

**Computergestütztes dreidimensionales Farb-,
Material- und Lichtentwurfswerkzeug für die
Entwurfsplanung in der Architektur**

Diplomarbeit Christian Tonn

Diplomarbeit an der Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Architektur
SS 2005

eingereicht von
Christian Tonn
Matrikelnummer 990984

Gutachter:

Professur Informatik in der Architektur
Prof. Dr.-Ing. Dirk Donath

Professur Entwerfen und Innenraumgestaltung
Prof. Dr.-Ing. habil. Egon Schirmbeck

Weimar, den 11. Juli 2005

Christian Tonn

Danksagung

Die vorliegende Diplomarbeit entstand am Lehrstuhl Informatik in der Architektur der Bauhaus-Universität Weimar. An dieser Stelle möchte ich allen meinen herzlichen Dank aussprechen, die mich bei dieser Arbeit gefördert und unterstützt haben.

Herrn Prof. Dr.-Ing. D. Donath danke ich für die Betreuung, seine wertvollen Hinweise und Anregungen. Weiterhin bin ich den Mitarbeitern des Lehrstuhls Informatik in der Architektur, insbesondere den Herren Juniorprofessor Dr.-Ing. F. Petzold, Dipl.-Ing. C. Spiekermann und Dipl.-Inf. T. Thurow für ihre wertvolle Hilfe und fachliche Diskussionen zu Dank verpflichtet. Frau Dipl.-Ing. C. Nitschke danke ich für die Einblicke in die praktische Tätigkeit beim Farb- und Materialentwurf des Architekturbüros Nitschke - Donath.

Bei Herrn Dipl.-Ing. J. O. Weber bedanke ich mich für die Nutzung seines 3D-Modells, welches er im Rahmen seiner Diplomarbeit erstellt hat. Nicht zuletzt möchte ich Herrn Dr.-Ing. F. Tonn, Frau F. Müller und Herrn Dipl.-Ing. J. Braunes für die zeitaufwendige Arbeit des Korrekturlesens dieser Arbeit danken.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Präambel.....	7
1.2	Zielstellung.....	7
2	Literaturrecherche zur Farbgestaltung	8
2.1	Farbtheorien.....	8
2.1.1	Isaac Newton (1642-1726).....	9
2.1.2	Johann Wolfgang von Goethe (1749 –1832).....	9
2.1.3	Albert Henry Munsell (1858-1918).....	11
2.1.4	Johannes Itten (1888-1967).....	12
2.2	Technische Farbsysteme.....	18
2.3	Untersuchungen zur Farbpräferenz.....	21
2.4	Architektonische Anforderungen für den Farbwurf.....	22
2.4.1	Raumerlebnis.....	22
2.4.2	Farbwärme, Sättigung, Helligkeit.....	22
2.4.3	Farbwirkungen.....	23
2.4.4	Gebrauchsfunktion der Farbe.....	24
2.5	Farbassoziationen.....	25
2.6	Planung in Architekturbüros.....	27
3	Analyse kommerziell verfügbarer Softwarelösungen	29
3.1	Lightscape 3.2.....	29
3.2	DIALux 3.1.....	31
3.3	Piranesi 3.....	32
3.4	CorelDraw 10.....	34
3.5	Fazit der Analyse.....	35

4	Konzeption einer eigenen Softwarelösung	36
4.1	Gliederung des Programms	36
4.2	Vorstudien zur Farbwahl	37
4.3	Gebäudegliederung und übergeordnete Farbzuzuweisungen	39
4.4	Farbuntersuchung	40
4.4.1	Dialog zur Farbwahl	40
4.4.2	Intelligente Materialien	41
4.4.3	Dialog zu den Farbharmonien	43
4.4.4	Dialog zur Farbharmonie nach Nemcsics	46
4.4.5	Schnittlinien und Rahmen	47
4.4.6	Objektorientiertes Bauwerksmodell - BIM	48
4.5	Farbbewertung	49
4.5.1	Visualisierung mit POV-Ray	49
4.5.2	Abwicklung	52
4.6	Farbumsetzung	54
4.6.1	Raumkarteikarten	55
4.6.2	Musterflächendruck	55
4.6.3	Smartprojektor	57
5	Prototypische Umsetzung – Beschreibung der Software	58
5.1	Softwaretechnische Spezifikationen	58
5.2	Aufbau der Nutzeroberfläche	59
5.3	Beschreibung der Steuerelemente	59
5.3.1	Werkzeugleisten	59
5.3.2	Farbwahlleiste	62
5.3.3	Farbharmonieleiste	63
5.4	Mausinteraktionen	64

5.5	Einstellungen von POV-Ray	66
5.6	Abwicklung	67
6	Demonstration der Funktionalität an Anwendungsbeispielen	68
6.1	Farbkomposition eines Raumes	68
6.2	Farbkompositionen in einer aufgemessenen Architektur.....	72
7	Diskussion der Softwarelösung	78
8	Zusammenfassung und Ausblick	79
9	Anhang	81
9.1	Literaturverzeichnis	81
9.2	Verzeichnis der Web-Seiten im Internet	82
9.3	Abbildungsverzeichnis.....	83
9.4	Tabellenverzeichnis.....	86
9.5	Thesen der Diplomarbeit	87
9.6	Eidesstattliche Erklärung.....	88

1 Einleitung

1.1 Präambel

In der Entwurfsarbeit von Architekturbüros gibt es zwei Herangehensweisen, um Farb-, Material- und Lichtgestaltungen für Projekte zu entwerfen: die analoge und die digitale Planung. Derzeit verwenden Architekturbüros für Farb- und Materialkonzepte einfache Strichzeichnungen, welche mit Buntstiften und Farbfächern koloriert werden. Im Anschluss daran werden entsprechende Musterflächen auf der Baustelle erstellt, um die reale Farb- und Materialwirkung zu kontrollieren. Auf der anderen Seite verwenden spezialisierte Büros professionelle Visualisierungs- und Simulationssoftware, wobei ein hohes Maß an Fachwissen und Erfahrung im Umgang mit den Programmen notwendig ist. Zwischen diesen beiden Extremen gibt es verschiedene mehr oder minder professionelle Software, um den Planer bei seinem Farbwurf zu unterstützen. Die Arbeit bildet im Rahmen eines Forschungsthemas am Lehrstuhl Informatik in der Architektur (InfAR) [ICCCBE 2004, eCAADe 2004] einen integralen Bestandteil im Bemühen um eine Plausibilität von Architekturlösungen.

1.2 Zielstellung

Aufbauend auf einer Analyse der architektonischen Anforderungen, verfügbarer Softwarelösungen und aktueller Forschungsaktivitäten wird ein Konzept erarbeitet, welches den Architekten beim Farb-, Material- und Lichtentwurf unterstützt. Durch optimierte Werkzeuge und Darstellungen soll ein Werkzeug zur Farb- und Materialgestaltung entworfen werden. Die Einbeziehung technisch korrekter Farbsysteme, wie RAL, DIN, CIE Lab, Munsell, CYMK, RGB, LAB und HSB, erlaubt die Farbwürfe bis zur Ausführung ohne Verluste umzusetzen. Hinweise für bewährte Farbkombinationen, Farbharmonien und Farbkontraste sind zur Erleichterung des Farbentwurfs vorgesehen. Durch praxisnahe Ausgaben, wie Raumkarten und Musterflächenausdrucke, wird der Architekt bis zur Ausführung des Planungsprojektes unterstützt.

Anhand des zu erarbeitenden Konzeptes sollen ausgewählte Teile und Funktionen der Softwarelösung mit Visual C++ umgesetzt werden. Die Plattform hierfür ist die modularisierte Softwareunterstützung für das architektonische Planen im Bestand¹. Auf der Basis des Serverkonzeptes „Freak“ erlaubt dieser Ansatz eine integrierte, verteilte Arbeit im Prozess der Modellentwicklung. In verschiedenen Testszenarien werden abschließend der Funktionsumfang des Softwareprototypen dargestellt und die erreichten Ergebnisse diskutiert.

¹ © Bauhaus Universität Weimar, Fakultät Architektur, Lehrstuhl InfAR

2 Literaturrecherche zur Farbgestaltung

Der Farb- und Materialentwurf von Architektur ist ein hoch komplexes und vielschichtiges Thema, welches in der vorliegenden Arbeit nicht erschöpfend behandelt werden kann. Es sollen vielmehr ausgewählte Aspekte beleuchtet werden, welche die Plausibilität im Planungsprozess unterstützen. Viele große Persönlichkeiten, wie Goethe, Itten, Albers, Küppers und Nemcsics, haben sich zum Thema Farbe geäußert und ihre eigenen Theorien entwickelt. Im Folgenden sollen übersichtsartig einige Farbtheorien mit ihren Farbharmonien und Farbkontrasten vorgestellt werden.

2.1 Farbtheorien

Theorien zur Bedeutung und Harmonie der Farben finden sich bereits in der Antike [virtual color museum 1999: Pythagoras, Aristoteles und Platon]. In diesem Kapitel sollen Theorien zur Farbgestaltung auf der Grundlage von Farbkreisen und festgelegten Farbräumen vorgestellt werden, welche für das Thema dieser Diplomarbeit wichtig erscheinen. So werden die Arbeiten von Isaac Newton, Johann Wolfgang von Goethe, Albert Henry Munsell und Johannes Itten kurz vorgestellt.

Weitere Farbsysteme bedeutender Persönlichkeiten sollen an dieser Stelle nur genannt werden: Farbsysteme von Pythagoras, Aristoteles, Platon, Robert Grosseteste, Leon Battista Alberti, Leonardo da Vinci, Aron Sigfrid Forsius, Franciscus Aguilonius, Robert Fludd, Athanasius Kircher, Richard Waller, Tobias Mayer, Moses Harris, Johann Heinrich Lambert, Ignaz Schiffermüller, James Sowerby, Philipp Otto Runge, Charles Hayter, Michel Eugène Chevreul, George Field, James Clerck Maxwell, Hermann von Helmholtz, William Benson, Wilhelm von Bezold, Wilhelm Wundt, Ewald Hering, Charles Blanc, Nicholas Odgen Rood, Charles Lacouture, Alois Höfler, Hermann Ebbinghaus, Robert Ridgway, Wilhelm Ostwald, Michel Jacobs, Max Becke, Arthur Pope, Edwin G. Boring, R. Luther, N. D. Nyberg, S. Rösch, Douglas L. MacAdam, Walter S. Stiles, Faber Birren, Tryggve Johansson, Aemilius Müller, Alfred Hickethier, Sven Hesselgren, Antal Nemcsics, J. Frans Gerritsen und Michel Albert-Vanel. Sie sind im Internet unter [virtual color museum 1999] zu finden.

Quellen: [virtual color museum 1999], [Heck 2002], [Küppers 1989], [Itten 1987], [Stromer 1998]

2.1.1 Isaac Newton (1642-1726)

Im Jahre 1704 publizierte Isaac Newton in seinem Buch „Opticks“ den ersten Farbkreis der Geschichte (siehe Abb. 2-1). Nachdem er weißes Licht durch ein Prisma in seine linearen Spektralfarben zerlegt hatte, verband er das kurzwelligere Violett mit dem langwelligen Rot zu einem Farbkreis. Mit Newtons Kreisform war der Schritt vollzogen, das lineare Licht in die zweidimensionale Farbfläche zu überführen. Newtons sieben Grundfarben Rot, Orange, Gelb, Grün, Zyanblau, Ultramarinblau und Violettblau spiegeln in ihren Größenverhältnissen im Farbkreis ihre Wellenlängenbereiche wieder.

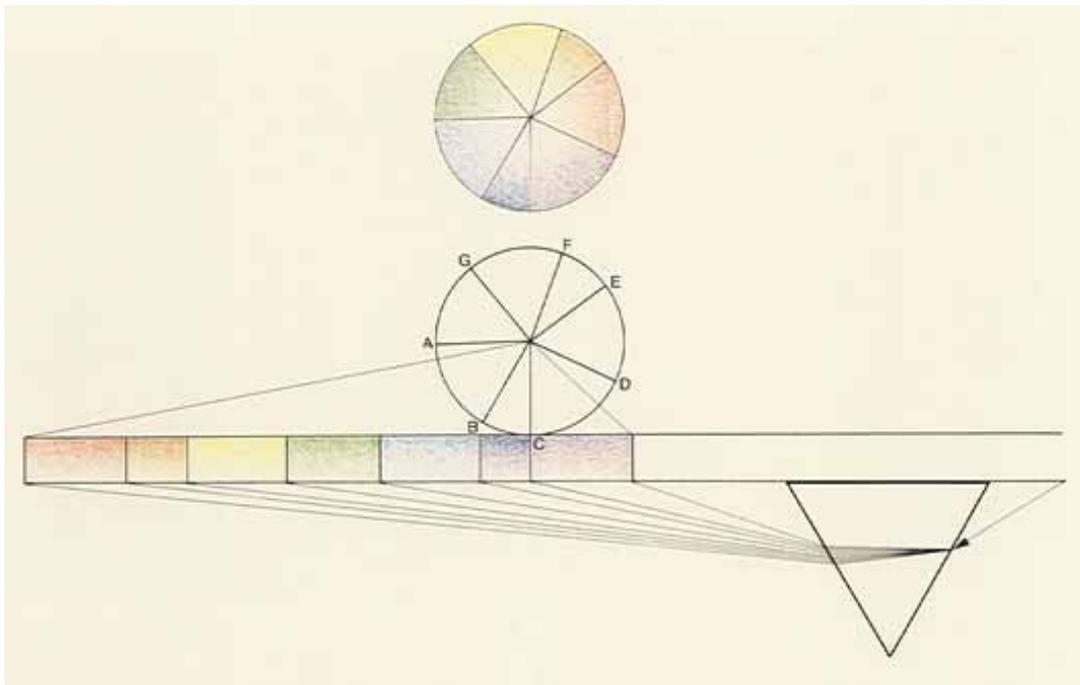


Abb. 2–1 [Stromer 1998 S. 35] Newtons Farbkreis

2.1.2 Johann Wolfgang von Goethe (1749 –1832)

Ausgehend von Newtons Farbkreis schuf Goethe etwa 100 Jahre später sein Farbdia-gramm. Es besteht aus den drei Primärfarben Rot, Blau und Gelb. Dazwischen befinden sich die Sekundärfarben Orange, Violett und Grün. Goethe teilte seinen Farbkreis in eine „Plus-Seite“ mit Gelb, Orange und Rot sowie eine „Minus-Seite“ bestehend aus Violett, Blau und Grün. Die beiden Seiten bedingen einander wechselseitig. Goethe versuchte das physikalische Farbsystem von Newton zu überwinden. Er beschäftigte sich in seiner Farbenlehre, welche er von 1791 bis 1810 schrieb, mit der sinnlich-sittlichen Wirkung der Farbe. Durch die Verwendung von drei Farbkategorien, dem Mächtigen, dem Sanften und dem Glänzenden, analysierte und ordnete er die Farbpsychologie der Farben. Goethe konnte Newtons Farbtheorie nicht ersetzen. Beide näherten sich dem Thema Farbe auf unterschiedliche Art und Weise, und beschrieben sie aus verschiedenen Blickwinkeln.

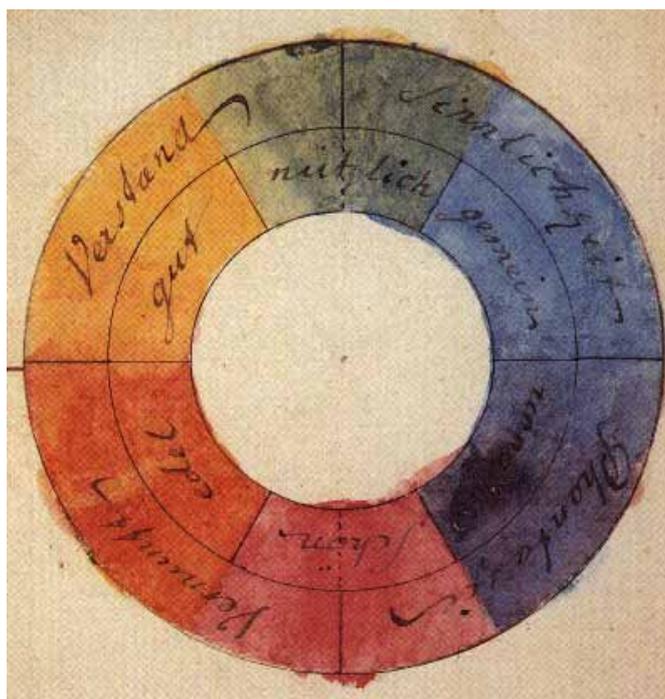


Abb. 2–2 [virtual color museum 1999] Goethes Farbkreis

Goethes Harmonieempfinden basierte sehr stark auf Komplementärfarben, welche auch Gegenfarben genannt werden. Blickt man längere Zeit auf eine farbige Fläche und schließt anschließend die Augen, so sieht man für kurze Zeit an derselben Stelle die Gegenfarbe zur gerade betrachteten Farbe.

Goethe bezeichnet Drittelsprünge in seinem Farbkreis als „charakteristisch“, d.h. grün und orange oder rot und gelb können zwar auch harmonisch wirken, ihnen fehlt jedoch etwas zur richtigen Harmonie.

Nach [Heck 2002] definierte Goethe auch einen Quantitätskontrast, welcher sich wie folgt darstellt: Der Quantitätskontrast ist das Farbmengenverhältnis oder Größenverhältnis von zwei oder mehreren Farbflächen zueinander. Er wird durch die Leuchtkraft und die Flächengröße definiert. Voll gesättigte Farben haben unterschiedliche Leuchtwerte vor einem neutralen grauen Hintergrund. Goethe hat folgende Lichtwerte festgehalten:

Gelb : Orange : Rot : Violett : Blau : Grün stehen im Verhältnis:

9 : 8 : 6 : 3 : 4 : 6 .

Will man diese Lichtwerte als Flächengrößen verwenden, so müssen sie reziprok berechnet werden. Als Beispiel verlangt das dreimal so starke Gelb eine dreimal kleinere Fläche als Violett. Die harmonischen Flächengrößen sind also:

3 : 4 : 6 : 9 : 8 : 6 .

2.1.3 Albert Henry Munsell (1858-1918)

Der Amerikaner Munsell baute seinen Farbkreis auf den fünf Farben Gelb, Grün, Blau, Violett und Rot auf. Dazwischen setzt er je eine Zwischenfarbe. Die Abstände dieser 10 Farben unterteilte er noch einmal mit jeweils drei weiteren Farben, so dass er am Ende auf 40 verschiedene Buntarten kam (siehe Abb. 2-3). Munsell gliederte seinen Farbraum empfindungsgemäß. Zur Buntart „hue“, kam der Buntgrad oder die Reinheit „chroma“ und die Helligkeit „value“.

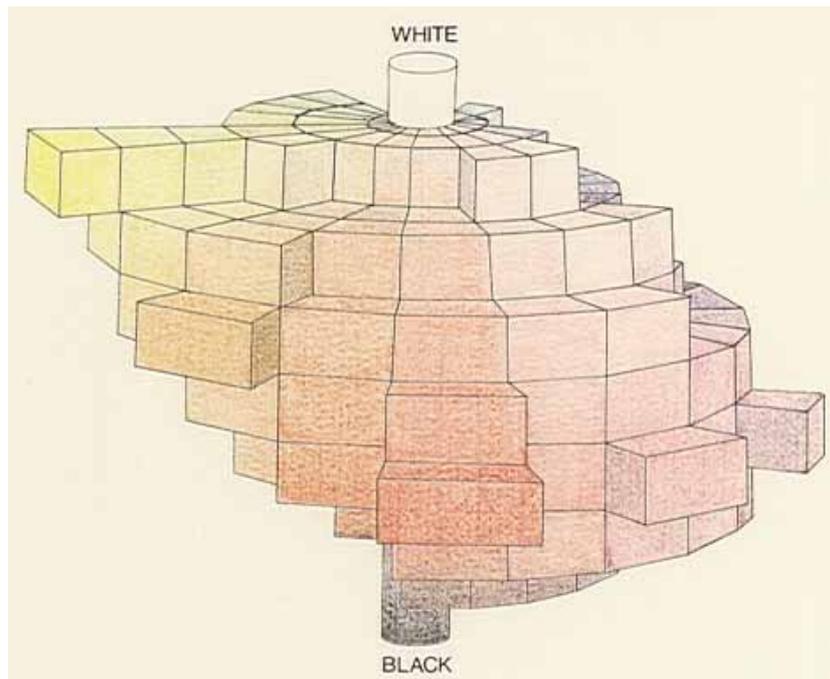


Abb. 2–3 [Stromer 1998 S. 102] Munsells Farbkörper

Munsell beschreibt seine Harmonielehre in fünf Punkten [Munsell 1969 S. 65]:

1. Farbton Gebrauche so wenig Farbtöne wie möglich. Ein einzelner Farbton, richtig benutzt, ist sehr wirkungsvoll. Falls zwei oder mehr Farbtöne angewendet werden, wähle entweder eng nachbarliche oder Gegenfarben.
2. Helligkeit Verwende eine hohe Helligkeit mit einer tiefen. Im Allgemeinen wird ein Teil der hohen Helligkeit drei oder vier Teile der niederen balancieren.
3. Reinheit Gebrauche eine starke Reinheit mit einer schwachen. Ein Teil starker Reinheit wird mehrere Teile einer schwachen balancieren. (Warnung: Vermeide den Missbrauch von sehr starken Reinheiten.)

4. Fläche Sie ist dem Produkt von Helligkeit und Reinheit umgekehrt proportional. So sei W gleich einer Farbe und Z gleich einer anderen:

$$\frac{(\text{Reinheit} \times \text{Helligkeit}) W}{(\text{Reinheit} \times \text{Helligkeit}) Z} = \frac{\text{Fläche Z}}{\text{Fläche W}}$$

5. Farbharmonie Harmonie wird erzielt, wenn irgendwelche drei der vorstehenden Regeln befolgt werden. So ist es statthaft, Farbtöne zu verwenden, die absolut in Grau balancieren, vorausgesetzt, dass die Gesetze von Helligkeit, Reinheit und Fläche befolgt werden. Andererseits kann das Gesetz der Reinheit teilweise unbeachtet gelassen werden, solange die Gesetze des Farbtönen, der Helligkeit und Fläche befolgt werden.

2.1.4 Johannes Itten (1888-1967)

Itten baut mit seiner Farbtheorie unter anderem auf die Arbeit von Goethe auf. Wie im Abschnitt 2.1.2 beschrieben wurde, basiert Goethes Harmonielehre stark auf der Beziehung von Komplementärfarben. Das menschliche Auge „fordere“ die entsprechende Gegenfarbe zu einem bestimmten Farbreiz.

Die Grundfarben von Ittens Farbkreis sind wie bei Goethe Gelb, Rot und Blau. Itten verwendet diese Primärfarben in seinem zwölfteiligen Farbkreis bei 0, 120 und 240 Grad (siehe Abb. 2–12). Die Sekundärfarben, welche durch das Mischen der Primärfarben entstehen, heißen Orange, Violett und Grün und befinden sich zwischen den Primärfarben. Zwischen jeder Primärfarbe und Sekundärfarbe wird durch Mischen der beiden Farben eine Tertiärfarbe eingefügt. So ist der zwölfteilige Farbkreis definiert.

Itten stellt in seinem Buch „Kunst der Farbe“ fest, dass die Ordnung des Kreises nicht genügt, um eine umfassende Farbübersicht zu gewährleisten [Itten 1987 S. 66]. So greift er die Farbkugel von Philipp Otto Runge auf. Um diese Farbkugel zu erzeugen, ordnet man den Farbkreis am Kugeläquator, Weiß am Nord- und Schwarz am Südpol an. Zwischen jedem Pol und dem Äquator werden auf den 12 Meridianen zwei Zwischenfarben aus der Pol- und der Meridianäquatorfarbe gemischt (siehe Abb. 2-4).

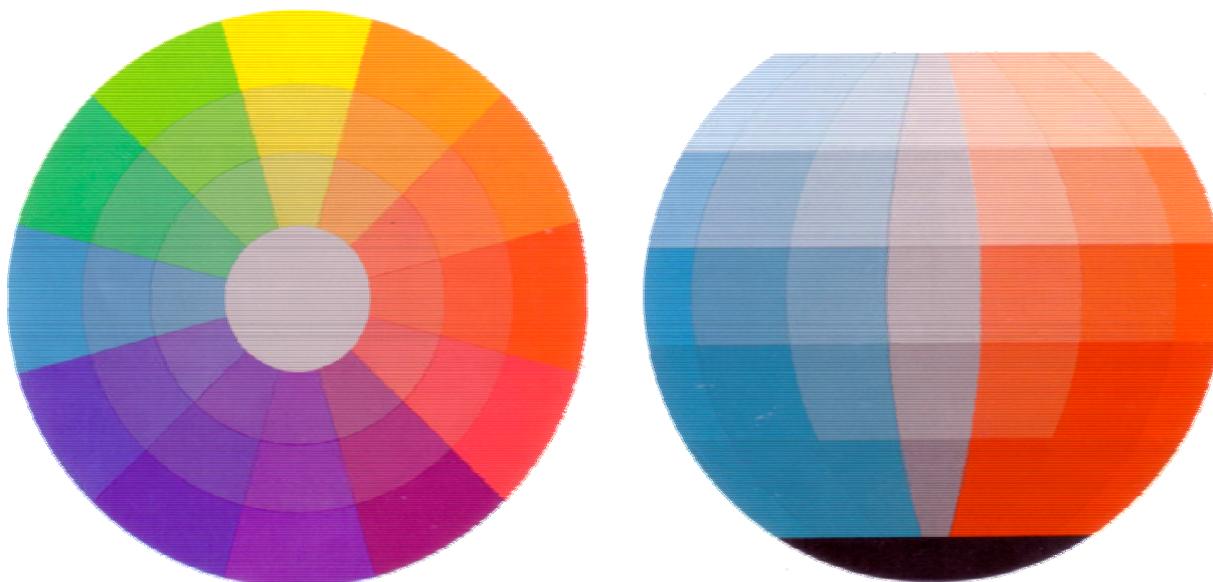
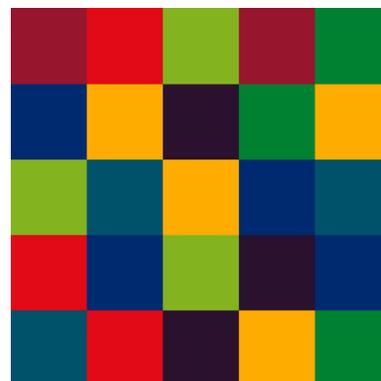


Abb. 2–4 [Itten 1987 S. 69] Farbkugel

Itten definiert in [Itten 1987 S. 34 ff.] sieben Farbkontraste für den Farbkreis. Diese hat er teilweise von seinem Lehrer Adolf Hoelzel übernommen. Sie sollen nachfolgend kurz wiedergegeben werden.

2.1.4.1 Der Farbe-an-sich-Kontrast

Der Farbe-an-sich-Kontrast ist der einfachste Farbkontrast. Bei ihm werden alle Farben ungetrübt in ihrer stärksten Leuchtkraft aufgetragen. Es sollen mindestens drei Farben verwendet werden. Dabei stellen Gelb, Rot und Blau als Primärfarben den stärksten Kontrast dar. Danach folgen die Sekundär- und die Tertiärfarben. Die Wirkung des Kontrastes beschreibt Itten als „bunt, laut, kraftvoll und entschieden“ [Itten 1987 S. 34]. Durch eine Trennung mit schwarzen oder weißen Linien treten die Farben noch stärker hervor. Dabei schwächt Weiß die Leuchtkraft, wohingegen Schwarz die Leuchtkraft steigert.

Abb. 2–5 [Heck 2002]
Farbe-an-sich-Kontrast

2.1.4.2 Der Hell-Dunkel-Kontrast

Die Farben Schwarz und Weiß sind das stärkste Ausdrucksmittel des Hell-Dunkel-Kontrastes. Dazwischen liegen die Grautöne und die Farben. Itten stellt fest, dass sich Grau subjektiv sehr stark durch Ton- und Farbkontraste beeinflussen lässt [Itten 1987 S. 37]. Es erhält durch Nachbarfarben Charakter und Leben. So kann es zwischen grellen Farbgegensätzen vermitteln. Abschließend beschreibt Itten, dass Kompositionen aus vier bis sechs Farbflächen einer Hell-Dunkel-Skala durch Erprobung zu guten und überzeugenden Akkorden komponiert werden können.

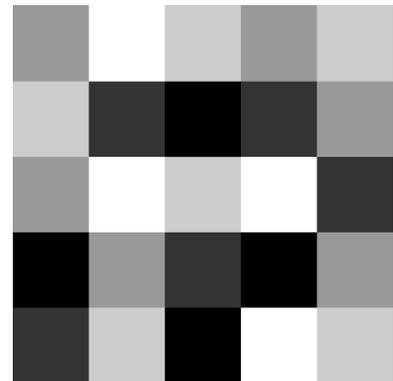


Abb. 2–6 [Heck 2002]
Hell-Dunkel-Kontrast

2.1.4.3 Der Kalt-Warm-Kontrast

Der stärkste Kalt-Warm-Kontrast ist im Farbkreis auf der Achse von Rotorange nach Blaugrün zu finden. Dabei zählen Gelb, Gelborange, Orange, Rotorange, Rot und Rotviolett zur warmen Seite und Gelbgrün, Grün, Blaugrün, Blau, Blauviolett und Violett zur kalten Seite des Farbkreises. Den Farbcharakter der warmen Farben beschreibt Itten als sonnig, undurchsichtig, erregend, dicht, erdig, nah, schwer und trocken, während die kalten Farben schattig, durchsichtig, beruhigend, dünn, luftig, fern, leicht und feucht sind.

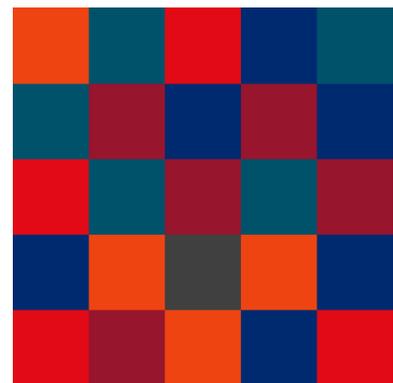


Abb. 2–7 [Heck 2002]
Kalt-Warm-Kontrast

2.1.4.4 Der Komplementär-Kontrast

Itten schreibt in [Itten 1987 S. 49] „Zwei pigmentäre Farben, die zusammengemischt ein neutrales Grauschwarz ergeben, bezeichnen wir als komplementär.“ Das Auge fordere zu einer gegebenen Farbe die komplementäre Ergänzung. Durch Komplementärfarben erzielt man eine sehr starke Wirkung, da die Farbpaare zusätzliche Kontraste beinhalten: Gelb und Violett haben gleichzeitig den stärksten Hell-Dunkel-Kontrast, Rotorange und Blaugrün haben den stärksten Kalt-Warm-Kontrast, und Rot und Grün haben nach Goethe die gleiche Flächenleuchtkraft.

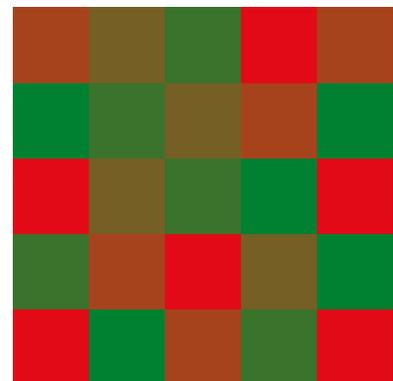


Abb. 2–8 [Heck 2002]
Komplementär-Kontrast

2.1.4.5 Der Simultan-Kontrast

Betrachtet man ein gleich helles graues Feld vor einem farbigen Hintergrund, so erscheint es im Auge des Betrachters in der Komplementärfarbe zum Hintergrund. Es wirkt auf verschiedenen Untergründen unterschiedlich. Dieser Effekt kann nicht fotografiert werden. Das Auge produziert selbstständig den komplementären Ausgleich zur gegebenen Farbsituation. Durch Hinzumischen geringer Mengen der Hintergrundfarbe oder der Komplementärfarbe, kann man die Simultanwirkung verringern oder verstärken.

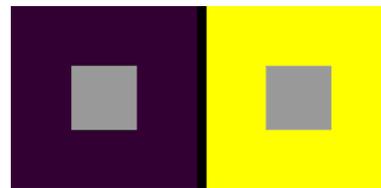


Abb. 2–9 [Heck 2002]
Simultan-Kontrast

2.1.4.6 Der Qualitäts-Kontrast

Die Qualität beschreibt den Reinheits- und Sättigungsgrad einer Farbe. Der Qualitäts-Kontrast ist der Kontrast von gesättigten, leuchtenden Farben zu stumpfen, getrübbten Farben. Die Trübung des gleichen Farbtones erfolgt dabei entweder durch Weiß, Schwarz, Schwarz und Weiß oder der Komplementärfarbe. Es entsteht ein stiller und ruhiger Charakter. Der Farbton der verwendeten Farben sollte immer der gleiche sein, da sonst der schwächere Qualitätskontrast z. B. durch den stärkeren Kalt-Warm-Kontrast übertönt wird.

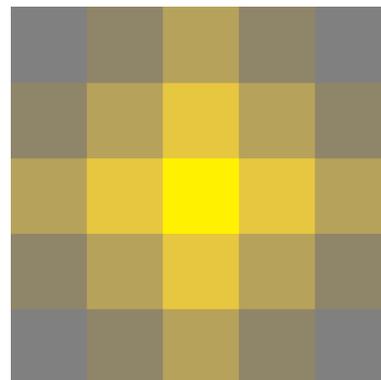


Abb. 2–10 [Heck 2002]
Qualitäts-Kontrast

2.1.4.7 Der Quantitäts-Kontrast

Der Quantitäts-Kontrast bezieht sich auf das Größenverhältnis von zwei oder mehreren Farbflächen zueinander. Dabei wird die unterschiedliche Leuchtkraft von Farbflächen ins Verhältnis zu ihren Flächeninhalten gesetzt. Die Lichtwerte nach Goethe sind:

Gelb : Orange : Rot : Violett : Blau : Grün =

9 : 8 : 6 : 3 : 4 : 6 .

Um von diesem Leuchtkraftverhältnis auf das erforderliche Flächenverhältnis der Farben zu kommen, bildet man das reziproke Zahlenverhältnis (siehe Abschnitt 2.1.2).

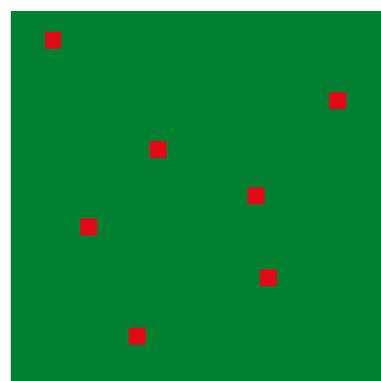


Abb. 2–11 [Heck 2002]
Quantitäts-Kontrast

2.1.4.8 Farbakordik

„Farbakkorde können aus zwei, drei, vier und mehr Farben gebildet werden. Man spricht dann von Zweiklängen, Dreiklängen, Vierklängen, Sechsklängen usw.“ [Itten 1987 S. 72]

Nach den sieben grundlegenden Farbkontrasten beschreibt Itten in „Kunst der Farbe“ die Bildung von bestimmten harmonischen Farbakorden im zwölfteiligen Farbkreis und in seiner Farbkugel. Diese beruhen auf der gesetzmäßigen Beziehung, welche er im Kapitel „Harmonie der Farben“ aufgestellt hat: „Zwei oder mehrere Farben sind harmonisch, wenn sie zusammengemischt ein neutrales Grau ergeben.“ [Itten 1987 S. 20]

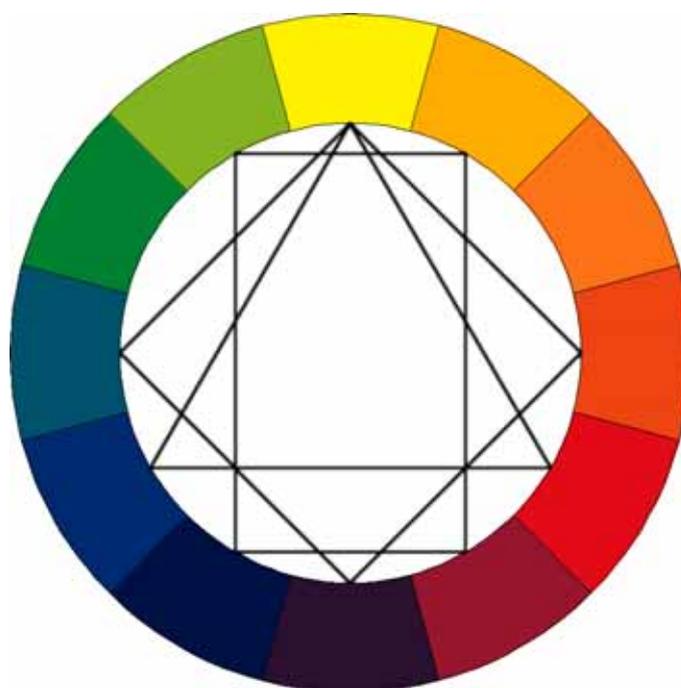


Abb. 2–12 Ittens Farbkreis mit Farbakorden

Einen **Zweiklang** bilden Farben, die sich in der Farbkugel komplementär über dem Mittelpunkt gegenüberstehen. Hierbei ist die Helligkeit der beiden Farben zu beachten. Ist die eine Farbe aufgehellt, so ist die andere um den gleichen Betrag abzudunkeln.

Ein **Dreiklang** entsteht, indem man drei Farben so wählt, dass sie im Farbkreis ein gleichschenkliges oder gleichseitiges Dreieck bilden. Der Dreiklang Gelb-Rot-Blau ist dabei der Mächtigste. Man kann das gleichschenklige Dreieck auch in die Farbkugel legen, so dass „die Schnittpunkte ihrer Seitenhalbierenden im Kugelmittelpunkt stehen“ [Itten 1987 S. 72].

Ein **Vierklang** wird durch das Auswählen von zwei, im Farbkreis senkrecht aufeinander stehenden, komplementären Farbpaaren gebildet. Dabei entsteht ein Quadrat.

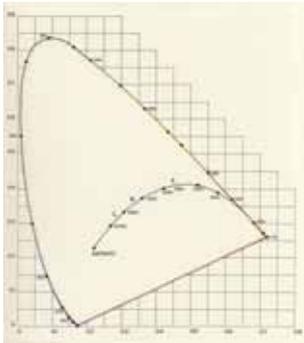
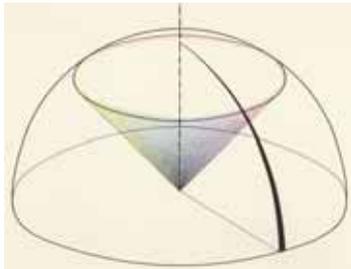
Ebenso zählen Rechtecke und Trapeze als Vierklänge, wenn sie in der Farbkugel auf dem Mittelpunkt gelagert sind.

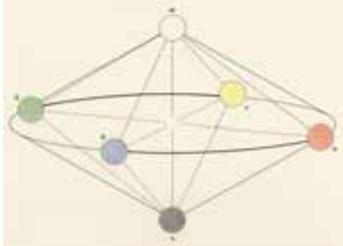
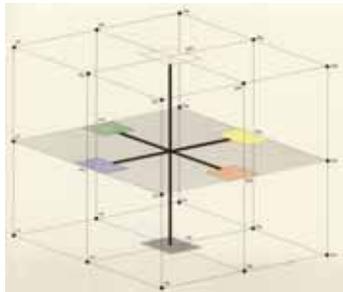
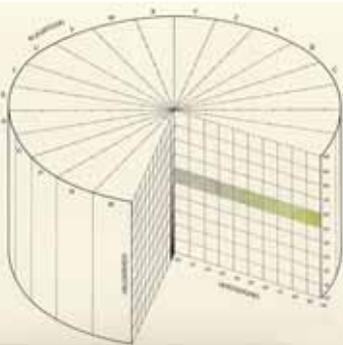
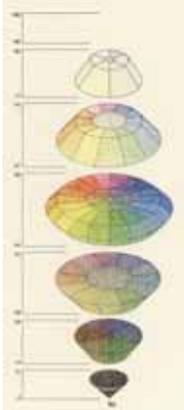
Ein **Sechsklang** entsteht durch ein gleichseitiges Sechseck, welches in der Farbkugel auf dem Kugelmittelpunkt zu liegen kommt. Dabei haben komplementär gegenüber liegende Farbenpaare eine ausgewogene Helligkeit.

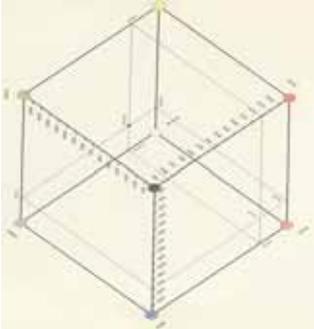
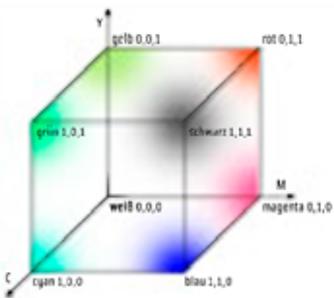
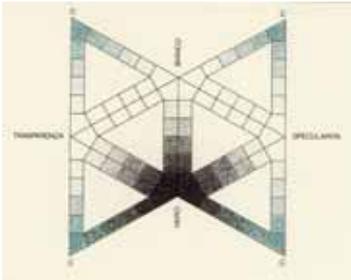
2.2 Technische Farbsysteme

Ein technisches Farbsystem ist ein mathematisch definierter Farbraum oder eine definierte Farbpalette. Sie werden durch Normungsinstitute oder die Industrie festgelegt. In der folgenden Tabelle werden die wichtigsten technischen Farbsysteme in chronologischer Reihenfolge kurz vorgestellt.

Tab. 2-1 chronologische Übersicht technischer Farbsysteme

Farbsystem	Autor, Jahr, Grundfarben, Kurzbeschreibung, Abb.
<p data-bbox="331 685 400 719">RAL</p> 	<p data-bbox="560 685 1278 723">Reichsausschuss für Lieferbedingungen, 1927</p> <p data-bbox="560 786 868 819">194 definierte Farben</p> <p data-bbox="560 864 1410 987">Das RAL (Classic) System ist eine Farbkarte für Lacke und Farben, welche im Auftrag des deutschen Staates und der Wirtschaft erstellt wurde.</p> <p data-bbox="560 1025 1158 1064">Abb. 2–13 [RAL digital 2004] RAL Classic</p>
<p data-bbox="336 1115 395 1149">CIE</p> 	<p data-bbox="560 1128 1246 1167">Commission Internationale d'Eclairage, 1931</p> <p data-bbox="560 1227 839 1261">Rot, Grün und Blau</p> <p data-bbox="560 1305 1410 1429">Das CIE-Farbsystem ist eine international vereinbarte Methode der Farbkennzeichnung durch die Parameter X, Y und Z zur objektiven Farbbestimmung ohne Muster.</p> <p data-bbox="560 1467 1302 1505">Abb. 2–14 [Stromer 1998 S. 122] CIE-Normfarbtafel</p>
<p data-bbox="336 1576 395 1610">DIN</p> 	<p data-bbox="560 1554 1139 1592">Deutsches Institut für Normung, 1953</p> <p data-bbox="560 1626 927 1659">Gelb, Rot, Blau und Grün</p> <p data-bbox="560 1693 1410 1816">Ein empfindungsgemäß, gleichabständiges Farbsystem mit Farbton, Sättigung und Helligkeit, welches als DIN 6164 Farbkarte definiert ist.</p> <p data-bbox="560 1850 1278 1888">Abb. 2–15 [Stromer 1998 S. 152] DIN-Farbsystem</p>

<p style="text-align: center;">NCS</p> 	<p>Anders Hård, Lars Sivik, 1968/69</p> <p>Schwarz, Weiß, Gelb, Rot, Blau und Grün</p> <p>Das Natural Color System wird zum Vornehmen von Farbbestimmungen verwendet, ohne dabei auf Farbmessinstrumente oder Farbmuster angewiesen zu sein.</p> <p>Abb. 2–16 [Stromer 1998 S. 161] NCS-Farbraum</p>
<p style="text-align: center;">CIELAB</p> 	<p>Commission Internationale d'Eclairage, 1976</p> <p>Rot, Grün Blau und Gelb</p> <p>Das CIELAB-Farbsystem basiert auf dem CIE-Farbsystem von 1931. Durch Transformation der Koordinaten X, Y und Z zu L, a, b soll der Farbenraum helfen, Farbunterschiede numerisch zu bestimmen.</p> <p>Abb. 2–17 [Stromer 1998 S. 171] CIELAB-Farbraum</p>
<p style="text-align: center;">ACC</p> 	<p>niederländische Lackindustrie (Sikkens GmbH), 1978</p> <p>24 verschiedene Buntttöne, Gelb, Grün, Blau und Rot</p> <p>Das „Acoat Color Codification“-System versucht, konstante wirtschaftliche Farblieferungen und Farbkarten zu ermöglichen, welche anschaulich und einfach sind. Komplizierte Umrechnungen zwischen physikalischen und gefühlten Farbwerten werden vermieden.</p> <p>Abb. 2–18 [Stromer 1998 S. 175] ACC-Farbraum</p>
<p>HLS / HIS / HSB / HSV</p> 	<p>keine Datierung, entsteht mit der Fernsehtechnik</p> <p>Rot, Grün und Blau</p> <p>Die drei Buchstaben stehen für Hue (Farbton), Luminance / Intensity / Brightness / Value (Helligkeit) und Saturation (Sättigung). Das System bietet eine Möglichkeit, die Farbordnung von A. H. Munsell für die Farben auf Fernsehschirmen einzusetzen. Bei HLS / HIS ist das Farbtenspektrum bei 0° Blau und bei HSB / HSV Rot.</p> <p>Abb. 2–19 [Stromer 1998 S. 177] HLS-Farbkörper</p>

<p style="text-align: center;">RGB</p> 	<p><i>keine Datierung, entsteht mit der Fernsehtechnik</i></p> <p>Rot, Grün und Blau</p> <p>Farben auf einem Bildschirm entstehen durch additive Lichtmischung, wobei phosphoreszierende Substanzen rotes, grünes oder blaues Licht aussenden. Das RGB-Farbsystem wird nach diesen drei Farben benannt.</p> <p>Abb. 2–20 [Stromer 1998 S. 179] RGB-Farbraum</p>
<p style="text-align: center;">CMYK</p> 	<p><i>ISO 2846, entsteht mit der Farb-Drucktechnik</i></p> <p>Türkis, Fuchsenrot, Gelb und Schwarz</p> <p>Dem CMYK-Farbmodell liegt die subtraktive Farbmischung zugrunde. Es wird maßgeblich beim Druck auf weißes Papier verwendet, da sich aus seinen Grundfarben (fast) alle Farben mischen lassen.</p> <p>Abb. 2–21 [Heck 2002] CMYK-Farbraum</p>
<p style="text-align: center;">CMN</p> 	<p><i>N. Silvestrini , 1986</i></p> <p>Reflexion und Transparenz auf verschiedenen Farben</p> <p>Das italienische Farbsystem CMN-86 will die Varianten sichtbar fassen, in denen Farbe erscheinen, sich zeigen, sich wandeln und verschwinden kann. Das System besteht aus vielen farbigen Tetraedern, welche die Herkunft der Farbe und die Intentionen des Betrachters beschreiben.</p> <p>Abb. 2–22 [Stromer 1998 S. 184] ein CMN-Tetraeder</p>

2.3 Untersuchungen zur Farbpräferenz

Prof. Antal Nemcsics beschreibt in seinem Buch „Farbenlehre und Farbdynamik“ eine wissenschaftliche Farbpräferenzuntersuchung von etwa 70000 Testpersonen an der Technischen Universität in Budapest. „Die Farbpräferenz ist das Urteil, das im Wesentlichen aussagt, daß eine Farbe besser gefällt als eine andere [Nemcsics 1993 S. 148].“ Die Farbpräferenz wird zur bewussten Umweltgestaltung in der Architektur eingesetzt. Dabei hängt die Farbpräferenz von vielen Faktoren ab. Sie hängt vom Geschlecht der Nutzer, dem Alter, den Lebensumständen, der Jahreszeit, dem Herkunftsland, der Historie und der Beleuchtungsart (Tageslicht oder Kunstlicht) am Ort ab [Nemcsics 1993 S. 151 ff.].

Die Umweltplanung kann nur mit Farbpräferenzdaten der typischen Nutzergruppe eines Ortes durchgeführt werden. Die Farbpräferenzen müssen außerdem die nutzungsspezifischen Lebensfunktionen am Ort widerspiegeln, um eine fundierte Aussage zu treffen [Nemcsics 1993 S. 152 ff.].

Nemcsics stellt dazu fest, dass die wichtigsten Faktoren bei der Gruppierung der Versuchsgruppen das Geschlecht und das Lebensalter sind. In Abb. 2-23 sind beispielhaft die allgemeinen Farbpräferenzen von Männern und Frauen zu den gesättigten Farben des Coloroid-Farbkreises dargestellt. Die verschiedenen Kurven im Kreisdiagramm repräsentieren je eine Altersgruppe, wobei die Farbpräferenzen 0% im Mittelpunkt und 100% im Außenkreis liegen. Die vielschichtigen Farbpräferenzdaten von Nemcsics und ihre Anwendungen auf die Architektur sollen im nächsten Abschnitt zusammengefasst werden.

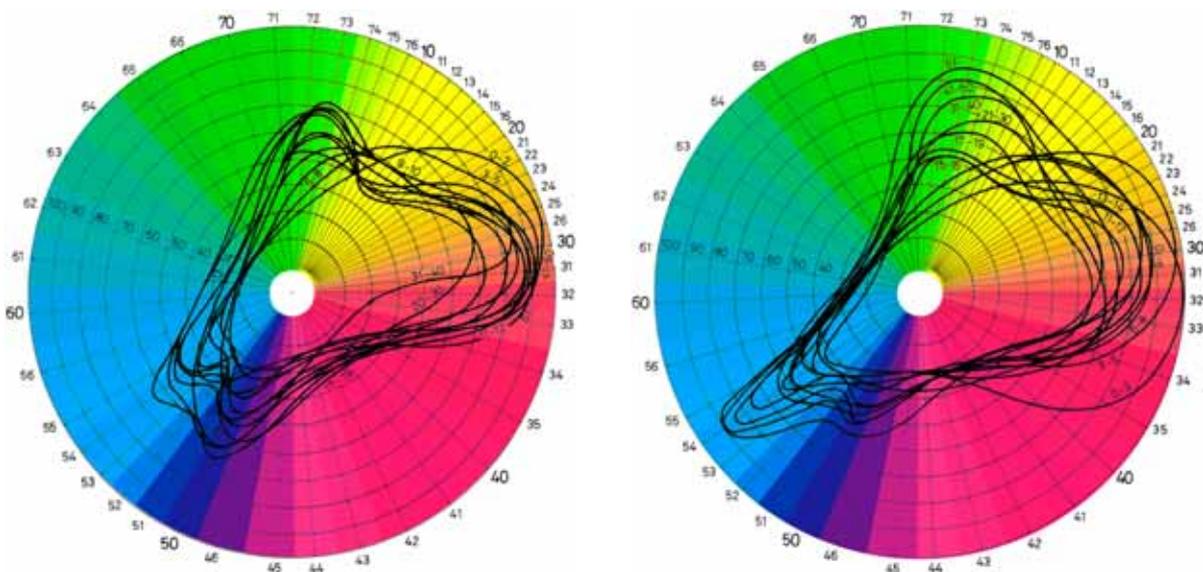


Abb. 2–23 [Nemcsics 1993 S. 168, 169] Farbpräferenzen von Männern (links) und Frauen (rechts) verschiedener Altersgruppen im Coloroid-Farbkreis

2.4 Architektonische Anforderungen für den Farbentwurf

2.4.1 Raumerlebnis

Das architektonische Raumerlebnis setzt sich nach [Nemcsics 1993 S. 8] aus vielen verschiedenen Elementen zusammen. Genannt seien an dieser Stelle die Raumdimension, das Raumverhältnis, die Beziehung und Form der Raumelemente zueinander, das Formverhältnis, die Ordnung, die Oberflächenbeschaffenheit, die Beziehung aller Elemente zur Funktion und die Farbe. Dazu schreibt Nemcsics in [Nemcsics 1993 S. 8]: „Mit der Untersuchung der Rolle, die die Farbe in dieser Erfahrung (dem Raumerlebnis) spielt, hat sich die Architekturtheorie noch nicht beschäftigt. Überhaupt ist sie noch der Formulierung der Beziehung zwischen architektonischem Raum und Farbe schuldig.“

Die Farbe dient der Wahrnehmung von Entfernungen in Räumen. Bei großer Entfernung verschiebt sich der Farbton hin zur kurzwelligeren Farbe (d.h. Rot zu Orange oder Blau zu Violett). Ebenso verringert sich die Sättigung bei weit entfernten Objekten zur neutralen, unbunten Farbe. Die Helligkeit hingegen ändert sich je nach Lage des Betrachters und der Lichtquellen (Licht, Schatten) [Nemcsics 1993 S. 9].

Nemcsics empfiehlt, große ungegliederte Innenräume farblich zu unterteilen, um die Raumtiefe wahrnehmbarer zu machen [Nemcsics 1993 S. 237]. Eine senkrechte Gliederung streckt einen Raum in die Höhe, wogegen eine waagerechte Gliederung den Raum niedriger und länger erscheinen lässt.

2.4.2 Farbwärme, Sättigung, Helligkeit

Schon Goethe und Itten stellten fest, dass warme und kalte Farben eine unterschiedliche Tiefenwahrnehmung erzeugen. „Die kalten und warmen Töne verhalten sich bei gleicher Helligkeit so, dass die warmen Farben nach vorne und die kalten der Tiefe zustreben.“ [Itten 1987 S. 78] Ebenso wirkt die Farbsättigung auf die Wahrnehmung der Raumtiefe. „Eine leuchtende Farbe tritt nach vorne gegenüber einer gleich hellen stumpferen Farbe.“ [Itten 1987 S. 78] Bei historischen Fassaden sieht man diese Gestaltungsmittel häufig, wenn Faschen oder Sockelbereiche mit warmen, gesättigten Farben stärker aus der Wandfläche hervortreten.

„Bei ungesättigten und stark gesättigten Farben bewirkt eine geringe Änderung der Sättigung fast gar keine Änderung im Entfernungsgefühl. Dagegen macht sich die geringste Sättigungsänderung mittelmäßig gesättigter Farben auch im Entfernungsgefühl bemerkbar.“ [Nemcsics 1993 S. 220] Aus dieser Beobachtung folgert Nemcsics, dass bei Farbkompositionen mit gleichmäßiger Tiefenwirkung (z.B. einer Häuserreihe) nur mittelmäßig gesättigte Farben eines Farbtones und stark gesättigte oder ungesättigte Farben verschiedener Farbtöne gewählt werden sollten.

2.4.3 Farbwirkungen

Die Wirkung einer Farbe ist nicht nur von ihrer Fläche, ihrer Beziehung zu anderen Farben und der Raumdimension abhängig in der sie eingesetzt wird, sondern z. B. auch von der Geografie und Umgebung ihres Ortes. Im sonnigen mediterranen Süden werden Gebäudefassaden in Weiß und hellen Farbtönen gehalten. Vor dem blauen Himmel und der Natur wirken die Häuser so strahlend, frisch und rein. Im Norden dagegen ist die Umgebung oft kühler und nebliger, so dass zusätzlich stark gesättigte, kontrastierende Farben verwendet werden, um einen frischen und reinen Eindruck zu erwecken [Nemcsics 1993 S. 230].

Die Farbe wird in der Architektur gern zur Betonung, Unter- oder Einordnung von Baukörpern und Bauteilen eingesetzt. „Umfangreiche Anlagen sollte man nicht rot oder in einer allzu gesättigten Farbe anstreichen, weil ihre Masse dann noch größer wirkt. Will man die Bedeutung eines Gegenstandes hervorheben oder die Massenempfindung erhöhen, dann ist dies in sehr hellen oder gesättigten Farben auszuführen [Nemcsics 1993 S. 224].“ „In Großhallen wird das Stabilitätsgefühl durch kräftige, satte Farben des Tragwerks beruhigt [Nemcsics 1993 S. 237].“

Bei der Fassadengestaltung empfiehlt Nemcsics, die Farben von Fenster- und Türrahmen, Gliederungen und Sockel in einem der Wandfläche ähnlichen Farbton, aber in unterschiedlicher Sättigung und Helligkeit auszuführen. Dagegen ist es besser, die Farben von Fenster- und Türzargen und der Flügel im Farbton von der Wandfarbe abzusetzen [Nemcsics 1993 S. 226].

Auch für den Innenraum gibt Nemcsics Hinweise für bestimmte Farbwirkungen. Er schreibt über die Farbflächen von Räumen: „In der Regel macht es einen angenehmen Eindruck, wenn die Wand in der Helligkeit ihrer Farbe einen harmonischen Mittelwert zwischen den Helligkeiten von Fußboden und Decke bildet [Nemcsics 1993 S. 237].“ Der Fußboden sollte am dunkelsten sein, um Stabilität zu vermitteln, und die Decke am hellsten. Die horizontalen Decken- und Bodenflächen haben in Bezug auf den Farbton verschiedene Wirkungen. „Blau und Grün bewirken eine stärkere Erweiterung der Raumempfindung an der Decke des Raumes als auf dem Fußboden. Auf dem Fußboden wirken hingegen die Farben der Bereiche Rot und Purpur weniger bedrückend als an der Decke. In einem niedrigen Raum sollten für die Decke weniger gesättigte Farben verwendet werden als für den Fußboden. (...) Für die Änderung der Raumempfindung haben an den Seitenwänden der Farbton, an der Decke hingegen Sättigung und Helligkeit eine größere Bedeutung [Nemcsics 1993 S. 222 ff.].“ Auch die Fensterorientierung ist für die Farbwahl eines Raumes wichtig. In einem nach Norden liegenden Raum sollte nicht viel Blau, sondern besser Gelb verwendet werden. Dagegen sollte in Räumen nach Süden nicht viel Rot, sondern Grün eingesetzt werden [Nemcsics 1993 S. 237].

2.4.4 Gebrauchsfunktion der Farbe

Die Farbe bringt die Funktion eines Raumes zum Ausdruck. Ohne die Funktion eines Raumes zu kennen, kann man keine ästhetische Farbwahl vornehmen. Raumfarben haben eine psychophysikalische und psychosomatische Wirkung auf die Nutzer. Sie können den Blutdruck und die Zusammensetzung des Blutes verändern, und so ein Atmosphäre behaglicher Arbeitslust und Konzentration oder nachlassende Aufmerksamkeit schaffen [Nemcsics 1993 S. 10].

Tab. 2-2 [Nemcsics 1993 S. 240, 332 ff.] Raumtypen und ihre Farben

Raumtyp	Funktion der Farbe	Farbgebung
Schulräume	geistige Tätigkeit	bevorzugt Blau bis Blau-Grün kaum Orange und Rot
Verkehrswege	Orientierung	einheitliche Farbgebung für gleiche Funktionen (z.B. gleiche Türfarben für ähnliche Funktionen der Räume)
Sprechzimmer, OP-Saal	Konzentration	keine Aufmerksamkeit erweckenden Farben oder Farbgliederungen
Baderäume	positives Selbstbild	Farbwirkung von Sonne, Wasser, Strand; keine warmen Farben, da Nutzer sonst blass wirken kann
Krankensaalwände	Heiterkeit, Wärme, Annäherung	nicht zu sehr gesättigte warme Farben; abhängig von Funktionen: depressive Patienten brauchen hohe Farbvarietät, Kreißsaal und Intensivstation benötigen beruhigende Farben, Fieberpatienten benötigen kühle Farbgebung; grüne Farben sind allgemein vorteilhaft
Restaurant, Vergnügungsort	Stimmung erzeugen	kräftige, kontrastierende Farben; warme Farben sollten gegenüber kalten überwiegen; Tischplatten dürfen nie rot oder zu gesättigt sein
Museum, Bibliothek, Theater, Kirche	ruhige psychische Atmosphäre, gutes Raumerlebnis	feine farbige Gestaltung, die hauptsächlich auf Sättigungskontrasten aufbaut
Büroräume	keine Monotonie, aber ruhige Atmosphäre	kräftige Farben an Fenster- und Türrahmen, Assoziationsfunktion der Farben
Schlafzimmer	Ruhe	keine starken Kontraste
Wohnzimmer	Stimmung	kräftige Farben

Das Raumerlebnis wird durch die Farbharmonien geprägt. Dazu kommen die Farbinformationen, welche mit einer auffälligen klaren Ordnung und Struktur die Aufmerksamkeit gezielt lenken. Die sicherheitstechnischen Signalfarben hierzu sind: Grün - Auskunft, Orange - Warnung, Rot - Verbot und Blau - Anweisung [Nemcsics 1993 S. 253]. Informationen können in der Architektur auch durch Farbgliederungen, welche mit bestimmten Farben verschiedene Funktionsbereiche kennzeichnen, vermittelt werden [Nemcsics 1993 S. 237]. In der Münchener Allianzarena wurde so z.B. der Bereich der Fußballer farblich und konzeptionell vom Bereich der Zuschauer getrennt. In Tabelle 2-2 sind einige Raumtypen mit ihren Funktionen und den empfohlenen Farbgebungen zusammengestellt.

2.5 Farbassoziationen

Was assoziieren Menschen, wenn sie bestimmte Farben wahrnehmen? Die Antwort auf diese Frage fällt bei jedem Menschen oft sehr individuell aus. An dieser Stelle sollen biologische, ästhetische, begriffliche und symbolische Farbassoziationen kurz vorgestellt werden.

Zum Thema biologische Farbassoziationen beschreibt Nemcsics in [Nemcsics 1993 S. 194 ff.] ein interessantes Experiment über das Temperaturempfinden von Farben. Ein Hörsaal wurde bei ansonsten gleichen Testbedingungen mit farbigen Beleuchtungen Rot, Blau oder Grün gefärbt. Die Testpersonen sollten den klimatisierten Raum auf eine ihnen angenehme Temperatur regeln und eine bestimmte Zeit darin verbringen. Je nach der verwendeten Beleuchtungsfarbe führte dies zu einer anderen gewählten Temperatur des Hörsaales. Bei rotem Licht wurden die Temperatur etwa 2°C niedriger als beim blauen und 0,5°C niedriger als beim grünen Licht eingestellt.

Es sind auch Farbassoziationen mit ästhetischen Begriffen möglich. Karwoski ordnet Farben bestimmten Dur- und Moll- Tonarten der Musik zu [Karwoski 1938]. Ebenso wurden Assoziationen zu bestimmten Begriffen untersucht. So gibt Nemcsics an, dass das Wort „Frühling“ von der Mehrheit der Testpersonen mit der Farbe Grüngelb (Wellenlänge 550 nm) assoziiert wurde [Nemcsics 1993 S. 196].

Der symbolische Inhalt von Farbassoziationen hängt von den religiösen, politischen oder standesbestimmten Faktoren einer Population ab. Er ändert sich in Abhängigkeit von historischen und kulturellen Umständen [Nemcsics 1993 S. 196 ff.].

In Tabelle 2-3 sind die sechs Farben Gelb, Orange, Rot, Violett, Blau und Grün je nach Künstler oder Zeitepoche mit ihren Farbassoziationen dargestellt. Goethes Farbassoziationen sind aus [Matthaei 1988 S. 56] entnommen, wohingegen alle anderen Farbassoziationen in [Nemcsics 1993 S. 198 ff.] nachgelesen werden können.

Tab. 2-3 Farbassoziationen verschiedener Epochen und Künstler

	Gelb	Orange	Rot	Violett	Blau	Grün
Altes Ägypten	Gefühl, körperlich, menschlich		Bosheit, Leidenschaft, Lebenskraft, Seth-Typhon, körperlich, menschlich		Verstand, Amon, geistig, göttlich	Jugend, Ruhe, Wiedergeburt, geistig, göttlich
Mittelalter	Ruhm, Heiligkeit, Hochmut, magisch	Ekstase, Reichtum, Endlichkeit	Unfrieden, Liebe, Tapferkeit, magisch, liturgisch	Traurigkeit, Dunkelheit, Demut, liturgisch	Wissen, Gerechtigkeit, Unendlichkeit	Frieden, Fruchtbarkeit, Hoffnung, magisch, liturgisch
Goethe (1810)	hell	Wärme	Kraft	dunkel	Kälte	Schwäche
Jelinek (1951)	anspornend	exaltiert	erogen	narkotisch	beruhigend	antierogen
Kandinsky (1955)	reizt, strahlt	Energie, Entschlossenheit, Kraft	Leidenschaft, Kraft, Energie	krankhaft, erloschen, traurig	Reinheit, geheimnisvoll	
Saburo-Ohba (1963 Japan)	Strahlung, Hoffnung, Entfaltung, Freude, Rohheit	Kraft, Heiterkeit, Mahnung, Entzückung, Freude	Glück, Freude, Leidenschaft, Kampf, Schrecken, Versuchung	Erhabenheit, geheimnisvoll, Phantasie, Edelmut	Wahrheit, Vernunft, geheimnisvoll, Größe	Frieden, Jugend, Hoffnung, Sicherheit
Frieling (1968)	Strahlendes Licht	Entfaltung	Leben	Insichgekehrtheit	seelische Strahlung	Wasser, Leben

2.6 Planung in Architekturbüros

Die Planung in Architekturbüros findet heutzutage fast ausschließlich mit computer-gestützten CAD-Systemen statt. Dabei ist die Unterstützung für Farb- und Material-entwürfe an der virtuellen Architektur oftmals nicht architektengerecht umgesetzt [e-CAADe 2004]. Die Büropraxis sieht häufig so aus, dass losgelöst vom CAD-Modell Farbkonzepte auf dem Papier, mit Farbfächern oder mit Musterflächen entworfen werden. In diesem Abschnitt soll ein typisches Vorgehen beim Farbwurf beschrieben werden. Die Farbgestaltung lässt sich dabei in zwei Vorgehensweisen gliedern: 1. die Gestaltung einer gebauten, realen Architektur und 2. den Farbwurf einer zu planenden Architektur.

Der Farbwurf findet bei einer bereits gebauten Architektur (z.B. bei einer Umgestaltung oder im Rohbau) immer zuerst vor Ort statt. Viele Faktoren wirken hier auf die Farbgestaltung ein: die Farben der vorhandenen Nachbarbebauungen, die Vegetation, die Blickbeziehungen der Räume zur Umwelt, die Lichtverhältnisse, die Raumdimensionen, die vorgesehenen Funktionen und die Zielgruppe. Mit Hilfe eines Farbfächers werden vor Ort konkrete Farben ausgewählt, welche sich zuerst im Bewusstsein durch Erfahrungen und die örtlichen Beeinflussungen gebildet haben. Dabei werden Farbkontraste, Farbharmonien und Farbwirkungen im Geiste und mit dem Farbfächer durchgespielt und an die Bauteile gehalten. So entstehen für die Räume erste Farbkonzepte.

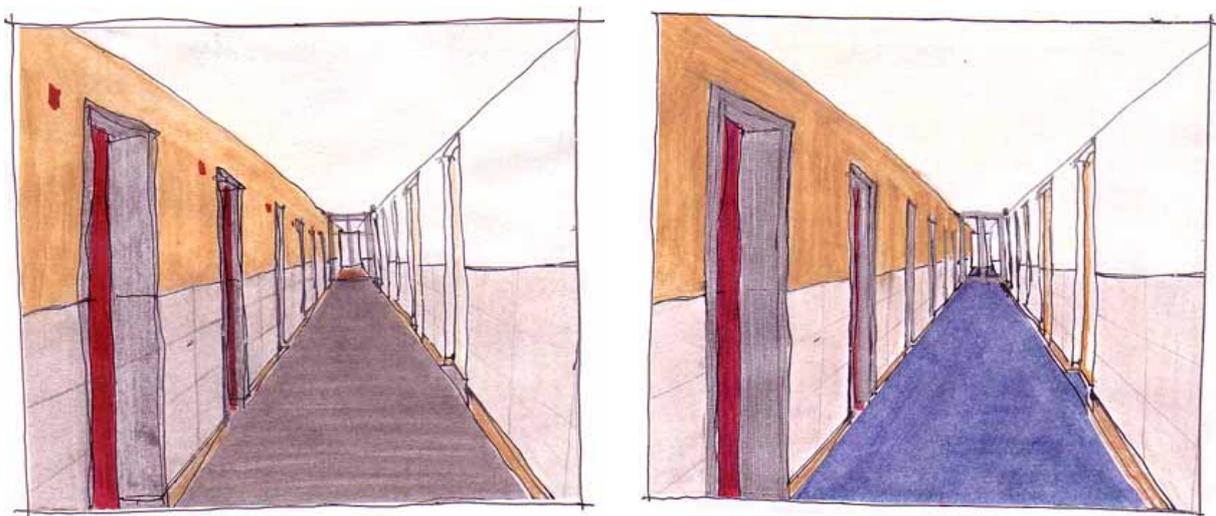


Abb. 2–24 [Architekturbüro Nitschke-Donath] zwei Farbvarianten eines Flures

In einem zweiten Schritt werden die gefundenen Farbkonzepte im Büro festgehalten und verfeinert. Hierzu werden perspektivische Zeichnungen (siehe Abb. 2-24) und geplottete Ansichten der Räume (siehe Abb. 2-25) den Farbkarten entsprechend koloriert. In einer Legende werden die konkreten Farben und Materialien dokumentiert. Zu jedem Raum gibt es oftmals mehrere Farbvarianten, die miteinander verglichen werden können. Über die endgültige Farbauswahl entscheidet häufig der Bauherr. Es

versteht sich, dass dabei eine ausreichende Dokumentation der Farbkonzepte vom Entwurf über die Planung bis hin zur Ausführung nötig ist.

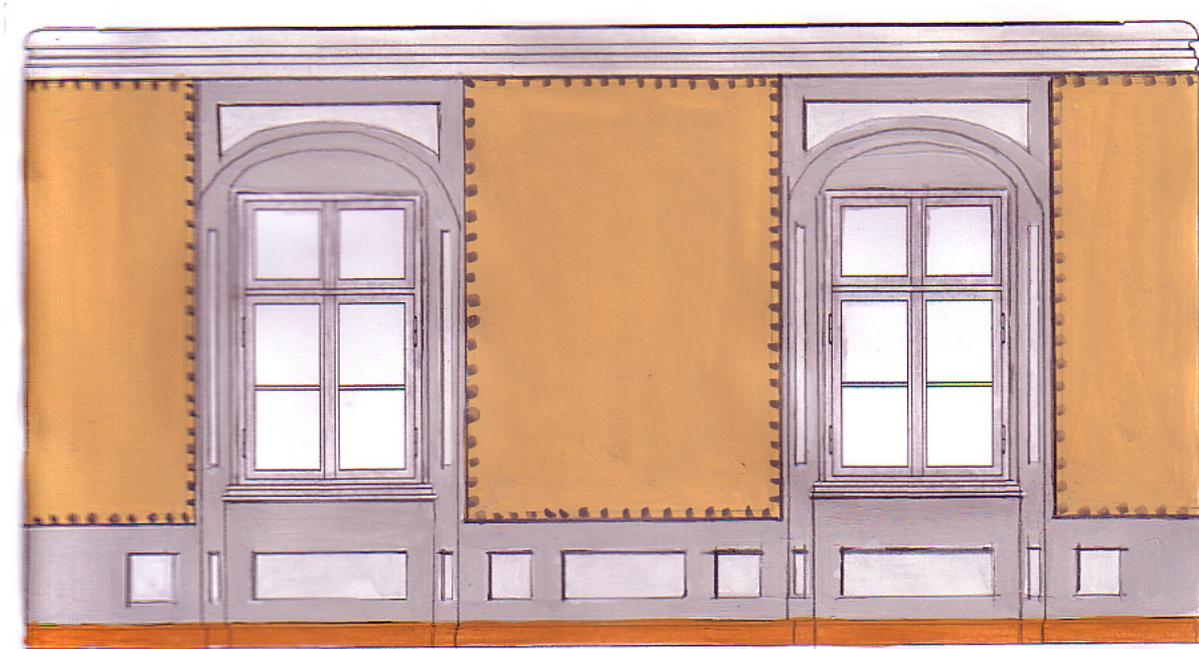


Abb. 2–25 [Architekturbüro Nitschke-Donath] kolorierte Wandansicht

Die zweite Vorgehensweise wird angewendet, wenn ein Vor-Ort-Termin nicht möglich ist oder das Gebäude noch nicht existiert (z.B. bei der Fassadenfarbgebung einer städtebaulichen Häuserreihe bzw. einem Musterhaus). In einem solchen Fall werden gemalte Farbstudien verwendet, um die räumlich, farbliche Situation greifbarer zu machen. In Farbstudien wird z.B. eine Gebäudeansicht mit einer bestimmten Hauptfarbe angelegt. Anschließend werden dazu bestimmte Nebenfalten für Fachsen, Fenster, Türen und Sockel mit ihren Flächenanteilen gemalt. Nachbargebäude lassen sich simulieren, indem Flächen mit den jeweiligen Farben daneben angelegt werden. So versucht man sich der realen Situation zu nähern und ein Farbkonzept abzuleiten. Im zweiten Schritt werden dann wieder Varianten erstellt, miteinander verglichen und ausgewählt.

Ausgehend von der manuellen Vorgehensweise des Architekten und den besprochenen architektonischen Anforderungen für den Farbwurf (siehe Abschnitt 2.4) sollen im folgenden Kapitel Anforderungen an die Software abgeleitet werden. Dazu werden nachfolgend verschiedene verfügbare kommerzielle Softwaresysteme untersucht.

3 Analyse kommerziell verfügbarer Softwarelösungen

In diesem Kapitel werden ausgewählte kommerzielle Softwarelösungen auf ihren Funktionsumfang und ihre Handhabung geprüft: Lightscape, DIALux, Piranesi und CorelDraw. Die Recherche erfolgte über das Internet und den Wissensfundus am Lehrstuhl InfAR. Vier Programme wurden für die Analyse ausgewählt, weil sie für den architektonischen Farb-, Material- und Lichtentwurf geeignet sind. Weitere recherchierte Programme wie OptiCAD und OSLOEDU wurden in diesen Abschnitt nicht aufgenommen, da sie sich ausschließlich mit der Physik des Lichtes beschäftigen. Die Plugin Sammlung RAL-digital soll an dieser Stelle nur genannt werden, da sie viele Farbsysteme und Farbpaletten beinhaltet. Sie bietet jedoch keine Funktionen zum Farb-, Material- und Lichtentwurf. Folgende Untersuchungskriterien wurden aufgestellt, um die Softwarelösungen miteinander zu vergleichen:

- 2D- oder 3D-Planung,
- Farbauswahl, Farbsysteme,
- Materialauswahl,
- Beleuchtung,
- Import- und Exportfunktionen,
- Visualisierung.

3.1 Lightscape 3.2

Hersteller: Autodesk Inc., Montreal, Kanada

Webseite: <http://www.discreet.com/support/lightscape>

Lightscape ist ein Aufsatz für die Software AutoCAD der Familie Autodesk. **3D-Geometrien** werden importiert und anschließend mit Materialien und Lichtquellen belegt. In die Räume können Möbel aus einer Sammlung von Blöcken eingefügt werden. Eine Reihe von Ansichten gibt die Übersicht über Layer, Materialien, Blöcke und Leuchtentypen. Parameter wie Netzgröße, Berechnungstoleranz und Flächengröße können definiert werden, um anschließend eine Lichtberechnung durchzuführen. Der Berechnungsvorgang in Lightscape ist sehr anschaulich umgesetzt, so dass man miterleben kann, wie der Raum immer heller und differenzierter beleuchtet wird.

Die **Farbauswahl** ist in den Materialien von Lightscape integriert. So kann man Farben für die Materialoberflächen definieren. Als Farbsysteme stehen dabei RGB und HSV zur Verfügung.

Die **Materialien** in Lightscape sind objektorientiert. Modifiziert man ein Material, so ändern sich gleichzeitig alle ihm zugewiesenen Geometrieelemente. Verschiedene physikalische Parameter regeln die optischen Eigenschaften der Materialien: Trans-

parenz, Glanz, Strahlenbrechung, Reflexion und Farbabsorption. Den Materialoberflächen können auch Texturen zugewiesen werden. Die erstellten Materialien einer Szene lassen sich in Katalogen abspeichern und später weiter verwenden.

Für die **Beleuchtung** in Lightscape werden physikalisch definierte IES-Lampen verwendet. Diese IES-Lampen werden von verschiedenen Lampenherstellern angeboten und beinhalten Informationen über die abgestrahlte Leuchtkraft in Abhängigkeit vom Raumwinkel zur Lichtquelle. In Lightscape lässt sich auch eine Tageslichtquelle einrichten. Mit den Parametern Himmelsfarbe, Lichtfarbe, Azimut, Höhe und Bewölkungsgrad wird das Tageslicht eingestellt.

Der **Import** von Lightscape beinhaltet das 3DS, AutoCAD - DWG, DXF und Lightwave Dateiformat zum Laden von 3D-Geometrien. Im **Export** hingegen können Panoramabilder und VRML-Dateien der berechneten Ergebnisse gespeichert werden.

Die **Visualisierung** der Berechnungsergebnisse ist in Lightscape sehr anschaulich umgesetzt. Die differenziert beleuchteten Oberflächen werden als 3D-Modell dargestellt, so dass man sie aus allen Blickwinkeln betrachten kann (siehe Abb. 3-1).

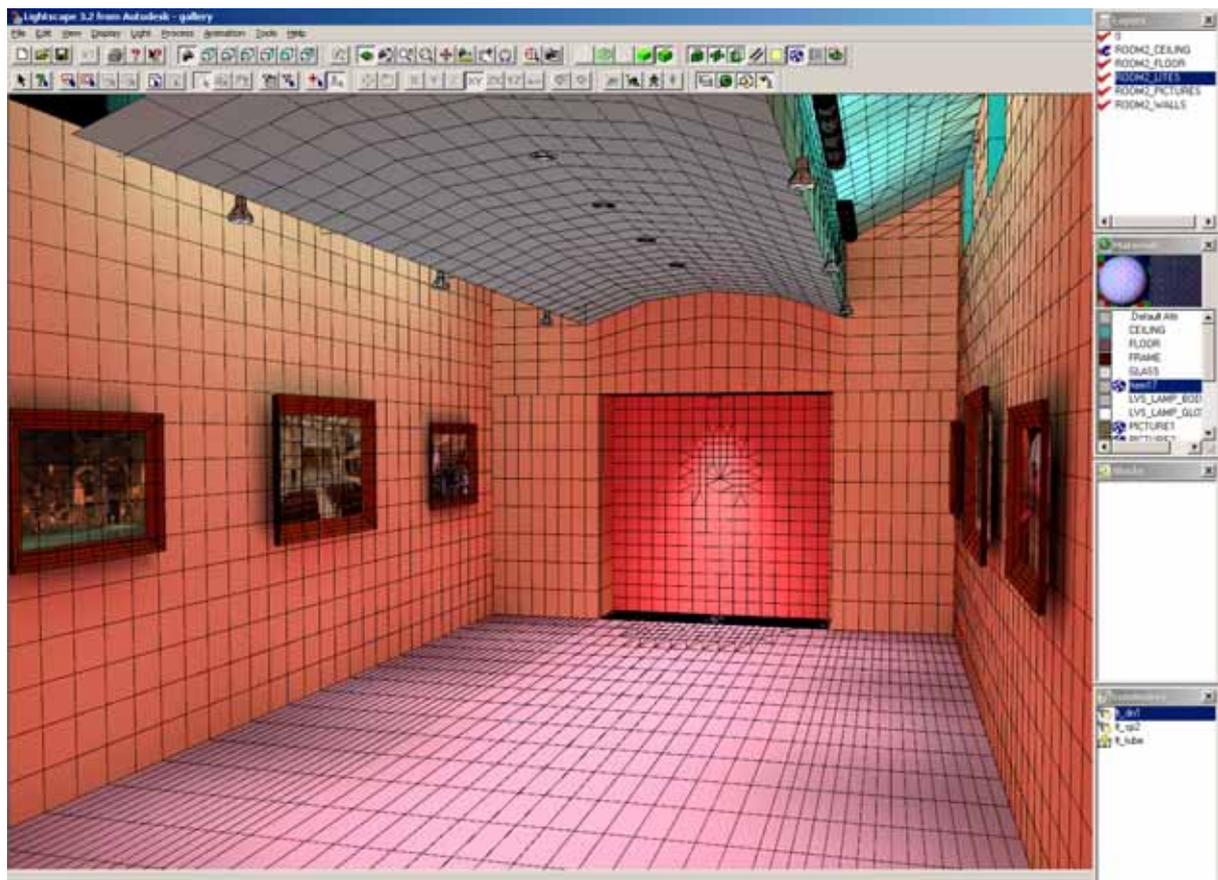


Abb. 3–1 Beleuchteter Raum in Lightscape 3.2

3.2 DIALux 3.1

Hersteller: DIAL GmbH, Lüdenscheid, Deutschland

Webseite: <http://www.dial.de>

Dialux ist ähnlich wie Lightscape ein Lichtplanungswerkzeug. Verschiedene Leuchtenhersteller schlossen sich 1994 zusammen, um ein gemeinsames Lichtsimulationsprogramm kostenlos für die Planung zur Verfügung zu stellen. Anders als bei Lightscape benötigt man bei DIALux keine vordefinierten Raumgeometrien, um eine Lichtberechnung durchzuführen. Mit parametrisierten **3D-Raumtypen** lassen sich schnell Lichtstudien durchführen. Es können jedoch auch komplexe Gebäudegeometrien im DXF-Format importiert werden. In einem übersichtlichen Projektbaum erhält man Zugriff auf alle Bauelemente und deren Eigenschaften. Mit einem umfangreichen Möbelkatalog lassen sich Räume schnell einrichten.

Bei der **Farbauswahl** für die Materialien stehen die Farbsysteme RGB, HSV und die Farben der klassischen RAL-Palette zu Verfügung. Die objektorientierten **Materialien** definieren sich durch die Oberflächenfarbe und den Reflexionsgrad. Daneben gibt es vorgefertigte Texturen, welche als Materialoberflächen ausgewählt werden können.

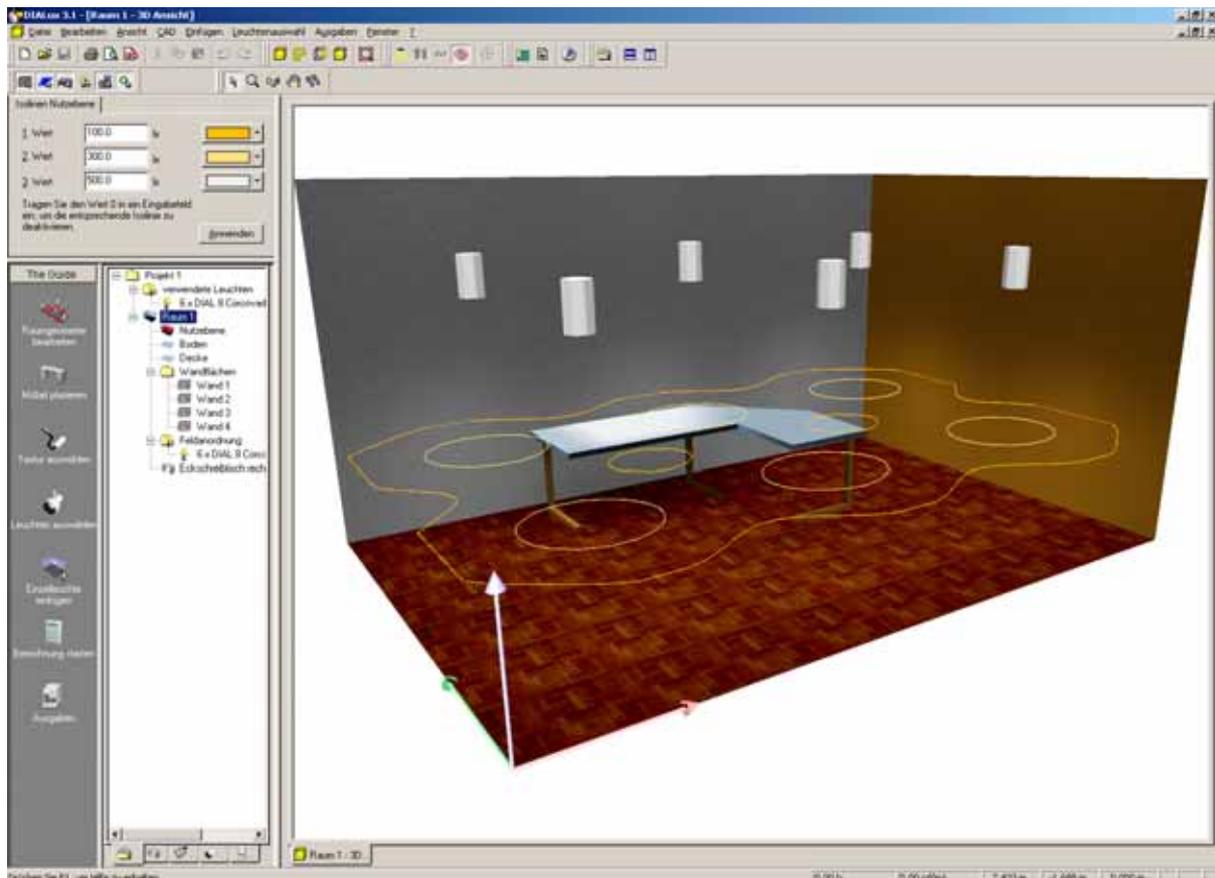


Abb. 3–2 DIALux 3.1 mit Isoliniendarstellung der Helligkeit

Die **Beleuchtung** in DIALux erfolgt mit physikalisch vermessenen Leuchtentypen, welche von den Herstellern (z.B. Erco, Bega, Bright, Claude) als Plugins aus dem Internet oder auf CD angeboten werden. In DIALux können automatische Leuchtenanordnungen generiert werden. Dabei stehen neben den Einzelleuchten parametrisierte Feld-, Linien- und Kreisanordnungen der Leuchten zur Verfügung.

Der DIALux-**Import** umfasst DXF-Modelle, Texturen und Möbel-Dateien. Im **Export** lassen sich DXF-Geometrien abspeichern und die Berechnungsergebnisse im PDF-Format sichern.

Eine anschauliche **Visualisierung** der Berechnungsergebnisse erfolgt im 3D-Modell von DIALux (siehe Abb. 3-2). Außerdem kann man eine Isolinienanordnung der Beleuchtungsstärke in der eingestellten Nutzebene hinzuschalten. So lässt sich schnell die Helligkeit am Arbeitsplatz überprüfen. Zusätzlich kann man von der 3D-Ansicht eine Radiosity-Lichtberechnung mit der frei verfügbaren Software POV-Ray durchführen.

Die Radiosity-Lichtberechnung ist in der Wikipedia [Wikipedia 2005] wie folgt beschrieben: „**Radiosity** ist ein globales Beleuchtungsmodell für die 3D-Computergrafik. Es beruht auf dem Energieerhaltungssatz: Alles Licht, das eine Fläche empfängt und nicht absorbiert, muss sie wieder emittieren. Außerdem kann eine Fläche auch selbstleuchtend sein.“

3.3 Piranesi 3

Hersteller: Informatix Software International Ltd., Cambridge, UK

Webseite: <http://www.informatix.co.uk/piranesi>

Piranesi ist ein **2D**-Zeichenprogramm, welches beim Zeichnen zusätzliche Bildinformationen aus einer **3D**-Szene beachtet. So sind in zusätzlichen Kanälen auch Tiefen-, Material- und Orientierungsdaten des Bildes abgespeichert. Man kann so z.B. mit den Zeichenfunktionen nur Flächen eines bestimmten Materials oder einer bestimmten Orientierung verändern. Einstellbare Zeichenfilter und Effekte machen die Nachbearbeitung einer berechneten Perspektive sehr komfortabel. So lassen sich auch Farb- und Materialänderungen in einem komplexen Bild leicht ausprobieren. Die so genannten EPix-Bilder lassen sich durch Plugins und das Modul „Vedute“ aus verschiedenen 3D-Programmen importieren.

Die **Farbauswahl** in Piranesi erfolgt aus den Grundfarben Rot, Gelb, Grün, Zyan, Blau und Violett. Im Farbendialog sind die Farbsysteme HLS, HSV und RGB vorhanden (siehe Abb. 3-3 unten rechts).

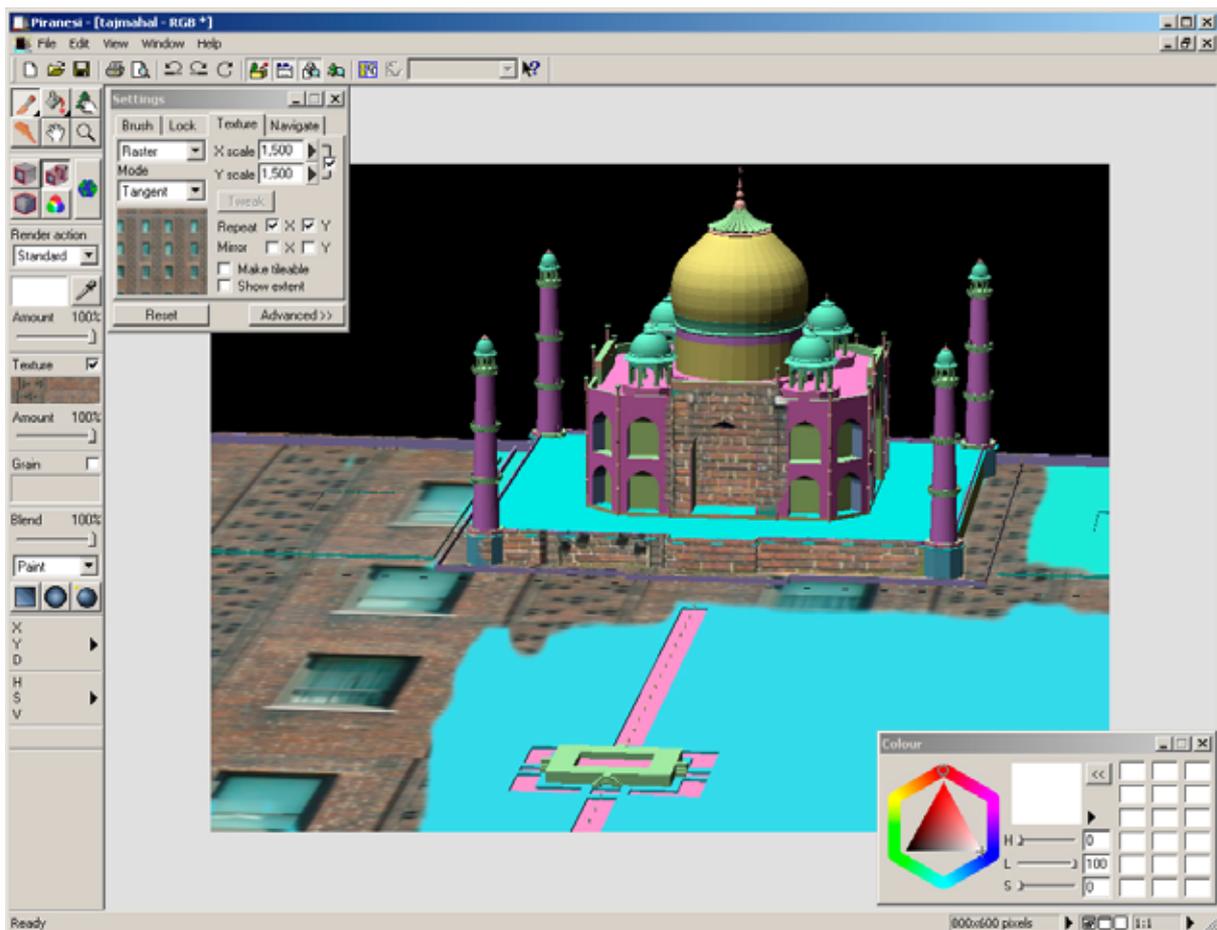


Abb. 3–3 Texturenzeichnen mit Piranesi 3

Materialien in Piranesi sind nicht objektorientiert und werden als Texturen wie Farben gemalt. Dazu steht ein gut geordneter Texturkatalog zur Verfügung. Beim Zeichnen mit einer Textur passt sich diese der Orientierung ihres Untergrundes an, so dass die räumliche Wahrnehmung der Fläche erhalten bleibt (siehe Abb. 3-3).

Eine einfache **Beleuchtung** von 3D-Szenen führt man mit dem Modul Vedute durch. So kann man ohne komplizierte, technische Lichtparameter ambientes Licht von Himmel und Boden, sowie fünf Lichtquellen mit parallelem Licht einstellen.

Der **Import** von Piranesi beherrscht verschiedene Bildtypen, 3DS, DXF und MAN 3D-Dateien. Beim **Export** werden verschiedene 2D-Bildformate angeboten. Die einfache **Visualisierung** arbeitet mit Pixelbildern und zusätzlichen Farbkanälen für Tiefe, Orientierung und Material.

3.4 CorelDraw 10

Hersteller: Corel Corporation, Ottawa, Kanada

Webseite: <http://www.corel.de/>

CorelDraw ist ein vektorbasiertes **2D**-Zeichenprogramm, welches an dieser Stelle wegen seiner umfangreichen Farbwahl vorgestellt werden soll. Man kann es verwenden, um CAD-Pläne zu layouten oder um einfache Farbwürfe zu erstellen.

Bei der **Farbwahl** unterstützt CorelDraw sehr viele Farbsysteme (CMY, CMYK, RGB, HSB, HLS, LAB, YIQ) und verschiedene Farbpaletten (Pantone, HKS-Farben, TRUMATCH, FOCOLTONE, Spectramaster Colors, TOYO Colorfinder und DIC-Farben). Sehr interessant ist die Funktion der Mischbereiche im Farbwahldialog von CorelDraw (siehe Abb. 3-4). In diesem Dialog werden Farbharmonien aus Komplementärfarben, symmetrischen Dreiecken, Vierecken und Fünfecken im Farbkreis nach Ittens Farbtheorie zur Verfügung gestellt. Die Farbanordnungen können im Farbkreis gedreht und verschoben werden. In Farbskalen unter dem Farbkreis lassen sich die Farben kälter, wärmer, dunkler, heller und ungesättigter einstellen. Der Nachteil ist, dass die Farben in CorelDraw nicht objektorientiert behandelt werden. So können die gefundenen Farben nur in die Farbpalette übernommen werden, wo man sie nicht mehr anhand ihrer Beziehungen im Farbkreis variieren kann.

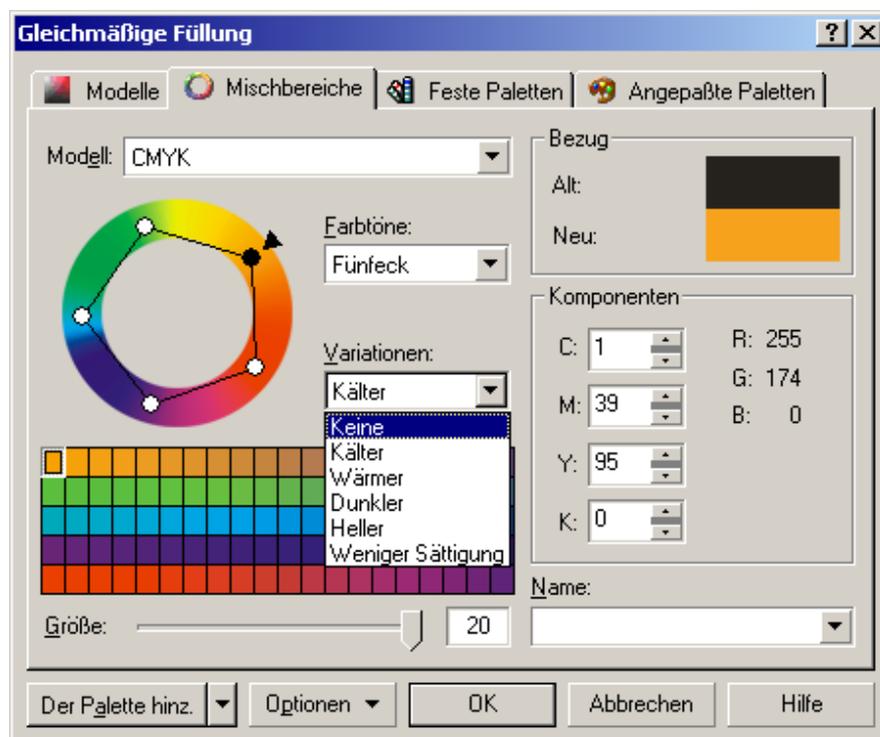


Abb. 3–4 Farbwahl mit CorelDraw 10

Eine **Materialenauswahl** und **Beleuchtung** gibt es in CorelDraw nicht. Die vektorbasierten Objekte können jedoch mit Texturen und Farbverläufen so bearbeitet wer-

den, dass sie wie beleuchtete Materialien wirken. Der **Import** und **Export** von CorelDraw beherrscht zweidimensionale DXF und AutoCAD DWG Dateien sowie viele vektor- und pixelbasierte Bildformate. Die **Visualisierung** erfolgt durch die einfache Ansicht der kolorierten Grafiken.

3.5 Fazit der Analyse

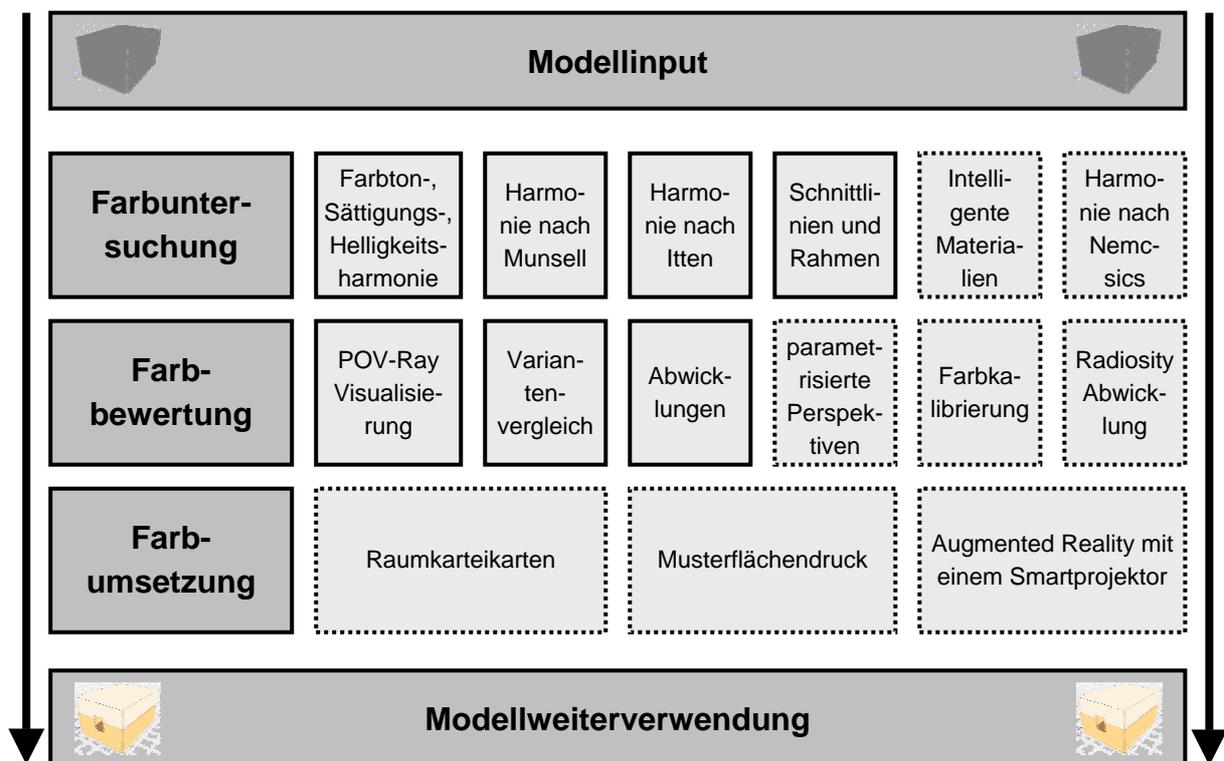
Die hier analysierten Softwarelösungen weisen sowohl Vor- als auch Nachteile auf. Jedes Programm ist für einen bestimmten Anwendungsfall konzipiert worden. Lightscape und DIALux zielen schwerpunktmäßig auf die dreidimensionale Lichtplanung. Auf der anderen Seite besitzen Piranesi und CorelDraw gute Funktionen für die zweidimensionale Farb- und Materialgestaltung. Keines der vorgestellten Werkzeuge deckt die Anforderungen eines Architekten in Bezug auf Farb-, Material- und Lichtgestaltung vollständig ab. Gerade im Bereich des dreidimensionalen Farb- und Materialentwurfes bestehen Defizite. Im folgenden Kapitel sollen nun Kriterien und Konzepte für eine eigene Softwarelösung erarbeitet werden, die den Planer optimal beim Farb-, Material- und Lichtentwurf unterstützt.

4 Konzeption einer eigenen Softwarelösung

Auf Basis der vorangegangenen Analyse aktueller Forschungsaktivitäten am Lehrstuhl InfAR und der Diplomaufgabenstellung soll in diesem Kapitel ein **Softwarekonzept zum Farb-, Material- und Lichtentwurf** in der Architektur entwickelt werden. Der größte Handlungsbedarf besteht dabei im dreidimensionalen Farb- und Materialentwurf. So wird im Folgenden ein Anforderungskatalog entwickelt, welcher die erforderlichen funktionellen Neuerungen für das Konzept des zu entwickelten Programms CA (Colored Architecture) beschreibt.

4.1 Gliederung des Programms

Am Anfang des Farb-, Material- und Lichtentwurfes benötigt man eine Zeichnung oder ein 3D-Modell. Wie bereits in Abschnitt 2.6 geschrieben wurde, gliedert sich die architektonische Farbgestaltung in zwei Vorgehensweisen: 1. die Gestaltung einer gebauten, realen Architektur und 2. den Farbentwurf einer zu planenden Architektur. Beide Herangehensweisen sollen unterstützt werden. Man beginnt entweder mit einem komplexen 3D-Modell oder mit Vorstudien und skizzenhaften Zeichnungen des zu planenden Gebäudes.



————— in der Software CA umgesetzt

..... in der Konzeption beschrieben

Abb. 4–1 Programmaufbau von Colored Architecture

Liegen die beschriebenen Planungsgrundlagen vor, beginnt der eigentliche Gestaltungsvorgang. Dieser gliedert sich beim Farbwurf in drei Arbeitsschritte [eCAADe 2004]:

1. die Farbuntersuchung,
2. die Farbbewertung und
3. die Farbumsetzung.

Zwischen der Farbuntersuchung und der Farbbewertung gibt es beim Gestalten zahlreiche Wechselwirkungen, so dass diese Stadien mitunter mehrfach durchlaufen werden. Die Materialgestaltung ist in diesem Zusammenhang in die Planung einzubeziehen. Die Farbe gehört zum Material und wird durch die verschiedenen Materialeigenschaften noch differenzierter wahrgenommen. Am Anfang des Entwurfes ist es erforderlich, zunächst die wichtigsten Parameter eines Materials, wie Farbton, Helligkeit und Sättigung zu betrachten, bevor Details bearbeitet werden. Eine Beschreibung der einzelnen Gliederungspunkte wird in den folgenden Abschnitten durchgeführt (siehe Abb. 4-1).

4.2 Vorstudien zur Farbwahl

Vorstudien dienen der Findung von Konzepten. Man arbeitet nicht mit komplizierten Modellen, sondern abstrahiert die vorhandenen Daten auf ein notwendiges Maß. In Colored Architecture sollen 2D- und 3D-Vorstudien möglich sein.

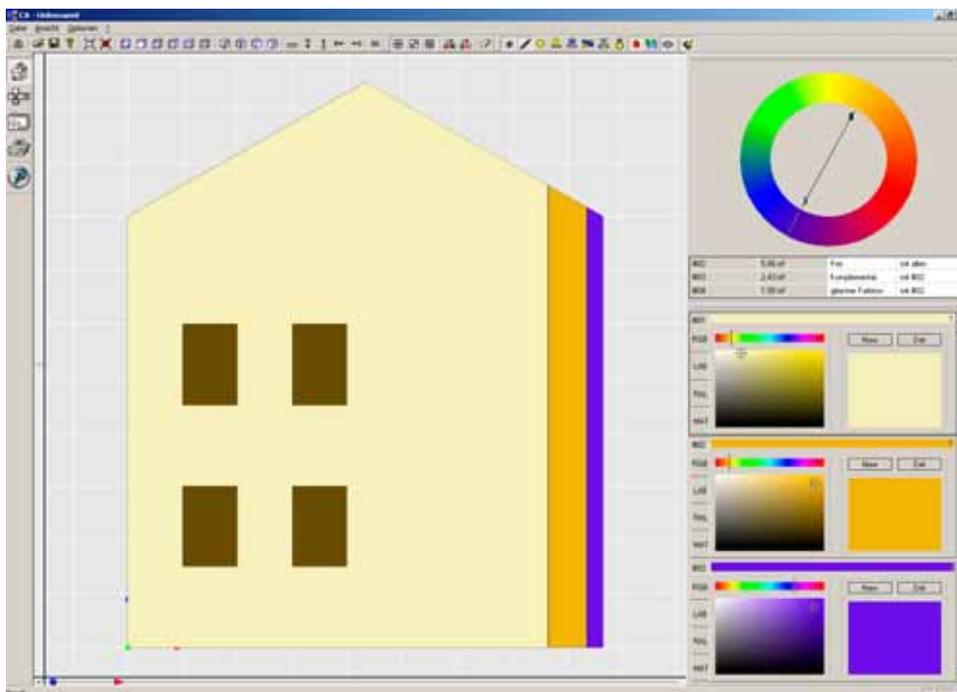


Abb. 4–2 Ansicht 2D-Farbstudie

Bei einer 2D-Vorstudie handelt es sich z.B. um eine Ansicht, wie sie in Abbildung 4-2 dargestellt ist. Skizzenhaft oder durch den Import von DXF-Dateien erstellte 2D-Zeichnungen werden verwendet, um Flächen farbig anzulegen. So kann man für die Fassadengestaltung leicht Haupt- und Nebenfarben für Putz, Sockel, Faschen und Rahmen ermitteln. Durch das Vergrößern und Verkleinern ausgewählter Farbflächen sowie durch Farbvariierung wird das richtige Verhältnis der Farben zueinander bestimmt. Im abgebildeten Beispiel sind neben der Hauptfarbe des Putzes und den Fensterflächen Farbstreifen für Sockel- und Fensterrahmenfarbe vorhanden. Sie repräsentieren abstrakt den Flächenanteil dieser Farben in der Ansicht.

Die 3D-Farbstudie arbeitet mit einfachen, abstrakten Körpern, um eine bestimmte bauliche Situation darzustellen. Die Baukörper werden extern in der benötigten Abstraktion erstellt und in den Prototypen Colored Architecture geladen. In Abbildung 4-3 ist eine Reihe von einfachen, farbigen Baukörpern zu sehen, welche die Nachbarbebauung repräsentieren. Mit ihnen können städtebauliche Untersuchungen durchgeführt und die Farbwirkung des Entwurfes im Bestand überprüft werden.

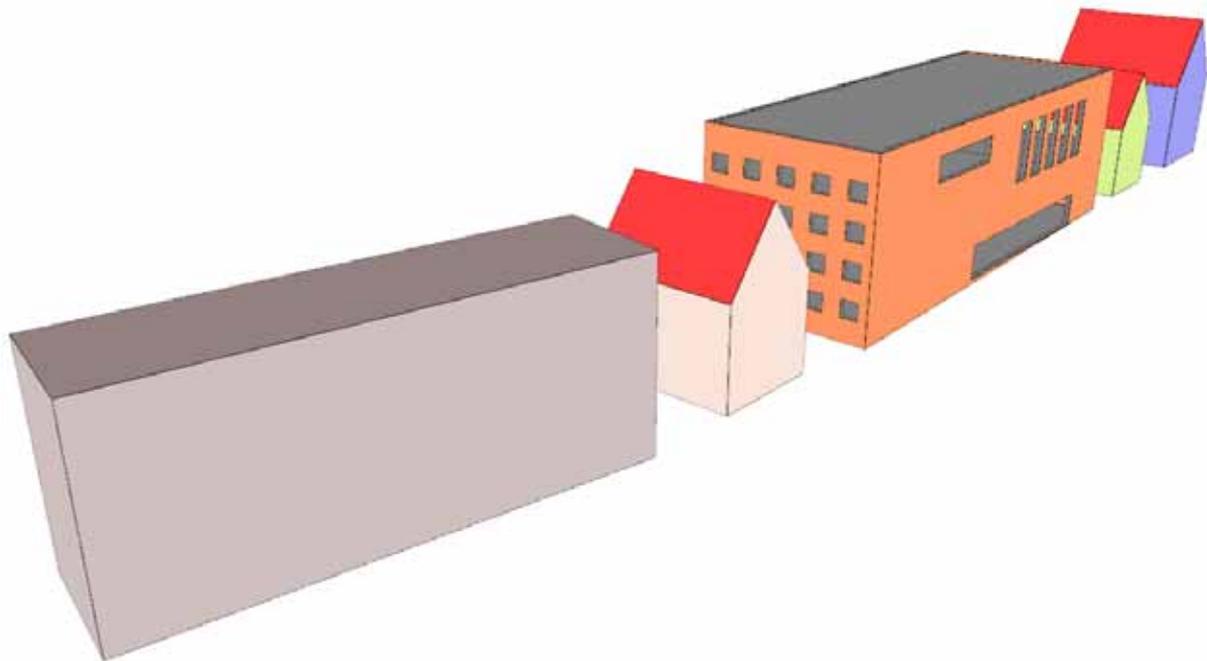


Abb. 4–3 [Weber 2005] Nachbarbebauung 3D-Farbstudie

4.3 Gebäudegliederung und übergeordnete Farbzweisungen

In der Gebäudegliederung unterteilt man ein komplexes Geometriemodell in seine Raumelemente: Gebäude, Etagen und Räume. Die Unterteilung erfolgt dabei manuell durch die Eingabe des Gebäudeumgrenzungspolygons, der Gebäude- und Etagenhöhen. In einem umschriebenen Raum können die geometrischen Flächen anhand ihrer Orientierung, ihrer räumlichen Lage und ihrer Größe automatisch in Wandflächen, Deckenflächen, Bodenflächen, Rahmenflächen und Leibungsflächen unterschieden werden. Diesen Flächengruppen kann man in der Gebäudegliederung globale Standardfarben und -materialien zuweisen, welche zunächst in allen untergeordneten Raumelementen angewendet werden.

In einem Strukturbaum sind alle Raumelemente übersichtlich dargestellt (siehe Abb. 4-4). Das selektierte Raumelement wird jeweils im Perspektivfenster grafisch hervorgehoben. Alle Attribute des selektierten Raumelementes, wie Farbdefinitionen und Volumenmaße werden ebenfalls angezeigt. Über die Schaltfläche „Flächenübersicht“ wird eine tabellarische Auflistung aller im selektierten Raumelement verwendeten Materialien ausgegeben. Zu jedem Material werden seine Flächengröße, Farbwerte und Verwendungsorte angegeben. So ist es möglich, mit den berechneten Flächeninhalten und einem Quadratmeterpreis schnell die Kosten einer Farb- und Materialkonzeption zu überschlagen. Ebenso können mit den Verbrauchsnormen die Wartungszyklen bestimmt werden.

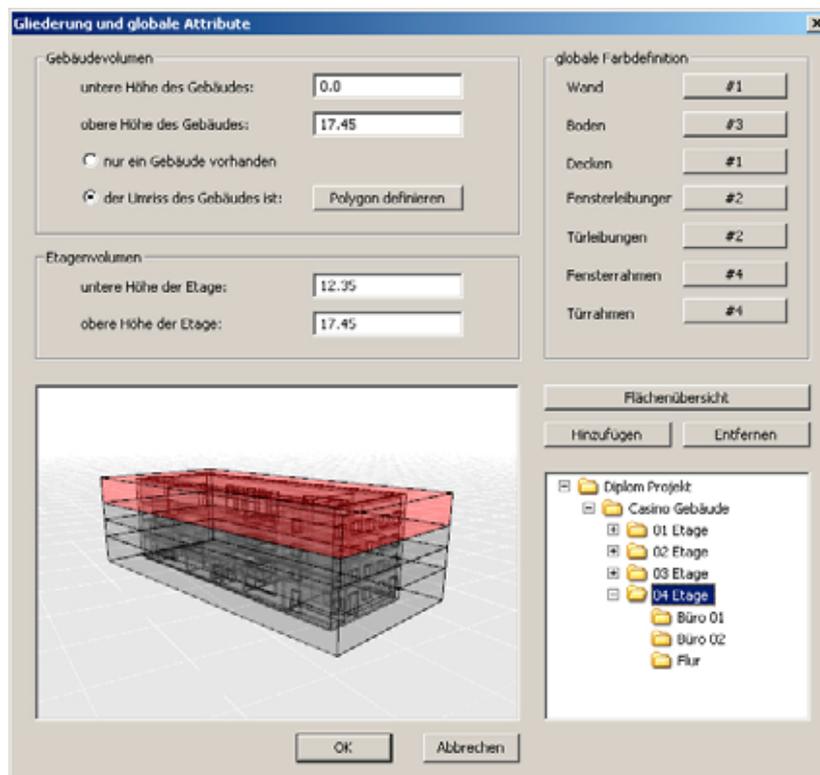


Abb. 4–4 [Weber 2005] Dialog Gebäudegliederung

4.4 Farbuntersuchung

Bei der Farbuntersuchung wird die Beleuchtung zunächst ausgeklammert, da Licht, Schatten und farbige Reflexionen die Darstellung der Farben stark beeinflussen. Im Abschnitt 3 wurden Softwarelösungen wie Lightscape und DIALux beschrieben, welche den Lichtentwurf gut unterstützen. Colored Architecture soll verstärkt auf den Farbwurf ausgerichtet sein. Dazu werden die Farben unverfälscht visualisiert.

4.4.1 Dialog zur Farbwahl

Der Farbwahl-dialog zeigt ein Fenster, in dem man Farbwerte nach seinen Bedürfnissen einstellen kann. Die Größe des Fensters ist frei wählbar und kann so angepasst werden, dass eine große Farbübersicht mit vielen Farbobjekten oder eine detaillierte Farbauswahl möglich ist.

In Abbildung 4-5 sind zwei verschiedene Farbobjekte aus dem Farbwahl-dialog dargestellt. Das erste Objekt zeigt das RGB-Farbsystem und das zweite die „RAL Classic“-Farbpalette. Mit den Registerkarten am linken Rand des Dialoges kann man auch in das LAB-Farbsystem oder zu den Materialeigenschaften des Objektes wechseln.

Die Farbobjekte sind jeweils in vier Abschnitte unterteilt. Im RGB- und LAB-Farbsystem dienen die ersten beiden linken Abschnitte der Farbwahl und den Farbparametern. Bei den Farbpaletten und Materialeigenschaften werden diese Abschnitte zu einem großen Bereich zusammengefasst und zeigen verschiedene Farb- und Materialeigenschaften.

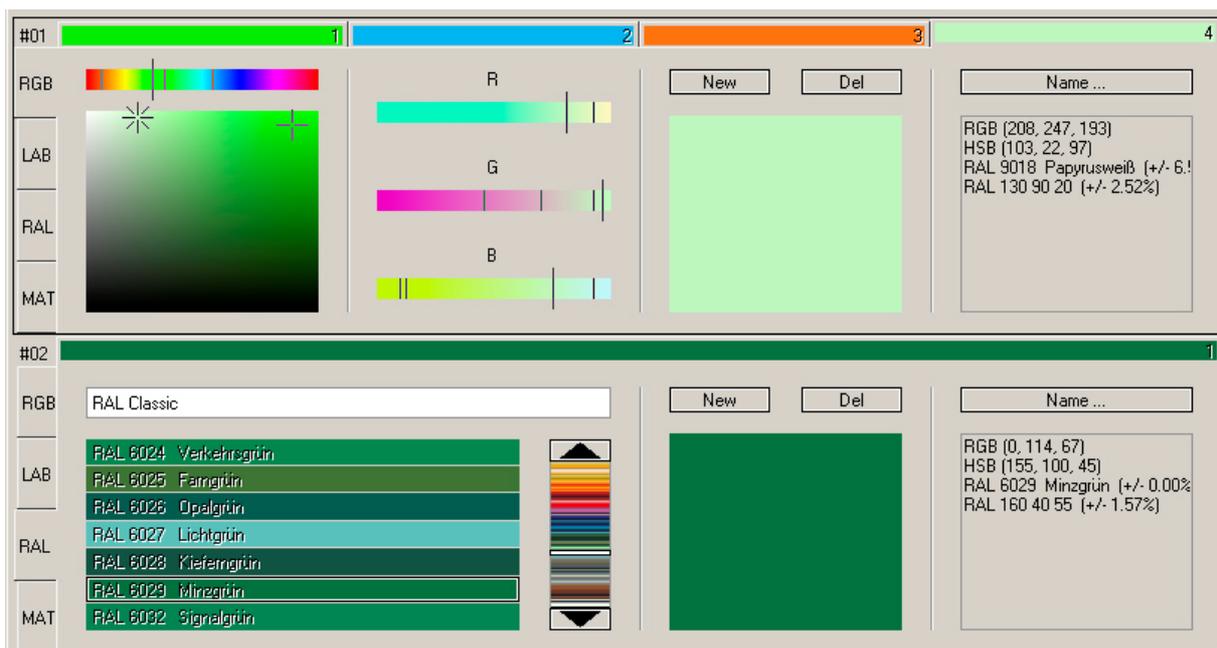


Abb. 4–5 Dialog zur Farbwahl

Im dritten Abschnitt des Farbobjektes kann man neue Farbvarianten erzeugen, sowie eine große Vorschau der gemischten Farbe betrachten. Am oberen Rand des Farbobjektes befinden sich die Karteikarten der verschiedenen Farbvarianten des Objektes. Hat man das Farbobjekt mit „Drag & Drop“ einer Raumbofläche zugewiesen, kann man anschließend durch Auswahl der Karteikarten verschiedene Farbvarianten testen.

Der vierte Abschnitt dient der Beschreibung der Farbparameter und der Angabe des Namens. Die gewählten Farben werden in alle verfügbaren Farbsysteme und Farbpaletten umgerechnet. Da die Farbpaletten nur einen begrenzten Farbraum beinhalten, werden sie in den Farbsystemen RGB, LAB und HSB jeweils in die nächste Palettenfarbe umgerechnet. Eine Prozentangabe gibt darüber Auskunft, wie groß die Abweichung von der Palettenfarbe ist. Die vier Abschnitte im Farbwahldialog lassen sich frei verschieben, so dass man bestimmte Anzeigen ausblenden und andere dafür vergrößern kann.

Im Farbwahldialog werden verschiedene Farbsysteme wie RGB, LAB und HSB unterstützt. Farbpaletten wie „RAL Classic“ und „RAL Design“ sichern den praktischen Bezug zur Farbumsetzung. Natürlich können weitere Farbpaletten, wie NCS oder die Palette eines bestimmten Farbherstellers hinzugeladen werden. In den Farbobjekten können leicht Farbvarianten gebildet werden, so dass verschiedene gemischte Farben für dieselbe Oberfläche ausprobiert werden können und für die spätere Dokumentation erhalten bleiben.

4.4.2 Intelligente Materialien

Abbildung 4-6 zeigt einen Auswahldialog für Materialeigenschaften. Parameter wie Transparenz, Spiegelung, diffuse Spiegelung und Streuung definieren die physikalischen Oberflächeneigenschaften des Materials. In einem Auswahlfeld lassen sich verschiedene vordefinierte Materialparameter für Putze, Steine, Beton, Tapeten, Stoffe, Fliesen und Hölzer abrufen.

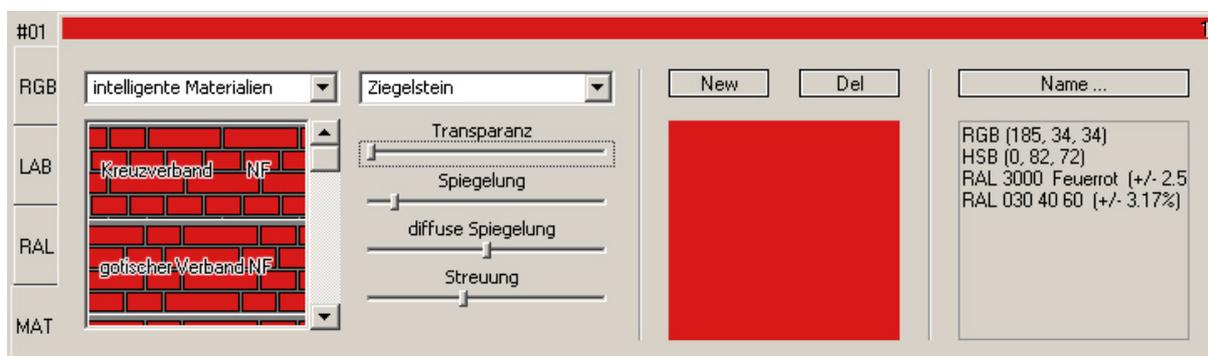


Abb. 4–6 Dialog zur Materialwahl

In einem weiteren Auswahlfeld stellt man die Art der Materialtextur ein. Zur Auswahl stehen die Optionen „reine Farbe“, „intelligente Materialien“ und „Textur“. Zunächst ist in diesem Feld die Option „reine Farbe“ selektiert. Mit der Option „Textur“ können Bilddateien z.B. von www.musterkiste.de geladen werden, welche mit einem einzu-stellenden Skalierungsfaktor und einem Drehwinkel planar, gekachelt auf die Materi-aloberflächen projiziert werden.

Die Option „intelligente Materialien“ kombiniert die eingestellte Farbe mit einer para-metrisierten Textur. So können z.B. Texturen aus Fugenmuster und der gewählten Farbe dargestellt werden (siehe Abb. 4-6). Verschiedene Ziegelverbände, Tapeten, Stoffe, Putze und Holzmaserungen können mit ihren korrekten Texturskalierungen aus einem Katalog ausgewählt werden. Diese teilweise transparenten Bilder werden im richtigen Maßstab planar auf die farbigen Materialoberflächen projiziert.

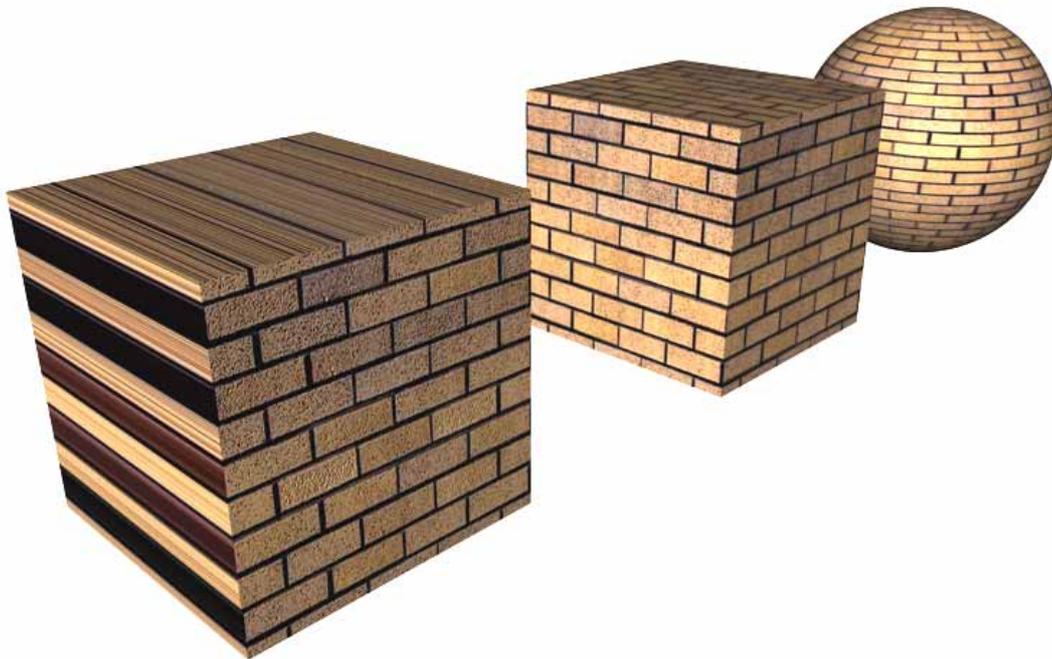


Abb. 4–7 verschiedene Arten der Texturprojektionen: planar, kubisch, kugelförmig

Ein Problem bei architekturegerechten Materialien ist die Darstellung der Objektseiten mit der richtigen Textur. Bei einer Ziegelwand sieht man an den Seitenflächen, den Stirnseiten und an der Ober- und Unterseite unterschiedliche Texturen. Ein Holzwerkstoff hat unterschiedliche Maserungen in der Seitenansicht und im Schnitt. Visualisierungssoftware unterscheidet wie in Abbildung 4-7 dargestellt zwischen verschiedenen Texturprojektionsarten. Eine automatische und intelligente Texturprojektion je nach Material ist wünschenswert - es gibt sie jedoch noch nicht. Um Colored Architecture einfach und bedienbar zu halten, werden die Texturen planar auf die Oberflächen projiziert. So kann man manuell alle Texturen richtig zuweisen.

4.4.3 Dialog zu den Farbharmonien

Der Dialog zu den Farbrelationen soll Hilfestellungen bei der Gestaltung von Räumen leisten und bildet einen Schwerpunkt in der Software Colored Architecture. Farbharmonien und Kontraste nach Itten, Munsell und Nemcsics sind programmtechnisch vorgesehen. Der Dialog beinhaltet den Farbkreis nach Itten, sowie eine Reihe von Auswahlmöglichkeiten für die Festlegung von Farbharmonien. Mit den Schaltflächen „Munsell“, „Itten“ und „Nemcsics“ werden die gleichnamigen Farbbeziehungen angewendet: das Munsell Farbflächenverhältnis, die Komplementärfarben nach Itten und die Raumfarben nach Nemcsics. Die Schaltflächen „Farbton“, „Sättigung“ und „Helligkeit“ setzen die selektierten Farbobjekte auf den gleichen Farbton, die gleiche Sättigung oder die gleiche Helligkeit. Mit dem Button „Frei“ werden alle Farbbeziehungen wieder zurückgesetzt. Die Schieberegler unter dem Farbkreis geben den Grad der Farbton-, Sättigungs- und Helligkeitsharmonie an (siehe Abb. 4-8). In der Tabelle darunter werden alle Farbbeziehungen detailliert aufgelistet.

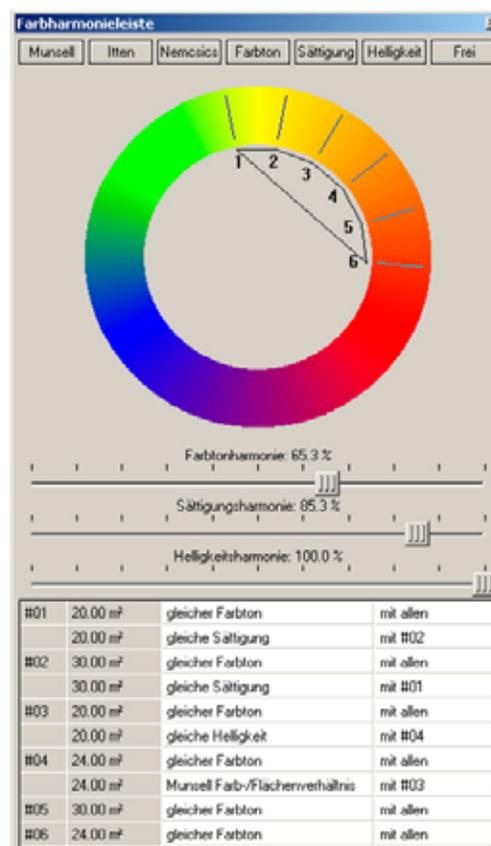


Abb. 4–8 Farbharmonieleiste

Die Schieberegler geben mit dem **Grad einer Harmonie** an, zu wieviel Prozent eine Harmonie hergestellt werden soll. Eine Farbtonharmonie von 100% bedeutet, dass alle Farben den gleichen Farbton im Farbkreis haben. Im umgekehrten Fall, d.h. bei 0% Farbtonharmonie werden Komplementärfarben eingestellt. Alle Farbtöne haben den größtmöglichen Abstand voneinander. Im Farbkreis in Abbildung 4-8 ist die 65,3

prozentige Farbtonharmonie dargestellt. Alle Farbtöne sind in einem gleichmäßigen Abstand voneinander um einen Farbton angeordnet. Man kann die Schieberegler sehr gut einsetzen, um eine definierte, gleichmäßige Verteilung der Farben im Farbton-, Helligkeits- oder Sättigungsspektrum einzustellen. Der eingestellte Grad einer Harmonie wird als Parameter der Farbrelation gespeichert.

In der **Tabelle mit den Farbbeziehungen** werden nur die Beziehungen der aktuell selektierten Farbobjekte dargestellt (siehe Abb. 4-9). Neben dem Namen der Farbe, ihrem Flächeninhalt und der Art der Farbrelation wird auch angegeben, zu welchen Farbobjekten eine Relation besteht. Sie kann zu allen anderen selektierten Farbobjekten oder nur zu bestimmten, ausgewählten Farbobjekten festgelegt werden. So hat in Abbildung 4-8 die Farbe #01 die gleiche Sättigung wie Farbe #02. Dagegen haben alle selektierten Farben den gleichen Farbton mit 65,3 Prozent Farbtonharmonie.

Ein Problem in der Bearbeitung eines Farbwurfs besteht darin, dass viele Relationen zwischen den Farbobjekten gleichzeitig bestehen können. Dabei sind einige Farbrelationen in einem Farbobjekt kombinierbar, und andere schließen sich gegenseitig aus:

- Komplementärfarben, Sättigung, Helligkeit sind untereinander kombinierbar,
- das Munsell Flächenverhältnis ist kombinierbar mit Komplementärfarben oder dem gleichen Farbton und
- gleicher Farbton, Sättigung und Helligkeit sind kombinierbar,
- Komplementärfarben und gleicher Farbton dagegen schließen einander aus.

Treten zwischen den Farbrelationen Widersprüche auf, die mathematisch nicht gelöst werden können, so wird dies dem Nutzer mitgeteilt, und die Farbbeziehungen werden auf „Frei“ zurückgestellt.

#01	20.00 m ²	gleicher Farbton	mit allen
	20.00 m ²	gleiche Sättigung	mit #02
#02	30.00 m ²	gleicher Farbton	mit allen
	30.00 m ²	gleiche Sättigung	mit #01
#03	20.00 m ²	gleicher Farbton	mit allen
	20.00 m ²	gleiche Helligkeit	mit #04
#04	24.00 m ²	gleicher Farbton	mit allen
	24.00 m ²	Munsell Farb-/Flächenverhältnis	mit #03
#05	30.00 m ²	gleicher Farbton	mit allen
#06	24.00 m ²	gleicher Farbton	mit allen

Abb. 4–9 Vergrößerung der Tabelle mit den Farbbeziehungen aus Abb. 4-8

Da man in der Farbharmonieleiste viele Parameter und Farbbeziehungen einstellen kann, ist es wichtig, trotz aller Komplexität ein einfaches Design der Nutzerinteraktionen zu entwerfen. Dafür wurden die **Schnellwahlbuttons** in den Dialog integriert. So wählt man z.B. einen Raum aus, wechselt in seine Abwicklung (siehe Abschnitt 4.5.2), zieht eine Fußboden-, Wand- und Deckenfarbe auf seine Oberflächen und klickt auf einen Schnellwahlbutton „Itten“, „Munsell“ oder „Farbton“. Die Software wendet danach die richtigen Farbrelationen zwischen allen Raumboberflächen an. Anschließend kann die Farbkomposition bewertet, variiert oder verworfen bzw. eine neue Farbgebung erstellt werden.

Im Zusammenhang mit **flächenabhängigen Farbbeziehungen** sind globale und mehrfach verwendete Farbdefinitionen problematisch. So definiert sich das Farbflächenverhältnis von Munsell über die Parameter Fläche, Helligkeit und Reinheit zweier Farben W und Z. Die Reinheit entspricht dabei der Sättigung einer Farbe:

$$\frac{(\text{Reinheit} \times \text{Helligkeit}) W}{(\text{Reinheit} \times \text{Helligkeit}) Z} = \frac{\text{Fläche Z}}{\text{Fläche W}}$$

Diese Farbbeziehung ist wie bei jeder Farbharmonie auf den begrenzten **Raum der Farbwahrnehmung** anzuwenden. Was ist der begrenzte Raum der Farbwahrnehmung? Ist es der Raum, die Flächen einer Ansicht oder alle Flächen einer bestimmten Raumabfolge? Die Entscheidung in welchem Kontext die Farbharmonie anzuwenden ist, kann nur der Planer selbst treffen. So wird eine globale Wandfarbe mit einer flächenabhängigen Farbharmonie zu einer globalen Fußbodenfarbe in verschieden großen Räumen unterschiedlich beeinflusst.

Eine flächenabhängige Farbbeziehung wie das „Munsell-Farbflächenverhältnis“ darf sich deshalb nur auf bestimmte Flächen und nicht auf alle Flächen dieser Farbe beziehen, die irgendwo in einem Gebäude eingesetzt wurden. Die Definition des Parameters Bezugsflächen erfolgt durch den Planer über die Raumboberflächen, welche bei der Farbharmoniezuweisung selektiert sind.

Bei der Verwendung von **globalen Wand-, Decken- und Fußbodenfarben** gibt es Konflikte zwischen den einzelnen definierten Wahrnehmungsräumen. Die Flächengrößen sind in jedem Raum unterschiedlich, so dass sich jeweils differenzierte Wand-, Decken- und Fußbodenfarben ergeben. Ist dies der Fall, so wird von der Software eine Mittelung der „Munsell-Farbflächenverhältnis“-Farben für alle Wahrnehmungsräume durchgeführt.

Durch die Verwendung des Parameters Flächeninhalt in der Berechnung des Munsell-Farbflächenverhältnisses ist es notwendig, so genannte **Beobachter** in die Geometrie einzufügen. Die Beobachter melden der Farbberechnung Änderungen an der Geometrie und bestimmter Flächeninhalte, damit neue Farben berechnet und einge-

stellt werden können. So ist es bei einem Raumentwurf denkbar, dass sich die Farben entsprechend ihrer Farbbeziehungen ändern, während man die Raumgröße variiert.

4.4.4 Dialog zur Farbharmonie nach Nemcsics

In den Abschnitten 2.3 „Untersuchungen zur Farbpräferenz“ und 2.4 „Architektonische Anforderungen für den Farbwurf“ wurden unter anderem Nemcsics Aussagen zur Farbgestaltung zusammengefasst. Danach gibt es vier Hauptelemente, welche objektiv den Farbwurf beeinflussen: die Fensterorientierung, die Raumgröße, die Funktion des Raumes und die Nutzergruppe, welche sich in dem Raum aufhalten wird. Die softwaretechnische Umsetzung der Farbempfehlungen von Nemcsics mit seinen Hauptelementen ist in Abbildung 4-10 ist dargestellt.

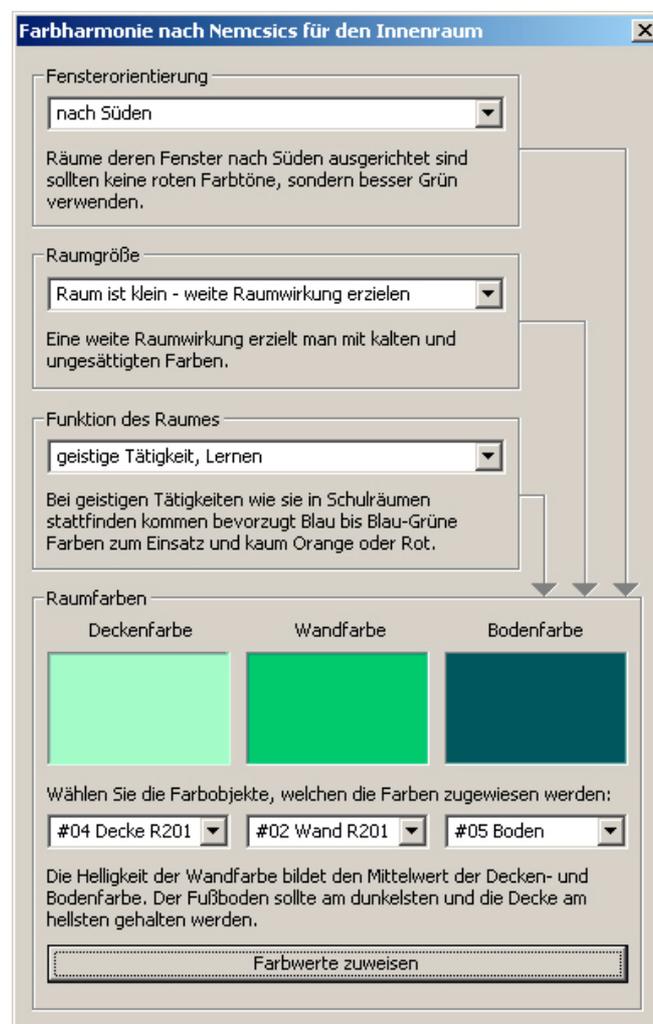


Abb. 4–10 Farbharmonien nach Nemcsics für den Innenraum

Die Parameter **Fensterorientierung**, **Raumgröße** und **Funktion des Raumes** sind von Nemcsics allgemein definiert und lassen sich in einer Software leicht umsetzen. So wählt man in einem Auswahlfeld für jeden Parameter einen Wert aus, wodurch im

Textfeld darunter die Farbgestaltungsempfehlung von Nemcsics angezeigt wird. Selektiert man z.B. bei der Fensterorientierung „nach Süden“, so wird die Empfehlung angezeigt: „Räume, deren Fenster nach Süden ausgerichtet sind, sollten keine roten Farben, sondern besser Grün verwenden.“ Gleichzeitig versucht der Computer, alle textlichen Empfehlungen in einer Farbkombination für Decken-, Wand- und Bodenfarbe umzusetzen. Durch die Farbbeurteilungen wird das Auswahlspektrum für bestimmte Farben eingeschränkt. Die Software wählt aus diesem eingeschränkten Farbspektrum eine Hauptfarbe und definiert alle Raumfarben durch Farbrelationen zu dieser Farbe. So erzeugt man eine Farbkombination nach Nemcsics und kann darüber hinaus alle Farben in ihrem definierten Spektrum variieren.

Ein wichtiger Parameter für die Farbgestaltung in Räumen sind die **Nutzer**, für die der Raum entworfen wird. Nemcsics nimmt bei seinen Farbuntersuchungen eine Gruppierung der Versuchspersonen nach Altersgruppen und Geschlecht vor. Er erhielt für diese Personengruppen allgemeine Farbpräferenzdaten (siehe Abschnitt 2.3). Dabei lässt sich grob zusammenfassen, dass in beiden Geschlechtern und allen Altersgruppen die gesättigten Farben Hellgrün, Rot-Orange, Hellblau und Dunkelblau die beliebtesten Farbtöne sind. Nemcsics untersucht die Farbpräferenzen an dieser Stelle nicht spezifisch für bestimmte Raumfunktionen, sondern allgemein und ohne architektonischen Kontext. Ist die Lieblingsfarbe einer Person automatisch mit Architektur und ihrer Funktion zu verbinden? An dieser Stelle gibt Nemcsics keine Empfehlungen. Der Parameter Nutzergruppe wurde deshalb nicht in die „Farbharmonie nach Nemcsics“ aufgenommen. Nicht zuletzt ist der Farbwurf ein sehr individueller Aspekt, den der Planer für eine bestimmte Zielgruppe entwirft. Allgemeine statistische Farbpräferenzen sind dabei zwar hilfreich, die Farben werden jedoch individuell festgelegt.

4.4.5 Schnittlinien und Rahmen

Der Architekt benötigt zur Planung von Farb- und Materialkombinationen Werkzeuge, um einfach und schnell Flächen eines Raumes mit verschiedenen Farbobjekten zu belegen. Meist ist nur ein einfaches abstraktes 3D-Modell vorhanden, welches bei Bedarf aber verfeinert werden muss. Es werden Funktionen benötigt, um Bordüren, Sockel, Scheuerleisten und Türrahmen schnell anzulegen. Ebenso sind künstlerische Gestaltungen eines Raumes zu unterstützen (siehe Abb. 4-11). Dazu sind in der Software Colored Architecture Schnittlinien und Schnittrahmen vorgesehen, welche Flächen unterteilen können. Sie werden in den planaren Ansichten und in der Abwicklung (siehe Abschnitt 4.5.2) angewendet. Technisch gesehen gibt es zwei Möglichkeiten, die Funktionen umzusetzen:

1. Schnittoperationen, um die Geometrie zu teilen oder
2. eine Texturierung der Geometrieoberfläche.

Die Geometrietrennung besitzt folgende Vorteile gegenüber der Texturierung:

1. die unbegrenzte Auflösung einer vektorbasierten Zeichnung,
2. den geringeren Arbeitsspeicherbedarf und damit eine höhere Verarbeitungsgeschwindigkeit und
3. die Einmessbarkeit in Aufmassprogrammen wie OpenGLViewer.

Aus diesen Gründen wurden Schnittoperationen mit Schnittlinien und Schnittrahmen ausgewählt. Die Schnittlinien und Schnittrahmen lassen sich verschieben, um die Flächenanteile der Farben zu variieren. Zudem lassen sich Teilungen rückgängig machen, indem man zwei Teilflächen wieder vereinigt.

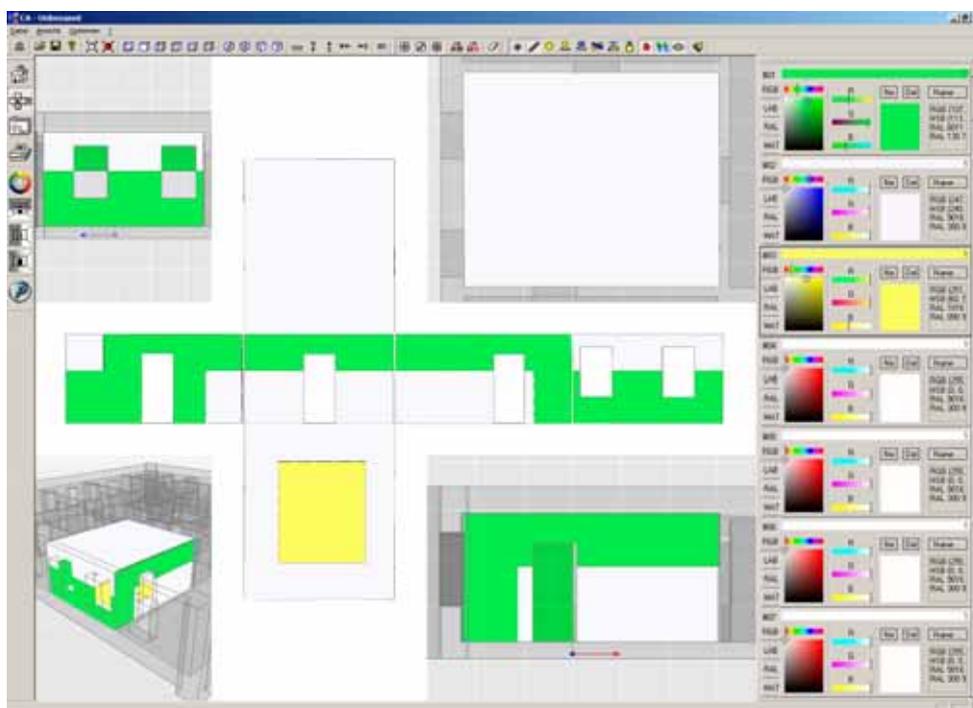


Abb. 4–11 Beispiel Schnittlinien und Schnittrahmen

4.4.6 Objektorientiertes Bauwerksmodell - BIM

Der Grundgedanke von „Building Information Modelling“ erfolgt in Colored Architecture mit einem objektorientierten Bauwerksmodell. Den Oberflächen des dreidimensionalen Geometriemodells werden Farbattribute als Objekte zugeschrieben. So zieht man die Farben aus dem grafischen Dialog der Farbwahlleiste auf die Oberflächen. Änderungen im Farbdialog wirken sich sofort auf alle Oberflächen aus, denen dieses Farbobjekt zugewiesen wurde. Man vermeidet Redundanzen, indem man jede gemischte Farbe nicht erneut einer Oberfläche zuweisen muss. Die Farbobjekte beinhalten verschiedene Farbvarianten für ihre zugewiesenen Oberflächen (siehe Abschnitt 4.4.1). So kann man z.B. verschiedene Varianten für die Wandfarbe eines Raumes festlegen.

Die Beziehungen zwischen Farben lassen sich als Varianten abspeichern. Hierzu werden **Farbvariantenobjekte** gebildet. Mit ihnen werden die Farbrelationen der selektierten Oberflächen abgespeichert. Außer den Relationen werden dabei auch die Farbwerte der selektierten Flächen gesichert. Wenn keine Oberflächen zur Bearbeitung selektiert sind, werden alle Farbrelationen und Farbwerte in das Farbvariantenobjekt aufgenommen. Über die Selektion von Räumen beim Erstellen der Farbvariantenobjekte ist es möglich, Farbrelationen für verschiedene Räume miteinander zu kombinieren. Um die Farbvariantenobjekte übersichtlich zu verwalten, verwendet man einen Dialog, wie er in Abbildung 4-12 exemplarisch dargestellt ist. In ihm können die Farbvariantenobjekte geladen, bearbeitet und zur Bewertung herangezogen werden.

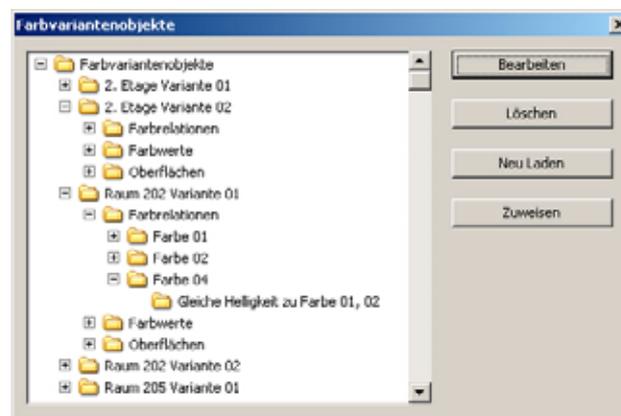


Abb. 4–12 Farbvariantenobjekte

4.5 Farbbewertung

Die Bewertung von Farben hängt vom „empfindungsgemäßen Farbeindruck“ und dem Zusammenwirken der Farben in der Architektur ab [eCAADe 2004]. In Colored Architecture sollen die typischen Arbeitsweisen des Architekten bei der Farbbewertung unterstützt werden. Dazu gehören Perspektiven, Ansichten und Abwicklungen von Räumen und Fassaden. In diesen Darstellungsformen lassen sich Farbvarianten anschaulich miteinander vergleichen.

Legenden der eingesetzten Farben unterstützen die Bewertung. Jedem Farbobjekt können seine technisch korrekten Farben und Muster zugeordnet werden. Auf diese Weise kann man bei einer Farbbewertung neben den Darstellungen am Bildschirm einen Farbfächer und Materialmuster einsetzen.

4.5.1 Visualisierung mit POV-Ray

Colored Architecture unterstützt die Visualisierung der farbig gestalteten Architektur mit der frei verfügbaren Software POV-Ray [POV-Ray 2005]. Dabei wird eine physikalisch korrekte Lichtberechnung durchgeführt, welche Reflektionen und Streuungen von Licht auf farbigen Oberflächen berücksichtigt. Nach der Einstellung des Son-

nenstandes, der Auflösung des Bildes und der Qualität der Berechnung kann man eine Radiosity-Lichtberechnung durchführen. Mit diesem Werkzeug ist eine Kontrolle der Farbwirkung möglich (siehe Abb. 4-13).

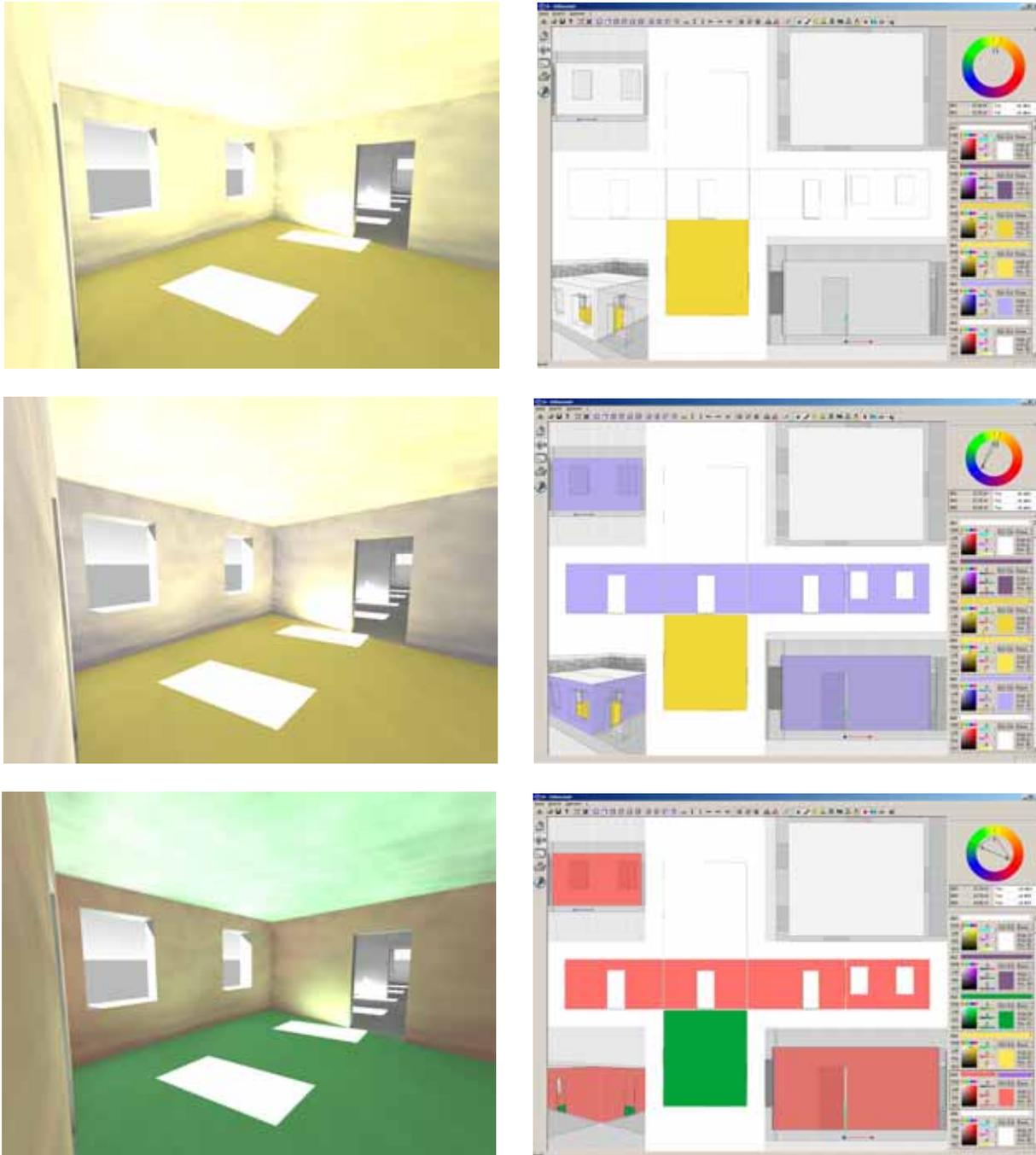


Abb. 4–13 POV-Ray-Bilder (links) mit ihren dazugehörenden Abwicklungen (rechts)

In Abbildung 4-13 ist dargestellt, wie unterschiedlich die physikalische Berechnung der Farben in einer Beleuchtungssituation zu den reinen Farben in der planaren Abwicklung wirkt. Hierzu ist anzumerken, dass die Farbgebung so gewählt wurde, um die auftretenden Lichteffekte deutlich hervorzuheben. Die Farben beeinflussen sich gegenseitig. So erscheint beispielsweise die rote Wand im beleuchteten Raum nicht

Rot, sondern durch das reflektierte, grüne Licht vom Fußboden Braun. Für diesen Sachverhalt ist in Colored Architecture eine Funktion vorgesehen, welche eine Farbe so mischt, dass sie in einer definierten Beleuchtungssituation wie eine gewünschte Farbe wirkt. Mit dieser Vorgehensweise lassen sich Farbwirkungen anpassen.

Auf der subjektiven Seite gibt es jedoch die **Chromatische Adaption** des Auges an eine Lichtsituation. Sieht die rote Wand in der Realität wirklich braun aus oder wird dieser Effekt in der Wahrnehmung des Betrachters unterdrückt? Dazu erklärt Georg Mischler sinngemäß die Chromatische Adaption des Auges: Die Netzhaut ist mit verschiedenen Typen von lichtempfindlichen Zellen ausgestattet, welche für unterschiedliche Spektralbereiche empfänglich sind. Wenn in einer Lichtsituation ein verstärkter Rotanteil vorherrscht, dann werden die rotempfindlichen Sehzellen ihre Empfindlichkeit im Verhältnis zu den anderen verringern. Als Resultat empfindet der Betrachter eine weiße Fläche anschließend ebenfalls wieder als weiß, obwohl sie eine proportional erhöhte Menge roten Lichtes reflektiert [Schorsch 2005].

In der digitalen Fotografie ist dieses Problem ebenfalls bekannt und wird mit dem so genannten „**Weißabgleich**“ messtechnisch und mathematisch gelöst. Der Weißabgleich passt die Kamera an die Farbtemperatur der dominierenden Lichtquelle an. Daraus folgt für die Farbbewertung, dass nach der Lichtberechnung eine Anpassung der Farben mittels eines Weißabgleichs durchgeführt werden muss.

Eine Radiosity-Lichtberechnung kann bei hoher Qualität der Berechnung sehr lange dauern. Gerade bei der Farbfindung sind diese Berechnungszeiträume störend im Prozess des Entwerfens. Für ein schnelleres Arbeiten bei der Lichtberechnung sind in Colored Architecture **parametrisierbare Perspektiven** der Radiosity-Lichtberechnungen vorgesehen. Die Farbe eines Bildpunktes setzt sich dabei aus den Farbanteilen aller Nachbarfarben und den Lichtquellen zusammen. Die Farbzusammensetzung des Pixelbildes wird einmal berechnet, und anschließend können die Farben aller Oberflächen schnell variiert werden, um so die beste Farbkomposition zu finden.

4.5.2 Abwicklung

Wie stellt man einen dreidimensionalen Raum anschaulich dar? In der typischen Arbeitsweise eines Architekten werden vor allem zweidimensionale Pläne und Perspektiven verwendet. Diese Darstellungsformen zeigen aber immer nur einen Ausschnitt des dreidimensionalen Raumes. Hier bietet sich die Abwicklung als praktische Alternative an. Sie kann einen kompletten Raum darstellen, ermöglicht eine eindeutige Zuordnung der Raumboberflächen und stellt die Flächenverhältnisse richtig dar.

Abwicklungen von dreidimensionalen Körpern werden derzeit nur von Maschinenbauprogrammen wie „Bihler - Konstruktionspaket Designer“ oder „Copra Metalbender“ unterstützt (siehe Abb. 4-14). Die Abwicklungen werden hierbei für die Berechnung von Blechzuschnitten benutzt, um daraus Blechformteile herzustellen. Die Erstellung der Abwicklung erfolgt manuell. Der Planer wählt ausgehend von einer Startebene alle abzuwickelnden Flächen in der richtigen Reihenfolge nacheinander an. So werden zweidimensionale Pläne erzeugt, welche nicht mehr mit dem dreidimensionalen Objekt verbunden sind. In der Architektur sind jedoch Abwicklungen nötig, die objektorientiert mit dem 3D-Modell verbunden sind. Bei verschiedenen Visualisierungsprogrammen, wie z.B. FormZ oder Bodypaint, gibt es die Möglichkeit Texturen von Oberflächen abzuwickeln, um diese direkt zu bearbeiten. Die Texturen können die Geometrie ihrer 3D-Modelle nicht beeinflussen und haben eine begrenzte Auflösung, so dass sie für Architektur nur bedingt einsatzfähig erscheinen.

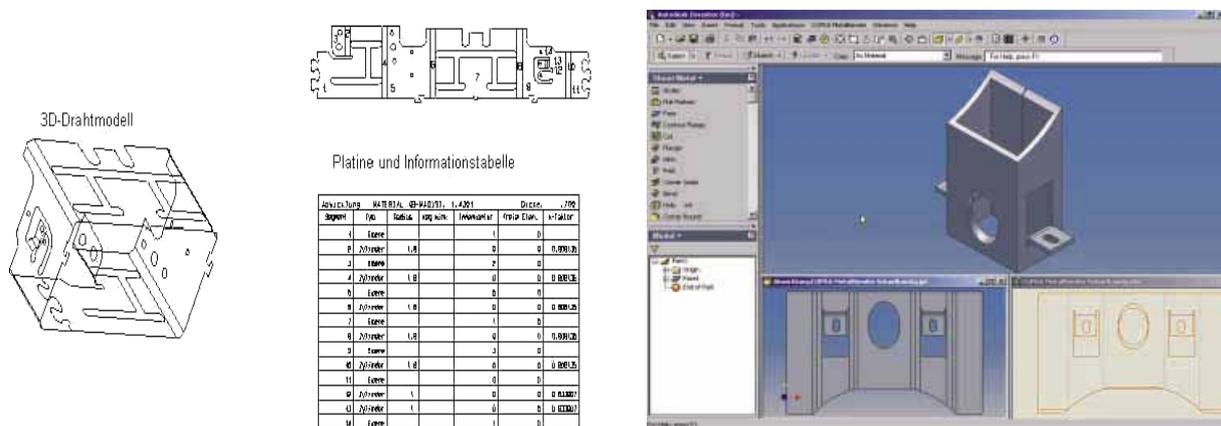


Abb. 4–14 [Bihler, Datam 2005] Abwicklungen links Bihler, rechts Copra Metalbender

In der Software Colored Architecture sind eine manuelle und eine automatische Abwicklung von Räumen möglich. Die **automatische Abwicklung** erkennt anhand der Flächenorientierung, -größe und -lage das zu einer Fläche gehörige Bauteil. Nach der Selektion einer Raumboberfläche werden alle Wände, die Decke und der Fußboden erkannt und abgewickelt. Im dreidimensionalen Architekturmodell werden dabei verschiedene Kameras so angeordnet, dass eine Abwicklungsansicht des 3D-Modells ermöglicht wird (siehe Abb. 4-15). Die in der Software Colored Architecture realisierte Abwicklung ist keine separate Zeichnung, sondern ein anderer Blick auf

das 3D-Modell. So sind alle Operationen in der Abwicklung und im 3D-Modell anwendbar.

Ein Problem von Abwicklungen besteht darin, dass es komplexe dreidimensionale Räume gibt, die nicht ohne weiteres abgewickelt werden können. An dieser Stelle wird die **manuelle Abwicklung** eingesetzt. Der Anwender ordnet dabei die planaren Ansichten der einzelnen Oberflächen einander zu. Außerdem wählt er nur die benötigten Flächen zur Darstellung der Abwicklung aus. So können Überschneidungen bei strengen Abwicklungen vermieden werden.

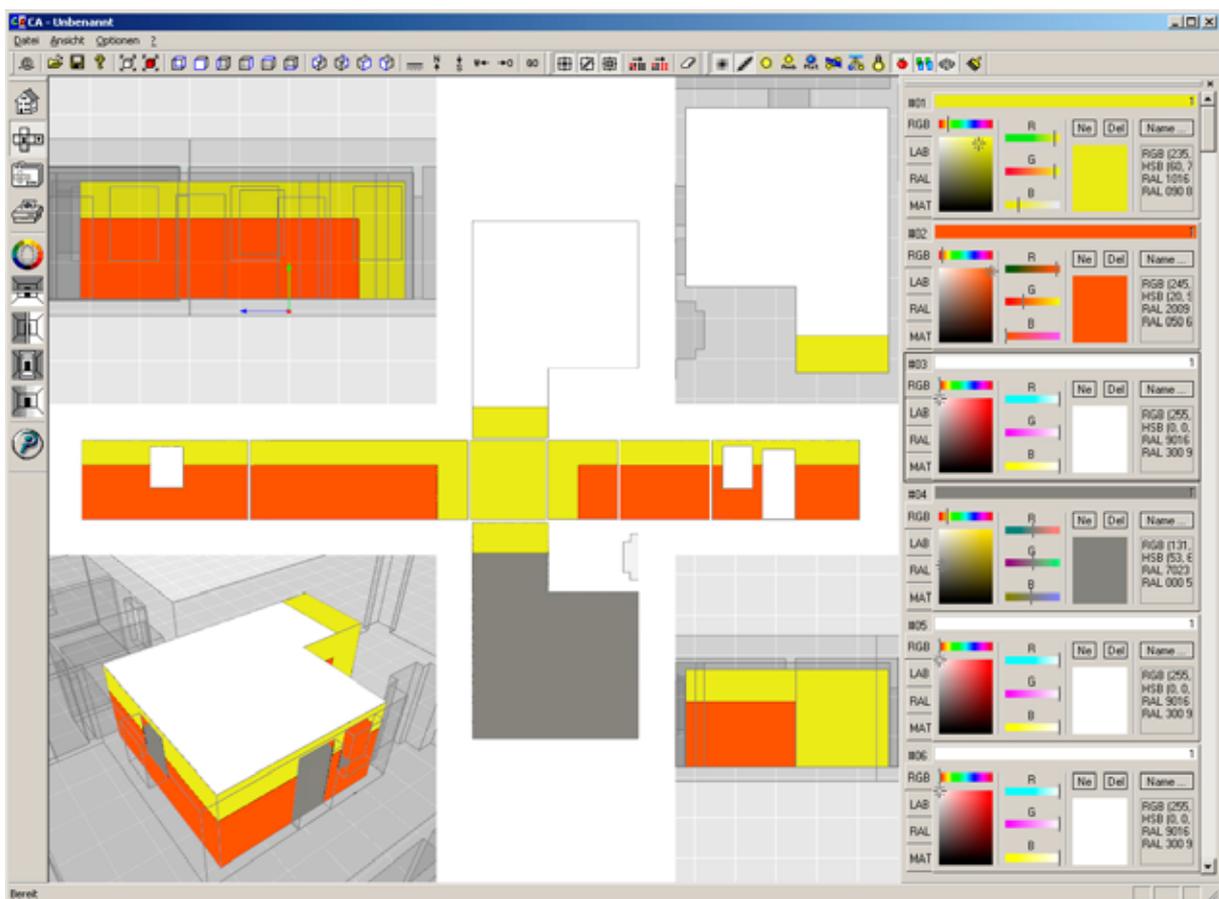


Abb. 4–15 Raumabwicklung in Colored Architecture

Die Abwicklungen sind so aufgebaut, dass alle Wandflächen in der Mitte horizontal angeordnet werden. Dazu kommen die Decken- und die Bodenfläche, welche oberhalb und unterhalb einer Wand angelagert werden. Man kann die Abwicklung manuell modifizieren. Dabei kann die Decken- oder Bodenfläche einer anderen Wand zugeordnet werden. So ist es möglich, die Farbwirkungen der verschiedenen Flächen untereinander zu prüfen.

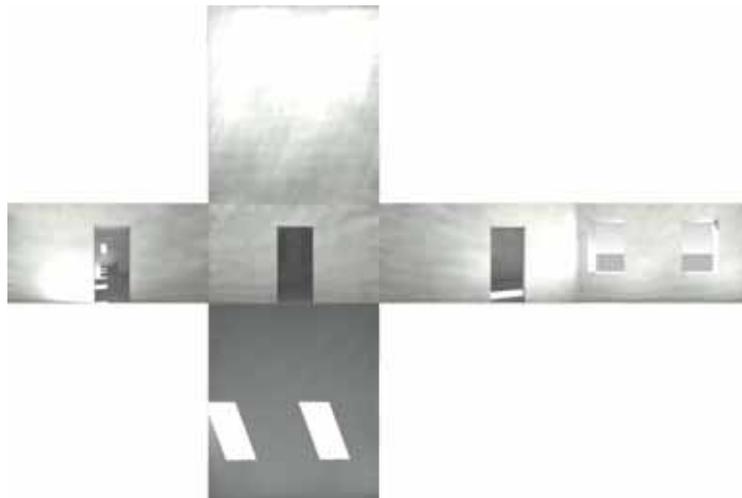


Abb. 4–16 Radiosity-Abwicklung

Eine weitere Funktion von Colored Architecture ist die **Abwicklung der Radiosity Beleuchtungsergebnisse**. In Abbildung 4-16 ist eine monochrome Abwicklung eines Raumes dargestellt. Dieser Raum hat einen grauen Bodenbelag und weiße Wände. Die Flecken in der Helligkeit der Oberflächen sind auf die Berechnungsqualität der externen Software POV-Ray zurückzuführen. Die Berechnung der Radiosity-Beleuchtung stellt derzeit einen Kompromiss zwischen benötigter Rechenzeit und Bildqualität dar. Zum schnellen Abschätzen der Beleuchtung und der Farbwirkung wird das Ergebnis jedoch als ausreichend erachtet.

4.6 Farbumsetzung

Für einen durchgängigen Einsatz von CAAD ist es sinnvoll, Planungsergebnisse auf der Baustelle durch praxisnahe Ausgaben umzusetzen. Dazu sind verschiedene Softwarelösungen entwickelt worden, welche die Planungsdaten überall verfügbar machen [OnSiteEnterprise 2004]. Für die Arbeit mit Farben ist es unerlässlich, die technischen Farbangaben des Computers absolut korrekt auszugeben. Um eine verlustfreie Umsetzung der digitalen Farb- und Materialparameter zu gewährleisten, ist in Colored Architecture ein klassisches Kalibriersystem integriert. Mit den so genannten ICC-Farbprofilen der Peripheriegeräte Scanner, Bildschirm und Drucker wird eine Farbkalibrierung durchgeführt, wodurch Bildschirmfarben, Druckfarben und Palettenfarben (z.B. „RAL Classic“ Palette) einander entsprechen. Colored Architecture unterstützt folgende Ausgaben, welche der klassischen Arbeitsweise des Architekten dienen:

- die Ausgabe von Raumkarteikarten mit den Farbzusammenstellungen,
- die Ausgabe von Musterflächen in Maßstäben von 1:1 bis 1:100 und
- die Projektion der Materialien mittels eines Smartprojektors vor Ort.

4.6.1 Raumkarteikarten

Die Raumkarteikarten dienen der direkten Übermittlung der Planungsergebnisse zur Baustelle. Neben Projektinformationen beinhaltet eine Raumkarteikarte einen Grundriss und eine Perspektive des hervorgehobenen Raumes. Den Hauptteil der Karteikarte bildet die Abwicklung mit einer Legende, welche genaue technische Farb- und Materialparameter zu den einzelnen Oberflächen enthält (siehe Abb. 4-17).

In jedem Raum des Bauprojektes wird die entsprechende Raumkarte angebracht, wodurch der Maler, Putzer oder Fliesenleger die genaue Zuordnung seines Gewerkes zu den verschiedenen Raumboflächen vornehmen kann. Auf diese Weise ist eine schnelle, verlustfreie Ausgabe für die praktische Anwendung auf der Baustelle möglich.

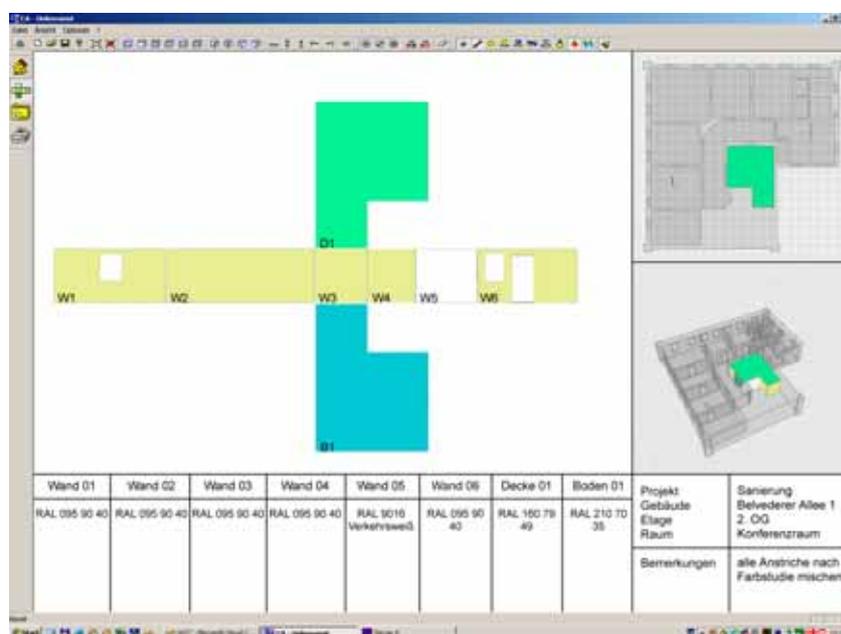


Abb. 4–17 Raumkarteikarte mit Farbzuordnungen

4.6.2 Musterflächendruck

Während der praktischen Erstellung von Farb- und Materialkonzepten auf der Baustelle ist das Anlegen von Musterflächen nicht mehr wegzudenken. Dabei wird die Wirkung der gewählten Materialien und der Farbvarianten vor Ort geprüft. Die Funktion Musterflächendruck in der Software Colored Architecture unterstützt diese typische Vorgehensweise der Farbumsetzung. So können Ausschnitte von Raumboflächen 1:1 oder in einem bestimmten Maßstab gedruckt und im existierenden Gebäude angebracht werden (siehe Abb. 4-18). Dieses Vorgehen setzt ein farbkalibriertes Computersystem voraus. So können kostengünstig Musterflächen angelegt werden, welche die digitalen Planungsergebnisse repräsentieren. Diese Form der Ausgabe stellt eine Annäherung zu herkömmlich angelegten Musterflächen dar.

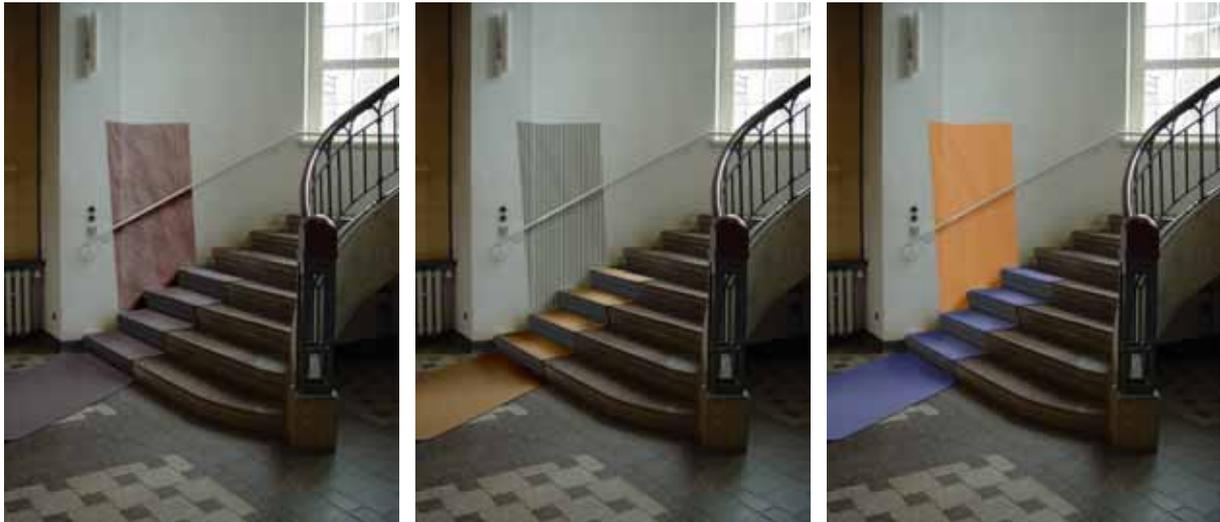


Abb. 4–18 Musterflächendrucke am Planungsort

Die Auswahl der Musterflächen erfolgt über eine Rechteckauswahl in den planaren Ansichten und in der Perspektive von Colored Architecture (siehe Abb. 4-19). Die Musterflächen werden dabei auch über Kanten des Geometriemodells geführt. In einem Druckdialog wird anschließend der Maßstab ausgewählt, so dass großformatige Musterflächen gedruckt werden können.

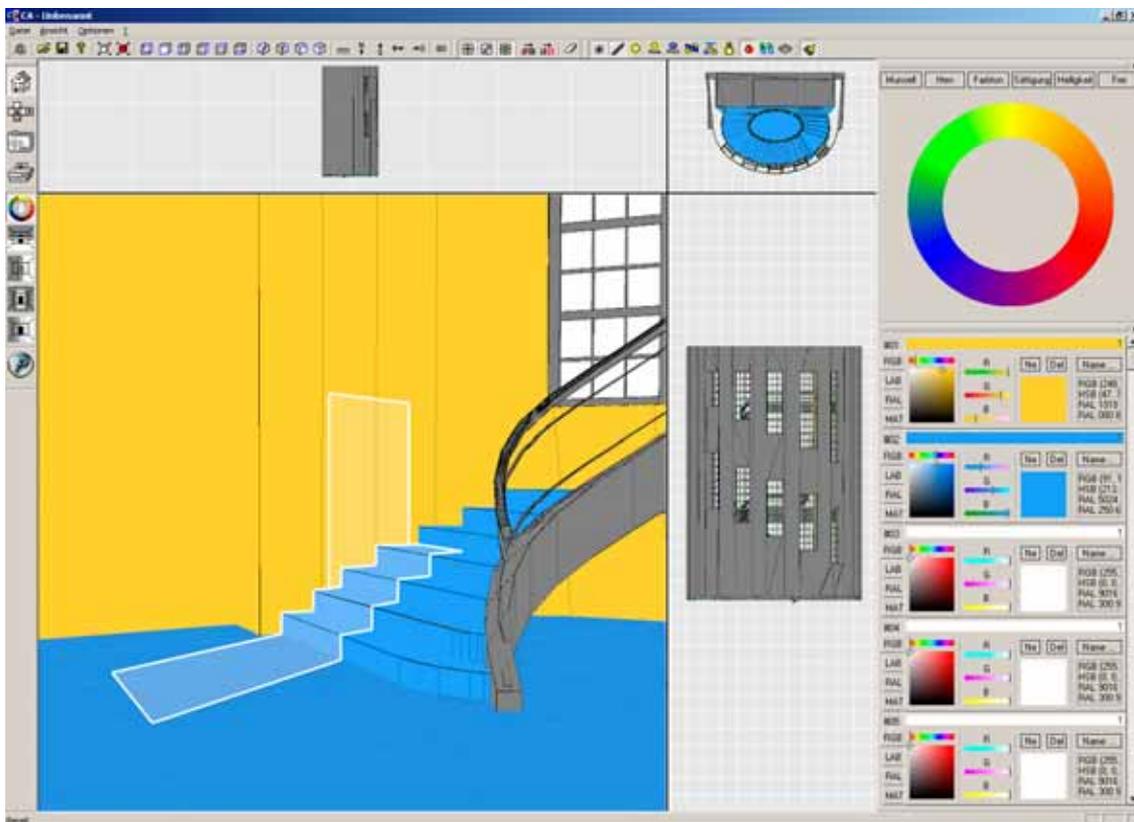


Abb. 4–19 Auswahl der Flächen zum Musterdruck

4.6.3 Smartprojektor

Ein Smartprojektor ist ein Beamer-System, welches Bilder und Filme auf beliebige Oberflächen projiziert. Der Smartprojektor kommt dabei ohne Leinwand aus. Die Projektion wird farbkorrigiert, dass sie wie auf einer Leinwand mit korrekten Farb- und Helligkeitswerten zu sehen ist. Der Hintergrund wird anhand einer Kameraaufnahme wegetuschelt (siehe Abb. 4-20) [Bimber 2005].



Abb. 4–20 [Bimber 2005] 3D Smartprojektor Anwendung in der Architektur

Auf diese Weise lassen sich auch Materialtexturen und Farben aus der Software Colored Architecture auf beliebige Oberflächen in der Architektur projizieren. Wie bei den Musterflächen lassen sich so die digitalen Planungsergebnisse vor Ort evaluieren. In der Software Colored Architecture wird der Vollbildmodus des Perspektivfensters genutzt, um die Farben und Materialien mit dem farbkalibrierten Beamer zu projizieren.

Ein Trackingsystem hilft dabei, die Lage des Projektors mit der digitalen Perspektive zu synchronisieren. Schwenkt man den Beamer, so ändert sich auch die Perspektive in Colored Architecture. So kann man einen ganzen Raum mit den digitalen Farben und Materialien betrachten. Diese Farbumsetzung eröffnet eine interessante Zukunftsperspektive, welche den Nutzen und Mehrwert von CAAD in der Architektur unterstützt.

5 Prototypische Umsetzung – Beschreibung der Software

5.1 Softwaretechnische Spezifikationen

Für die prototypische Umsetzung des Softwarekonzeptes Colored Architecture wurde ein objektorientiertes Programm mit Microsoft Visual C++ 7.0 geschrieben. Colored Architecture basiert auf bestehenden Arbeiten und Softwarebibliotheken des Lehrstuhls InfAR. So wurde eine Umsetzung programmiert, welche sich in den Forschungsstand des Lehrstuhls integriert und diesen erweitert.

Colored Architecture ist ein eigenständiges Programm, welches auf den Betriebssystemen Windows NT, 2000 und XP lauffähig ist. Die dreidimensionale grafische Ausgabe der Geometrien erfolgt über die OpenGL-Schnittstelle, so dass eine leistungsfähige Grafikkarte mit Hardware-3D-Beschleuniger empfohlen wird.

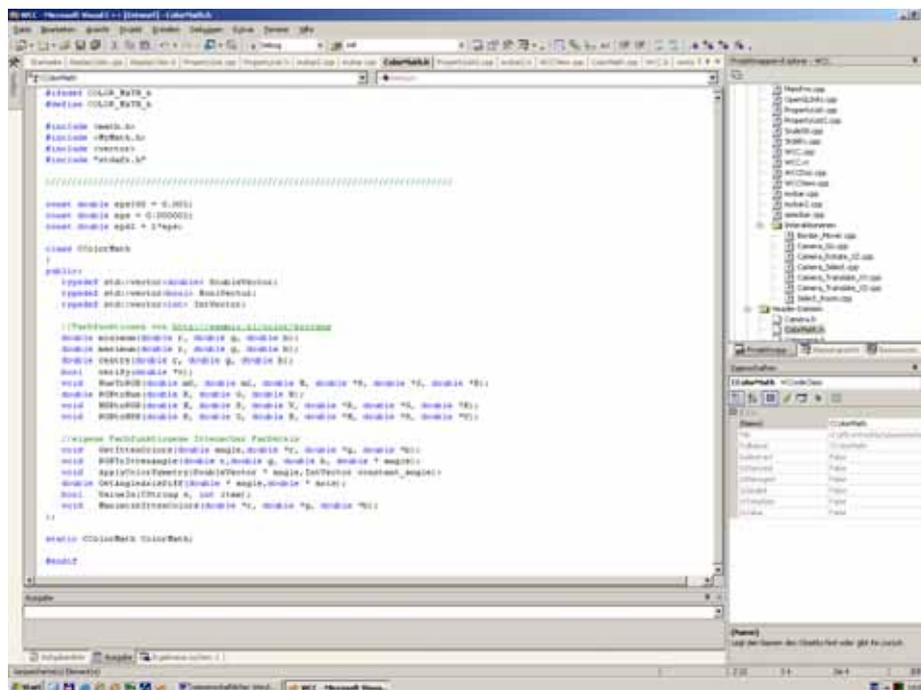


Abb. 5–1 MFC Programmierung mit Visual C++ 7.0

Colored Architecture baut auf dem Serverkonzept von Dipl.-Inf. Torsten Thurow auf. Im Server werden alle Anwendungsdaten wie Geometrie, Farb- und Materialparameter gespeichert, verwaltet und verteilt. Mehrere Clients können sich über eine Netzwerkschnittstelle mit dem Server verbinden und stehen zur Laufzeit ständig in Kommunikation. Die Bedienung, Berechnung und Steuerung wird mit dem Client Colored Architecture gewährleistet. So ist es möglich, im Team an einer Farbkomposition zu arbeiten oder Konsultationen mit Fachkräften online über einen Server durchzuführen.

5.2 Aufbau der Nutzeroberfläche

Die Oberfläche von Colored Architecture gliedert sich in die allgemeinen Werkzeugleisten, die Farbharmonieleiste, die Farbwahlleiste und das Fenster zur grafischen Darstellung des Geometriemodells. Das Geometriemodell wird in der Draufsicht, Vorder- und Seitenansicht sowie in der Perspektive dargestellt. Die Trennungslinien zwischen diesen vier Fenstern können mit der Maus verschoben werden, wodurch sich die Fenstergrößen frei einstellen lassen. Im Abwicklungsmodus werden die vier Fenster verkleinert und die Trennungslinien durch die Abwicklung ersetzt.

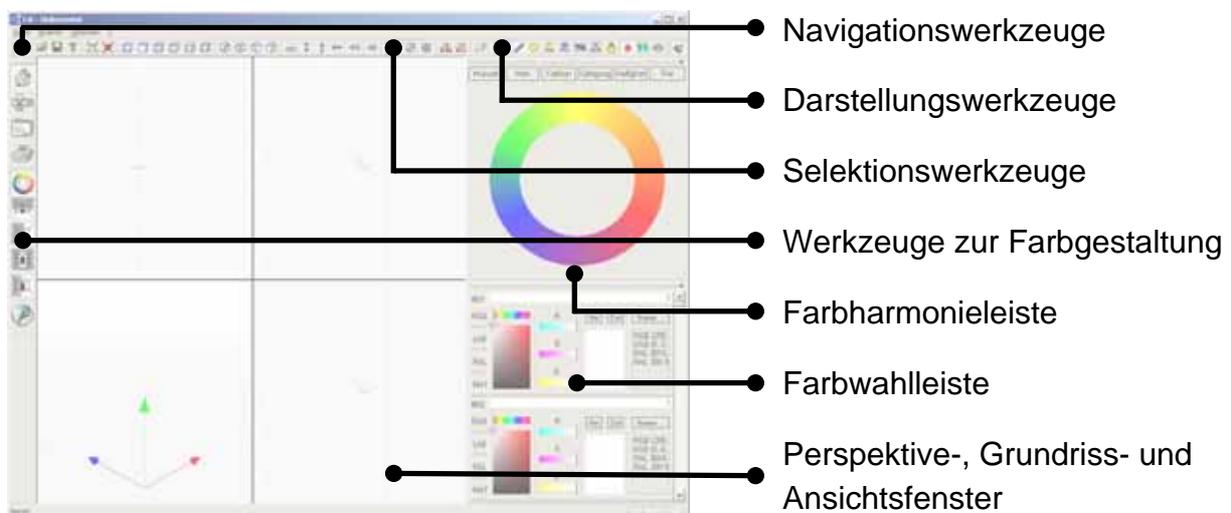


Abb. 5–2 Aufbau der Nutzeroberfläche von Colored Architecture

5.3 Beschreibung der Steuerelemente

Nachfolgend werden die Steuerelemente des Softwareprototypen Colored Architecture beschrieben. Eine Anwendung zu den hier vorgestellten Funktionen wird im Kapitel 6 „Demonstration der Funktionalität an Anwendungsbeispielen“ vorgestellt.

5.3.1 Werkzeugleisten

In diesem Abschnitt werden die Werkzeugleisten erklärt. Es erfolgt eine Darstellung der Werkzeuge mit ihren Symbolen bzw. Sinnbildern, sowie eine kurze Beschreibung der Funktionalität.

5.3.1.1 Navigationswerkzeuge

Die Navigationswerkzeuge befinden sich oben links auf der Oberfläche von Colored Architecture. Sie beinhalten die Funktionen zur Navigation im 3D-Modell, zum Laden und Speichern von 3D-Geometrien sowie zum Herstellen der Verbindung mit der Serverapplikation. In Abbildung 5-3 sind die Bedienelemente dargestellt und erläutert.

	Eine Verbindung mit dem Server aufbauen (siehe Abb. 5-4).
	3D STL- und DXF-Dateien öffnen und importieren.
	Die aktuelle Datei speichern (derzeit noch ungenutzt).
	Informationen über die Software Colored Architecture anzeigen.
	Einstellen der Gesamtansicht des Modells.
	Ansicht der selektierten Modellelemente.
	Zoomen im Perspektivfenster auf: die Nordansicht, die Südansicht, die Westansicht, die Ostansicht, die Draufsicht und die Bodenansicht.
	Zoomen auf: die isometrische Darstellung der Nordwest-Seite, die isometrische Darstellung der Nordost-Seite, die isometrische Darstellung der Südost-Seite und die isometrische Darstellung der Südwest-Seite.
	Richtet den Blick im Perspektivfenster auf: den Horizont, nach Norden, nach Süden, nach Westen oder nach Osten aus.
	Wechselt in Geh-Modus zum Durchlaufen eines 3D Modells.

Abb. 5–3 Navigationswerkzeuge

Die Funktion „Verbindung mit dem Server aufbauen“ wird zu Beginn des Programms ausgeführt. Der Client Colored Architecture verbindet sich über die Netzwerkschnittstelle mit der Serverapplikation (siehe Abb. 5-4). Die Software Server4 kann auf einem anderen Rechner laufen, wird jedoch meistens auf demselben Computer wie der Client Colored Architecture ausgeführt. Der Server sollte immer zuerst gestartet werden. Läuft er auf demselben Rechner, können alle Parameter wie in Abbildung 5-4 belassen werden.

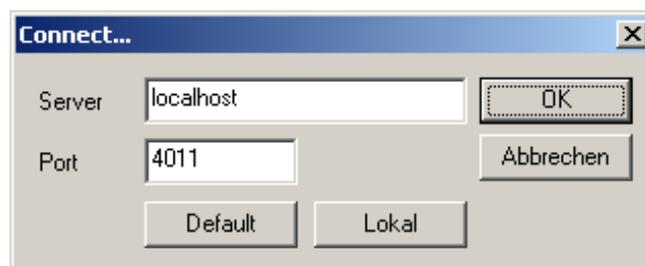


Abb. 5–4 Verbindungsaufbau mit dem Server

5.3.1.2 Selektionswerkzeuge

Die Selektionswerkzeuge befinden sich in der oberen Mitte der Nutzeroberfläche von Colored Architecture. Sie dienen der Selektion und dem Löschen von Geometrieelementen. In Abbildung 5-5 werden die Selektionswerkzeuge dargestellt und erläutert.

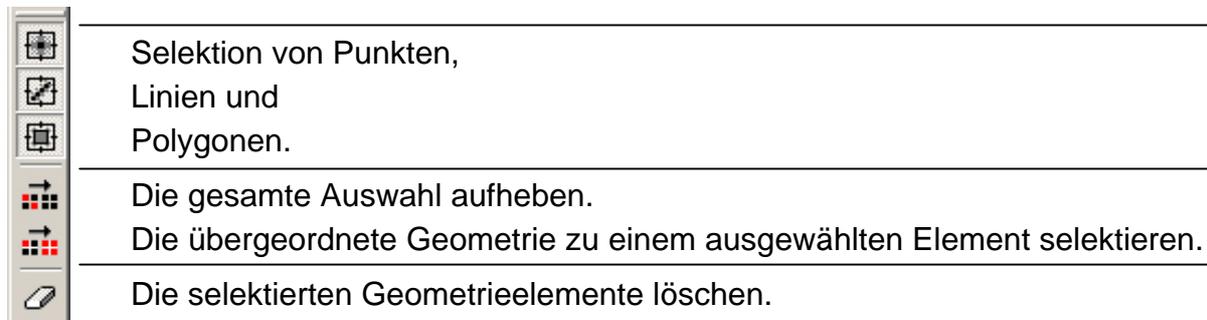


Abb. 5–5 Selektionswerkzeuge

5.3.1.3 Darstellungswerkzeuge

Die Darstellungswerkzeuge befinden sich oben rechts in der Oberfläche des Softwareprototypen. Sie steuern die Darstellungseigenschaften der grafischen Ausgabe über die OpenGL-Schnittstelle (siehe Abb. 5-6).

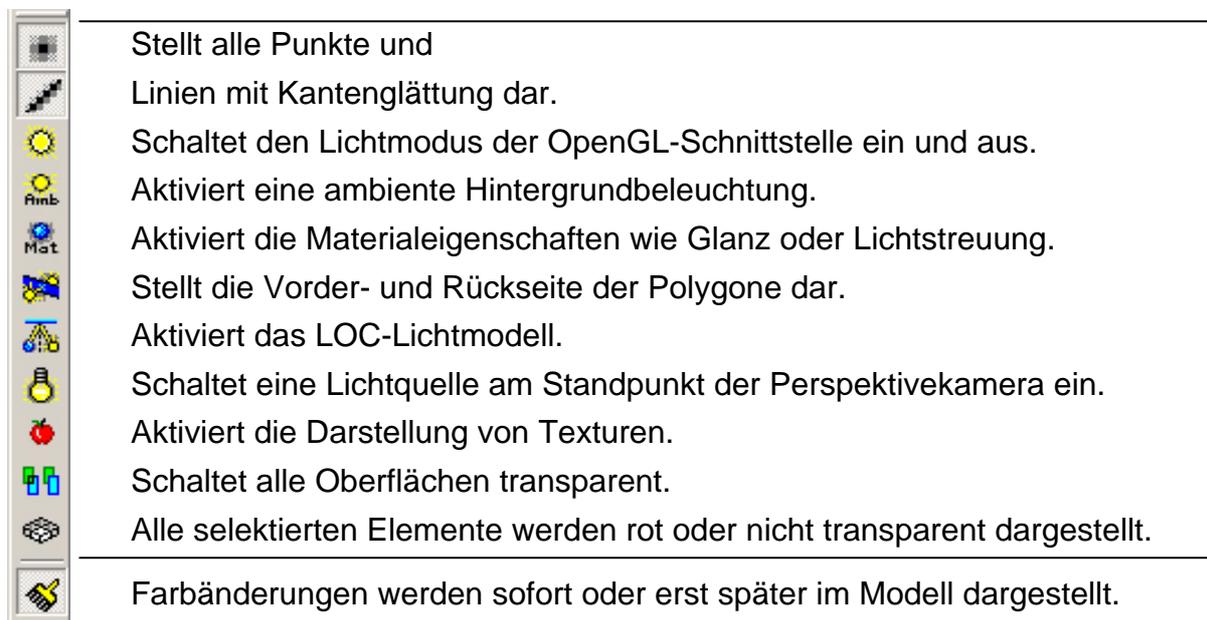


Abb. 5–6 Darstellungswerkzeuge

Die Funktion „Farbänderungen werden sofort oder erst später im Modell dargestellt“ ist wichtig für das Mischen und Variieren der Farbobjekte in der Farbwahlliste. Die Funktion ist standardmäßig aktiviert, so dass Änderungen der Farbwerte sofort umgesetzt werden. Bei komplexen Modellen kann die Aktualisierung eine gewisse Zeit in Anspruch nehmen. In diesem Fall ist es von Vorteil, die Funktion vorübergehend abzuschalten.

5.3.1.4 Werkzeuge zur Farbgestaltung

Die Farbwerkzeuge befinden sich am linken Rand von Colored Architecture. Sie beinhalten die Hauptwerkzeuge zur Farbgestaltung. Zusätzlich zeigen sie an, in welchem Bearbeitungsmodus sich das Programm gerade befindet (siehe Abb. 5-7).

	Aktiviert den Modellbereich mit Perspektive, Grundriss und den Ansichten.
	Aktiviert den Abwicklungsmodus, in welchem Räume abgewickelt werden.
	Aktiviert die Ausgabe der Raumkarteikarten (derzeit noch ungenutzt).
	Wechselt in den Druckmodus für Musterflächenausgaben (z.Z. ungenutzt).
	Schaltet die Farbharmonieleiste ein oder aus.
	Wechselt in den Mausmodus zum horizontalen Schnitt,
	vertikalen Schnitt,
	Rechteckschnitt oder
	zum Vereinigen von Oberflächen.
	Startet die Berechnung der Radiosity der Perspektiveansicht mit POV-Ray.

Abb. 5–7 Werkzeuge zur Farbgestaltung

5.3.2 Farbwahlleiste

Wie in der Konzeption in Abschnitt „4.4.1 Dialog zur Farbwahl“ beschrieben wurde, kann man Farben in verschiedenen Farbsystemen auswählen. Im Prototypen Colored Architecture sind die Farbsysteme RGB, HSB und die Farbpaletten RAL Classic sowie RAL Design umgesetzt. Sie werden in Abbildung 5-8 erläutert.

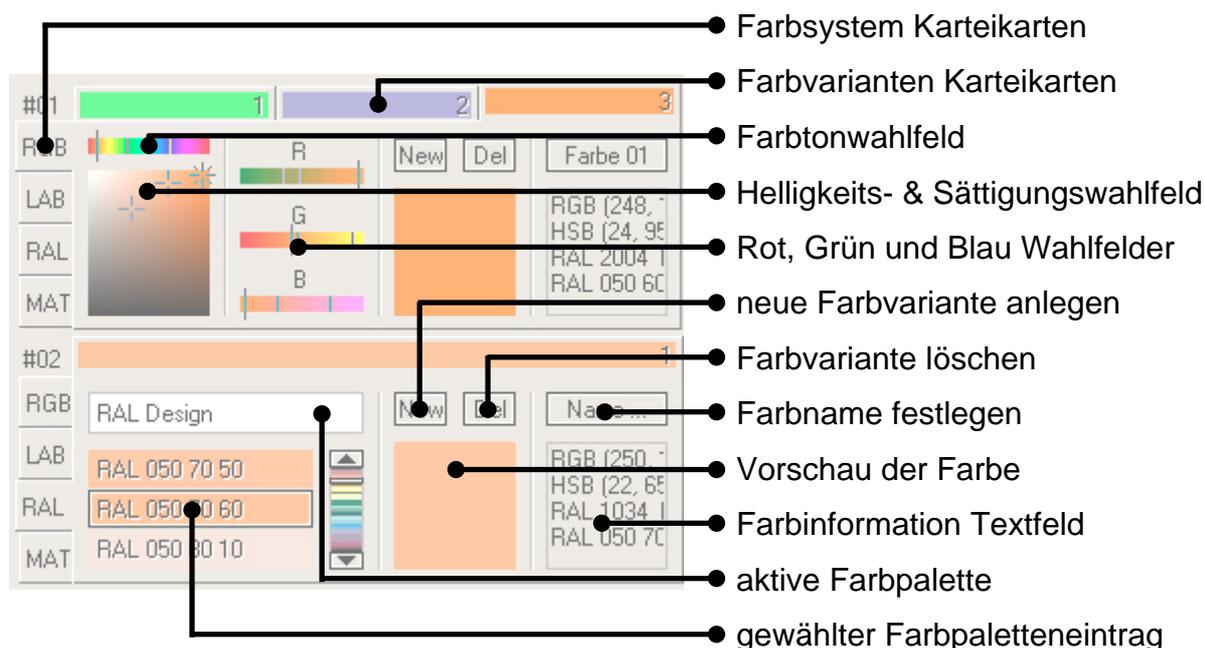


Abb. 5–8 Farbwahlleiste

Selektiert man das Feld mit der aktiven Farbpalette, so erscheint ein Auswahlfeld, in welchem man die „RAL Classic“, „RAL Design“ oder eine externe Farbpalette auswählen kann. Die verschiedenen Farbsysteme und Farbpaletten werden ineinander umgerechnet und detailliert im „Farbinformation Textfeld“ ausgegeben.

Bei der Verwendung von mehreren Farbvarianten werden die Farbwerte der inaktiven Farbvarianten zum Vergleich in den Farbwahlfeldern angezeigt. Sie werden durch kleine Fadenkreuze und Striche dargestellt.

5.3.3 Farbharmonieleiste

Die Farbharmonieleiste wurde bis auf die „Farbharmonie nach Nemcsics“ mit allen Funktionen aus dem Abschnitt 4.4.3 „Dialog zu den Farbharmonien“ umgesetzt (siehe Abb. 5-9). Über die Schnellwahlbuttons wählt man die Farbharmonien aus und bearbeitet sie im Farbkreis, mit den Schiebereglern oder in der Farbbeziehungstabelle. Im Farbkreis können über Mauseingaben alle Farbtöne gleichzeitig bearbeitet werden. Wählt man ein Element der Tabelle an, so erscheint ein Auswahlfeld, mit welchem man Farbbeziehungen bearbeiten und erstellen kann.

Schnellwahlbuttons der Farbharmonien:

- „Munsell“ Farbflächenverhältnis
- Komplementärfarbe nach „Itten“
- „Farbton“-Harmonie
- Harmonie der „Sättigung“
- Harmonie der „Helligkeit“
- alle Farbbeziehungen wieder auf „Frei“ stellen

Farbkreis nach Itten

Schieberegler für die Farbton-, Sättigungs- und Helligkeitsharmonien

Tabelle mit den Farbbeziehungen

#01	20.00 m²	gleicher Farbton	mit allen
	20.00 m²	gleiche Sättigung	mit #02
	20.00 m²	gleiche Helligkeit	mit #03
#02	30.00 m²	gleicher Farbton	mit allen
	30.00 m²	gleiche Sättigung	mit #01
#03	20.00 m²	gleicher Farbton	mit allen
	20.00 m²	gleiche Helligkeit	mit #01

Abb. 5–9 Farbharmonieleiste

5.4 Mausinteraktionen

Die Navigation in Colored Architecture erfolgt über so genannte Mausmodi. Befindet sich der Mauscursor über dem Fenster der grafischen Ausgabe, so nimmt er ein bestimmtes Symbol an, welches die Funktion der linken und mittleren Maustaste anzeigt. Die rechte Maustaste dient dem Umschalten zwischen verschiedenen Mausmodi.



Erscheint, wenn man die Maus über die Teilungslinien zwischen Perspektive-, Grundriss- und den Ansichtsfenstern bewegt. Mit der linken Maustaste werden die Fenstergrößen verschoben.



Diese Mausfunktion kann nur im Perspektivfenster genutzt werden. Hält man die linke Maustaste gedrückt, so wird die Blickrichtung gedreht. Drückt man die mittlere Maustaste, so dreht sich der Standpunkt der Perspektivekamera um das Geometriemodell.



Die Selektionsfunktion wird mit diesem Symbol dargestellt. Mit der linken Maustaste lassen sich Punkte, Linien und Polygone auswählen. Hält man währenddessen die „Strg“-Taste auf der Tastatur gedrückt, so können mehrere Geometrieelemente selektiert werden. Es können auch Elemente angewählt werden, die hinter anderen Elementen verborgen sind. Dazu stellt man am besten den transparenten Darstellungsmodus ein (siehe Abschnitt 5.3.1.3). Anschließend klickt man auf die zu selektierende Fläche, hält die Maustaste gedrückt, bewegt die Maus nach unten bis die richtige Fläche ausgewählt ist und lässt los.



Diese Funktion verschiebt die Bildausschnitte in den Perspektive-, Grundriss- und Ansichtsfenstern nach links und rechts sowie in die Tiefe.



Ähnlich der vorigen Funktion verschiebt diese Mausinteraktion die Bildausschnitte in den vier grafischen Ausgabefenstern nach links und rechts sowie oben und unten.



Dieses Symbol stellt den Geh-Modus dar, welcher über die Navigationswerkzeuge aufgerufen wird (siehe Abschnitt 5.3.1.1). Hält man die linke Maustaste beim Verschieben der Maus gedrückt, so bewegt man sich im Perspektivfenster kontinuierlich nach vorne, hinten, links oder rechts.

Nachfolgend sollen die im Abschnitt 5.3.1.4 genannten Mausmodi der Werkzeuge zur Farbgestaltung erklärt werden. Die Mausfunktionen werden mit der linken und mittleren Maustaste ausgeführt, während die rechte Maustaste den Mausmodus beendet.



Der Raumselektionsmodus wird mit der Funktion „Abwicklungsmodus“ gestartet (siehe Abschnitt 5.3.1.4). Er dient der Selektion von ganzen Räumen. Bei Verwendung der automatischen Raumerkennung sollte keine Geometrie markiert sein. Nach der Auswahl einer Raumbofläche werden die dazugehörigen Wand-, Decken- und Bodenflächen automatisch selektiert. Durch Drücken der rechten Maustaste wechselt man in die Abwicklung des gewählten Raumes. Die automatische Raumselektion funktioniert bei Räumen, deren Raumboflächen durch einzelne Polygone beschrieben sind. Etagenweise durchgehende Boden- und Deckenflächen können nicht erkannt werden und führen derzeit zu unvollständigen Abwicklungen.



Dieses Fadenkreuz wird im Horizontal-, Vertikal- und Rechteckschnitt von Polygonen verwendet. Die Funktionen werden im mittleren Teil der Werkzeuge zur Farbgestaltung aufgerufen (siehe Abschnitt 5.3.1.4). Bewegt man die Maus über das Fenster mit der grafischen Ausgabe, so werden zusätzlich zum Cursor eine horizontale, vertikale oder beide Linien angezeigt. Beim horizontalen und vertikalen Schnitt durchtrennt die linke Maustaste alle selektierten Flächen. Mit der mittleren Maustaste wird nur die Fläche zerschnitten, auf welcher sich der Mauscursor gerade befindet. Der Rechteckschnitt schneidet Rechtecke aus einzelnen Polygonen heraus. Zwei horizontale und vertikale Linien markieren die Schnittführung. Man hält die linke Maustaste gedrückt, während das Rechteck aufgezo-gen wird. Nach dem Loslassen der Maustaste wird das Rechteck herausgetrennt.



Dieses Symbol repräsentiert die Funktion „Polygone verbinden“. Zwei aneinander liegende Polygone können mit diesem Werkzeug zusammengefügt werden. Man selektiert mit dem Fadenkreuz das erste Polygon und hält die linke Maustaste gedrückt. Dabei erscheint im Fadenkreuz der Text „Add“. Nun lässt man die linke Maustaste über dem zweiten Polygon los, und die beiden Geometrieelemente werden vereinigt.



Das Pinselsymbol wird angezeigt, wenn man ein Farbobjekt aus der Farbwahlleiste auf ein Geometrieelement zieht. Man klickt einfach mit der linken Maustaste in ein freies Feld des Farbwählers (z.B. das Vorschaufeld), hält die Maustaste gedrückt, bewegt den Pinselcursor auf die einzufärbende Fläche und lässt die Maustaste wieder los. So werden der Geometrie die Farbobjekte mit „Drag & Drop“ zugewiesen.

5.5 Einstellungen von POV-Ray

Die Einstellungen von POV-Ray erreicht man über das Menü „Optionen“. In diesem Menü werden das Installationsverzeichnis von POV-Ray, die Bildgröße, die Berechnungsqualität sowie der Sonnenstand eingestellt. Der Prototyp Colored Architecture arbeitet standardmäßig mit der frei verfügbaren Software POV-Ray 3.6 zusammen.

Der Sonnenstand wird derzeit über die Nordrichtung der Geometrie, die Höhe und den Azimut der Sonne definiert. Die Winkelangaben dafür sind im Dialogfeld erklärt (siehe Abb. 5-10). Die Nordrichtung der Einstellungen von POV-Ray ist unabhängig von der Nordrichtung der Navigationswerkzeuge. Norden ist standardmäßig oben im Grundriss. Da die Software POV-Ray keine Farbadaption kennt, muss die Leuchtkraft der Sonne von Hand eingestellt werden. Bei Außenperspektiven sollte eine Leuchtstärke von 3 genügen. Bei Innenraumberechnungen ist eine Leuchtstärke von 100 zu empfehlen.

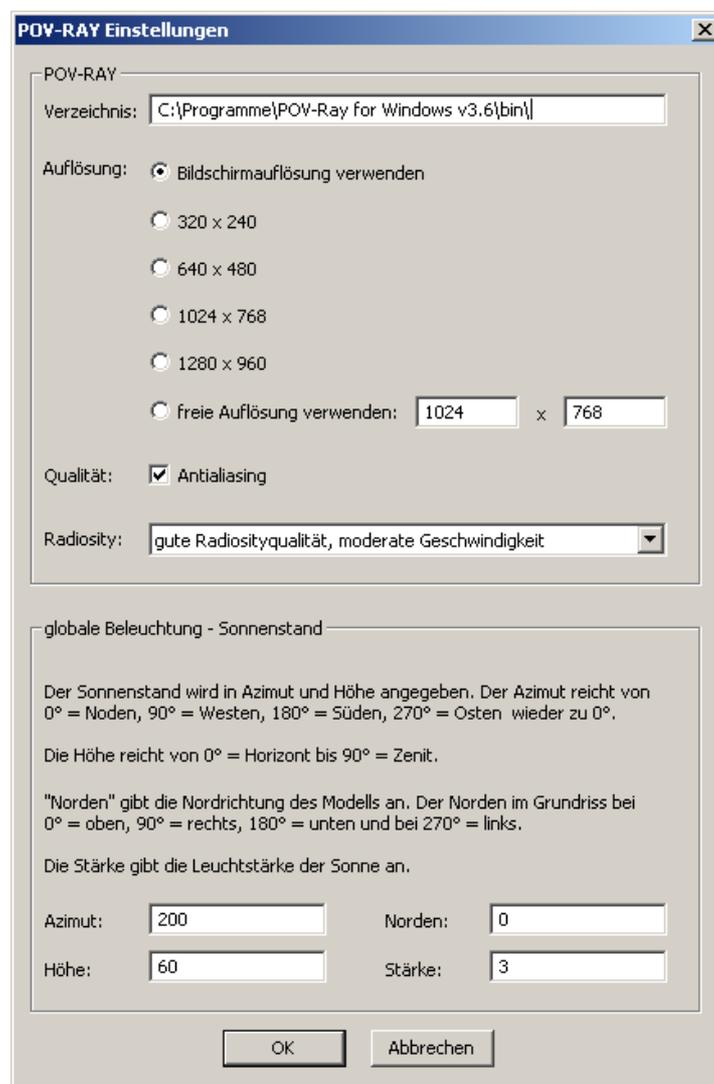


Abb. 5–10 Einstellungen von POV-Ray

5.6 Abwicklung

Die Abwicklung wird in der Mitte zwischen den vier Standardfenstern angezeigt. Sie wird so dargestellt, dass man vom Inneren des Raumes auf seine Oberflächen schaut. Die Wände werden nebeneinander angeordnet, während Decke und Boden in der Mitte der Abwicklung darüber und darunter abgebildet sind (siehe Abb. 5-11). In der Abwicklung kann man die Schnittwerkzeuge, die Farbwähler und die Farbharmonien sehr gut einsetzen, um die Farbkomposition zu gestalten. Die Geometrie wird gleichzeitig in allen Fenstern geändert, da die Abwicklung nur eine andere Darstellungsform des 3D-Modells ist. Möchte man die Abwicklungsansicht verlassen, so klickt man auf den Knopf „Modellbereich“ der Werkzeuge zur Farbgestaltung (siehe Abschnitt 5.3.1.4). Die Navigation in den vier grafischen Ausgabefenstern ist auch hier mit den in Abschnitt 5.4 beschriebenen Mausinteraktionen möglich.

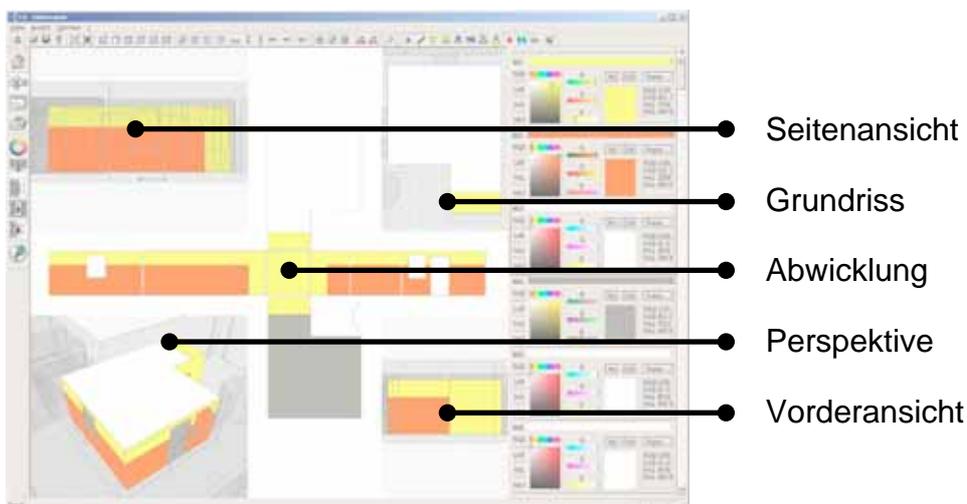


Abb. 5–11 Aufbau der Abwicklung

6 Demonstration der Funktionalität an Anwendungsbeispielen

In diesem Kapitel wird die Funktionsweise des Softwareprototypen Colored Architecture anhand zweier ausgewählter Beispiele erläutert. Die Beschreibung ist so aufgebaut, dass sie mit der auf der CD verfügbaren Software nachvollzogen werden kann.

6.1 Farbkomposition eines Raumes

In diesem Abschnitt soll die Erstellung eines Raumfarbkonzeptes gezeigt werden. Dazu wird ein einfacher rechteckiger Raum verwendet. Die Arbeitsschritte der Raumerstellung wurden vorbereitet und sind auf der beiliegenden CD im Ordner „Beispiele“ als „Würfel.dbk“ abgespeichert.

1. Zuerst wird das Programm „X:\Programm\ServerFour.exe“ auf der beiliegenden CD gestartet. Anschließend wird im Programm Server4 mit der Schaltfläche „Load“ die Datei „X:\Beispiele\Würfel.dbk“ geladen. Die Oberfläche vom Server4 sollte danach wie in Abbildung 6-1 dargestellt aussehen.

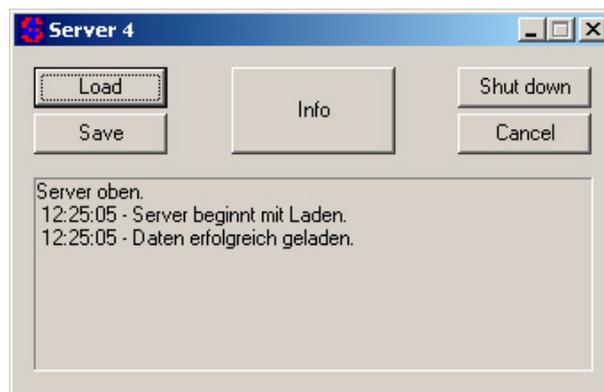


Abb. 6–1 Serverstand mit Server4 laden

2. Anschließend wird die Anwendung „X:\Programm\CA.exe“ aufgerufen. Bei jedem Start wird ein Informationsfeld zu Colored Architecture gezeigt, welches mit einem Mausklick beendet werden kann. Anschließend kann Colored Architecture mit dem Server verbunden werden, indem man auf die  „Verbinden“ Schaltfläche drückt, welche sich bei den Navigationswerkzeugen befindet (siehe Abschnitt 5.3.1.1). Im erscheinenden Dialogfeld sind die Angaben lediglich mit „OK“ zu bestätigen, da der Server auf dem lokalen Rechner gestartet wurde. Am Ende dieses Arbeitsschrittes wird die Funktion  „Gesamtansicht des Modells einstellen“ ausgeführt, so dass man den Raumkubus wie in Abbildung 6-2 dargestellt sieht.

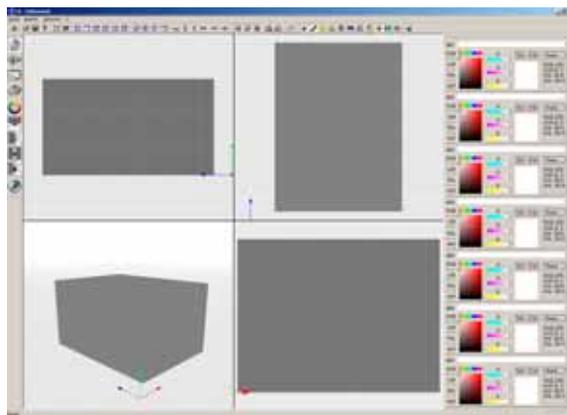


Abb. 6–2 Raumkubus in Colored Architecture

3. Im nächsten Schritt wird der Raum abgewickelt. Hierzu führt man die Funktion „Abwicklungsmodus“ der Werkzeugleiste zur Farbgestaltung durch. Als erstes erscheint ein Informationsdialog, welcher mit „OK“ bestätigt wird. Mit dem Mauscursor wählt man eine Raumfläche aus. Anschließend werden alle Flächen des Raumes selektiert. Durch Drücken der rechten Maustaste wechselt Colored Architecture in den Abwicklungsmodus (siehe Abb. 6-3).

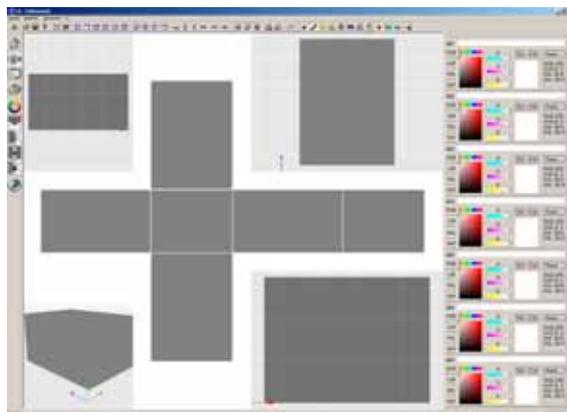


Abb. 6–3 Abwicklung des Raumkubus

4. Zur Demonstration der Bearbeitung des Modells werden skizzenhaft eine Tür und ein Fenster in den Raumkubus geschnitten. Hierfür verwendet man die Funktion „Rechteckschnitt“ der Werkzeuge zur Farbgestaltung. Man zieht auf der mittleren Wandfläche mit der Maus ein Rechteck auf, welches die Tür repräsentiert. Die Fensteröffnung wird in die gegenüberliegende Wandfläche geschnitten.
5. Nun müssen die Raumöffnungsflächen gelöscht werden. Das ist insofern etwas kompliziert, da nur selektierte Geometrielemente gelöscht werden können. Im Moment ist der ganze Raum für die Abwicklung selektiert. Um die Se-

- lektion aufzuheben, drückt man die Schaltfläche  „Selektion aufheben“ der Selektionswerkzeuge. Der Raum wird transparent.
6. Nun werden der Transparenzmodus  und der Modus zur Selektionsdarstellung  der Darstellungswerkzeuge ausgeschaltet. Man sieht wieder das graue abgewinkelte Modell.
 7. Jetzt selektiert man die Tür- und Fensterfläche. Dafür wird mit der rechten Maustaste in den Selektionsmodus  gewechselt. Anschließend hält man die „Strg“-Taste gedrückt und klickt mit der linken Maustaste die beiden Öffnungsflächen an.
 8. Nun können die Flächen gelöscht werden. Man klickt auf die Schaltfläche  „Selektion löschen“ der Selektionswerkzeuge. Die beiden Öffnungsflächen verschwinden.
 9. Für die weiteren Arbeitsschritte ist es notwendig, den Raum wieder komplett zu selektieren. Mit dem Selektionsmodus  und der „Strg“-Taste wählt man alle Oberflächen aus, so dass der gesamte Raum rot dargestellt wird.
 10. Der Transparenzmodus  und der Modus zur Selektionsdarstellung  werden wieder eingeschaltet. Die Darstellung der Raumes ist wieder grau und undurchsichtig.
 11. In diesem Arbeitsschritt werden die Wände des Raumes unterteilt. Dafür verwendet man die Schaltfläche  „Horizontalschnitt“. Man führt in der oberen Mitte der Wandflächen mit der linken Maustaste einen Horizontalschnitt durch. Alle selektierten Oberflächen werden geschnitten, so dass die Programmoberfläche wie Abbildung 6-4 aussehen sollte.

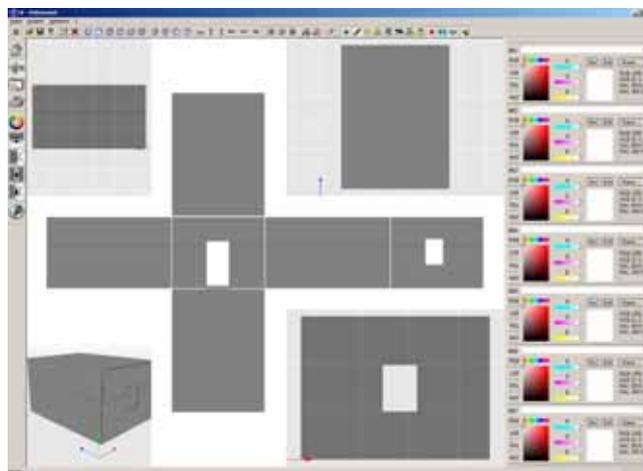


Abb. 6–4 Raumabwicklung mit Unterteilung

12. Nun beginnt die Farbzuzuweisung. Mit Drag & Drop werden die ersten drei Farbobjekte des Farbwählers auf die Raumboberflächen gezogen. Die oberen Wandflächen und die Decke erhalten ein Farbobjekt. Anschließend wird den unteren Wandflächen ein Farbobjekt zugewiesen. Die Bodenfläche erhält das dritte Farbobjekt. Den Farbobjekten werden frei wählbare Startfarbparameter zugewiesen. An dieser Stelle erfolgt die erste farbliche Gestaltung (siehe Abb. 6-5). Um die verschiedenen Farbharmonien zu demonstrieren, wurde eine warme, intensive Farbgebung gewählt.

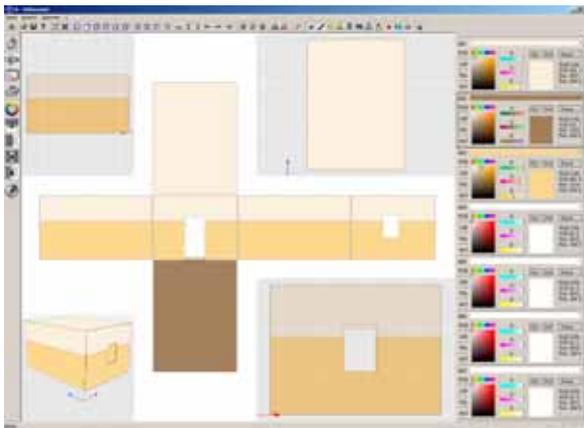


Abb. 6–5 erste Farbzuzuweisung

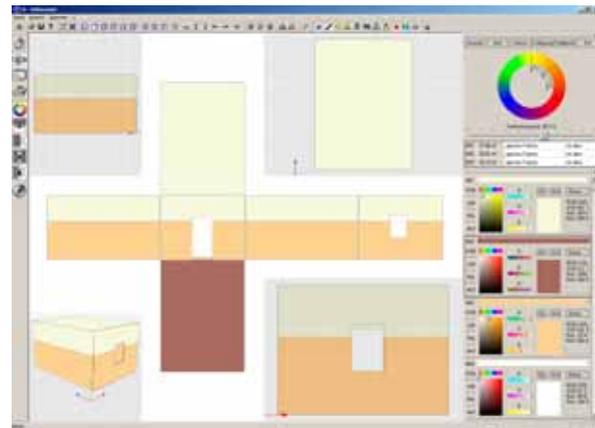


Abb. 6–6 Farbtonharmonie

13. Nun wird die Farbharmonieleiste über die Schaltfläche  „Farbharmonieleiste anzeigen“ der Werkzeuge zur Farbgestaltung eingeschaltet. Über die Schnellwahlbuttons können unterschiedliche Harmonien eingestellt und auf verschiedene Weisen miteinander kombiniert und variiert werden.
14. Die Schaltfläche „Farbton“ der Farbharmonieleiste wird angeklickt. Anschließend stellt man den erscheinenden „Farbtonharmonie“ Schieberegler auf etwa 60%. Das bedeutet, dass sie drei Farben gleichmäßig in einem Spektrum von 40% im Farbkreis verteilt werden. Alle Farben werden mit der linken Maustaste im Farbkreis in den Bereich zwischen Gelb und Rot gedreht. Nun sollte die Abwicklung wie in Abbildung 6-6 dargestellt aussehen. Die Farbtöne sind der Abbildung gleichmäßig, um das Gelborange verteilt.
15. Hat man eine zufriedenstellende Farbkomposition gefunden, so klickt man bei allen verwendeten Farbobjekten auf die Schaltfläche „New“. Damit wird die aktuelle Farbvariante gespeichert und eine neue erstellt. In Abbildungen 6-7 und 6-8 sind weitere Farbkompositionen der Farbharmonieleiste dargestellt. Abbildung 6-7 zeigt das Munsell Farbflächenverhältnis, in welchem die Helligkeit und Sättigung entsprechend der Flächenverhältnisse eingestellt wird. Abbildung 6-8 zeigt die Harmonie der Sättigung und der Helligkeit.

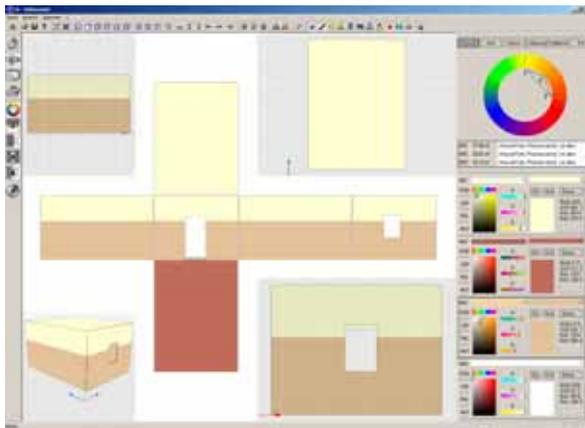
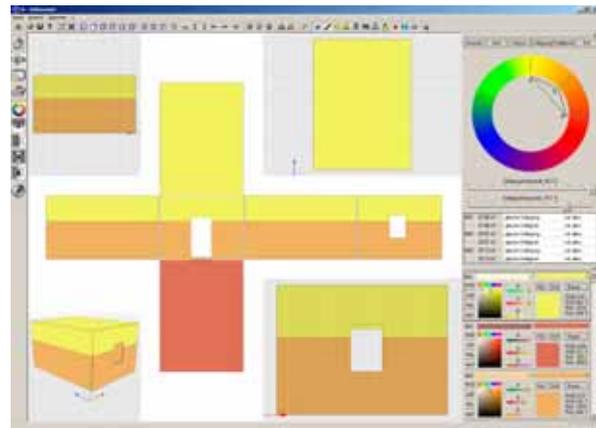


Abb. 6–7 Munsell Farbflächenverhältnis

Abb. 6–8 Sättigungs- und Helligkeits-
harmonie

Mit dem Beispiel sollte gezeigt werden, wie man einen einfachen Raum farblich gestalten kann. Zur Gliederung der Geometrie wurden die Operationen Rechteckschnitt und Horizontalschnitt genutzt. Anschließend wurden dem Raum Farbobjekte zugewiesen, welche mit der Farbharmonieleiste farblich gestaltet wurden. Dabei wurden verschiedene Varianten der Farbkomposition angelegt.

6.2 Farbkompositionen in einer aufgemessenen Architektur

In diesem Abschnitt wird erläutert, wie man 3D-Geometrien in die Software Colored Architecture importiert und eine POV-Ray Radiosity-Lichtberechnung durchführt. Als Geometriemodell wird hierbei das Treppenhaus im Hauptgebäude der Fakultät Architektur der Bauhaus-Universität Weimar genutzt. Die aufgemessene Geometrie des Treppenhauses wurde vorbereitet und liegt als „Treppenhaus.dbk“ auf der beiliegenden CD im Ordner „Beispiele“.

1. Als erstes wird das Programm „X:\Programm\ServerFour.exe“ auf der beiliegenden CD gestartet. Anschließend wird im Programm Server4 mit der Schaltfläche „Load“ die Datei „X:\Beispiele\Treppenhaus.dbk“ geladen.
2. Im nächsten Schritt wird die Anwendung „X:\Programm\CA.exe“ aufgerufen. Colored Architecture wird mit dem Server verbunden, indem man auf die  „Verbinden“ Schaltfläche der Navigationswerkzeuge drückt (siehe Abschnitt 5.3.1.1). Das erscheinende Dialogfeld ist durch klicken auf „OK“ zu bestätigen. Da ein komplexes Modell vom Server übertragen werden muss, kann der Verbindungsvorgang etwas Zeit in Anspruch nehmen. Am Ende dieses Arbeitsschrittes wird die Funktion  „Gesamtansicht des Modells einstellen“ ausgeführt. Die Geometrie sollte wie in Abbildung 6-9 dargestellt aussehen.

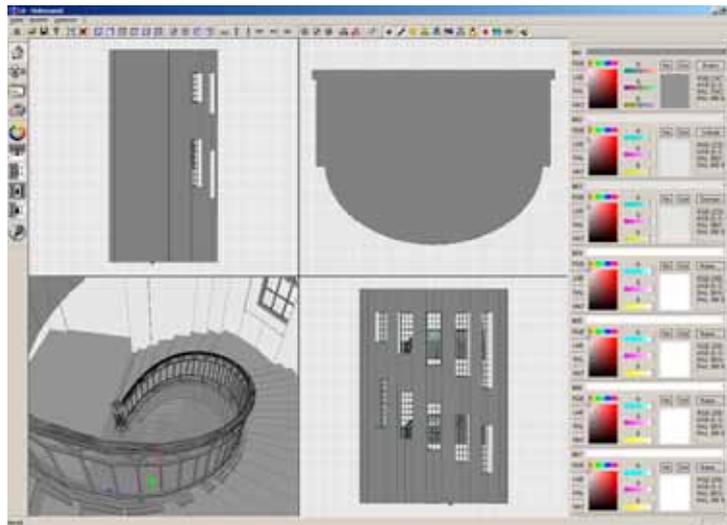


Abb. 6–9 Treppenhausmodell

3. In diesem Beispiel soll im Auge des Treppenhauses eine Installation aus farbigen Stoffbahnen erstellt werden. Hierfür muss die Geometrie der Stoffbahnen in Colored Architecture importiert werden. Die Software kann die 3D-Dateiformate STL und DXF lesen. Über die Schaltfläche  „Öffnen“ wird die Datei „X:\Beispiele\Installation.STL“ in den Softwareprototypen geladen. Nach der Auswahl erscheint das „Import Eigenschaften“ Dialogfeld. Da die Einheiten der Datei in Millimeter vorliegen, muss die Geometrie skaliert werden. Dazu trägt man im Dialogfeld „1000“ Einheiten = „1“ Meter ein (siehe Abb. 6-10). Anschließend wird auf die Schaltfläche „OK“ geklickt. Die Objekte werden importiert.

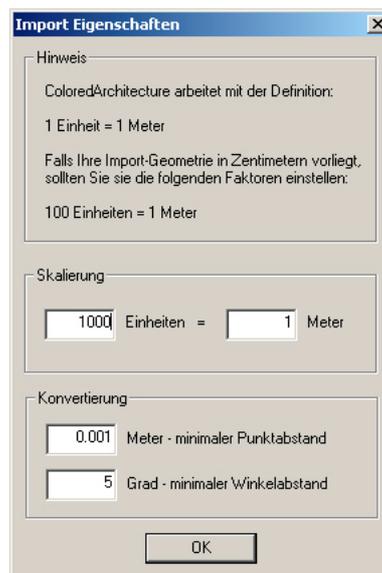


Abb. 6–10 Import Eigenschaften

4. Nachdem die Datei geladen wurde, erscheint eine kurze Mitteilung, dass eine bestimmte Anzahl von Flächen und Punkten im Geometriemodell erstellt wurden. Die Oberfläche der Software sollte nun wie in Abbildung 6-11 dargestellt aussehen.

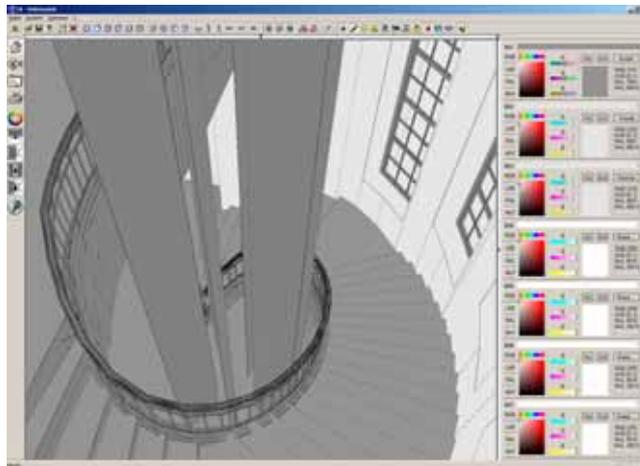


Abb. 6–11 importierte Geometrie in Colored Architecture

5. Zur Demonstration der Software Colored Architecture sollen die Geometrielemente der Installation mit einer Farbharmonie koloriert werden. In diesem Arbeitsschritt werden die sieben importierten Stoffbahnen selektiert. Dies ist notwendig, da in der Farbharmonieleiste nur die Farben von selektierten Oberflächen angezeigt werden. Man wechselt in den Selektionsmausmodus  und wählt mit gedrückter „Strg“-Taste alle Stoffbahnen aus (siehe Abb. 6-12).

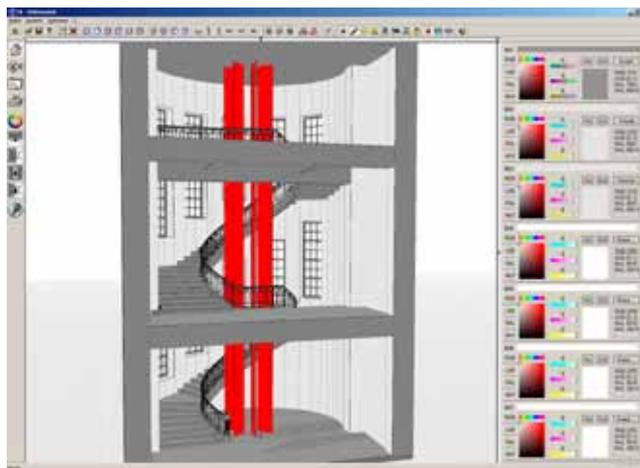


Abb. 6–12 selektierte Stoffbahnen

6. Die selektierten Flächen werden in der Abbildung 6-12 rot dargestellt. Da dieser Zustand für die Farbwahl nicht sinnvoll ist, können die selektierten Oberflächen wieder auf ihre normale Farbe gestellt werden und trotzdem selektiert bleiben. Hierfür aktiviert man auf die Schaltfläche  „Selektionsdarstellung“.

7. Nun wird den Stoffbahnen ein Farbobjekt zugewiesen. Mit Drag & Drop werden die Farben aus der Farbwahlleiste auf die Stoffbahnen gezogen. Jede Bahn erhält ihre eigene Farbe. Anschließend wird die Farbharmonieleiste über ihre Schaltfläche  bei den Werkzeugen zu Farbgestaltung eingeschaltet.

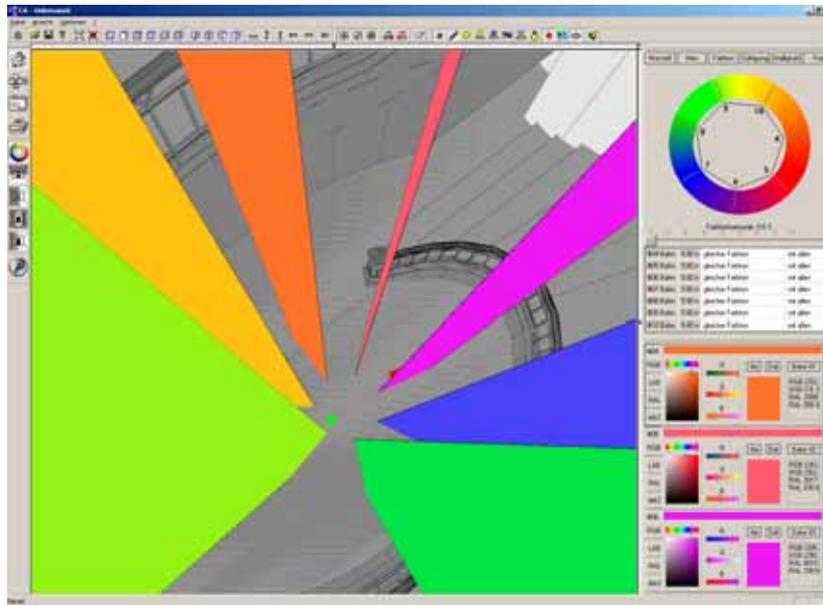


Abb. 6–13 erste Farbkomposition

8. In diesem Arbeitsschritt wird die erste Farbkomposition erstellt. Dazu wird in der Farbharmonieleiste auf die Schaltfläche „Farbton“ geklickt. Alle sieben Farben erhalten den gleichen Farbton. Der erscheinende Schieberegler der Farbtonharmonie wird auf 0% gestellt. Dadurch werden alle Farbtöne mit dem größten Abstand zueinander symmetrisch im Farbkreis verteilt. In Abbildung 6-13 sind die Farben dieser ersten Variante zu sehen.
9. Nun werden die Einstellungen für die externe Software POV-Ray vorgenommen. Unter der Schaltfläche „Optionen“ der Menüleiste wird der Eintrag „POV-Ray Einstellungen ...“ ausgewählt. Wenn die frei verfügbare Software POV-Ray 3.6 von der beiliegenden CD in das Standardverzeichnis „C:\Programme“ installiert wurde, brauchen keine Änderungen am POV-Ray-Verzeichnis vorgenommen werden. Ansonsten werden die Parameter so geändert, wie sie in Abbildung 6-14 dargestellt sind:
- Es wird eine freie Auflösung von 768 mal 1024 Pixel eingestellt.
 - Antialiasing, d.h. Kantenglättung, wird eingeschaltet.
 - Die Radiosityqualität der Berechnung wird auf „gut“ gestellt.
 - Zum Schluss wird der Sonnenstand auf Azimut 150°, Höhe 50°, Norden 0° und Stärke 100 eingestellt.

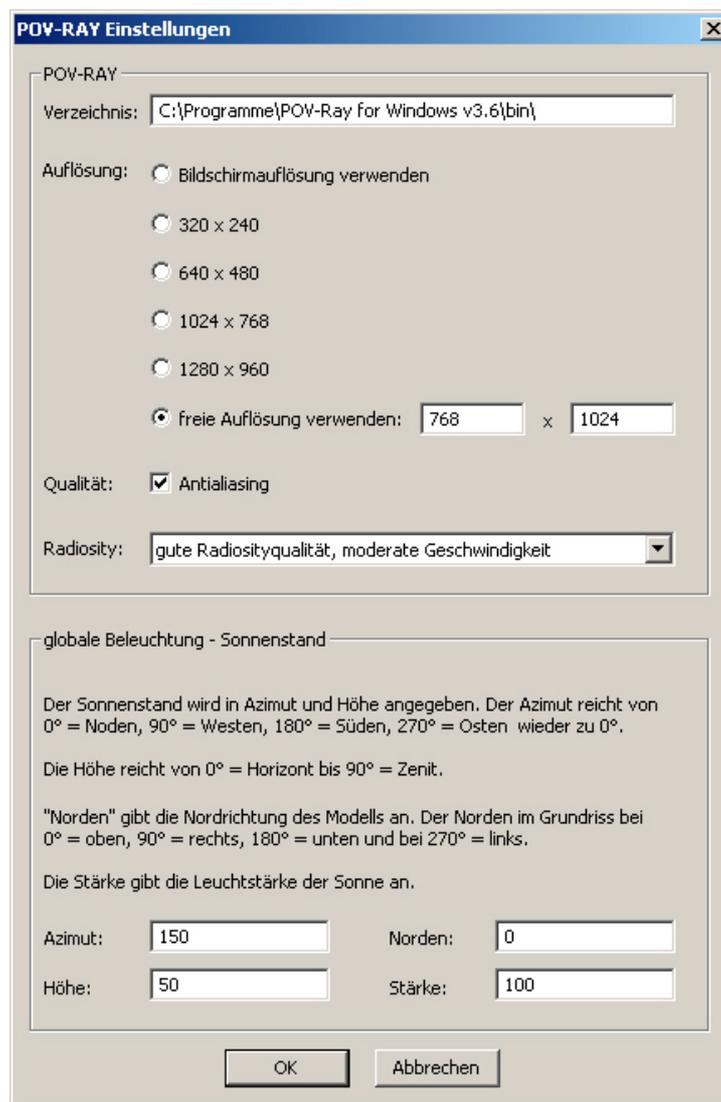


Abb. 6–14 Einstellungen für die Software POV-Ray

10. Zum Schluss wird das Perspektivfenster auf die zu berechnende Ansicht gestellt. Indem man auf die Schaltfläche  „POV-Ray Radiosityberechnung“ der Werkzeuge zur Farbgestaltung klickt, kann die Radiosity-Lichtberechnung gestartet werden. In den Abbildungen 6-15 bis 6-18 sind einige Varianten der Radiosity-Lichtberechnung des Treppenhauses dargestellt. Abbildung 6-15 zeigt das Treppenhaus zum Vergleich ohne die Installation. In der Abbildung 6-17 ist die Radiosity-Berechnung der in diesem Beispiel erstellten Farbkomposition dargestellt. Die Abbildungen 6-16 und 6-18 zeigen eine kalte bzw. eine warme Farbkomposition. Die Farben wurden dabei gleichmäßig im kalten bzw. im warmen Spektrum des Farbkreises verteilt. Die Berechnungsdauer eines solchen Bildes beträgt mit einem Pentium M 1.8 GHz etwa eine halbe Stunde. Die Bilder werden als Windows BMP-Datei im aktuellen Arbeitsverzeichnis gespeichert.



Abb. 6–15 Treppenhaus

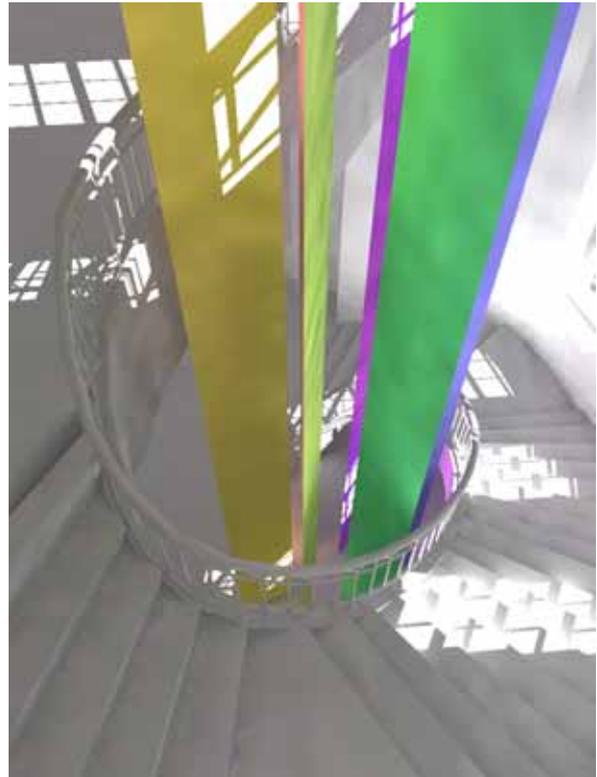


Abb. 6–17 Regenbogenfarben

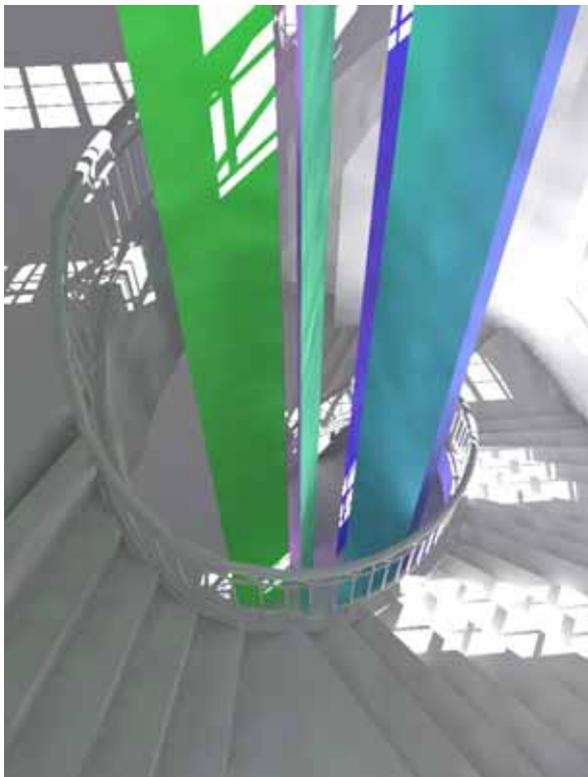


Abb. 6–16 kalte Farben

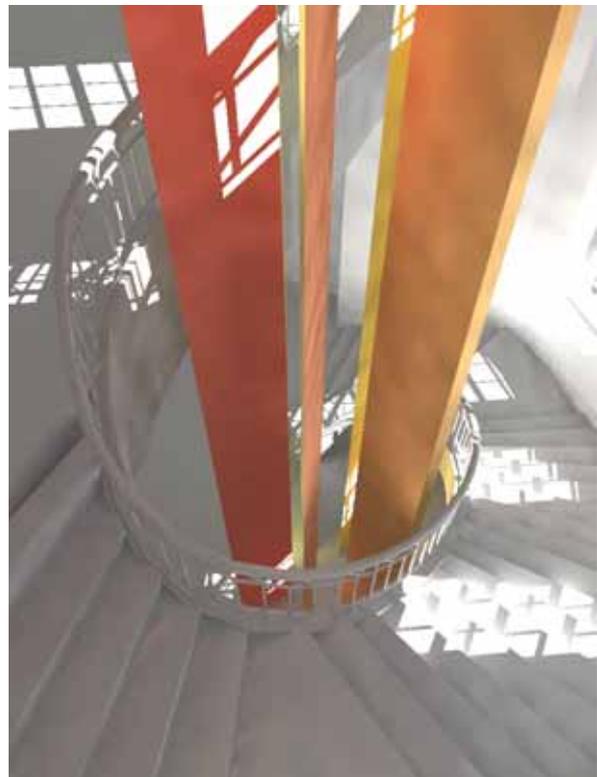


Abb. 6–18 warme Farben

7 Diskussion der Softwarelösung

In diesem Abschnitt soll der Funktionsumfang der Software Colored Architecture zusammengefasst und kurz diskutiert werden. Die im Kapitel 4 aufgestellte Konzeption für ein Farb-, Material- und Lichtentwurfswerkzeug wurde in Colored Architecture als Softwareprototyp realisiert. Die Programmierung einiger Werkzeuge erfolgte aufgrund der begrenzten Bearbeitungszeit nur im Ansatz. Die Software Colored Architecture unterstützt vor allem den **dreidimensionalen Farbentwurf**. In den Anwendungsbeispielen wurde gezeigt, dass nach kurzer Einarbeitung das Entwerfen und Gestalten möglich ist.

Eine Anforderung an den Softwareprototypen war das **architektengerechte Gestalten** von Farben und Materialien im dreidimensionalen Geometriemodell. In einer Internet-Recherche wurde kein CAD-Softwaresystem gefunden, welches diesen Bereich abdeckt. Mit den in der Software Colored Architecture programmierten Werkzeugen zur Farbgestaltung, der Raumabwicklung und den Schnitt- und Vereinigungsfunktionen von Oberflächen, bekommt der Planer praktische Funktionen für die Gestaltung von Architektur zur Seite gestellt.

Ein objektorientiertes Farbsystem vermeidet Redundanzen bei der Planung. Mit den Funktionen der Farbwahlliste können **Farbvarianten** gebildet werden. Außerdem werden mehrere **Farbsysteme**, wie RGB und HSB, sowie die **Farbpaletten** RAL-Design und RAL-Classic, unterstützt. So ist es möglich, auf einem farbkalibrierten Computersystem digitale Farbdaten verlustfrei in jeder Planungsphase einzusetzen.

Ein wichtiges Kriterium bei der Programmierung der Software war die technische Unterstützung von **Farbharmonien und -kontrasten**. In der Farbharmonieleiste können Farbbeziehungen nach Itten und Munsell sowie Farbharmonien und -kontraste des Farbtones, der Sättigung und der Helligkeit gebildet werden. Die Farbbeziehungen sind parametrisiert, so dass man sie effizient variieren und bearbeiten kann. Mit diesen Werkzeugen kann ein qualifizierter Farbentwurf erstellt werden.

Die Durchführung einer **Radiosity-Lichtberechnung** ermöglicht dem Planer das physikalische Experiment, die gewählten Farben in einer bestimmten Lichtsituation erscheinen zu lassen. So kann das komplexe Zusammenwirken von Licht und Farben überprüft werden. An dieser Stelle sollte auch das Zusammenwirken mit den Materialeigenschaften genannt werden. Es wird von der Software derzeit noch nicht unterstützt. Ungeachtet dessen ist mit der Annäherung an eine reale Raumsituation ein Werkzeug gegeben, mit welchem sich Entscheidungen zur Wirkung der Farbentwürfe treffen lassen.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Aufgabe dieser Diplomarbeit bestand in der Entwicklung eines computergestützten dreidimensionalen Farb-, Material- und Lichtentwurfswerkzeuges für die Entwurfsplanung in der Architektur. Aufbauend auf die am Institut für Informatik in der Architektur an der Bauhaus-Universität Weimar vorhandene Softwarelösung zur Verwaltung und Bearbeitung von 3D-Geometrien sollten die Anforderungen an die zu entwickelnde Software festgestellt und prototypisch umgesetzt werden.

Die Arbeit beginnt mit einer Literaturrecherche zum Thema Farbgestaltung. Den Schwerpunkt bilden dabei Farbtheorien, Farbharmonien und Farbpräferenzen, welche für die Softwarekonzeption wesentlich sind. Dazu wurden die Arbeiten von Goethe, Munsell, Itten und Nemcsics kurz vorgestellt. Eine Beschreibung der in der Architektur gebräuchlichen technischen Farbsysteme und Begriffe schließt sich an. Des Weiteren wurden mehrere kommerziell verfügbare Softwarelösungen analysiert und verglichen. Im Ergebnis zeigte sich, dass bisher vor allem der dreidimensionale Farbentwurf unzureichend unterstützt wird.

Die Softwarekonzeption dieser Arbeit setzt sich schwerpunktmäßig mit dem Farbentwurf auseinander. Dieser gliedert sich in die Farbuntersuchung, die Farbbewertung und die Farbumsetzungen. Zur Farbuntersuchung gehören die architekturengerechte Farbwahl, die Wahl parametrisierter Materialien, die Gestaltung und Gliederung von Oberflächen sowie die Festlegung der Beziehungen zwischen den Farben. In *Colored Architecture* sind die Farbharmonien nach Munsell, Itten und Nemcsics konzipiert worden. Ebenso wurden Farbton-, Sättigungs- und Helligkeitsharmonien umgesetzt. Die Harmonien lassen sich so definieren, dass die Parameter der Farbobjekte bestimmte Abstände zueinander einhalten. So können einzelne Farbwerte durch den Planer variiert werden, während sich alle anderen Farben entsprechend ihrer Abhängigkeiten verändern. Der nächste Schritt im Prozess des Farbentwurfes ist die Farbbewertung. In der Farbbewertung werden neben den klassischen Ansichten des Architekturmodells die Abwicklung von Räumen und Radiosity-Lichtberechnungen unterstützt. Die Abwicklung erleichtert die Bewertung eines dreidimensionalen Modells, da sie eine planare Darstellung des Raumes ermöglicht. Die Radiosity-Lichtberechnung unterstützt bei der Farbbewertung die Kontrolle von Farbwirkungen. Sie stellt eine physikalische Annäherung an die reale Lichtsituation dar, so dass die Farbeindrücke im architektonischen Modell anhand von Perspektiven überprüft werden können. Zur Farbumsetzung gehören die Funktionen des Musterflächendruckes, die Raumkarteikarten und die kalibrierte Projektion der entworfenen Farben mit einem Smartprojektor. Die digitalen Ergebnisse des Farbentwurfes können so bis zur Ausführung verlustfrei umgesetzt werden.

Mit der Software Colored Architecture ist eine leistungsfähige Planungssoftware entstanden, welche sich in den Forschungsstand des Lehrstuhls Informatik in der Architektur integriert. Aus der Sicht des Autors erscheint unter Berücksichtigung des Gesamtkonzeptes der Forschungsarbeiten am Lehrstuhl InfAR eine weitere Bearbeitung folgender Themen zum Farb-, Material- und Lichtentwurf sinnvoll:

- In der Software Colored Architecture sollte auch die Planung von Beleuchtungskonzepten unterstützt werden. So könnte der Planer die Wirkung von Farben unter künstlicher Beleuchtung in die Bewertung einbeziehen. Derzeit wird im Softwareprototypen nur die Sonne als Lichtquelle unterstützt. Für die Beleuchtung eignet sich das frei verfügbare IES-Lichtquellenformat, da die benötigten Datensätze von vielen Herstellern bereitgestellt werden.
- Eine weitere Option für die Software Colored Architecture ist die Berechnung des Farbeindruckes, welcher in einem beleuchteten Raum entsteht. Für jeden Punkt im Raum wird neben der Lichtintensität auch die Farbe bestimmt. Das Ergebnis setzt sich dabei aus der direkten und diffusen Beleuchtung eines Raumes zusammen. So lässt sich die Farbwirkung über den ganzen Raum verteilt anzeigen [WCC 2001].
- Für die Bearbeitung komplexer 3D-Modelle ist die automatische Raumerkennung und Bauteilzuordnung wünschenswert. So können die Oberflächen eines Gebäudes automatisch anhand ihrer Größe, Lage und Orientierung gegliedert werden. Bei einer Umsetzung werden alle Flächen eines Modells analysiert, um die Bauteile festzustellen. Damit können einem Gebäude schnell globale Farbdefinitionen für bestimmte Bauteile zugeordnet werden.
- Eine weitere Vision ist die Analyse einer frei zusammengestellten Farbkombi-
sition durch die Software Colored Architecture. So können automatisch Ablei-
tungen von Farbrelationen zwischen den selektierten Farbobjekten erstellt
werden. Daraus folgt, dass sich eine subjektiv gefundene Farbkombi-
sition analysieren und weiterverwenden lässt.
- Eine wichtige Funktion der Software Colored Architecture ist die Durchführung
der externen Radiosity-Lichtberechnung mit POV-Ray. Dabei kann man teil-
weise feststellen, dass eine bestimmte Farbe im Kontext mit anderen Farben
und der Beleuchtung ganz anders wirkt, als es vorgesehen war. Es sollte eine
Funktion geben, welche die Parameter eines Farbobjektes so definiert, dass
die Farbe unter einer bestimmten Beleuchtungssituation in POV-Ray genau so
wirkt, wie man die Farbe zu Beginn gemischt hat.

Mit den vorgestellten Ergebnissen soll im Rahmen des Forschungsthemas „Plausibilität im Planungsprozess“ ein Beitrag zum computergestützten Farb-, Material- und Lichtentwurf von Architektur geleistet werden.

9 Anhang

9.1 Literaturverzeichnis

- [eCAADe 2004] D. Donath, C. Tonn, *How to Design Colour Schemes ? - Conceptual Tools for the Architectural Design*,
In: Rüdiger, B.; Tournay, B.; Ørbæk, H. (ed.): Proceedings of the 22th eCAADe, Sept. 15-18 2004, Copenhagen, S. 333 - 341
- [[ICCCBE 2004] D. Donath, *Collaborative design, planning processes and systems: How do architects, engineers, specialists and construction manager collaborate today?*
In: ICCCBE-X, Jun. 02-04 2004, Weimar
- [Itten 1987] Johannes Itten, *Kunst der Farbe: Subjektives Erleben und objektives Erkennen als Wege zur Kunst - Studienausgabe*, Otto Maier Verlag, Ravensburg, 1987
- [Karwoski 1938] T. F. Karwoski, *Color Music*, 1938
- [Küppers 1989] Harald Küppers, *Harmonielehre der Farben: theoretische Grundlagen der Farbgestaltung*, DuMont Verlag, Köln, 1989
- [Matthaei 1988] Rupprecht Matthaei, *Goethes Farbenlehre*, Maier Verlag, Ravensburg, 1988
- [Munsell 1969] Albert H. Munsell, *A Grammar of Color*, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1969; dt. Auszüge in: Gericke/Schmidt, *Phänomen Farbe*
- [Nemcsics 1993] Antal Nemcsics, *Farbenlehre und Farbdynamik: Theorie der farbigen Umweltplanung*, Muster-Schmidt Verlag, Göttingen, Zürich, 1993
- [Stromer 1998] Hrsg. von Klaus Stromer, Autoren: Narciso Silvestrini, Ernst Peter Fischer, *Farbsysteme in Kunst und Wissenschaft*, DuMont Verlag, Köln, 1998
- [Weber 2005] Jens Oliver Weber, *3D-Modell der Diplomarbeit Spielkasino Weimar*, Bauhaus-Universität Weimar, Entwerfen und Architekturtheorie, Prof. Zimmermann, Weimar, 2005

9.2 Verzeichnis der Web-Seiten im Internet

- [Bihler 2005] *Bihler Konstruktionspaket Designer*, Otto Bihler Maschinenfabrik GmbH & Co. KG, Halblech, 2005
<http://www.bihler.de/designer.pdf>
- [Bimber 2005] Jun. Prof. Oliver Bimber, *Augmented Reality*, 2005
<http://www.uni-weimar.de/~bimber>
- [Datam 2005] *Copra Metalbender*, data M Software GmbH, München, 2005
http://www.datam.de/forum10-04_d.pdf
- [Heck 2002] Andreas Heck, *Diplomarbeit Farbcodes*, Filmakademie Baden-Württemberg, 2002
<http://www.beta45.de>
- [OnSiteEnterprize 2004] System für CAD Informationen auf mobilen Endgeräten, *OnSiteEnterprize*, AutoDesk Ltd, 2004,
<http://www.autodesk.de/adsk/servlet/index?siteID=403786&id=2545215>
- [POV-Ray 2005] frei verfügbares Visualisierungswerkzeug zum Erstellen dreidimensionaler Bilder, *Persistence of Vision Raytracer*, 2005
<http://www.povray.org>
- [RAL digital 2004] *RAL DIGITAL, Farbpaletten digital für den Computer*, DTP Studio, 2004
<http://www.dtpstudio.de/raldigital30>
- [Schorsch 2005] *Werkzeuge für die Architektonische Lichtplanung*, Georg Mischler, 2005
<http://www.schorsch.com/de>
- [virtual color museum 1999] *virtual color museum*, echo productions, 1999
<http://www.colorsystem.com>
- [WCC 2001] *Semesterentwurf Warm-Color-Creator*, Nancy Kreller, Christian Tonn, Bauhaus-Universität Weimar, Lehrstuhl InfAR, 2001
http://infar.architektur.uni-weimar.de/infar/deu/lehre/archiv/semesterentwurf/digital_space/ws01/pattern250/index.htm

[Wikipedia 2005] *Wikipedia, freie Online Enzyklopädie in mehr als 100 Sprache*, 2005
<http://de.wikipedia.org>

9.3 Abbildungsverzeichnis

Kapitel 2

Abb. 2–1	[Stromer 1998 S. 35] Newtons Farbkreis	9
Abb. 2–2	[virtual color museum 1999] Goethes Farbkreis	10
Abb. 2–3	[Stromer 1998 S. 102] Munsells Farbkörper	11
Abb. 2–4	[Itten 1987 S. 69] Farbkugel.....	13
Abb. 2–5	[Heck 2002] Farbe-an-sich-Kontrast	13
Abb. 2–6	[Heck 2002] Hell-Dunkel-Kontrast.....	14
Abb. 2–7	[Heck 2002] Kalt-Warm-Kontrast	14
Abb. 2–8	[Heck 2002] Komplementär-Kontrast.....	14
Abb. 2–9	[Heck 2002] Simultan-Kontrast	15
Abb. 2–10	[Heck 2002] Qualitäts-Kontrast	15
Abb. 2–11	[Heck 2002] Quantitäts-Kontrast.....	15
Abb. 2–12	Ittens Farbkreis mit Farbakkorden	16
Abb. 2–13	[RAL digital 2004] RAL classic.....	18
Abb. 2–14	[Stromer 1998 S. 122] CIE Normfarbtafel	18
Abb. 2–15	[Stromer 1998 S. 152] DIN Farbsystem.....	18
Abb. 2–16	[Stromer 1998 S. 161] NCS Farbraum.....	19
Abb. 2–17	[Stromer 1998 S. 171] CIELAB Farbraum.....	19
Abb. 2–18	[Stromer 1998 S. 175] ACC Farbraum.....	19
Abb. 2–19	[Stromer 1998 S. 177] HLS Farbkörper	19
Abb. 2–20	[Stromer 1998 S. 179] RGB Farbraum.....	20

Abb. 2–21	[Heck 2002] CMYK Farbraum.....	20
Abb. 2–22	[Stromer 1998 S. 184] ein CMN Tetraeder	20
Abb. 2–23	[Nemcsics 1993 S. 168, 169] Farbpräferenzen.....	21
Abb. 2–24	[Architekturbüro Nitschke-Donath] Farbvarianten eines Flures.....	27
Abb. 2–25	[Architekturbüro Nitschke-Donath] kolorierte Wandansicht.....	28
Kapitel 3		
Abb. 3–1	Beleuchteter Raum in Lightscape 3.2	30
Abb. 3–2	DIALux 3.1 mit Isoliniendarstellung der Helligkeit	31
Abb. 3–3	Texturenzeichnen mit Piranesi 3.....	33
Abb. 3–4	Farbwahl mit CorelDraw 10	34
Kapitel 4		
Abb. 4–1	Programmaufbau von Colored Architecture.....	36
Abb. 4–2	Ansicht 2D-Farbstudie	37
Abb. 4–3	[Weber 2005] Nachbarbebauung 3D-Farbstudie	38
Abb. 4–4	[Weber 2005] Dialog Gebäudegliederung.....	39
Abb. 4–5	Dialog zur Farbwahl.....	40
Abb. 4–6	Dialog zur Materialwahl.....	41
Abb. 4–7	Arten der Texturprojektionen: planar, kubisch, kugelförmig	42
Abb. 4–8	Farbharmonieleiste	43
Abb. 4–9	Vergrößerung der Tabelle mit den Farbbeziehungen aus Abb. 4-8	44
Abb. 4–10	Farbharmonien nach Nemcsics für den Innenraum	46
Abb. 4–11	Beispiel Schnittlinien und Schnittrahmen	48
Abb. 4–12	Farbvariantenobjekte	49
Abb. 4–13	POV-Ray-Bilder mit ihren dazugehörenden Abwicklungen.....	50
Abb. 4–14	[Bihler, Datam 2005] Abwicklungen Bihler und Copra Metalbender	52
Abb. 4–15	Raumabwicklung in Colored Architecture	53

Abb. 4–16	Radiosity-Abwicklung.....	54
Abb. 4–17	Raumkarteikarte mit Farbzuordnungen.....	55
Abb. 4–18	Musterflächendrucke am Planungsort	56
Abb. 4–19	Auswahl der Flächen zum Musterdruck.....	56
Abb. 4–20	[Bimber 2005] 3D Smartprojektor Anwendung in der Architektur.....	57

Kapitel 5

Abb. 5–1	MFC Programmierung mit Visual C++ 7.0	58
Abb. 5–2	Aufbau der Nutzeroberfläche von Colored Architecture.....	59
Abb. 5–3	Navigationswerkzeuge.....	60
Abb. 5–4	Verbindungsaufbau mit dem Server	60
Abb. 5–5	Selektionswerkzeuge	61
Abb. 5–6	Darstellungswerkzeuge.....	61
Abb. 5–7	Werkzeuge zur Farbgestaltung.....	62
Abb. 5–8	Farbwahlleiste.....	62
Abb. 5–9	Farbharmonieleiste	63
Abb. 5–10	Einstellungen von POV-Ray	66
Abb. 5–11	Aufbau der Abwicklung	67

Kapitel 6

Abb. 6–1	Serverstand mit Server4 laden	68
Abb. 6–2	Raumkubus in Colored Architecture	69
Abb. 6–3	Abwicklung des Raumkubus.....	69
Abb. 6–4	Raumabwicklung mit Unterteilung	70
Abb. 6–5	erste Farbzweisung.....	71
Abb. 6–6	Farbtonharmonie	71
Abb. 6–7	Munsell Farbflächenverhältnis	72
Abb. 6–8	Sättigungs- und Helligkeitsharmonie	72

Abb. 6–9	Treppenhausmodell	73
Abb. 6–10	Import Eigenschaften	73
Abb. 6–11	importierte Geometrie in Colored Architecture	74
Abb. 6–12	selektierte Stoffbahnen	74
Abb. 6–13	erste Farbkombiosition	75
Abb. 6–14	Einstellungen für die Software POV-Ray	76
Abb. 6–15	Treppenhaus.....	77
Abb. 6–16	kalte Farben.....	77
Abb. 6–17	Regenbogenfarben	77
Abb. 6–18	warme Farben.....	77

9.4 Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1	chronologische Übersicht technischer Farbsysteme.....	18
Tab. 2-2	[Nemcsics 1993 S. 240, 332 ff.] Raumtypen und ihre Farben.....	24
Tab. 2-3	Farbassoziationen verschiedener Epochen und Künstler	26

9.5 Thesen der Diplomarbeit

1. Der dreidimensionale Farbwurf wird derzeit in keinem CA(A)D-System adäquat unterstützt.
2. Durch den Einsatz technisch korrekter Farbsysteme ist es möglich, die computergestützte Farbgestaltung vom Entwurf über die Planung bis hin zur Ausführung auf der Baustelle anzuwenden.
3. Der Farbwurf gliedert sich in die Farbuntersuchung, die Farbbewertung und die Farbumsetzung. Zwischen der Farbuntersuchung und der Farbbewertungen bestehen zahlreiche Wechselwirkungen.
4. Die in der Software Colored Architecture programmtechnisch umgesetzten Farbharmonien helfen dem Planer, Farbkonzepte zu formulieren.
5. Die freie Farbauswahl in den unterstützten Farbräumen erweitert die klassische Farbwahl einer begrenzten Farbenanzahl von definierten Farbpaletten.
6. Die Definition von Farbbeziehungen erlaubt ein zügiges Variieren von mehreren Farben im Prozess der Farbuntersuchung.
7. Die planare Abwicklung eines dreidimensionalen Raumes ist eine architekten-gerechte Darstellungsform für die Zuweisung und die Bewertung von Farben und Materialien.
8. Die Bildung von Farbvarianten unterstützt die typische Arbeitsweise des Architekten. So können Farbbewertungen anhand eines Variantenvergleichs vorgenommen werden.
9. Die Radiosity-Lichtberechnung stellt eine physikalische Annäherung an die realen Raumbedingungen dar und erlaubt eine fundierte Bewertung von Farbkonzepten.
10. Die Programmausgaben Musterflächendruck, Raumkarteikarten und Projektion über einen SmartProjektor erlauben die verlustfreie Ausgabe der Planungsergebnisse zur Farbumsetzung.

9.6 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit mit dem Inhalt

**„Computergestütztes dreidimensionales Farb-,
Material- und Lichtentwurfswerkzeug für die
Entwurfsplanung in der Architektur“**

selbstständig und ausschließlich unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Weimar, den 11. Juli 2005

Christian Tonn