet. Infolge direkter Spiegelungen ist die räumliche Struktur der Skulptur nur sehr schwer visuell zu erfassen. Im oberen Teil des Skulpturenkopfes erscheint die zentrale Lichtquelle als Blendungserscheinung infolge direkter Reflexion. Das Leuchtdichtebild zeigt hier partielle Leuchtdichtewerte von ca. 200 cd/m².

Im rechten Innenraum liegt der errechnete Leuchtdichtewert ($L_{i h sk}$) infolge einer horizontalen Beleuchtungsstärke von 300 lx liegt bei 24,06 cd/m² (Im Bereich der Messpunkte). Als Infeldleuchtdichtewert liegt dieser über dem Leuchtdichtewert der umlaufenden Wandoberflächen von 15,28 cd/m² im Bereich des Messpunktes und gleichzeitig im stabilen Wahrnehmungsbereich. Aufgrund des niedrigen Reflexionsgrades der platingrauen Innenwand von 32 % erzeugt die reflektierte Lichtmenge nur eine gemessenen, vertikale Beleuchtungsstärke in mittlerer Skulpturenhöhe von 50 lx, was zu einer errechneten Infeldleuchtdichte ($L_{i v sk}$) von 4,01 cd/m² führt.

Die seitlichen Oberflächenbereiche der Granit-Skulptur werden dadurch mit einer zu geringen seitlichen Lichtmenge versorgt und führen zu einer ungenügenden visuellen Wahrnehmung der räumlichen Struktur. Zudem erzeugt die hochglanzpolierte Oberfläche auch hier eine Blenderscheinung im oberen Teil des Skulpturenkopfes infolge direkter Reflexion. Diese Blendungserscheinung beinhaltet ein hohes visuelles Störpotential.

Der schwache Kontrast zwischen der Skulpturenoberfläche und den umlaufenden Hüllflächen erschwert eine visuelle Beobachtung der ausgestellten Skulptur zusätzlich.

46. Paarvergleich

Eine Anhebung der horizontalen Beleuchtungsstärke auf 1000 lx bewirkt eine spürbare Steigerung der allgemeinen Innenraumhelligkeiten. Bei beiden Skulpturen nehmen die belichteten Teilflächenbereiche zu und verkleinern somit die verschatteten Oberflächenbereiche. Die Skulpturen erscheinen in ihrer Gesamtheit heller. Durch die Anhebung der allgemeinen Beleuchtungsstärke steigt auch der Lichtmengenanteil, welcher durch Reflexion an den Innenwandflächen zu einer seitlichen Ausleuchtung der Skulpturen beiträgt.

Mit dem Anstieg der allgemeinen Helligkeit nehmen auch Spiegelungen auf der Diorit-Skulptur zu. Ihre visuelle Gesamterscheinung wirkt noch trüber. Die direkte Spiegelung im oberen Kopfbereich der Skulptur steigt in ihrer Intensität weiter an und erreicht partielle Leuchtdichtewerte von ca. 250 cd/m².

Durch die gesteigerte seitliche Ausleuchtung der Granit-Skulptur infolge reflektierter Lichtmengenanteile, kann die dreidimensionale Formensprache der Skulptur besser visuell erfasst werden. Aufgrund des ungünstigen Kontrastverhältnisse zwischen der ausgestellten Skulptur und der Innenwandflächen sind einzelne Oberflächenbereiche und ihre Umrisse schlecht wahrnehmbar. Partielle Leuchtdichtewerte infolge direkter Reflexionen erreichen ca. 400 cd/m². Im direkten Vergleich verfügt die Granit-Skulptur in Verbindung mit den umlaufenden platingrauen Innenwandflächen über ein harmonischeres visuelles Erscheinungsbild.

47. Paarvergleich

Die eingesetzten Halogen-Deckenstrahler welche eine horizontale Beleuchtungsstärke in mittlerer Skulpturenhöhe von 300 Lx erzeugen und die linearen Wandfluter mit einer Beleuchtungsstärke von 100 Lx in mittlerer Wandhöhe reichen nicht aus, um die dunkelgraue Diorit-Skulptur ausreichend mit Licht zu versorgen.

Die Skulptur wirkt in ihrer visuellen Gesamterscheinung zu dunkel, was zu einer ungenügenden Erkennung der dreidimensionalen Oberflächengestaltung führt. Zudem stellen die Blenderscheinungen durch die Deckenstrahler im oberen Kopfbereich der Skulptur eine visuelle Störquelle dar.

In der rechten Modellanordnung stellt sich die Granit-Skulptur ebenfalls als zu dunkel dar. Die Beleuchtung der hochglanzpolierten Skulpturoberfläche mit direkten Lichtmengenanteilen führt in Einzelbereichen zu Blenderscheinungen aufgrund direkter Reflexionen. Eine ausreichende, seitliche Belichtung durch indirekte Strahlungsanteile wird durch die linearen Wandfluter nicht gewährleistet.

Verschattete Oberflächenbereiche sind vor dem platingrauen Hintergrund nicht oder nur sehr schlecht visuell erkennbar. Die Folge ist ein Zerfall der skulpturalen Gesamtstruktur.

48. Paarvergleich

Beide Inneraumsituationen wirken in ihrer Gesamterscheinung deutlich heller. Die Steigerung der Beleuchtungsstärken führt in beiden Modellanordnungen zu einer besseren horizontalen und vertikalen Ausleuchtung der Skulpturen.

Die dunkelgraue Diorit-Skulptur bleibt als Infeld zwar weiterhin zu dunkel, aber der erhöhte direkte Lichtmengenanteil aus den Halogenstrahlern in Verbindung mit dem größeren Lichtmengenanteil durch indirekte Strahlungsteile führt zu einer besseren visuellen Erkennung der räumlichen Gesamtstruktur. Die bekannten Störquellen infolge direkter Blendungen bleiben erhalten.

Durch einen höheren eigenen Reflexionsgrad von 25,2 % kann sich die Granit-Skulptur vor der platingrauen Innenwand besser visuell abheben. Die Skulptur wirkt in ihrer Gesamtheit klarer und aufgrund der erzeugten Hell- Dunkelverteilung deutlich plastischer. Trotz einer geringeren vertikalen Beleuchtungsstärke von 300 Lx im Vergleich zu der Diorit-Skulptur ($E_v=500$ Lx) kann die Granit-Skulptur einen höheren Leuchtdichtewert ($24,06$ cd/m²) als die Diorit-Skulptur ($22,4$ cd/m²) erzeugen.

Verschattete Teilflächenbereiche können allerdings vor der platingrauen Innenwand nur unzureichend visuell erfasst werden. Bereits bekannte Störquellen durch direkte Reflexionen bleiben erhalten und nehmen in ihrer Intensität zu.

9 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Paarvergleiche 01/02/03/04 - Spiegelrasterdecke 300 Lx

In den visuellen Paarvergleichen 1-24 wurden jeweils zwei gleichfarbige monochrome Innenraumsituationen in Verbindung mit einer, in Bezug auf das Material identischen Skulptur, einem visuellen Vergleich unterzogen. Die Skulpturen unterschieden sich allerdings in der Form Ihrer Oberflächenausführung. So beinhaltete die linke Innenraumsituation stets eine matte und die rechte Innenraumsituation eine hochglanzpolierte Natursteinskulptur.

Eine Gesamtanzahl von 30 Probanden bewerteten die direkten visuellen Paarvergleiche anhand von 10 verschiedenen Adjektiven.

Eindeutige Bewertungen zeichneten sich dadurch aus, dass sich mindestens zwanzig Probanden (2/3) für ein Bewertungskriterium entscheiden.

Im Rahmen des ersten Paarvergleiches wurden zwei cremeweiße Innenraumsituationen mit einer jeweils dunkelgrauen Skulptur einem direkten visuellen Paarvergleich unterzogen.

Die visuelle Auswertung in Bezug auf den 1. PV ergab sieben eindeutige Bewertungen im Hinblick auf die Adjektive: „plastischer“, „angenehmer“, „anregender“, „interessanter“, „natürlicher“, „auffälliger“ und „moderner“.

In einem Verhältnis von 21 zu 9 empfanden die Probanden die linke Innenraumanordnung als „angenehmer“. Hierfür war die Oberflächengestaltung der matten Skulptur ausschlaggebend, deren Oberfläche einen sanften Übergang zwischen weniger oder mehr beleuchteten Teilflächen ermöglichte.

Leuchtdichteüberschreitungen in Form von Glanzpunkten und Spiegelungen wie im Bereich der hochglanzpolierten Oberfläche der rechten Skulptur waren im Oberflächenbereich der linken Skulptur nicht zu beobachten.

Aufgrund der matten Oberflächengestaltung in Verbindung mit dem gleichmäßigen Verlauf der Infieldleuchtdichten führte dazu, dass 26 von 30 Probanden die matte Skulptur als eindeutig „natürlicher“ beurteilten.

Gleichzeitig wurde die hochglanzpolierte Skulptur aufgrund ihrer beschriebenen Eigenschaften von den Probanden als deutlich „plastischer“, „anregender“, „interessanter“, „auffälliger“ und „moderner“ bewertet.

Paarvergleiche 01/02/03/04 - Spiegelrasterdecke 1000 Lx

Mit der Steigerung der allgemeinen Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx verringerte sich die Anzahl der eindeutigen Bewertungen auf insgesamt sechs. Es waren dies die Adjektive „gleichmäßiger“, „plastischer“, „angenehmer“, „anregender“, „natürlicher“ und „auffälliger“.

Gleichzeitig erhöhte sich die Helldominanz der cremeweißen Hüllflächen in Form eines errechneten vertikalen Umfeldleuchtdichtewertes im Bereich des Messpunktes von 237,75 cd/m² (linker Raum) bzw. 254,9 cd/m² im rechten Raum.

Die linke Innenraumsituation wurde weiterhin eindeutig als „angenehmer“ und „natürlicher“ bewertet.

Durch die Zunahme von Spiegelungen und der Intensitäten von Blendungserscheinungen wurde die hochglanzpolierte Skulptur in der rechten Anordnung mit den Adjektiven „plastischer“, „anregender“ und „auffälliger“ von den Probanden bewertet.

Paarvergleiche 01/02/03/04 - Strahler + Wandfluter (300/100 Lx)

Mit der Umstellung der Beleuchtungsart auf eine Kombination aus Strahlern und linearen Wandflutern, nahm die Anzahl an eindeutigen Bewertungen massiv, auf drei Adjektive ab. Es waren dies die Adjektive „angenehmer“, „natürlicher“ und „auffälliger“.

Durch die Verwendung der Wandfluter konnte die Helldominanz der cremeweißen Hüllflächen mit einem Reflexionsgrad von 77 % entscheidend reduziert werden.

Während die Zustimmung für das Adjektiv „angenehmer“ in seiner Höhe in etwa gleich blieb, nahm die Stimmenanzahl für das Adjektiv „natürlicher“ von 25 auf 28 Probanden zu. Beide Bewertungen bezogen sich wieder auf die matte Skulptur.

Die glänzende Skulptur wurde mit dem Adjektiv „auffälliger“ eindeutig bewertet.

Paarvergleiche 01/02/03/04 - Strahler + Wandfluter (1000/200 Lx)

Durch die Erhöhung der Beleuchtungsstärken von 300 auf 1000 bzw. 100 auf 200 Lx erhöhte sich die Anzahl eindeutiger Bewertungen wieder auf vier Adjektive. So wurde der 4. PV anhand der Adjektive „plastischer“, „angenehmer“, „natürlicher“ und „auffälliger“ eindeutig beschrieben.

Als erstes konstantes Ergebnis musste nun festgehalten werden, dass die dunkelgraue, matte Skulptur im Rahmen aller vier verschiedenen Beleuchtungsvariationen mit einer deutlichen Mehrheit von größer gleich 25 Probanden als „natürlicher“ bewertet wurde.

Auch die Zustimmung für das Adjektiv „angenehmer“, in Bezug auf die matte, dunkelgraue Skulptur, wurde bei allen vier Beleuchtungsvarianten von den Probanden mit einer Anzahl von größer gleich 20 als Bewertungskriterium eingesetzt.

Ebenso war die Zustimmung für das Adjektiv „auffälliger“ im Hinblick auf die hochglanzpolierte dunkelgraue Skulptur in allen vier Lichteinstellungen im eindeutigen Bereich.

Zuletzt konnte auch die Plastizität der hochglanzpolierten Skulptur gegenüber der vorangegangenen Lichteinstellung um ein Drittel auf 20 Probanden gesteigert werden.

Paarvergleiche 05/06/07/08 - Spiegelrasterdecke 300 Lx

Der 5. PV verfügte in seinen beiden visuellen Innenraumanordnungen über den größten Kontrast zwischen dem Infeld und seinem Umfeld, der im Rahmen dieser Untersuchungsreihen möglich war.

So besaßen die cremeweißen Hüllflächen (Umfeld) einen Reflexionsgrad von 77 % und die dazugehörigen schwarzen Skulpturen (Infeld) einen Reflexionsgrad von 4,7 (linke Skulptur) bzw. 6,0 % (rechte Skulptur).

Im Bereich der Messpunkte konnte eine vertikale Umfeldleuchtdichte von 73,53 cd/m² errechnet werden. Die Infeldleuchtdichten waren aufgrund der wesentlich niedrigeren Reflexionsgrade der schwarzen Skulpturen deutlich geringer.

Das Bewertungsergebnis zeigte sechs Adjektive, mit denen der visuelle Paarvergleich durch die Probanden eindeutig bewertet wurde. Es waren dies die Adjektive: „plastischer“, „anregender“, „schöner“, „natürlicher“ und „auffälliger“ und „moderner“.

Wie auch schon bei den Paarvergleichen 1-4, setzte sich das Bewertungsverhalten der Probanden auch im 5. PV in Bezug auf das Adjektiv „natürlicher“ fort. Was bedeutete, dass auch bei einer Steigerung des Kontrastes zwischen dem Infeld und dem Umfeld die matte Skulptur eindeutig als „natürlicher“ bewertet wurde.

Alle fünf weiteren Adjektive entfielen auf die schwarze, hochglanzpolierte Skulptur. Während im Rahmen der ersten vier Paarvergleiche keine Skulptur eindeutig mit dem Adjektiv „schöner“ bewertet wurde, hatte man die schwarze, glänzende Skulptur in Verbindung mit einer Spiegelrasterdecke (300 Lx) eindeutig als schön bewertet.

In Verbindung mit der Spiegelrasterdecke von 300 Lx wirkte die hochglanzpolierte Skulptur farblich sehr intensiv. Mit den partiellen Leuchtdichteüberschreitungen in Form von Blendungen entstand eine große visuelle Brillanz der Skulptur, was zu den genannten eindeutigen Bewertungen in Bezug auf die Adjektive „plastischer“, „anregender“, „schöner“, „auffälliger“ und „moderner“ führte.

Paarvergleiche 05/06/07/08 - Spiegelrasterdecke 1000 Lx

Mit der Erhöhung der Beleuchtungsstärke im Bereich der Messpunkte auf 1000 Lx verringerten sich die eindeutigen Bewertungen von sechs auf vier Adjektive.

Die Adjektive „plastischer“ und „auffälliger“ wurden von den Probanden auch bei einer Erhöhung von 300 auf 1000 Lx berücksichtigt.

Wie auch bei der dunkelgrauen, matten Skulptur, bewerteten die Probanden auch die schwarze, matte Skulptur bei einer Beleuchtungsstärke von 1000 Lx als eindeutig „gleichmäßiger“. Die visuelle Innenraumsituation wirkte allerdings überbelichtet.

Des Weiteren beurteilten die Probanden die matte, schwarze Skulptur wieder als eindeutig „natürlicher“.

Paarvergleiche 05/06/07/08 - Strahler + Wandfluter (300/100 Lx)

Mit der Kombination aus Strahlern und Wandfluter konnte die Anzahl an eindeutigen Bewertungen um ein Adjektiv gesteigert werden. Wie in den vorangegangenen Beleuchtungseinstellungen beurteilten die Probanden die schwarze, hochglanzpolierte Skulptur eindeutig mit den Adjektiven „plastischer“, „auffälliger“ und „moderner“.

Durch die Verwendung der Wandfluter konnte die Umfeldleuchtdichte der cremeweißen Innenwandflächen deutlich abgesenkt werden. Dadurch wurde der sehr harte Kontrast zwischen dem Infeld und dem Umfeld abgemindert und zugleich die massive Helldominanz der cremeweißen Hüllflächen reduziert.

Zudem wies die matte Oberflächengestaltung keine Leuchtdichteüberschreitungen durch Blendungen oder Spiegelungen auf, wodurch die linke Innenraumsituation auf die Probanden visuell eindeutig „angenehmer“ wirkte.

Die matte Skulpturenoberfläche wurde auch in dieser Einstellung als „natürlicher“ bewertet.

Paarvergleiche 05/06/07/08 - Strahler + Wandfluter (1000/200 Lx)

Mit der Erhöhung der Beleuchtungsstärken blieben die Verhältnisse der Leuchtdichtewerte weitgehend erhalten.

Im Rahmen des 8. PV wurde die matte Skulptur mit genau der gleichen Anzahl von Stimmen wieder als eindeutig „angenehmer“ eingestuft. Aufgrund von Spiegelungen und partiellen Leuchtdichteüberschreitungen, welche sich in Form von Blendungen zeigten und dem weiterhin deutlichen Kontrast zwischen dem Infeld und dem Umfeld, wurde die hochglanzpolierte Skulptur von den Probanden wiederum eindeutig als „auffälliger“ bewertet.

Mit 24 Stimmen wurde die matte Skulptur wie schon in den vorangegangenen Untersuchungen eindeutig als „natürlicher“ bewertet.

Paarvergleiche 09/10/11/12 - Spiegelrasterdecke 300 Lx

Im Rahmen des 9. PV wurden zwei platingraue Innenräume gegenübergestellt, in denen jeweils eine hellgraue Skulptur präsentiert wurde.

Beide Innenraumkonstellationen verfügten nur über einen sehr schwachen Kontrast zwischen dem Infeld (Skulptur) und dessen Umfeld (Hüllflächen). So wies die linke Innenraumsituation eine Reflexionsgradverhältnis von 22,8 % (Infeld) zu 32,0 % (Umfeld) auf und die rechte Innenraumanordnung von 25,2 % (Infeld) zu 32,0 %.

Die subjektive Befragung ergab im Hinblick auf die zehn zur Verfügung stehenden Adjektive zwei eindeutige Bewertungen.

Wie auch in den vorangegangenen Paarvergleichen, bewerteten die Probanden die linke Innenraumkonstellation mit der matten Skulptur, mit einer Anzahl von 27 von 30 Probanden, eindeutig als „natürlicher“.

Trotz des schwachen Kontrastes wurde die hochglanzpolierte Skulptur wieder als eindeutig „auffälliger“ eingestuft.

Paarvergleiche 09/10/11/12 - Spiegelrasterdecke 1000 Lx

Durch die Erhöhung der Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx wurde der 10. PV anhand der Adjektive „plastischer“ und „natürlicher“ eindeutig bewertet.

Wie auf der Leuchtdichteaufnahme zu erkennen, nahmen die Infeldleuchtdichten aufgrund der Anhebung der Beleuchtungsstärke deutlich zu. Partielle Leuchtdichteüberschreitungen infolge Blendungserscheinungen erreichten deutlich höhere Leuchtdichtewerte als im Rahmen des 9. PV.

Der Kontrast zwischen beleuchteten und verschatteten Teilflächenbereiche nahm somit zu und erhöhte die Plastizität der hochglanzpolierten Skulptur in den eindeutigen Bewertungsbereich.

Die Bewertung in Bezug auf das Adjektiv „natürlicher“ verringerte sich zwar um zwei Stimmen, blieb aber mit einer Stimmenzahl von 24 deutlich über 20 Probanden.

Paarvergleiche 09/10/11/12 - Strahler + Wandfluter (300/100 Lx)

Der Einsatz von Strahler und linearen Wandflutern bewirkte eine Anhebung eindeutiger Bewertungen auf drei Adjektive.

Ein Vergleich mit der Spiegelrasterdeckenanordnung (300 Lx) zeigte, dass die vertikale Umfeldleuchtdichte von 25,46 cd/m² bzw. 33,61 cd/m² auf 10,19 cd/m² reduziert werden konnte. Gleichzeitig wurden die vertikalen Infeldleuchtdichten deutlich gesteigert.

Dies führte dazu, dass das Leuchtdichteverhältnis zwischen dem Infeld und dem dazugehörigem Umfeld stark verbessert werden konnte. Das bestehende, niedrige Kontrastverhältnis wurde somit visuell verbessert.

Durch die Verwendung der Strahler und den damit verbundenen direkten Lichtanteilen entstand, insbesondere auf der hochglanzpolierten Skulpturenoberfläche, eine prägnantere, visuelle Darstellung beleuchteter und unbeleuchteter Teilflächenbereiche.

Auch bewirkte die hochglanzpolierte Oberflächengestaltung eine präzisere Abgrenzung der Teilflächen zueinander. Dies führte dazu, die hochglanzpolierte Skulptur als „anregender“ und visuell „auffälliger“ zu bewerten.

Die Bewertung in Bezug auf das Adjektiv „natürlicher“ blieb weiterhin in seiner Eindeutigkeit erhalten.

Paarvergleiche 09/10/11/12 - Strahler + Wandfluter (1000/200 Lx)

Mit der Erhöhung der Beleuchtungsstärken von 300 auf 1000 bzw. 100 auf 200 Lx lagen die Infeldleuchtdichten der Skulpturen deutlich über den Umfeldleuchtdichten.

Mit einer Anzahl von 20 Probanden wurde die hochglanzpolierte Skulptur gerade noch eindeutig mit dem Adjektiv „auffälliger“ eindeutig bewertet. Die Zustimmung für das Adjektiv „anregender“ ging deutlich zurück.

Die Stimmenanzahl für das Adjektiv „natürlicher“ in Bezug auf die matte Skulptur blieb weiterhin erhalten.

Paarvergleiche 13/14/15/16 - Spiegelrasterdecke 300 Lx

In den Paarvergleichen 13-16 blieben die platingrauen Hüllflächen erhalten, während die hellgraue Skulptur durch eine schwarze Skulptur ausgetauscht wurde.

Mit einem Reflexionsgradverhältnis von 4,7 (linkes Infeld) zu 32,0 % (Umfeld) bzw. 6,0 (rechtes Infeld) zu 32,0 % stieg der Kontrast zwischen dem Infeld und dem Umfeld stark an.

Trotz diesen sehr ungünstigen Leuchtdichteverhältnissen zwischen den Infeldern und den Umfeldern bewerteten die Probanden den 13. visuellen Paarvergleich anhand von sechs Adjektiven in eindeutiger Weise.

So wurde die linke Innenraumsituation mit der matten Skulptur eindeutig mit den Adjektiven „heller“, „angenehmer“ und „natürlicher“ bewertet.

Obwohl die vertikale, gemessene Beleuchtungsstärke im Bereich der matten Skulptur tendenziell niedriger liegt als im Bereich der hochglanzpolierten Skulptur und beide Innenräume über platingraue Hüllflächen verfügten, bewerteten die Probanden den linken Innenraum mit deutlichem Abstand als „heller“ ein.

Eine Begründung hierfür kann die deutlich diffusere Abstrahlung der matten Oberflächenstruktur in Bezug auf partielle Leuchtdichteüberschreitungen sein. Sie fallen infolge der diffusen Abstrahlungscharakteristik wesentlich großflächiger aus und lassen somit die matte Skulptur visuell „heller“ erscheinen.

Infolge der helleren Wirkung der matten Skulptur, wurde die schwarze Eigenfarbe visuell aufgehellt und somit der Kontrast zu den umliegenden Hüllflächen gemindert. Diese Gegebenheit kann ursächlich für die eindeutige Bewertung der linken Innenraumkonstellation gewesen sein, diese mit dem Adjektiv „angenehmer“ zu bewerten.

Das Bewertungsverhalten für das Adjektiv „natürlicher“ hatte sich auch im 13. PV nicht verändert.

Die rechte Innenraumdarstellung wurde von den Probanden mit den Adjektiven „plastischer“, „anregender“ und „auffälliger“ beschrieben. Gründe hierfür wurden bereits im Rahmen des 5. PV beschrieben.

Paarvergleiche 13/14/15/16 - Spiegelrasterdecke 1000 Lx

Mit der Erhöhung der Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx, wurde der 14. PV mit fünf Adjektiven von den Probanden eindeutig bewertet. Die matte Skulptur wurde dem-

nach wieder mit den Adjektiven „gleichmäßiger“, „angenehmer“ und „natürlicher“ beschrieben.

In einem Verhältnis von 23 zu 5 empfanden die Probanden die linke Innenraumanordnung als „angenehmer“. Gründe hierfür wurden bereits im Rahmen des 1. PV beschrieben.

Durch die verhältnismäßig großflächige Ausdehnung der beleuchteten Teilflächen infolge diffuser Reflexionen, erschien die matte Skulptur heller und verringerte somit visuell den Kontrast zu den umlaufenden Hüllflächen. Zusätzlich blieben hohe Leuchtdichteüberschreitungen durch Blendungserscheinungen aus. Dies führte zu einer „gleichmäßigeren“ und „angenehmeren“ Gesamterscheinung in der Beurteilung der Probanden.

Punktuelle Blendungserscheinungen mit hohen Infeldleuchtdichtewerten und scharf zueinander verlaufende beleuchtete oder verschattete Teilflächenbereiche im Infeld, lassen die hochglanzpolierte Skulptur in den Augen der Probanden „plastischer“ und „auffälliger“ erscheinen.

Paarvergleiche 13/14/15/16 - Strahler + Wandfluter (300/100 Lx)

Mit der Umstellung auf Strahler in Kombination mit linearen Wandflutern, reduzierten sich die eindeutigen Adjektive erheblich auf nur noch ein Adjektiv.

Während von den zehn zur Verfügung stehenden Adjektiven neun über keinerlei verwertbare Stimmenanteile verfügten, wurden für das Adjektiv „natürlicher“ in Bezug auf die matte Skulptur 21 von 30 Stimmen vergeben.

Paarvergleiche 13/14/15/16 - Strahler + Wandfluter (1000/200 Lx)

Durch die Erhöhung der Beleuchtungsstärken von 300 auf 1000 bzw. 100 auf 200 Lx konnten die eindeutigen Bewertungen auf drei Adjektive erhöht werden.

Wie bereits in den vorangegangenen Untersuchungen beschrieben, konnte durch die Verwendung von Strahler und Wandfluter die Umfeldleuchtdichte in beiden Innenräumen deutlich im Vergleich zur (SRD 300 Lx) von 25,47 cd/m² auf 10,18 cd/m² gesenkt werden. Der visuelle Fokus konnte somit wieder mehr auf das Infeld gelenkt werden.

In Verbindung mit der schon beschriebenen Weichzeichnung der Leuchtdichtebereiche im Infeld der matten Skulptur wurde diese auch als eindeutig „angenehmer“ durch die Probanden bewertet.

Die eindeutige Bewertung in Bezug auf das Adjektiv „natürlicher“ bleibt auch für den 16. PV erhalten.

Die ebenfalls schon beschriebenen Wirkungsweisen einer hochglanzpolierten Oberflächengestaltung führten auch hier zu einer eindeutigen Bewertung in Bezug auf das Adjektiv „auffälliger“.

Paarvergleiche 17/18/19/20 - Spiegelrasterdecke 300 Lx

Im Rahmen der Paarvergleiche 17-20 wurden zwei tiefschwarze Innenräume mit je einer hellgrauen Skulptur gegenübergestellt.

Die Innenraumsituationen wiesen mit Ihren tiefschwarzen Hüllflächen und den hellgrauen Skulpturen ein Reflexionsgradverhältnis von 4,0 % (Umfeld) zu 22,8 bzw. 25,2 % (Infelder) auf. Aufgrund des sehr niedrigen Reflexionsgrades der tiefschwarzen Innenwandflächen wurden nur sehr geringe Umfeldleuchtdichten im Bereich der Messpunkte erreicht (3,18 cd/m² bzw. 4,07 cd/m²).

Infolge einer kaum stattfindenden Reflexion einfallenden Lichtes an den Innenwandflächen, konnten auch nur sehr geringe vertikale Beleuchtungsstärken im Bereich des Infeldes von 15 Lx gemessen werden.

Die Bewertungen durch die Probanden brachten im Rahmen des 17. PV nur eine eindeutige Bewertung.

Wie schon in den vorangegangenen Untersuchungen wurde die Skulptur mit der matten Oberfläche wieder eindeutig als „natürlicher“ bewertet.

Paarvergleiche 17/18/19/20 - Spiegelrasterdecke 1000 Lx

Mit der Anhebung der Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx wurde der 18. PV anhand einer eindeutigen Bewertung beurteilt.

So wurde die matte Skulptur wieder mit 24 von 30 Stimmen eindeutig als „natürlicher“ bewertet.

Paarvergleiche 17/18/19/20 - Strahler + Wandfluter (300/100 Lx)

Mit der Umstellung auf die schon bekannte Kombination aus Strahlern und linearen Wandflutern, verfügte der 19. PV über zwei eindeutige Bewertungen.

Ein Vergleich mit der SRD 300 Lx zeigte, dass durch die Verwendung von linearen Wandflutern mit einer Beleuchtungsstärke von 100 Lx die Umfeldleuchtdichten im Bereich der Messpunkte deutlich gesenkt werden konnten. In Verbindung mit einem Reflexionsgrad von lediglich 4,0 % wurden hier vertikale Umfeldleuchtdichten von nur 1,27 cd/m² errechnet.

Durch die spürbare Absenkung der Umfeldleuchtdichten, lagen die Infeldleuchtdichten in beiden Innenräumen, lichttechnisch durch Strahler visuell in Szene gesetzt, deutlich über den Umfeldleuchtdichten. Als Ergebnis zeichneten sich beide Skulpturen scharf vor den tiefschwarzen Hüllflächen ab.

Die Verbindung zwischen sich scharf gegeneinander abzeichnenden beleuchteten und verschatteten Teilflächenbereiche und die Eigenschaft der hochglanzpolierten Oberflächen Spiegelungen zu erzeugen, führte zu der Bewertung, die hochglanzpolierte Skulptur als deutlich „auffälliger“ zu bewerten.

Mit 23 von 30 Stimmen wurde die matte Skulptur in Ihrer visuellen Erscheinung wieder als „natürlicher“ bewertet.

Paarvergleiche 17/18/19/20 - Strahler + Wandfluter (1000/200 Lx)

Durch die Erhöhung der Beleuchtungsstärken von 300 auf 1000 bzw. 100 auf 200 Lx erhöhten sich die Umfeldleuchtdichten im Bereich der Messpunkte von 1,27 cd/m² auf 2,55 m². Die Infeldleuchtdichten lagen aus bekannten Gründen erheblich über den Umfeldleuchtdichten. Die Realbildaufnahmen zeigten jeweils zwei stark visuell betonte Infelder.

Der 20. PV wurde von den Probanden ebenfalls wie der 19. PV mit den Adjektiven „natürlicher“ und „auffälliger“ bewertet.

Aufgrund starker Leuchtdichteüberschreitungen im Infeldbereich der matten Skulptur nahm die Zustimmung für das Adjektiv „natürlicher“ von 24 auf 20 Stimmen ab, blieb aber noch im Bereich eindeutiger Bewertungen.

Anhand der Leuchtdichteaufnahmen konnte man erkennen, dass sich im Bereich der matten Skulptur infolge diffuser Reflexionen großflächige Leuchtdichteüberschreitungen in einer Höhe von bis zu 260 cd/m² zeigten.

Im Bereich der hochglanzpolierten Skulptur zeigten sich zwar Leuchtdichteüberschreitungen infolge Blendung mit höheren Leuchtdichtewerten (450 cd/m²), diese waren allerdings in Ihrer flächenmäßigen Ausdehnung deutlich kleiner. Was dazu führte, dass die matte Skulptur von den Probanden als eindeutig „heller“ bewertet wurde.

Paarvergleiche 21/22/23/24 - Spiegelrasterdecke 300 Lx

Die Paarvergleiche 21-24 stellten zwei tiefschwarze Innenräume mit je einer dunkelgrauen Skulptur gegenüber. Wie bei den vorangegangenen Untersuchungen beinhaltete die linke Innenraumsituation die Skulptur mit der matten Oberflächengestaltung und die rechte Innenraumanordnung die Skulptur mit der hochglanzpolierten Oberfläche.

Mit einer reinen Spiegelrasterdeckenbeleuchtung von 300 Lx, gemessen in halber Skulpturenhöhe, wurde der direkte Paarvergleich anhand zweier Adjektive eindeutig bewertet.

Mit einem Reflexionsgradverhältnis von 11,8 bzw. 14,1 cd/m² (Infelder) zu 4,0 % (Umfeld) verfügten die Untersuchungsreihen 21-24 über ein sehr niedriges Kontrastverhältnis zwischen Infeld und Umfeld.

Mit einem Umfeldleuchtdichtewert von 3,18 cd/m² bzw. 3,82 cd/m² verfügten beide Umfelder über eine sehr niedrige vertikale Umfeldleuchtdichte im Bereich der Messpunkte.

Aufgrund des sehr niedrigen Reflexionsgrades der tiefschwarzen Hüllflächen konnten auch nur wieder sehr niedrige, vertikale Beleuchtungsstärken der Infelder von (15 bzw. 20 Lx) gemessen werden.

In Verbindung mit den direkten Reflexionseigenschaften der hochglanzpolierten Oberflächengestaltung der rechten Skulptur wurden wiederum etwas höhere vertikale Beleuchtungsstärken im Bereich des Umfeldes gemessen.

So wurde im direkten Umfeld der hochglanzpolierten Skulptur eine vertikale Beleuchtungsstärke von 300 Lx gemessen, während im Bereich der matten Skulptur nur eine vertikale Beleuchtungsstärke von 250 Lx im Bereich der Messpunkte registriert werden konnte.

Infolge der diffusen Reflexionseigenschaften der matte Skulptur und der damit verbundenen großflächigeren Ausbreitung und einem weicherem Verlauf zwischen beleuchteten und verschatteten Teilflächenbereiche wurde die matte Skulptur von den Probanden mit 20 von 30 Stimmen als eindeutig „angenehmer“ bewertet.

Wie auch schon in allen vorangegangenen Untersuchungsreihen, wurde auch im Rahmen des 21. PV die matte Skulptur als deutlich „natürlicher“ bewertet.

Paarvergleiche 21/22/23/24 - Spiegelrasterdecke 1000 Lx

Mit der Erhöhung von 300 Lx auf 1000 Lx reduzierten sich die eindeutigen Bewertungen von zwei auf ein Adjektiv.

Anhand der gemessenen vertikalen Beleuchtungsstärken der Umfeldler im Bereich der Messpunkte konnte der Einfluss der hochglänzenden Oberfläche der rechten Skulptur veranschaulicht werden.

Während man in der linken Innenraumanordnung nur eine vertikale Umfeldbeleuchtungsstärke von 760 Lx maß, konnte in der rechten Anordnung, bei gleicher Beleuchtungsstärke durch eine Spiegelrasterdecke von 1000 Lx, eine vertikale Beleuchtungsstärke des Umfeldes von 1040 Lx gemessen werden.

Die matte Skulptur wurde auch im 22. PV als deutlich „natürlicher“ bewertet.

Paarvergleiche 21/22/23/24 - Strahler + Wandfluter (300/100 Lx)

Wie schon bei den vorangegangenen Untersuchungen konnte durch die Verwendung linearer Wandfluter, mit einer Beleuchtungsstärke von 100 Lx, die Umfeldleuchtdichten erheblich auf $1,27 \text{ cd/m}^3$ reduziert werden. Infolge dessen rückten die Infelder wieder deutlicher in den Mittelpunkt der visuellen Betrachtung.

Durch die stärkere visuellen Betonung der Infelder und durch die direkten Reflexionseigenschaften der hochglanzpolierten Skulptur, mit den schon beschriebenen visuellen Auswirkungen, wurde die rechte Skulptur von den Probanden als deutlich „auffälliger“ bewertet.

Mit dem Einsatz der Strahler und der damit verbundenen direkten Strahlungscharakteristik konnten im Vergleich zur SRD (300 Lx) die vertikalen Beleuchtungsstärken

und damit verbunden auch die vertikalen Infeldleuchtdichten deutlich erhöht werden. Infolgedessen lagen die errechneten Infeldleuchtdichtewerte über den Umfeldleuchtdichtewerten.

Die matte Skulptur wurde auch im 23. PV als deutlich „natürlicher“ bewertet.

Paarvergleiche 21/22/23/24 - Strahler + Wandfluter (1000/200 Lx)

Wie auch im Rahmen des 23. PV konnten die Umfeldleuchtdichtewerte im Bereich der Messpunkte in einem Vergleich mit der SRD (1000 Lx) deutlich abgesenkt werden. Gleichzeitig war es möglich, die vertikalen Infeldleuchtdichten stark anzuheben.

Infolge dessen wurden die Infelder visuell deutlich in den Mittelpunkt gerückt und hoben sich scharf von den tiefschwarzen Hüllflächen ab.

Die eindeutigen Bewertungen der Probanden in Bezug auf das Adjektiv „auffälliger“ reduzierten sich um eine Stimme auf 19.

Das Adjektiv „natürlicher“ blieb eindeutig mit 26 von 30 Probanden erhalten.

Paarvergleiche 25/26/27/28 - Spiegelrasterdecke 300 Lx

Während bei den Paarvergleichen 1-24 lediglich die Oberflächen unterschiedlich waren, können bei den Paarvergleichen 25-48 alle Komponenten differieren.

Im Rahmen der Paarvergleiche 25-28 beinhaltete die linke Innenraumsituation eine matte, dunkelgraue Skulptur vor cremeweißen Hüllflächen. In der rechten Innenraumsituation wird den Probanden eine hochglanzpolierte, hellgraue Skulptur vor platingrauen Innenwandflächen präsentiert. Der Kontrast zwischen dem Infeld und dem dazugehörigen Umfeld war hier sehr gering.

Unter dem Einfluss einer reinen Spiegelrasterdeckenbeleuchtung von 300 Lx, welche sowohl über direkte als auch diffuse Lichtanteile verfügt, wies das Befragungsergebnis zwei eindeutige Ergebnisse in Bezug auf die Adjektive „heller“ und „gleichmäßiger“ auf.

Obwohl der Reflexionsgrad der hellgrauen Skulptur mit 25,2 % wesentlich höher ist als der Reflexionsgrad der dunkelgrauen Skulptur mit 11,8 %, wird die linke Innenraumsituation als visuell deutlich heller eingestuft und bewertet.

Man kann davon ausgehen, dass bei einem sehr hellen Umfeld in Kombination mit einer dunklen Skulptur (Infeld) die Helldominanz der Hüllflächen maßgebend für die visuelle Bewertung ist. Das eigentliche Infeld kann die visuelle Aufmerksamkeit der Probanden nicht halten.

Die Infeldleuchtdichtewerte zeigten, dass der vertikale Leuchtdichtewert der dunkelgrauen Skulptur etwas über dem Leuchtdichtewert der hellgrauen Skulptur lag.

Einfallende Lichtstrahlen wurden hier infolge Reflexion auf die Skulptur gelenkt und hatten somit zu einer höheren vertikalen Beleuchtungsstärke und demzufolge zu einem höheren vertikalen Leuchtdichtewert an der dunkelgrauen Skulptur geführt.

Gleichzeitig bewerteten über zwei Drittel der Probanden die deutlich dunklere, matte Skulptur als eindeutig „gleichmäßiger“ ein. Diese Gleichmäßigkeit kann auf die Leuchtdichteunterschiede innerhalb der Skulptur zurückgeführt werden. So wies die wesentlich dunklere Skulptur einen deutlich niedrigeren Leuchtdichteunterschied zwischen vertikaler und horizontaler Leuchtdichte auf, als die hellgraue Skulptur. Zudem verfügte die dunkelgraue, matte Skulptur über keine Leuchtdichteüberschreitungen infolge direkter Reflexionen.

Paarvergleiche 25/26/27/28 - Spiegelrasterdecke 1000 Lx

Durch die Erhöhung der Beleuchtungsstärke von 300 auf 1000 Lx wiesen die visuellen Paarvergleiche nur noch eine eindeutige Bewertung auf.

So wurde auch bei einer Beleuchtungsstärke von 1000 Lx die dunkelgraue Skulptur in Verbindung mit den cremeweißen Hüllflächen eindeutig „heller“, als die deutlich hellere hellgraue Skulptur vor den platingrauen Innenwandflächen bewertet.

Ausschlagend hierfür war die hohe, vertikale Umfeldleuchtdichte der cremeweißen Hüllflächen von 245,10 cd/m². Die platingrauen Hüllflächen konnten hier nur einen Leuchtdichtewert im Bereich der Messpunkte von 101,86 cd/m² aufweisen.

Aufgrund einer vertikalen Beleuchtungsstärke des Infeldes von gemessenen 550 Lx infolge direkter Strahlung und Reflexion an der cremeweißen Innenwand, verfügte die dunkelgraue Skulptur, wie schon im 25. PV im Bereich der Messpunkte über einen höheren, vertikalen Infeldleuchtdichtewert als die hellgraue Skulptur.

Der deutlich niedrigere Reflexionsgrad der platingrauen Innenwandflächen von 32 %, führte zu einer gemessenen vertikalen Beleuchtungsstärke an der Skulptur von 200 Lx.

Paarvergleiche 25/26/27/28 - Strahler + Wandfluter (300/100 Lx)

Bei der Umstellung von einer reinen Spiegelrasterdeckenbeleuchtung auf eine Beleuchtungskombination aus Strahlern und Wandflutern reduzierte sich die Zustimmung der Probanden für das Adjektiv „heller in Bezug auf die linke Innenraumsituation um nahezu 50 %.

In der linken Versuchsanordnung bewirkte der Einsatz von linearen Wandflutern eine Abschwächung der visuellen Helldominanz der umgebenden cremeweißen Hüllflächen. Der vertikale Umfeldleuchtdichtewert der cremeweißen Hüllflächen reduzierte sich im Bereich der Messpunkte von 73,53 cd/m² (unter einer Spiegelrasterbeleuchtung von 300 Lx) auf 24,51 cd/m² unter der Einwirkung linearer Wandfluter mit einer Beleuchtungsstärke von 100 Lx.

Der Leuchtdichteunterschied zwischen dem Infeld und dem Umfeld konnte somit in der linken Versuchsanordnung im Vergleich zu der SRD (300 Lx) deutlich gesenkt werden.

In der rechten Versuchsanordnung wurde durch den Einsatz der Strahler die vertikale Beleuchtungsstärke in Bezug auf das Infeld von 50 auf 100 Lx gesteigert, was zu einer Verdoppelung der vertikalen Infeldleuchtdichte führte.

Die vertikale Umfeldleuchtdichte der platingrauen Hüllflächen reduzierte sich durch den Einsatz der Wandfluter von 30,56 cd/m² auf 10,19 cd/m² im Vergleich mit der SRD (300 Lx).

Durch die Reduzierung der Helldominanz der cremeweißen Hüllflächen und der damit verbundenen Absenkung der Differenz zwischen den Umfeld- und den Infeldleuchtdichten wurde der linke Innenraum von einer deutlichen Mehrheit der Probanden als „natürlicher“ eingestuft.

Das eigentliche Zentrum der visuellen Betrachtung erfährt durch die Verwendung der Strahler in Kombination mit den Wandflutern eine stärkere visuelle Aufmerksamkeit und führte dazu, dass auch die Skulptur vor den platingrauen Innenwandflächen als spürbar „heller“ visuell wahrgenommen wurde.

Die subjektive Befragung führte in Bezug auf den platingrauen Raum im Vergleich zu der vorangegangenen Lichteinstellung zu einer Steigerung von 0 auf 9 Stimmen für das Adjektiv „heller“.

Paarvergleiche 25/26/27/28 - Strahler + Wandfluter (1000/200 Lx)

Die Erhöhung der Beleuchtungsstärken auf 1000 bzw. 200 Lx führte zu einer deutlichen Zunahme an eindeutigen Bewertungen durch die Probanden. So beurteilten jeweils 20 Probanden oder mehr den 28. PV anhand der Adjektive „anregender“, „natürlicher“ und „auffälliger“.

Ein erster Vergleich mit der reinen Spiegelrasterdeckenbeleuchtung von 1000 Lx zeigte, dass sich der vertikale Leuchtdichtewert der cremeweißen Hüllflächen von 245,10 cd/m² auf 49,02 cd/m² deutlich reduzierte. Dies lag daran, dass die linearen Wandfluter nur über eine Beleuchtungsstärke von 200 Lx verfügten und die Strahler mit einer Beleuchtungsstärke von 1000 Lx Ihre Strahlung sehr gerichtet auf das Infeld (Skulptur) abgaben.

In dem cremeweißen Innenraum konnte der Unterschied zwischen den Leuchtdichten des Infeldes und des Umfeldes gesenkt werden. Die linke Innenraumsituation wurde somit als deutlich „natürlicher“ von den Probanden bewertet.

Der Einsatz direkter Strahlungssysteme in Verbindung mit linearen Wandflutern, mit einer deutlich niedrigeren Beleuchtungsstärke, schaffte bei einem sehr hellem Umfeld und einem matten dunklen Infeld ein ausgewogeneres Leuchtdichteverhältnis zwischen dem Infeld und dem Umfeld. Zudem wurde die Helldominanz des Umfeldes stark reduziert.

Bei einem eher dunklen Umfeld und einem vergleichsweise hellem Infeld wurde durch den hohen direkten Strahlungsanteil das Infeld betont während das dunklere Umfeld im Bezug auf seine visuelle Präsenz in den Hintergrund trat. Bei hochglanzpolierten Oberflächen müssen allerdings Glanzpunkte vermieden werden.

Paarvergleiche 29/30/31/32 - Spiegelrasterdecke 300 Lx

Im Rahmen der Paarvergleiche 29-32 verfügte die linke Innenraumsituation über cremeweiße Hüllflächen in Verbindung mit einer matt schwarzen Skulptur. In der rechten Anordnung wird eine dunkelgraue hochglanzpolierte Skulptur in einem tief-schwarzem Raum präsentiert.

Mit einem Reflexionsgradverhältnis von 4,7 % (Infeld) zu 77 % (Umfeld) ist der Kontrast zwischen dem Infeld und dem Umfeld in der linken Innenraumanordnung sehr hoch. Bei einer Spiegelrasterdeckenbeleuchtung von 300 Lx wiesen demzufolge die Leuchtdichtewerte zwischen dem Infeld und dem dazugehörigen Umfeld einen erheblichen Unterschied auf.

So dominierten die umlaufenden, cremeweißen Hüllflächen mit einem vertikalen Leuchtdichtewert von 83,33 cd/m² visuell über das Infeld.

Die rechte Innenraumsituation beherbergte bei diesem Paarvergleich eine Skulptur mit einem Reflexionsgrad von 14,1 % in Kombination mit einem tiefschwarzen Umfeld von nur 4 %. Der Kontrast zwischen dem Infeld und dem Umfeld war bei dieser Innenraumanordnung sehr schwach ausgeprägt.

In dem cremeweißen Innenraum wurde die schwarze Skulptur mit einer vertikalen Beleuchtungsstärke von 180 Lx versorgt, während die benachbarte dunkelgraue Skulptur nur über eine vertikale Beleuchtungsstärke von 15 Lx verfügte (gemessen im Bereich der Messpunkte).

So erzeugten die cremeweißen Hüllflächen in der linken Versuchsanordnung, infolge direkter Lichteinstrahlung und Reflexion einfallender Lichtanteile aus der Spiegelrasterdeckenanordnung an den Innenwandflächen, eine vertikale Beleuchtungsstärke im Bereich der Skulptur von 180 Lx.

Die deutlich hellere dunkelgraue Skulptur in der rechten Innenraumsituation wurde aufgrund des sehr niedrigen Reflexionsgrades der sie umgebenden Hüllflächen von 4% mit einer vertikalen Leuchtdichte von 15 Lx versorgt.

Die eindeutige Bewertung der Probanden in Bezug auf das Adjektiv „heller“ ist auf die massive Helldominanz der cremeweißen Hüllflächen zurückzuführen. Das Infeld wurde bei dieser Konstellation von dem Umfeld visuell überlagert.

Eine ebenfalls eindeutige Bewertung fiel auf das Adjektiv „gleichmäßiger“, indem ca. 22 von 30 Probanden die linke Innenraumsituation als „gleichmäßiger“ einstufen. Der Grund hierfür lag in der visuellen Leuchtdichteüberschreitung in Form von Blendungserscheinungen im Bereich der dunkelgrauen Skulptur infolge der hochglanzpolierten Oberfläche.

Die schwarze, matte Skulptur wies solche punktuellen Leuchtdichteüberschreitungen nicht auf und wurde somit auch als „gleichmäßiger“ bewertet. Man konnte hierbei erkennen, dass bei dieser Bewertung im Gegensatz zu der Frage nach der Helligkeit nicht das visuelle Umfeld, sondern das Infeld die entscheidende Rolle spielte.

Trotz aller visuellen Problematiken der rechten Innenraumsituation, wurde diese als eindeutig „interessanter“ bewertet. Eine den objektiven Daten nach völlig unzureichende visuelle Innenraumsituation war für eine deutliche Mehrheit der Probanden der Grund, die präsentierte Skulptur als „interessant“ zu bewerten.

Man kann hier vermuten, dass eine eher geheimnisvolle Präsentation, bei der nicht sofort alle Eigenschaften der Skulptur unter optimalen visuellen Bedingungen präsentiert werden, das Interesse des Betrachters weckt, möglichst viele Eigenschaften selbst zu entdecken.

Paarvergleiche 29/30/31/32 - Spiegelrasterdecke 1000 Lx

Durch die Erhöhung der Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx blieb die Anzahl an eindeutigen Bewertungen durch die Probanden erhalten, jedoch bezog sich nun die Eindeutigkeit auf die Adjektive „heller“, „gleichmäßiger“ und „angenehmer“.

Auffallend war, dass sich die Zustimmung für das Adjektiv „angenehmer“ in Bezug auf die rechte Innenraumsituation verdoppelte, während sie sich für die linke Anordnung um ca. ein Drittel verringerte.

Diese Zustimmung für die rechte Innenraumkonstellation muss auf den hohen vertikalen Leuchtdichtewert der cremeweißen Hüllflächen in der linken Anordnung zurückgeführt werden. Infolge des starken Anstieges der Umfeldleuchtdichte wurde die visuelle Ablenkung von dem eigentlichen Infeld (Skulptur) so groß, sodass diese Innenraumsituation als visuell deutlich unangenehmer bewertet wurde. Die Adaption zwischen dem sehr dominanten Umfeld und dem eigentlichen Infeld wurde für die Betrachter zu groß. Somit wurde die kontrastarme Innenraumsituation als deutlich angenehmer bewertet.

Die Zustimmung für die Adjektive „heller“ und „gleichmäßiger“ blieben unverändert erhalten.

Paarvergleiche 29/30/31/32 - Strahler + Wandfluter (300/100 Lx)

Mit der Umstellung von einer reinen Spiegelrasterdeckenbeleuchtung zu einer Kombination aus Strahlern und Wandflutern reduzierte sich auch die Anzahl an eindeutigen Bewertungen durch die Probanden.

So konnte der 31. Paarvergleich nur für die Adjektive „heller“ und „natürlicher“ eine eindeutige Bewertung erzielen.

Durch den Einsatz der linearen Wandfluter mit einer Beleuchtungsstärke von 100 Lx konnte in Bezug auf den schwarzen Innenraum die vertikale Beleuchtungsstärke des Infeldes von 15 Lx (SRD 300 Lx) auf 85 Lx gesteigert werden. In Folge dessen stieg auch die vertikale Infeldleuchtdichte an.

Die linearen Wandfluter waren jedoch nicht in der Lage, auf den umlaufenden Hüllflächen eine ausreichende vertikale Leuchtdichte zu erzeugen. Hier konnte nur noch ein Wert von 1,27 cd/m² errechnet werden.

Der cremeweiße Innenraum wurde durch den Einsatz der linearen Wandfluter in seiner Helldominanz stark reduziert, wobei sich der vertikale Leuchtdichtewert des Umfeldes von 83,33 cd/m² (SRD 300 Lx) auf 24,51 cd/m² reduzierte.

Während bei der Spiegelrasterdeckenbeleuchtung mit einer Beleuchtungsstärke von 1000 Lx die rechte und linke Innenraumsituation noch annähernd gleich in Bezug auf das Adjektiv „natürlicher“ bewertet wurde, hatte sich die Zustimmung, in Verbindung mit der Umstellung auf eine Kombination aus Wandflutern und Strahlern, für den linken Innenraum fast verdoppelt.

Der Grund hierfür wird in der Reduzierung der Leuchtdichteunterschiede in der linken Anordnung zwischen dem Umfeld und den Infeld gesehen. In der rechten Innenraumsituation war das visuelle Umfeld aufgrund des sehr niedrigen Reflexionsgrades von nur 4,0 % und der Beleuchtungsstärke der linearen Wandfluter von 100 Lx kaum noch visuell wahrnehmbar. Das eigentliche Infeld verlor hier visuell die Verbindung zum direkten Umfeld.

Paarvergleiche 29/30/31/32 - Strahler + Wandfluter (1000/200 Lx)

Durch die Anhebung der Beleuchtungsstärken von 300 auf 1000 Lx bzw. 100 auf 200 Lx stieg die Anzahl eindeutiger Bewertungen von zwei auf drei an. Alle Adjektive wie „heller“, „gleichmäßiger“ und „natürlicher“ bezogen sich auf den cremeweißen Innenraum.

Obwohl die Infeldleuchtdichten im linken Innenraum geringer sind als in der rechten Anordnung, wird der linke Raum als deutlich „heller“ bewertet. Hierbei wirkte sich wieder die visuelle Helldominanz der cremeweißen Hüllflächen aus.

Im Vergleich zu der reinen Spiegelrasterdeckenbeleuchtung mit einer Beleuchtungsstärke von 1000 Lx konnte durch die Kombination aus Strahlern und linearen Wandflutern die vertikale Umfeldleuchtdichte der umlaufenden cremeweißen Hüllflächen von 294,11 cd/m² auf 49,02 cd/m² reduziert werden. Wie auch bei dem 31. PV konnte so der Unterschied zwischen dem Leuchtdichtewert des Infeldes und des Umfeldes wesentlich reduziert werden.

Die Anhebung der Gesamthelligkeit und die Reduzierung der Leuchtdichteunterschiede zwischen Infeld und Umfeld waren für die eindeutige Bewertung seitens der Probanden in Bezug auf das Adjektiv „gleichmäßiger“ ausschlaggebend. Zusätzlich bewerteten die Probanden die gesamte visuelle Innenraumsituation als deutlich „natürlicher“ ein.

Die Anhebung der Beleuchtungsstärken im schwarzen Raum ermöglichte natürlich auch eine Steigerung der Leuchtdichten. Allerdings schafften die linearen Wandfluter keine ausreichenden Leuchtdichtewerte im Bereich des Umfeldes. Durch den sehr niedrigen Reflexionsgrad der Hüllflächen wurden die Infeldleuchtdichteunterschiede noch verstärkt, was eine sehr ungleichmäßige Verteilung der Leuchtdichten im Infeldbereich verursachte.

Lineare Wandfluter mit einer reduzierten Beleuchtungsstärke (200 Lx) in Kombination mit Strahlern (1000 Lx) konnten bei sehr hellen Hüllflächen in Verbindung mit dunklen Skulpturen den Leuchtdichteunterschied zwischen dem Umfeld und dem Infeld deutlich verringern.

Paarvergleiche 33/34/35/36 - Spiegelrasterdecke 300 Lx

Im Rahmen des 33. PV wurden zwei kontrastarme Innenraumsituationen gegenübergestellt. Beide Skulpturen verfügten erstmals über matte Oberflächeneigenschaften.

In seiner Gesamtbewertung verfügte der 33. PV über nur eine eindeutige Bewertung. So bewerteten 29 von 30 Probanden den linken Innenraum als „heller“.

Diese Eindeutigkeit zeigt sich in Form der errechneten Leuchtdichtewerte. Obwohl der linke Innenraum in dieser Anordnung nicht von cremeweißen Hüllflächen sondern mit platingrauen Hüllflächen ausgekleidet wurde, wiesen diese mit einem Reflexionsgrad von 32 % einen wesentlich höheren Reflexionswert auf, als die tiefschwarzen Hüllflächen mit einem Wert von 4 %.

Die errechneten Werte für die Umfeldleuchtdichten betragen demnach 25,46 cd/m² für die platingrauen Hüllflächen bzw. 3,82 cd/m² für die tiefschwarzen Hüllflächen im Bereich der Messpunkte.

So bewirkte der deutlich höhere Umfeldleuchtdichtewert der platingrauen Innenwandflächen die Eindeutigkeit der Bewertung in Bezug auf das Adjektiv „heller“. Das Bewertungskriterium ist, wie schon bei vorangegangenen Untersuchungen nicht das eigentliche Infeld sondern das Umfeld.

Paarvergleiche 33/34/35/36 - Spiegelrasterdecke 1000 Lx

Der 34. PV verfügte über insgesamt zwei eindeutige Bewertungen. Sie bezogen sich auf die Adjektive „heller“ und „interessanter“.

In Bezug auf die linke Innenraumsituation waren erstmals alle 30 Probanden der Meinung, dass die Ihnen gezeigte Innenraumanordnung „heller“ als die benachbarte visuelle Anordnung war.

Durch die allgemeine Anhebung der Beleuchtungsstärke in beiden Räumen begann sich die dunkelgraue Skulptur visuell von den schwarzen Hüllflächen zu lösen und wurde von den Probanden als eindeutig „interessanter“ eingestuft.

Grund hierfür werden die unterschiedlichen Leuchtdichtewerte im Bereich des Umfeldes und des Infeldes sein. So zeichneten sich die deutlich helleren, nach oben gerichteten oder leicht nach oben geneigten Skulpturenbereiche vor den etwas helleren, schwarzen Hüllflächen scharf ab. Vertikale oder nach unten gerichtete Skulpturenbereiche hoben sich ebenfalls durch Ihre völlige Verschattung von den umlaufenden Hüllflächen ab.

Dieses Wechselspiel zwischen eher horizontalen und eher vertikalen Skulpturenbereiche vor dem Hintergrund der schwarzen Hüllflächen machten diese Innenraumordnung für die Probanden „interessanter“.

Paarvergleiche 33/34/35/36 - Strahler + Wandfluter (300/100 Lx)

Durch die Umstellung der Beleuchtung auf eine Kombination aus Strahlern und linearen Wandflutern, konnten die Skulpturen als eigentliche Infelder wirksamer lichttechnisch in Szene gesetzt werden.

Während bei der hellgrauen Skulptur in dem platingrauen Raum der vertikale Infeldleuchtdichtewert im Vergleich mit einer SRD von 300 Lx um das ca. vierfache gesteigert werden konnte, erreichte man durch den Einsatz von Strahlern in Bezug auf die dunkelgraue Skulptur in dem schwarzen Raum einen ca. siebenfachen Anstieg des vertikalen Infeldleuchtdichtewertes.

Diese Steigerungen der Infeldleuchtdichten reduzierten auch gleichzeitig den Unterschied zwischen der vertikalen und der horizontalen Infeldleuchtdichte in Bezug auf eine reine Spiegelrasterdeckenordnung mit einer Beleuchtungsstärke von 300 Lx.

Die Zustimmung für das Adjektiv „heller“ nimmt zwar etwas ab, liegt aber in Bezug auf die linke Skulptur immer noch deutlich im eindeutigen Bereich.

Durch den Einsatz linearer Wandfluter mit einer Beleuchtungsstärke von 100 Lx wurde die Umfeldleuchtdichte in beiden Innenraumkonstellationen abgesenkt. Aufgrund der niedrigen Beleuchtungsstärke der linearen Wandfluter (100 Lx) wiesen die schwarzen Hüllflächen große Flächenbereiche auf, die mit den verschatteten Teilflächenbereiche der Skulptur visuell verschmolzen.

Paarvergleiche 33/34/35/36 - Strahler + Wandfluter (1000/200 Lx)

Die Erhöhung von 300 auf 1000 Lx bzw. 100 auf 200 Lx bewirkte eine deutliche Anhebung der Gesamthelligkeit. Die linke Innenraumsituation wurde weiterhin von den Probanden als eindeutig „heller“ und „gleichmäßiger“ bewertet.

Wie auch im Rahmen des 35. PV verfügte das Infeld in beiden Innenraumsituationen über höhere Leuchtdichtewerte als das Umfeld. Auch bei dieser Beleuchtungseinstellung blieben (wie beim 35. PV) die tiefschwarzen Hüllflächen in Ihrer visuellen Gesamterscheinung zu dunkel.

Durch den sehr niedrigen Reflexionsgrad der Hüllflächen von 4,0 % und dem geringen Reflexionsgrad der Skulptur konnten Teilbereiche des Infeldes visuell nicht mehr erfasst werden.

Aufgrund des geringeren Leuchtdichteunterschiedes zwischen Infeld und Umfeld wurde die rechte Innenraumsituation als deutlich gleichmäßiger von den Probanden bewertet.

Mit dem Einsatz linearer Wandfluter mit einer Beleuchtungsstärke von 100/200 Lx wurde die Umfeldleuchtdichte stark abgesenkt. In Verbindung mit tiefschwarzen Hüllflächen mit einem Reflexionsgrad von 4,0 % konnte eine ausreichende, vertikale Um-

feldleuchtdichte allerdings nicht erreicht werden. In Kombination mit dunklen Skulpturen, wodurch auch eine ausreichende vertikale Infeldleuchtdichte nicht erreicht werden konnte, gingen Teilflächen des Infeldes visuell verloren.

Paarvergleiche 37/38/39/40 - Spiegelrasterdecke 300 Lx

Der 37. PV beinhaltete auf der linken Seite eine dunkelgraue Skulptur in einem monochromen, cremeweißen Innenraum, auf der rechten Seite eine hellgraue Skulptur in einem platingrauen Innenraum. Beide Skulpturen verfügten, wie in dem vorangegangenen Skulpturenpaar, über eine matte Oberflächenausführung.

In Verbindung mit der reinen Spiegelrasterdeckenbeleuchtung von 300 Lx, wurde für die platingraue Innenwand mit einem Reflexionsgrad von 32 % ein Umfeldleuchtdichtewert im Bereich des Messpunktes von 30,56 cd/m² errechnet. Der benachbarte cremeweiße Innenraum wies hingegen eine Umfeldleuchtdichte von 61,27 cd/m² auf. Die linke Innenraumsituation wies somit einen großen Leuchtdichteunterschied zwischen dem Umfeld und dem Infeld auf.

In der rechten Innenraumsituation war das Kontrastverhältnis zwischen dem Infeld und dem Umfeld deutlich ausgeglichener dadurch wurde die visuelle Innenraumsituation von den Probanden als eindeutig „angenehmer“ bewertet.

Die Entscheidung der Probanden zeigte, dass die Helldominanz der cremeweißen Hüllflächen in der linken Innenraumsituation als visuell deutlich störender empfunden wurde, als die wesentlich kontrastärmere Innenraumanordnung auf der rechten Seite.

Die Entscheidung in Bezug auf das Adjektiv „angenehmer“ wurde somit durch die Umfeldler bestimmt.

Paarvergleiche 37/38/39/40 - Spiegelrasterdecke 1000 Lx

Durch die Erhöhung der Beleuchtungsstärke von 300 Lx auf 1000 Lx konnten durch die subjektiven Probandenbefragungen keine eindeutigen Bewertungen mehr erzielt werden.

Im Wesentlichen bleiben die einzelnen Leuchtdichtewerte in ihren Verhältnissen zueinander erhalten. Mit einem Umfeldleuchtdichtewert von 220,70 cd/m² verfügten die cremeweißen Hüllflächen über eine starke visuelle Dominanz und lenkten von dem eigentlichen Infeld (Skulptur) stark ab.

Paarvergleiche 37/38/39/40 - Strahler + Wandfluter (300/100 Lx)

Mit der Umstellung von einer reinen Spiegelrasterdeckenbeleuchtung auf die Kombination aus Strahler und lineare Wandfluter wurde der 39. visuelle Paarvergleich im Rahmen der Probandenbefragung in Bezug auf die Adjektive „anregender“ und „auffälliger“ eindeutig bewertet.

So wurde die rechte Innenraumkonstellation mit 23 zu 5 Stimmen als „anregender“ beurteilt. Bei gleicher Beleuchtungsstärke lagen die Infeldleuchtdichtewerte in dem rechten Innenraum über den Werten des linken Infeldes.

Betrachtete man den Umfeldleuchtdichtewert des rechten Innenraumes, so lag dieser aufgrund des niedrigeren Reflexionsgrades der platingrauen Hüllflächen von 32 % im Vergleich zu den cremeweißen Hüllflächen mit 77 % um ca. 50 % niedriger. Man konnte sagen, dass das vorteilhaftere Verhältnis der Leuchtdichten von Infeld zu Umfeld im rechten Innenraum Grundlage für die eindeutigen Bewertungen in Bezug auf die Adjektive „anregender“ und „auffälliger“ waren.

Innerhalb dieses Paarvergleiches beurteilten fast zwei Drittel der Probanden die rechte Innenraumsituation trotz den deutlich dunkleren platingrauen Hüllflächen als „heller“ ein. Die Helldominanz der cremeweißen Hüllflächen mit einem doppelt so hohen Umfeldleuchtdichtewert im linken Innenraum hatte auf das Bewertungsergebnis keinerlei Auswirkungen. Die Probanden bezogen sich im Rahmen Ihrer Beurteilung auf das jeweilige Infeld als Bewertungsgrundlage.

Paarvergleiche 37/38/39/40 - Strahler + Wandfluter (1000/200 Lx)

Mit der Erhöhung der Beleuchtungsstärken auf 1000 bzw. 200 Lx wurden für den 40. PV keine eindeutigen Bewertungen durch die Probanden mehr abgegeben.

An dem Bewertungsverhalten der Probanden in Bezug auf das Adjektiv „heller“ konnte man erkennen, dass im Rahmen des 40. PV das Infeld des platingrauen Innenraumes durch das Umfeld des cremeweißen Raumes als Bewertungskriterium abgelöst wurde.

Paarvergleiche 41/42/43/44 - Spiegelrasterdecke 300 Lx

Die Paarvergleiche 41-44 zeigten in der linken Innenraumsituation eine hellgraue hochglanzpolierte Skulptur in einem platingrauen Umfeld und auf der rechten Seite eine dunkelgraue hochglanzpolierte Skulptur in einer tiefschwarzen Umgebung.

Die Bewertungsergebnisse der Probandenbefragungen zeigten eine eindeutige Bewertung. So bewerteten 29 der 30 Probanden die linke Innenraumdarstellung als eindeutig „heller“.

Betrachtete man die Infeldleuchtdichten der beiden Skulpturen, so konnte festgestellt werden dass zwischen den horizontalen und den vertikalen Leuchtdichtewerten ein großer Unterschied bestand. Die geringen vertikalen Infeldleuchtdichten zeigten sich bei der dunkelgrauen Skulptur in Form von schwarzen Teilflächenbereichen.

Aufgrund der Beleuchtung der dahinter liegenden tiefschwarzen Hüllflächen durch die Spiegelrasterdecke und der damit verbundenen geringen Umfeldleuchtdichte von 3,82 cd/m² hoben sich diese schwarzen Teilbereiche vor dem Hintergrund visuell ab.

In der linken Innenraumdarstellung erzeugte die platingraue Hüllfläche mit einem Reflexionsgrad von 32 % in Verbindung mit der hellgrauen Skulptur (25,2 %) eine vertikale Beleuchtungsstärke von 50 Lx im Infeldbereich.

Die fast einstimmige Bewertung in Bezug auf das Adjektiv „heller“ basiert darauf, dass die linke Innenraumdarstellung eine deutlich höhere Infeld- und Umfeldleuchtdichte aufwies. Zudem erzeugte der sehr geringe Kontrast mit dem Umfeld einen homogenen, hellen Innenraum.

Paarvergleiche 41/42/43/44 - Spiegelrasterdecke 1000 Lx

Die Erhöhung der Beleuchtungsstärke von 300 auf 1000 Lx zeigte in der Bewertung des 42. PV zwei eindeutigen Bewertungen.

Während die Zustimmung für das Adjektiv „heller“ weiterhin von 29 der insgesamt 30 Probanden bestätigt wurde, nahm die Zustimmung für das Adjektiv „gleichmäßiger“ deutlich um über einem Drittel zu. Alle anderen Bewertungsmöglichkeiten ließen keinerlei Auffälligkeiten erkennen.

Aufgrund des sehr niedrigen Reflexionsgradunterschiedes zwischen dem Infeld und dem Umfeld und dem damit verbundenen geringem Kontrast im linken Innenraum wurde die im 41. PV bereits angesprochene Homogenität als „gleichmäßiger“ in der Bewertung ausgedrückt.

Paarvergleiche 41/42/43/44 - Strahler + Wandfluter (300/100 Lx)

Mit der Umstellung von der reinen Spiegelrasterdecke auf die Kombination aus Strahlern und Wandfluter, beurteilten die Probanden den 43. Paarvergleich anhand eines Adjektives mit eindeutiger Stimmenzahl.

So entschieden sich für das Adjektiv „heller“ wieder 29 von 30 Probanden für den linken Innenraum.

Wie bei den vorangegangenen Paarvergleichen bewirkten die Strahler eine deutliche Anhebung der vertikalen Leuchtdichten beider Infelder im Vergleich mit der Spiegelrasterdecke (300 Lx). Zusätzlich reduzierten die Wandfluter die Umfeldleuchtdichten der Innenräume erheblich und ließen die Hüllflächen wieder visuell in den Hintergrund treten.

Zusätzlich konnte eine Verschmelzung einiger Skulpturenbereiche mit den tief-schwarzen Hüllflächen und einer sich daraus ergebenden Fragmentierung beobachtet werden.

Paarvergleiche 41/42/43/44 - Strahler + Wandfluter (1000/200 Lx)

Mit der Anhebung der Beleuchtungsstärke auf 1000 bzw. 200 Lx steigerte sich die Anzahl an eindeutigen Bewertungen auf zwei, wobei sich diese auf die Adjektive „heller“ und „gleichmäßiger“ bezogen.

Die Verhältnisse der einzelnen Leuchtdichtewerte zueinander blieben erhalten.

Aufgrund der höheren Reflexionsgrade von Infeld und Umfeld im linken Innenraum, wurde die gesamte räumliche Innenraumsituation auch wieder als deutlich „heller“ bewertet.

Die Anhebung der allgemeinen Beleuchtungsstärke und der geringe Kontrast zwischen der hellgrauen Figur und den platingrauen Hüllflächen führten zu einem deutlichen Anstieg und somit zu einer eindeutigen Bewertung im Hinblick auf das Adjektiv „gleichmäßiger“.

Paarvergleiche 45/46/47/48 - Spiegelrasterdecke 300 Lx

Der 45. PV zeigte in der linken Innenraumanordnung eine dunkelgraue hochglanzpolierte Skulptur umgeben von cremeweißen, monochromen Hüllflächen. In der rechten Innenraumsituation wurde den Probanden hellgraue hochglanzpolierte Skulptur in einer monochromen, platingrauen Umgebung präsentiert.

Die Auswertung der visuellen Befragungen zeigte bei diesem Paarvergleich eine eindeutige Bewertung seitens der Probanden in Bezug auf das Adjektiv „heller“.

Wie bei vorangegangenen Paarvergleichen erreichte die cremeweiße Innenwand mit einem Reflexionsgrad von 77 % einen vertikalen Umfeldleuchtdichtewert im Bereich des Messpunktes von 73,53 cd/m². Im Gegenzug dazu, erreichte die platingraue Innenwandfläche mit einem Reflexionsgrad von 32 % im Bereich des Messpunktes einen vertikalen Umfeldleuchtdichtewert von 15,28 cd/m².

Aufgrund der cremeweißen Umgebung wird die dunkelgraue Skulptur mit einer deutlich höheren vertikalen Beleuchtungsstärke infolge direkter und indirekter Strahlungsanteile in einer Höhe von 150 Lx versorgt. Im Bereich der hellgrauen Skulptur wurde hier ein Wert von 50 Lx gemessen.

Wie in vorangegangenen Untersuchungen verfügte somit die dunklere Skulptur über einen höheren, rechnerischen vertikalen Leuchtdichtewert.

Ausschlaggebend für die eindeutige Bewertung war das visuell dominante, cremeweiße Umfeld.

Paarvergleiche 45/46/47/48 - Spiegelrasterdecke 1000 Lx

Die Erhöhung der allgemeinen Beleuchtungsstärke von 300 auf 1000 Lx bewirkte eine deutliche Zunahme an eindeutigen Bewertungen. Diese verteilten sich auf die Adjektive „heller“, „angenehmer“, „natürlicher“ und „auffälliger“.

Mit der Erhöhung der Beleuchtungsstärke auf 1000 Lx erhöhte sich auch die vertikale Umfeldleuchtdichte der cremeweißen Hüllfläche. Im Bereich des Messpunktes konnte ein Leuchtdichtewert von 245,10 cd/m² errechnet werden. Diese starke Helldominanz der cremeweißen Hüllflächen war auch im Rahmen des 46. PV ursächlich für den Helleindruck der Probanden.

Die rechte Innenraumsituation wurde von den Probanden in Bezug auf die Adjektive „angenehmer“ und „natürlicher“ eindeutig bewertet. Generell zeigten die Untersuchungen, dass die Probanden einen grauen Innenraum als besonders „natürlich“ empfinden. Das gleiche gilt für Skulpturen mit einer matten Oberfläche, wobei auch hier die graue, matte Skulptur in Ihrer visuellen Erscheinung am natürlichsten wirkte.

Der geringere Unterschied der Reflexionsgrade innerhalb des platingrauen Raumes zwischen dem Infeld und Umfeld ließen die Innenraumsituation für eine deutliche Mehrheit der Probanden „angenehmer“ erscheinen.

Der harte Kontrast zwischen dem Infeld und dem Umfeld in der cremeweißen Innenraumanordnung war allerdings der Grund, diesen Innenraum als besonders „auffallend“ zu bewerten.

Paarvergleiche 45/46/47/48 - Strahler + Wandfluter (300/100 Lx)

Mit der Umstellung auf die Kombination aus Strahler und Wandfluter verfügte das Bewertungsergebnis in Bezug auf alle möglichen Adjektive über kein einziges, eindeutiges Bewertungsergebnis.

Besonders auffällig war, dass die Zustimmung für den cremeweißen Innenraum als klar hellere Innenraumsituation von 27 auf 7 Probanden zurückging. Durch den Einsatz der Wandfluter mit einer Beleuchtungsstärke von 100 Lx (gemessen in mittlerer Wandhöhe) verringerte sich hier die errechnete vertikale Umfeldleuchtdichte im Bereich des Messpunktes auf 24,51 cd/m². Der platingraue Innenraum mit einem Reflexionsgrad von 32 % erzeugte im Bereich des Messpunktes eine errechnete vertikale Umfeldleuchtdichte von 10,19 cd/m².

Betrachtete man sich allerdings die Infelder der beiden Innenraumsituationen, stellte man fest, dass die Infeldleuchtdichtewerte der hellgrauen Skulptur höher waren als die Werte der dunkelgrauen Skulptur in dem cremeweißen Innenraum.

In Bezug auf die Helligkeitsbewertung durch die Probanden musste davon ausgegangen werden, dass die deutlich geringere Helldominanz der cremeweißen Hüllflächen die visuelle Erscheinung der rechten Skulptur nicht mehr überlagerte.

Paarvergleiche 45/46/47/48 - Strahler + Wandfluter (1000/200 Lx)

Durch die Erhöhung der Beleuchtungsstärke von 300 auf 1000 bzw. 100 auf 200 Lx wurden ebenfalls keinerlei eindeutige Bewertungen seitens der Probanden mehr abgegeben.

Obwohl die Verhältnisse der Leuchtdichten beibehalten wurden, gewannen die cremeweißen Hüllflächen wieder an visueller Dominanz. Ein Teil der Probanden neigte nun wieder dazu, den cremeweißen Innenraum als den „helleren“ anzusehen, wobei sich die Gruppestärke der Unentschlossenen verdoppelte.

Schlussfolgerung

- 1) Im Rahmen der visuellen Gegenüberstellung zweier gleichfarbiger Innenraumsituationen, wurde die Skulptur mit der matten Oberflächenausführung ausnahmslos und eindeutig mit dem Adjektiv „natürlicher“ bewertet.

Die Beleuchtungsart, die Höhe der Beleuchtungsstärke und das jeweilige Kontrastverhältnis hatten auf das Bewertungsverhalten der Probanden keinen Einfluss.

Bei unterschiedlichen Skulptur- und Hüllflächenfarben bewirkte die Kombination aus Strahlern und Wandflutern eindeutige Aussagen, die matte Skulptur als natürlicher zu bewerten.

Die Gegenüberstellung zweier identischer Oberflächenausführungen lies kein klares Bewertungsverhalten erkennen.

- 2) Im Vergleich zu den Spiegelrasterdecken bewirkte die Verwendung von Strahlern eine deutliche Anhebung der vertikalen Beleuchtungsstärke im Bereich des Infeldes und den damit verbundenen Infeldleuchtdichten. Zusätzlich reduzierten die linearen Wandfluter die Umfeldleuchtdichten der Innenräume erheblich und ließen somit die Infelder visuell in den Mittelpunkt treten. Das Leuchtdichteverhältnis zwischen dem Infeld und dem dazugehörigen Umfeld wurde bei ungünstigen Infeld-Umfeld Konstellationen verbessert.
- 3) Durch die Verwendung der Strahler und den damit verbundenen direkten Lichtanteilen entstanden punktuelle Blendungserscheinungen mit hohen Infelleuchtdichtewerten, Spiegelungen und scharf zueinander verlaufende, beleuchtete oder verschattete Teilflächenbereiche im Infeld. Sie ließen die hochglanzpolierte Skulptur in den Augen der Probanden „anregender“, „plastischer“, „moderner“ und „auffälliger“ erscheinen.
- 4) Durch die diffuse Abstrahlungscharakteristik einer matten Oberflächenstruktur fielen partielle Leuchtdichteüberschreitungen deutlich großflächiger aus. In Verbindung mit den weichen Übergängen beleuchteter und verschatteter Teilbereiche wurde die matte Skulptur als deutlich „heller“ und „angenehmer“ bewertet.
- 5) Der Einsatz direkter Strahlungssysteme in Verbindung mit linearen Wandflutern, mit einer deutlich niedrigeren Beleuchtungsstärke, schaffte bei einem hellen Umfeld und einem dunklen Infeld ein ausgewogeneres Leuchtdichteverhältnis. Gleichzeitig wurde die Helldominanz des Umfeldes stark reduziert.
- 6) Die Verschmelzung einiger Skulpturenbereiche mit tiefschwarzen Hüllflächen und der sich daraus ergebenden Fragmentierung der Skulptur führte zu einer besonders plastischen Bewertung seitens der Probanden.
- 7) Eine matte Oberflächengestaltung wurde mehrheitlich als gleichmäßiger bewertet. Tendenziell wurden in den Untersuchungsreihen platingraue Ausstellungsräume im Vergleich mit tiefschwarzen Ausstellungsräumen als deutlich gleichmäßiger bewertet.

- 8) Bei identischen Oberflächenbeschaffenheiten zeigten die Untersuchungen eine Tendenz, die matte Oberfläche als heller zu bewerten.

Waren sämtliche Komponenten veränderbar, wurde im direkten Paarvergleich eines weißen oder grauen Ausstellungsraumes mit einem schwarzen Ausstellungsraum der weiße oder graue Ausstellungsraum immer eindeutig mit dem Adjektiv heller bewertet. Die Art der Beleuchtung, die Beleuchtungsstärke, die Farbe der Skulpturen und deren Oberflächenbeschaffenheit hatten keinen Einfluss auf das Bewertungsverhalten.

Der Vergleich zweier identischer Oberflächenausführungen ergab, dass bei einer Beleuchtungsart aus Strahlern und Wandflutern (300/100 Lx) nicht mehr die Hüllflächen den Helligkeitseindruck bestimmten, sondern die Skulptur als eigentliches Infeld.

Im direkten Vergleich eines weißen Ausstellungsraumes mit einem grauen Raum hatten die Art der Beleuchtung und die Oberflächenbeschaffenheit der Skulpturen einen spürbaren Einfluss auf das Bewertungsverhalten.

- 9) Bei der Verwendung direkter Strahlung muss auf eine Umlenkung über ein Spiegelsystem geachtet werden.
- 10) Unter einer Spiegelrasterdeckenbeleuchtung von 300Lx, wurde eine hochglanzpolierte, schwarze Skulptur, in Verbindung mit einem cremeweißen Umfeld, im Rahmen der 48 Paarvergleiche, von den Probanden als eindeutig mit schön bewertet.
- 11) Differierten lediglich die Oberflächenbeschaffenheiten der Skulpturen, so ergaben die Untersuchungen eine hohe Zustimmung, die hochglanzpolierte Skulptur als auffälliger zu bewerten.
- 12) Konnten alle Komponenten im direkten Vergleich variiert werden, so erzielte das Bewertungsadjektiv moderner die aussageschwächsten Ergebnisse.
- 13) In Bezug auf das Bewertungsadjektiv interessanter ergaben die Untersuchungen, dass mit zunehmend dunkleren Hüllflächen die Stimmenanzahl der Probanden abnehmend ist. Dies bezog sich auf Paarvergleiche, in denen lediglich die Oberflächenbeschaffenheit differierte.
- 14) Paarvergleiche, in denen alle Komponenten bis auf die Oberflächen identisch waren, ergaben, dass eine hochglanzpolierte Oberfläche stets mehrheitlich als anregend bewertet wurde. Die Untersuchungen zeigten aber auch, dass die Präsentation vor tiefschwarzen Hüllflächen eine deutliche Reduzierung der Zustimmung verursachte.
- 15) Auf das Gesamtergebnis bezogen, verfügte der 1. Paarvergleich, mit einer Gesamtanzahl von 7 (linker und rechter Innenraum), über die meisten eindeutigen Bewertungen. Gleichzeitig konnte im Rahmen dieses Paarvergleiches allein die rechte Innenraumsituation die meisten eindeutigen Bewertungen (5) auf sich vereinen. Alle fünf Adjektive standen im Rahmen der Untersuchungen für eine hochglanzpolierte Oberflächenausführung.

Die sehr detaillierten Untersuchungsreihen zeigen die visuellen Reaktionen und engen Zusammenhänge zwischen einer Natursteinskulptur in einem monochromen Umfeld auf der einen Seite und dem Betrachter auf der anderen Seite auf.

Zusätzlich erlauben die Untersuchungen eine allgemeingültige Empfehlung über eine möglichst optimierte visuelle Präsentation.

Empfehlung

Lichtsystem:	SPIEGELRASTERDECKE
--------------	--------------------

Um eine möglichst ausgewogene Ausleuchtung der Exponate zu gewährleisten, empfiehlt es sich, eine Spiegelrasterdecke mit Leuchtstofflampen oder alternativ mit LED zu wählen. Sie gewährt mit Ihren gerichteten Lichtmengenanteilen ein sehr gleichmäßiges und ausgewogenes visuelles Erscheinungsbild.

Beleuchtungsstärke:	1000 Lx
---------------------	---------

Zusammenfassend wird eine Beleuchtungsstärke von 1000 Lx empfohlen. Sie erzeugt Umfeldleuchtdichten von 12,7 cd/m² (tiefschwarz), 101,9 cd/m² (platingrau) und 245,1 cd/m² (cremeweiß). Eine Beleuchtungsstärke von 1000 Lx versorgt zudem die Skulptur mit einer höheren, notwendigen vertikalen Infeldhelligkeit.

Farbe Hüllflächen:	PLATINGRAU (RAL 7036)
--------------------	-----------------------

Mit einem Reflexionsgrad von 32 % stellt die platingraue Hüllfläche den visuell stimmigsten Farbton im Hinblick auf eine optimierte visuelle Umfeldhelligkeit dar. Bei einer Beleuchtungsstärke von 1000 Lx verfügt sie über eine Umfeldleuchtdichte von 101,9 cd/m².

Material:	NATURSTEIN MATT
-----------	-----------------

Die Untersuchungen haben eindeutig gezeigt, dass matte Oberflächenausführungen hohe, natürliche visuelle Erscheinungen erzeugen. Zudem führt die diffuse Abstrahlungscharakteristik zu einer durchwegs helleren, visuellen Gesamterscheinung.

Variable Raumhelligkeiten:	HELL- DUNKEL
----------------------------	--------------

Aufgrund der klaren dreidimensionalen Formensprache der Skulpturen, kann deren Informationswert durch eine zusätzliche Anhebung der Beleuchtungsstärke nicht wesentlich gesteigert werden.

Bei kleineren und weniger aussagefähigeren Ausstellungsstücken kann hingegen durch eine Anhebung der Beleuchtungsstärke ein höherer Informationsgehalt gewonnen werden.

Diese Arbeit zeigt auf, wie 30 Probanden, innerhalb festgelegter Vorgaben, visuelle Paarvergleiche bewerteten und einschätzten.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass jeder Paarvergleich von den Probanden eine individuelle Bewertung der vorgegebenen visuellen Gesamtsituation abverlangte.

Alle 48 visuellen Paarvergleiche sind demnach im Hinblick auf Ihre Untersuchungsergebnisse separat zu betrachten und zeigen den Zusammenhang zwischen dem visuellen Infeld und Umfeld, dem Licht, dem Material und den Oberflächen auf.

Es soll somit ein erster Einblick ermöglicht werden, in wie weit verschiedene Natursteinskulpturen mit matten und glänzenden Oberflächenausführungen, unter verschiedenen Lichtverhältnissen in wechselnden monochromen Innenräumen, durch einen Betrachter subjektiv visuell eingestuft und bewertet wird.

Realbildaufnahmen, Leuchtdichteaufnahmen und beleuchtungstechnische Messdaten sollen diese Bewertungen vervollständigen und ergänzen.

Quellenhinweise zu den Abbildungen:

ÄGYPTISCHES MUSEUM UND PAPYRUSSAMMLUNG BERLIN

Bode Straße 1-3, 10178 Berlin, Stand Dez. 2007

Direktor: Prof. Dr. Dietrich Wildung

Abb. Schreiberfigur / Ptolemaios`X / Sesostris III / Sachmet

Seite 1 von 5, 2 von 5, 4 von 5,

(/48/, /49/, /50/, /51/)

Allgemeine Psychologie II

Prof. Dr. Claus-Christian Carbon, University of Vienna, Austria

Faculty of Psychology, Dept. Psychological Basic Research, 2007

Abb. Seiten 2/8/9/16

(/19/, /20/, /23/)

Bauen mit Tageslicht - Bauen mit Kunstlicht

Bartenbach L'chtLabor

von Roland Gfeller Corthésy

Friedr. Vieweg & Sohn, 1998

Abb. Seiten 28/67/63

(/1/, /3/, /4/)

Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen

Die wichtigsten Neuerungen in der DIN EN 12464-1

TRILUX-LENZE GmbH+Co KG

Heidestraße D-59759 Arnsberg, Postfach 1960 D-59753 Arnsberg

Abb. Seiten 24/45/91

(/13/, /27/)

CNF

Centrum für Nanoanalytik, Universität des Saarlandes

(/52/)

Der visuelle Raum als Produkt aus Imagination und ökologischer Optik

Prof. Christian Bartenbach & Dr. Walter Witting

Bartenbach LichtLabor, Innsbruck

Abb. Seite 2

(/18/)

Deutscher Zukunftspreis

Preis des Bundespräsidenten für Technik und Innovation

Licht aus Kristallen – Leuchtdioden erobern unseren Alltag

Dr. Klaus Streubel (Sprecher), Dr. Stefan Illek

Osram Opto Semiconductors, Regensburg, Dr. Andreas Bräuer

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Jena

Nominiert zum Deutschen Zukunftspreis 2007, Abb. Seite 10

(/67/)

Dr. Moll PRÜFINSTITUT UND INGENIEURBÜRO seit 1924

Dr. Moll GmbH&Co. KG, Sattlerstraße 42, 30916 Isernhagen

Alle Mikroskopischen Aufnahmen

(/86/, /87/, /88/, /89/, /90/, /91/, /92/, /93/, /94/, /95/, /96/, /97/, /98/, /99/)

Form des Texturgradienten

http://www.supplement.de/3d_wahrnehmung/tiefenwahrn1.html

(/21/)

Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik

Mikrooptik für LED-Lichtquellen, Jahresbericht 2007

Dr. Andreas Bräuer, Dr. Peter Dannberg, Dr. Sergey Kudaev, Dr. Dirk Michaelis

Dr. Peter Schreiber, Dr. Uwe Detlef Zeitner, Abb. Seiten 33/35/36

(/60/, /61/, /63/, /64/, /65/, /66/)

Grundlagen der Beleuchtung

Ch. Vogt (deutsche Schweiz), Prof. J.-L. Scartezzini

Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft, Bern

Bundesamt für Konjunkturfragen, 3003 Bern, 1994

Abb. Seiten 13/15

(/12/, /13/)

Handbuch der Lichtplanung

ERCO Edition, ERCO Leuchten GmbH, Lüdenscheid

Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden

Rüdiger Ganslandt, Harald Hofmann, 1. Auflage 1992

Abb: Grafiken, Seiten 74/77

(/5/, /6/, /28/)

Handbuch für Lichtgestaltung

Lichttechnische und wahrnehmungspsychologische Grundlagen

Christian Bartenbach, Walter Witting

Springer Wien New York, 2009

Abb. Seite 188

(/25/)

Hessisches Institut Für Baustoffprüfungen HIB

Otto-Hahn-Straße 20, D-34253 Lohfelden (Kassel)

Prüfbericht zur Labor-Nr. 0111/06, Abb. Seite 2

Prüfbericht zur Labor-Nr. 0404/06, Abb. Seite 2

(/77/, /78/, /79/, /80/, /81/, /81/, /82/, /83/, /84/, /85/, /100/, /101/, /102/, /103/, /104/, /105/, /106/, /107/, /108/)

Jahrbuch Licht und Architektur 2001/2002

Prof. Dr. Ingeborg Flagge

Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln 2002

Tageslicht oder Kunstlicht, Prof. Christian Bartenbach, Dr. Walter Witting

Abb: Seite 163

(/2/)

Lichtemittierende Dioden als Raumbelichtung, Prof. Christian Bartenbach

Dr. Walter Witting, Abb: Seite 181/182/183/184/185

(/53/, /54/, /55/, /56/, /57/, /58/)

Lichtakademie Bartenbach

LED Grundlagen, Prof. Christian Bartenbach,

Rinnerstraße 14, A-6071 Aldrans, Innsbruck, 2007

(/71/, /72/)

Licht für Kunst und Kultur

Zumtobel Staff GmbH, Dornbirn/A, 2001

Abb. Seiten 82/83

(/30/, /31/, /32/, /33/, /34/)

Licht-Raum Raum-Licht: die Inszenierung der Räume mit Licht

Rudolf Schricker

Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart 1994

Abb. E.4

(/29/)

Licht und Raummilieu

Prof. Christian Bartenbach, Dr. Walter Witting

Bartenbach LichtLabor GmbH, Rinnerstraße 14, A-6071 Aldrans, Innsbruck, 2001

Abb. Seiten 2/4/7

(/15/, /26/)

Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V.

Pressereferat, Postfach 10 10 62, 80084 München, 2. Februar 2000

Abb. Seite 3

(/44/)

Photonik 3/2005, Inkohärente Lichtquellen

Mikrooptik für LED-Lichtquellen

Dr. Peter Schreiber, Dr. Sergey Kudaev, Fraunhofer IOF, Jena, Seite 80/81

(/59/, /62/)

PRÜFUNGSGESELLSCHAFT FÜR

STRASSEN- UND TIEFBAU mbH & Co. KG

Ernest-Solvay Straße 1, 06406 Bernburg

Prüfbericht-Nr. 0239 / GSP 0912-3 / 03

(/109/, /110/, /111/, /112/, /113/, /114/)

SKULPTUR

Von der Antike bis zur Gegenwart

8. Jahrhundert v. Chr. bis 20. Jahrhundert

von Georges Duby und Jean-Luc Daval

TASCHEN GmbH, Hohenzollernring 53, D-50672 Köln, 2006

Abb. Seiten 757/ 1098 / 1099

(/45/, /46/, /47/)

Teilbericht Licht und Architektur

Prof. Dr.-Ing. Architekt Volkher Schultz, Detmold

Lichtplanung und Architektur

Abb. Seiten 65/66/67/68/A43/A44/A70

(/7/, /8/, /9/, /10/, /11/, /35/, /36/, /37/)

Verlag moderne industrie GmbH

Justus-von-Liebig-Str. 1, 86899 Landsberg

Rohstoffe, Machbarkeit bewiesen, LED-Linsen aus Polycarbonat

Autoren: Olaf Zöllner, Rainer Protte, Dr. Martin Döbler

Business Unit Polycarbonates, Bayer Materialscience, Leverkusen Februar 2008,

Abb. Seiten 36/37/38

(/68/, /69/, /70/)

Von der Helligkeit zur Wahrnehmung

Prof. Christian Bartenbach, Dr. Walter Witting

Bartenbach LichtLabor GmbH, Rinnerstraße 14, A-6071 Aldrans, Innsbruck

Abb. Seite 3

(/24/)

Wahrnehmen – ein Lehrbuch

Prof. Dr. Rainer Guski, Ruhr-Universität-Bochum

Stuttgart: Kohlhammer, Netzversion Stand: 01.12.2006

Abb. Seite 7, Abb. Seite 8, Kap. 6_3// Abb. Seite 3, Kap. 4_1// Abb. Seite 2, Kap.
6_23// Abb. Seite 4, Kap. 6_23// Abb. Seite 18, Kap. 6_23

(/22/, /38/, /39/, /40/, /41/, /43/)

Wahrnehmungspsychologie

E. Bruce Goldstein

Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin 2002

Abb. Seiten 77/79/168/235

(/16/, /17/, /42/)

Quellenhinweise zu den Zitaten:

**Bauen mit Tageslicht - Bauen mit Kunstlicht
Bartenbach L'chtLabor**

von Roland Gfeller Corthésy
Friedr. Vieweg & Sohn, 1998, Seite 30 (2)

Beleuchtung von Arbeitstätten in Innenräumen

Die wichtigsten Neuerungen in der DIN EN 12464-1
TRILUX-LENZE GmbH+Co KG
Heidestraße D-59759 Arnsberg, Postfach 1960 D-59753 Arnsberg, Seite 23 (3, 4)

Dr. Moll PRÜFINSTITUT UND INGENIEURBÜRO seit 1924

Dr. Moll GmbH&Co. KG, Sattlerstraße 42, 30916 Isernhagen
Petrografische Beschreibung von Natursteinen in Anlehnung an DIN EN 12407 vom
August 2000 sowie DIN EN 1341 vom März 2000 und DIN EN 12607 vom Februar
1997, Probe G603 (23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30)

Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik

Mikrooptik für LED-Lichtquellen, Jahresbericht 2007
Dr. Andreas Bräuer, Dr. Peter Dannberg, Dr. Sergey Kudaev, Dr. Dirk Michaelis
Dr. Peter Schreiber, Dr. Uwe Detlef Zeitner, Seiten 32/36 (16, 17, 18, 20)

Handbuch der Lichtplanung

ERCO Edition, ERCO Leuchten GmbH, Lüdenscheid
Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden
Rüdiger Ganslandt, Harald Hofmann, 1. Auflage 1992, S. 78 (11)

Hessisches Institut Für Baustoffprüfungen HIB

Otto-Hahn-Straße 20, D-34253 Lohfelden (Kassel)
Prüfbericht zur Labor-Nr. 0111/06, Prüfbericht zur Labor-Nr. 0404/06 (22, 31, 42)

Jahrbuch Licht und Architektur 2001/2002

Prof. Dr. Ingeborg Flagge
Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln 2002
„Lichteimitierende Dioden als Raumbelichtung“
Prof. Christian Bartenbach, Dr. Walter Witting, Seite 182 (15)

LICHT UND ERGONOMIE

Projekt Tageslicht
Dr. A. E. Cakir, Dipl.-Ing. Gisela Cakir
ERGONOMIC INSTITUT für Arbeits- und Sozialforschung, Berlin, Seite E9 (10)

Licht und Raummilieu

Prof. Christian Bartenbach, Dr. Walter Witting
Bartenbach LichtLabor GmbH, Rinnerstraße 14, A-6071 Aldrans, Innsbruck, 2001
Seite 4 (8)

Ökologische Optik

Prof. Christian Bartenbach, Dr. Walter Witting
Bartenbach LichtLabor GmbH, Rinnerstraße 14, A-6071 Aldrans, Innsbruck, 2001
Seite 1 (6)

Photonik 3/2005, Inkohärente Lichtquellen

Mikrooptik für LED-Lichtquellen
Dr. Peter Schreiber, Dr. Sergey Kudaev, Fraunhofer IOF, Jena, Seite 81 (19)

PRÜFUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND TIEFBAU mbH & Co. KG

Ernest-Solvay Straße 1, 06406 Bernburg
Prüfbericht-Nr. 0239 / GSP 0912-3 / 03 (32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41)

SKULPTURENSAMMLUNGEN.DE

Dr. Marc Wellmann
Kurator der Bernhard-Heiliger-Stiftung
Käuzchensteig 8, 14195 Berlin
Ausdruck Seiten 1 von 3/ Seite 2 von 3 (13, 14)

Tages- und Kunstlicht im Museum

Prof. Christian Bartenbach, Dr. Walter Witting
Bartenbach LichtLabor GmbH, Rinnerstraße 14, A-6071 Aldrans, Innsbruck 2001
Seiten 3/5 (1, 5)

Teilbericht Licht und Architektur

Prof. Dr.-Ing. Architekt Volkher Schultz, Detmold
Lichtplanung und Architektur
Seiten A 42/70 (9, 12)

Theorien der visuellen Wahrnehmung

Dr. Peter Wolff, Universität Osnabrück, Seite 36 (7)

Verlag moderne industrie GmbH

Justus-von-Liebig-Str. 1, 86899 Landsberg
Rohstoffe, Machbarkeit bewiesen, LED-Linsen aus Polycarbonat
Autoren: Olaf Zöllner, Rainer Protte, Dr. Martin Döbler
Business Unit Polycarbonates, Bayer Materialscience, Leverkusen Februar 2008
Seite 37 (21)

Verwendete Quellen:

ÄGYPTISCHES MUSEUM UND PAPYRUSSAMMLUNG BERLIN

Bode Straße 1-3, 10178 Berlin, Stand Dez. 2007

Direktor: Prof. Dr. Dietrich Wildung

Allgemeine Psychologie II

Prof. Dr. Claus-Christian Carbon, University of Vienna, Austria

Faculty of Psychology, Dept. Psychological Basic Research, 2007

Außeninstitut der RWTH Aachen

Kooperationspartner der Universitäten Duisburg-Essen-Münster-Bonn-Braunschweig

Geschäftsleitung:

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Brill, Dr. Richard Klein, Prof. Dr. Kollmeier

Bauen mit Tageslicht - Bauen mit Kunstlicht

Bartenbach L'chtLabor

von Roland Gfeller Corthésy

Friedr. Vieweg & Sohn, 1998

Beleuchtung von Arbeitstätten in Innenräumen

Die wichtigsten Neuerungen in der DIN EN 12464-1

TRILUX-LENZE GmbH+Co KG

Heidestraße D-59759 Arnsberg, Postfach 1960 D-59753 Arnsberg

Dr. Moll PRÜFINSTITUT UND INGENIEURBÜRO seit 1924

Dr. Moll GmbH&Co. KG, Sattlerstraße 42, 30916 Isernhagen

Petrografische Beschreibung von Natursteinen in Anlehnung an DIN EN 12407 vom

August 2000 sowie DIN EN 1341 vom März 2000 und DIN EN 12607 vom Februar

1997, Probe G603

Der visuelle Raum als Produkt aus Imagination und ökologischer Optik

Prof. Christian Bartenbach & Dr. Walter Witting

Bartenbach LichtLabor, Innsbruck

Form des Texturgradienten

http://www.supplement.de/3d_wahrnehmung/tiefenwahrn1.html

Fraunhofer Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik

Mikrooptik für LED-Lichtquellen, Jahresbericht 2007

Dr. Andreas Bräuer, Dr. Peter Dannberg, Dr. Sergey Kudaev, Dr. Dirk Michaelis

Dr. Peter Schreiber, Dr. Uwe Detlef Zeitner, Seite 32-37

Grundlagen der Beleuchtung

Ch. Vogt (deutsche Schweiz), Prof. J.-L. Scartezzini

Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft, Bern

Bundesamt für Konjunkturfragen, 3003 Bern, 1994

Handbuch der Lichtplanung

ERCO Edition, ERCO Leuchten GmbH, Lüdenscheid
Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden
Rüdiger Ganslandt, Harald Hofmann, 1. Auflage 1992

Handbuch für Lichtgestaltung

Lichttechnische und wahrnehmungspsychologische Grundlagen
Christian Bartenbach, Walter Witting
Springer Wien New York, 2009

Hessisches Institut Für Baustoffprüfungen HIB

Otto-Hahn-Straße 20, D-34253 Lohfelden (Kassel)
Prüfbericht zur Labor-Nr. 0111/06, Prüfbericht zur Labor-Nr. 0404/06

Jahrbuch Licht und Architektur 2001/2002

Prof. Dr. Ingeborg Flagge
Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln 2002

LGA Bautechnik GmbH

Ein Unternehmen der LGA – Körperschaft des öffentlichen Rechts

Fachartikel: Natursteine aus China
Autor: Dipl.-Lab.-Chem. Claudia Steiner und Dipl.-Ing. Walter Mauer

Lichtakademie Bartenbach

LED Grundlagen, Prof. Christian Bartenbach,
Rinnerstraße 14, A-6071 Aldrans, Innsbruck, 2007

Licht für Kunst und Kultur

Zumtobel Staff GmbH, Dornbirn/A, 2001

Licht-Raum Raum-Licht: die Inszenierung der Räume mit Licht

Rudolf Schricker
Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart 1994

LICHT UND ERGONOMIE

Projekt Tageslicht
Dr. A. E. Cakir, Dipl.-Ing. Gisela Cakir
ERGONOMIC INSTITUT für Arbeits- und Sozialforschung, Berlin

Licht und Raummilieu

Prof. Christian Bartenbach, Dr. Walter Witting
Bartenbach LichtLabor GmbH, Rinnerstraße 14, A-6071 Aldrans, Innsbruck, 2001

Ökologische Optik

Prof. Christian Bartenbach, Dr. Walter Witting
Bartenbach LichtLabor GmbH, Rinnerstraße 14, A-6071 Aldrans, Innsbruck, 2001

Photonik 3/2005, Inkohärente Lichtquellen

Mikrooptik für LED-Lichtquellen
Dr. Peter Schreiber, Dr. Sergey Kudaev, Fraunhofer IOF, Jena, Seite 80-82

Prcenter.de - Das Online-Presszentrum

Technik, Wissenschaft & Forschung
Geschäftsführer: Moritz Schlotterbeck
Hintergasse 18, D-55270 Jugenheim bei Mainz
Autor: Sebastian Fleischmann, Kastellstr. 53, 74080 Heilbronn

**PRÜFUNGSGESELLSCHAFT FÜR
STRASSEN- UND TIEFBAU mbH & Co. KG**

Ernest-Solvay Straße 1, 06406 Bernburg
Prüfbericht-Nr. 0239 / GSP 0912-3 / 03

SKULPTURENSAMMLUNGEN.DE

Dr. Marc Wellmann
Kurator der Bernhard-Heiliger-Stiftung
Käuzchensteig 8, 14195 Berlin

Tages- und Kunstlicht im Museum

Prof. Christian Bartenbach, Dr. Walter Witting
Bartenbach LichtLabor GmbH, Rinnerstraße 14, A-6071 Aldrans, Innsbruck, 2001

Teilbericht Licht und Architektur

Prof. Dr.-Ing. Architekt Volkher Schultz, Detmold
Lichtplanung und Architektur

Theorien der visuellen Wahrnehmung

Dr. Peter Wolff
Universität Osnabrück

Verlag moderne industrie GmbH

Justus-von-Liebig-Str. 1, 86899 Landsberg
Rohstoffe, Machbarkeit bewiesen, LED-Linsen aus Polycarbonat
Autoren: Olaf Zöllner, Rainer Protte, Dr. Martin Döbler
Business Unit Polycarbonates, Bayer Materialscience, Leverkusen Februar 2008

Von der Helligkeit zur Wahrnehmung

Prof. Christian Bartenbach, Dr. Walter Witting
Bartenbach LichtLabor GmbH, Rinnerstraße 14, A-6071 Aldrans, Innsbruck, 2001

Wahrnehmen – ein Lehrbuch

Prof. Dr. Rainer Guski, Ruhr-Universität-Bochum
Stuttgart: Kohlhammer, Netzversion Stand: 01.12.2006

Wahrnehmungspsychologie

E. Bruce Goldstein
Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin 2002