

# **Menschenzentrierte visuell-räumliche Kognition. Architektonische Entwurfssysteme der nächsten Generation und ihre Rolle in Konzeption, Berechnung und Kommunikation**

Mehul Bhatt, Carl Schultz

Architektinnen und Architekten, die mit dem Entwerfen eines Gebäudes beschäftigt sind, sehen sich während der anfänglichen Konzeptionsphase der Aufgabe gegenüber, die visuell-räumlichen und navigationsbezogenen Erfahrungen der Gebäudenutzerinnen und -nutzer zu *imaginieren* und *vorwegzunehmen*. Was Architektinnen und Architekten in diesem Entwurfsstadium typischerweise vorliegt, sind (semantisch auszulegende) abstrakte (*high-level*) Auftragspezifikationen, Planungsaufgaben und umfassende Entwurfszwecke sowie *leerer Raum*, das heißt die offene Baustelle, auf der das Projekt zu situieren ist, inklusive seines lokalen Kontexts. Die Entwerfenden müssen sich die *Gestalt des leeren Raums*,<sup>1</sup> der die nötigen ökonomischen, sozialen, funktionalen und ästhetischen Vorzüge erhält, vorstellen. Sie erreichen die Korrespondenz von physischer Struktur und Funktion durch einen Prozess der kreativen visuell-räumlichen Abstraktion, der Entwurfskonzeptualisierung und der Übersetzung eines abstrakten mentalen Modells sowie einer Entwurfspezifikation in ein konkretes Produkt, das in der physischen Welt gebaut werden kann. Dabei müssen die Planenden die Perspektive einer Reihe möglicher Anspruchsberechtigter – Menschengruppen und Situationen – an- oder vorwegnehmen, zum Beispiel typische Nutzerinnen und Nutzer, Alltagsszenarien und Nutzungserfahrung, Menschen mit besonderen Ansprüchen (Blinde, Leute im Rollstuhl, Ältere, Kinder) und Notsituationen.

Wenn öffentliche Gebäude in großem Maßstab entworfen werden, besteht eine zentrale Herausforderung für Architektur und Planung darin, sich die Interaktionen der Menschen und (die) situationszentrierte(n) Entwurfskriterien

vorzustellen. Unter dem Gesichtspunkt der visuell-räumlichen und lokomotorischen Wahrnehmung und Kognition in einer gebauten Umgebung betrachtet, müssen Architektinnen und Architekten ein abstraktes mentales Modell des zu bauenden Entwurfs im Hinblick auf Kriterien für die Nutzungserfahrungen imaginieren. Die mentalen Modelle der Entwerfenden werden externalisiert und in einem Prozess des iterativen Entwerfens verfeinert, wobei eine Reihe von Modalitäten wie Diagramme, Skizzen, Bauleitpläne, elaborierte CAAD-Modelle, hochentwickelte Gebäudesimulationen oder verkleinerte physische Nachbildungen für den vorgeschlagenen Entwurf verwendet werden. Das entscheidende Ziel der abstrakten Entwurfskonzeption und der iterativen Verfeinerung besteht also darin, sicherzustellen, dass das Endprodukt, das heißt eine physisch gebaute Konstruktion, von sich aus hinsichtlich menschenzentrierter Entwurfsziele funktioniert. Letztere umfassen Kriterien zu funktionalen, verhaltens- und affordanzbezogenen Maßnahmen, die wiederum über ihre symbiotische Beziehung zwischen menschlichem Verhalten und gebauter Umgebung identifizierbar sind. Die wesentliche Aussage der in diesem Kapitel präsentierten Forschung besteht darin, dass künftige menschenzentrierte Entwurfsumgebungen, Bezugssysteme, Assistenzwerkzeuge, pädagogische Diskurse und Entwurfsgrundsätze und -praktiken explizit in den kognitiven Modalitäten der menschlichen Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Handlung, Dynamik, Umweltaffordanz und Nutzungserfahrung sowie in Entwurfskonzeption und -semantik gründen müssen.

Die zentrale Frage, die wir in diesem Kapitel ansprechen und darlegen, lautet: Wie können diese (menschenzentrierten) kognitiven Modalitäten auf allen Ebenen und in allen Phasen der Entwurfsausbildung und -schulung, im akademischen Entwurfsdiskurs und in der Entwurforschung (*Design studies*) wie auch in der professionellen Praxis des räumlichen Entwerfens für die Architektur explizit die tragenden Bausteine darstellen? Wir sind der Überzeugung, dass dies einen ganzheitlichen Zugang zur architektonischen Entwurfskognition erfordert, in den die Anwendung von Prinzipien, Praktiken und Methoden aus den Feldern der Architektur und Technik, der Kognitionswissenschaft, der Raumkognition und -berechnung sowie der evidenzbasierten empirischen Methoden der Umwelt- und Sozialpsychologie miteinbezogen ist.

Der von uns vorgeschlagene holistische Zugang zur architektonischen Entwurfskognition ist im Besonderen durch die Intention der Entwerfenden, die Entwurfsform und -funktion, den uneingeschränkten Zugang und die Benutzbarkeit sowie durch individuelles und kollektives Wohlbefinden in der gebauten Umgebung getragen. In diesem Zusammenhang thematisieren wir Forschungsfragen, die die Entwurfskonzeption, -berechnung und -kommunikation betreffen:

*Konzeption:* Zeitgenössische CAAD-Werkzeuge stellen robuste Methoden zur geometrischen Modellierung und Konstruktions-technik zur Verfügung. Wie kann die künftige Weiterentwicklung des (architektonischen) computergestützten Entwerfens Vorstellungen von Entwurfssemantik, -struktur, -funktion und

menschenzentriertem Entwerfen auf der ontologischen, repräsentationalen und rechnerischen Ebene in den Vordergrund rücken?

*Berechnung:* Welche Rolle haben spezialisierte Formen visuell-räumlicher Abstraktion und vernünftigen räumlichen Schließens innerhalb des breiteren Bereichs des computergestützten Entwerfens, der räumlichen Entwurfsassistenz und der Werkzeuge für das Erlernen und Vermitteln des Entwerfens?

*Kommunikation:* Worin besteht das Wesen und die Form des analytischen Feedbacks, das Entwerfende und Planende während der frühen Entwurfskonzeption und der iterativen Verfeinerungsphase erwarten? Welche Implikationen ergeben sich hieraus im Hinblick auf die Gebrauchstauglichkeit, die Schnittstelle und die Entwurfsaspekte der Mensch/Maschine-Kollaboration sowie -Interaktion von architektonischen Entwurfsassistenzsystemen?

In unserem Versuch, die oben genannten Fragen zu adressieren, präsentieren wir in diesem Kapitel einen Überblick über die fundamentalen Kernkonzepte und die daraus hervorgehenden, breit angelegten Forschungsinitiativen. Abschnitt 1 stellt das Konzept der ›Gestalt des leeren Raums‹ als ein (prototypisches) Grundkonstrukt im architektonischen Entwurfsdenken, in der Abstraktion und im analytischen Computereinsatz im Entwurf vor. Abschnitt 2 präsentiert die durch menschliche Raumkognition motivierten Grundlagen dessen, was wir als zukünftige ›kognitive CAAD-Technologie‹ ansprechen. Die Betonung liegt auf den Modalitäten der menschlichen Raumkognition im Maßstab des alltäglichen menschlichen Wahrnehmens und Denkens.

Im Verein mit Systementwicklungsprojekten in der Architektorentwurfskognition und -berechnung sollte sich der akademische Diskurs über Entwurfsuntersuchungen und -ausbildung mit dem aktuellen Stand der CAAD-Werkzeuge und den aufkommenden Standards wie *Industry Foundation Classes* (IFC) und *Building Information Modeling* (BIM) verbinden, auf diesen aufbauen und – wenn möglich – versuchen, sich nahtlos mit ihm zu verflechten.<sup>2</sup> Wir wollen diesen Aspekt anhand unserer noch in Arbeit befindlichen prototypischen Systemimplementierungen aufzeigen, die entwickelt wurden, um BIM, IFC und Industriestandard-konforme CAAD-Werkzeuge technologisch zusammenzuführen. Um dies zu erreichen, stellen wir in Abschnitt 3 die visuell-räumliche und fortbewegungszentrierte ›Narrativierung antizipierter Nutzungserfahrungen‹ (im gebauten Raum) als ein Mittel dafür dar, explizit zu einem analytischen Dialog mit den Architektinnen und Architekten beizutragen. Dieser basiert auf menschen- und situationszentrierten Zielsetzungen, die visuell-räumliche Kognition, Handlung und Affordanz in gebauten Räumen einbegreifen. Wir führen auch ein prototypisches Softwaretool zur Entwurfsanalyse und Narrativierung kognitiver Nutzungserfahrung ein. Abschnitt 4 zeigt, wie experimentelle Methoden der Umwelt- und

Sozialpsychologie und empirisch erlangte Evidenzen in anwendbares Entwurfswissen und in Entwurfssysteme für Entwurfsanalysen nach Bezug des Gebäudes übersetzt werden können.<sup>3</sup> Wir zeigen ein evidenzbasiertes Analysewerkzeug, das demonstriert, wie Wissen von empirischen Methoden – wie jenen der Umweltpsychologie – in pädagogische Diskurse und Berechnungswerkzeuge zur Entwurfsherstellung und -analyse Eingang finden kann. Abschnitt 5 präsentiert eine Machbarkeitsstudie in Bezug auf die rechnerische Generierung von immersiven Erfahrungen an Entwurfsprototypen. Der Schwerpunkt liegt auf der Verwendung von immersiver Virtual-Reality-Technik und natürlichen Interaktionstechnologien, um die funktionale Entwurfsperformanz aus dem Blickwinkel der Verhaltenssimulation von Menschen zu kommunizieren. Zusätzlich kann der Zugang auch zur interaktiven Visualisierung experimenteller Daten (z. B. von jener, in Abschnitt 4 thematisierten Art, die evidenzbasierten Analysemethoden entstammen) benutzt werden. Dieser Beitrag schließt in Abschnitt 6 mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse.

## 1 Die Gestalt des leeren Raums

Beim Architektorentwurf geht es um ›Raum‹: leeren Raum, räumliche Konstruktionen und den Vorgang des Strukturierens. Im Wesentlichen organisieren Architektinnen und Architekten leeren Raum, indem sie Konstruktionen und Artefakte der menschlichen Alltagsexistenz bauen. Der Prozess des architektonischen Strukturierens transformiert und organisiert leeren Raum in etwas mit einer gewünschten Form (z. B. einen ausgewogenen oder geräumigen Raum, eine optisch ansprechende Szene), Funktion (z. B. einfach navigierbar) und semantischen Konnotation (z. B. einen Ort). Wie bereits betont, vollziehen Architektinnen und Architekten beim Erzielen einer Entsprechung zwischen physischer Struktur und Funktion einen Prozess der kreativen visuell-räumlichen Abstraktion, der Entwurfskonzeptualisierung und der Übersetzung eines abstrakten mentalen Modells und der Entwurfsspezifizierung in ein konkretes Produkt, das in der physischen Welt gebaut werden kann. Der gesamte Entwurfsprozess, von der Entwurfskonzeption bis zur technischen Anfertigung und Freigabe, durchläuft einen iterativen Verfeinerungszyklus, der aus mehreren Stadien besteht, in welchen Entwerfende kreative und technische Facetten ihrer Profession zur Anwendung bringen.<sup>4</sup>

### 1.1 Architektorentwurf als ein ›Strukturieren von leerem Raum‹.

›Form follows function‹<sup>5</sup> und ›ornament is crime‹<sup>6</sup> – diese zwei Doktrinen zählen im Ingenieursentwurf zu den Eckpfeilern der modernistischen Tradition. Innerhalb der Domäne des Architektorentwurfs führen diese beiden Dogmen zur umfassenden Interpretation, dass die *strukturelle Form*, das heißt *Gestalt* (*shape*), *Anordnung* (*layout*), *Konnektivität* (*connectivity*) eines Raumentwurfs (z. B. für einen gebauten Raum), primär über seine praktische *Funktion* oder seinen praktischen *Zweck* festgelegt werden sollte. Ein Großteil der Literatur in der Entwurfs- und Architekturphilosophie sowie der sich daraus entzündenden Debatten

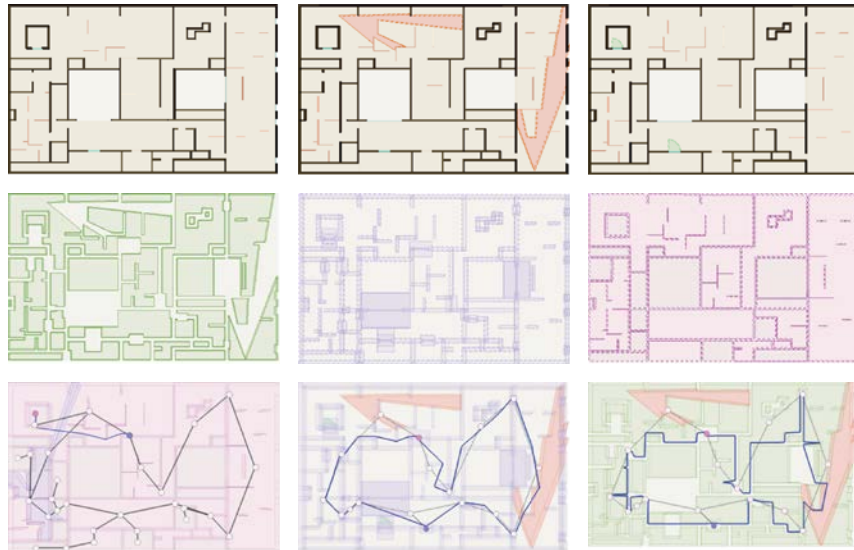
konzentrierte sich bislang auf die Semantik der Funktionen bei Entwurfsartefakten und auf die kausale Verbindung zwischen Form und Funktion. Eine besondere Betonung lag auch auf der Frage, ob Form ganz oder teilweise der Funktion folgen sollte oder ihr sogar folgt.

Das Strukturieren von leerem Raum kann als ein Prozess des kreativen, ästhetischen und funktionalen Problemlösens aufgefasst werden; der leere Raum selbst ist ein *entworfenes Objekt*, wenn auch ohne eine stoffliche Ausdehnung, und damit im Unterschied zu Wänden, Mobiliar und so weiter; seine Form geht aus der Form der umgebenden physischen Objekte hervor, daraus, wie diese Objekte die Wahrnehmung und Bewegung beeinflussen, und aus den mit diesen Objekten einhergehenden Aktivitäten. Da es sich also auch hier um ein entworfenes Objekt handelt, können Doktrinen wie ›form follows function‹ Anwendung finden, um den kreativen Prozess zu leiten. Unsere operative Auffassung von Konstruktion und Funktion steht in Beziehung mit einem Arbeitsablauf der ›iterativen Verfeinerung durch eine automatisierte Entwurfsassistentz‹ und zeichnet sich durch Phasen der Modellierung-Evaluierung-Überarbeitung in der Entwurfsassistentz aus, wie sie beispielsweise im ontologischen Bezugssystem des *Function-Behaviour-Structure*- (FBS-) Modells des Entwurfsprozesses interpretiert werden.<sup>7</sup> Die Grundannahme besagt, dass eine Designerin oder ein Architekt sich eine Konstruktion vorstellen, und zwar hinsichtlich der antizipierten Verhaltensweisen des entworfenen Objekts (das heißt seiner Eigenschaften und Attribute), die den gewünschten Funktionen genügen würden. Infolgedessen haben wir eine Typologie des Raumentwurfs entwickelt, die eine Grundlage dafür bildet, die ›Gestalt der Leere‹, die aus einer Konfiguration einer entworfenen Struktur – wie sie in einem CAAD-Modell zur Verfügung steht – resultiert, zu analysieren bzw. aus ihr ›Sinn entstehen zu lassen‹. Dies erfolgt durch die Etablierung einer formalen Verbindung zwischen konkreter (*low-level*) physischer Entwurfsstruktur [Abb. 1a] und abstrakter (*high-level*) Konzeptualisierung von Entwurfsfunktionen [Abb. 1b–i], welche Architektinnen und Architekten mittels raumlinguistischer Konzeptualisierung, das heißt durch das Modellieren und Schließen über Entwurfssemantik, erkennen können.<sup>8</sup>

*Physische Geometrie* (*physical geometry*). Diese korrespondiert mit der physischen Struktur und basiert auf fundamentalen geometrischen Primitiven, die durch ein typisches CAAD-Werkzeug gegeben sind (z. B. Wand, Tür, Möbelstück) [Abb. 1a].

*Reichweitenräume* (*range spaces*). Die jeweils einem Raumpunkt entsprechenden Sichtbarkeitspolygone (Isovist) hängen vom abgewinkelten Sichtfeld und der Fokussierungsdistanz des Sensors ab [Abb. 1b].

*Leere Räume* (*empty spaces*). Verbund von Bewegungsräumen, abzüglich anderer Affordanzräume, wie funktionale Räume und Reichweitenraum [Abb. 1c].



**1 Die Gestalt des leeren Raums: eine räumliche Entwurfstypologie: a) physische Geometrie in einem CAAD-Modell; b) Reichweitenraum (visuell oder sensorisch); c) leerer Raum im strikten Sinne, das heißt als wirklich nicht interferierender Raum; d) Operationsraum der Türen; e) Funktionsraum von Wänden und Türen; f) Bewegungsraum; g) Weggraf (logische Verbindung); h) Wegpfad mit effektiver Pfadgeometrie; i) Affordanzpfad, das heißt mit der speziellen Eigenschaft des Folgens der Wand.**

*Operationsräume (operational spaces).* Sweeping, Extrudieren, Verschieben, Rotieren und Skalieren von Teilen der physischen Geometrie des Referenzobjekts (z. B. *sweeping* einer Türfüllung, vgl. Abb. 1d).

*Funktionsräume (functional spaces).* Der Puffer der physischen Geometrie des Referenzobjekts, abzüglich der Hindernisse [Abb. 1e].

*Bewegungsräume (movement spaces).* Verbund von begehbaren Oberflächen (z. B. Fliesen), abzüglich von Hindernissen wie Wänden [Abb. 1f].

*Weggrafen (route graphs).* Konnektivitätsrelationen zwischen Bewegungsräumen und Wegpunkten (z. B. Türöffnungen); ein Bewegungsraum ist logisch mit einem Wegpunkt verbunden (das heißt zugänglich), wenn sie sich kreuzen [Abb. 1g].

*Wegpfade (route paths).* Eine geometrische Kurve, beschrieben durch präzise Koordinaten von Bewegung zwischen einem Ausgangs- und einem Endpunkt, wobei Bewegungshindernisse wie

Barrieren, Möbel, Breite und Höhe der Einschränkungen, Hangneigungen und Stufenhöhe zu berücksichtigen sind [Abb. 1h].

*Affordanzpfade (affordance paths).* Besondere Teilmenge von Wegpfaden, die man unter Voraussetzung bestimmter Kontexte und Situationen, wie etwa Notszenarien, erhält [Abb. 1i].

## 1.2 Chings Form, Raum und Ordnung

Der Architekt Francis Ching präsentiert in seiner mit breiter Zustimmung aufgenommenen morphologischen Studie zur Problemlösung im (Architektur-)Entwurf einen Diskurs über die architektonischen Kernelemente *Form*, *Raum* und *Ordnung*. Ching zeigt die komplexen Wechselbeziehungen zwischen fundamentalen Entwurfs-elementen, -mustern und -konstrukten auf, die beim Entwurf und bei der Organisation einer gebauten Umgebung innerhalb von Systemen der *Raumorganisation*, der physischen Struktur und der Einfassung entstehen. Chings Arbeit bildet einen Kernbereich vieler Curricula im Architekturstudium und legt eine deutliche Betonung auf die Begriffe *Struktur*, *Funktion* und *Zweck*. Um Ching zu zitieren:

»Fundamentally, the physical manifestations of architecture accommodate human activity. However, the arrangement of the elements of form and space will determine how architecture might promote endeavours, elicit responses, and communicate meaning. These elements of form and space are presented, therefore, not as ends in themselves, but as means to solve a problem in response to conditions of function, purpose, and context – that is, architecturally.«<sup>9</sup>

Die Hauptbotschaft hinter diesem Gedankengang besteht in der Betonung der Tatsache, dass Begriffe der Entwurfssemantik, -struktur und -funktion innerhalb der Theorie des Architekturstudiums allgemeingültig sind. Da sie einen wesentlichen Bestandteil der Architekturausbildung darstellen, werden sie von den Entwerfenden auch explizit gekannt und verstanden. Dennoch erachtet der zeitgenössische Architekturstudium mit seinen computergestützten Methoden, Werkzeugen und Paradigmen die letztendlichen Produkte der Entwurfsaktivitäten als isolierte »frozen moments of perfection«<sup>10</sup> – eine statische Entwurfsansicht ohne gebührende Beachtung der Handlung, Dynamik und Interaktion im Alltagsleben.<sup>11</sup>

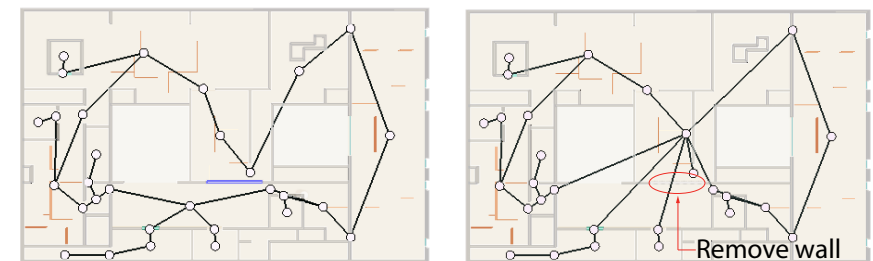
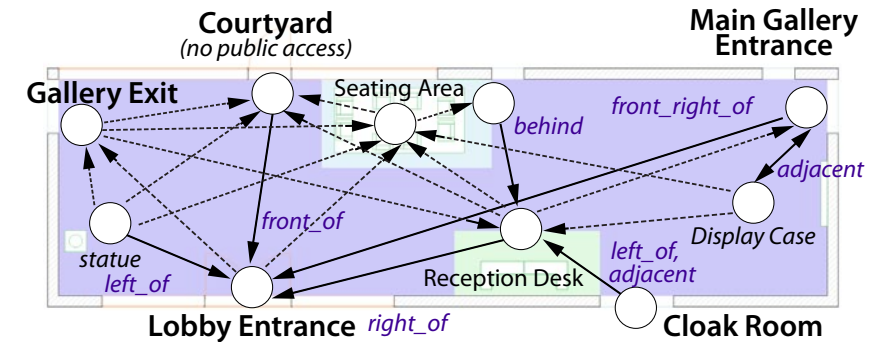
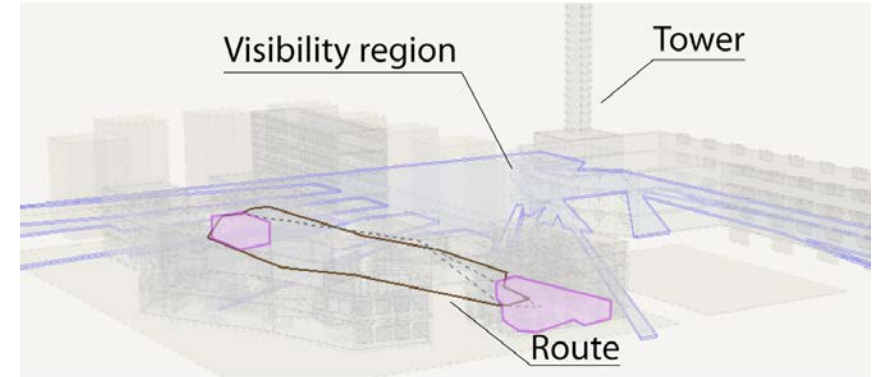
Menschenzentrierte Wahrnehmungs- und Handlungsmodalitäten konstituieren noch nicht explizit die zentralen Bausteine der gegenwärtigen entwurfsbezogenen Generierungs- und Analysewerkzeuge sowie der CAAD-Systeme. Genauer gesagt, selbst innerhalb der modernsten CAAD-Werkzeuge sind Konzepte von Struktur, Funktion, Verhalten und nutzungszentriertem Entwerfen

für Planende nicht zugänglich. Beispielsweise fehlen diesen Entwurfsumgebungen Aspekte wie das Modellieren von Form und Funktion, die Simulation von menschlicher Verhaltensdynamik, die Sichtbarkeit, Wegfindung und Zirkulationsanalysen. Die paradigmatischen Grundsätze computergestützten Architektur-entwurfs basieren auf Abstraktionen, die von Punkten, Liniensegmenten und Polygonen stammen. Gegenwärtige CAAD-Systeme besitzen schlicht keine Begriffe von Entwurfssemantik, und infolgedessen stellen sie den Entwerfenden keine inhärente Funktionalität zur Verfügung, um die sich zu eigen gemachten menschenzentrierten Konzepte der Entwurfssemantik während des professionellen Entwurfsprozesses anzuwenden. Die nächste Generation der CAAD-Technologie sollte auf kognitiven Fundamenten basieren. Dieser Aspekt wird im folgenden Abschnitt behandelt.

## 2 Kognitive CAAD-Technologie

Aus modellierungs- und informationstheoretischer Sicht besteht ein CAAD-System im Grunde aus einer standardisierten Reihe von geometrischen Konstrukten wie Punkten, Liniensegmenten, Polygonen und anderen komplexen Aggregaten basaler geometrischer Primitive. Diese Primitive stellen unter Verwendung digitaler Mittel die Grundlage bereit, die für die Bautechnik einer physisch gebauten Umgebung benötigt wird. In den letzten Jahren kam die Entwicklung neuer Formen von Darstellungs- und Berechnungsparadigmen – auch inhärent geometrieeleitet wie parametrisches und generatives Design (Modellierung und Berechnung) auf. Innerhalb der gegenwärtigen CAAD-Technologie behielten die Modalitäten der Entwurfskonzeption, -modellierung und -kommunikation (z. B. durch 3D-Visualisierung) über die Jahre weiterhin ihren wesentlich ingenieurstützenden »geometrischen« Charakter im Kern beibehalten. Aus unserer Sicht erweist sich dieser abstrakte geometrische Ansatz des Modellierens als eher begrenzt. CAAD muss daher mit Kognitionsprinzipien angereichert werden, die die Art und Weise, wie Menschen in einer gebauten Umgebung wahrnehmen, Erfahrungen sammeln und agieren, stärker widerspiegeln.

Die Erfahrung im Entwurfsatelier, die eine der ältesten Methoden der Ausbildung, des Lernens und der Kritik in der Architektur darstellt, beruht hauptsächlich auf Entwurfsskizzen und frühen Zeichnungen sowie 2D- und 3D-Modellen mit unterschiedlichen Graden der Ausarbeitung und Detaillierung.<sup>12</sup> Auch auf professionellem Gebiet, jenseits der Architekturschulen, entwickelte und manifestierte sich die Methode. Wenn man die Produkte des Entwurfsgedankens während einer kreativen raumbezogenen Entwurfsaufgabe (z. B. während einer studiobasierten Entwurfsbesprechung (*desk crit*) oder der frühen Phase der Entwurfskonzeption im professionellen Entwerfen) untersucht, wird das visuell-räumlich motivierte menschenzentrierte Wesen der Entwurfskonstrukte evident. Zwei fundamentale Modalitäten, nämlich Sichtbarkeit und Bewegung, spielen in Entwurfsaufgaben eine zentrale Rolle. Zur Illustration betrachte man die folgenden Szenarien des Raumentwurfs, wie sie in verschiedenen Entwurfsaufgaben formuliert werden könnten:



**2 Szenarien des Raumentwurfs mit gebautem Raum:** a) Museum: Kontinuität als wechselseitige Sichtbarkeit zwischen verschiedenen Orten; b) Universität: Sichtbarkeit von Landmarken zur Orientierung; c) zirkuläre Organisation; d) hierarchische Organisation.

*Wahrnehmungskontinuität.* Die Gestaltung und räumliche Organisation des Rezeptionsbereichs eines Museums sollte ein Gefühl der »Kontinuität« zwischen verschiedenen Orten unterstützen. Kontinuität kann als wechselseitige Sichtbarkeit oder Erreichbarkeit zwischen mehreren Stellen gedacht werden [Abb. 2a].

*Sichtbarkeit und Navigation.* Beim Überqueren des Universitäts-campus vom östlichen zum westlichen Ende sollten bestimmte

Orientierungspunkte sichtbar sein, um jederzeit einen Bezugspunkt anzugeben oder eine Ortsbestimmung zu erlauben [Abb. 2b].

*Analyse von Zirkulationsmustern.* Die Navigationsmuster im Innenraum sollten zirkulär sein [Abb. 2c], aber es sollte auch möglich sein, durch minimales Installieren oder Entfernen von verstellbaren Abteilungen oder bewegbaren Wänden an manchen Tagen ein hierarchisches Muster zu schaffen [Abb. 2d].

Die oben genannten Beispiele verdeutlichen die zentrale Stellung der Wahrnehmungsmodalitäten. Diese Diagnose ist angesichts der Tatsache, dass die meisten Leute ihren umgebenden Raum, in den sie eingebettet sind, vor allem über eine Kombination von visueller und lokomotiver Erkundung erfahren, kaum verwunderlich. Folglich tendieren Entwerfer dazu, die Auswirkungen ihrer Entwurfsentscheidungen unter Einsatz der visuell-lokomotiven Modalitäten als primäre Triebkraft zu projektieren. Sehr deutlich spiegelt sich dies auch innerhalb der Disziplin der Entwurforschung wider. Genauer gesagt wurden innerhalb des Forschungsbereichs menschlicher Raumkognition und -berechnung für räumliches und architektonisches Entwerfen Themen wie Sichtbarkeitsanalyse, Wegfindung und Navigation, räumliches Schließen oder Innenraumsensibilität als zentrale Forschungsstränge ermittelt.<sup>13</sup> Auch innerhalb der Theorie des Architektorentwurfs – wie sie beispielsweise in Ansätzen der konventionellen Architekturausbildung her angegangen wird – zählen die in Abschnitt 1 beschriebenen Auffassungen von Form, Raum und Ordnung sowie ihre Implikationen und Auswirkungen aus visuell-lokomotiver Perspektive zum Mainstream.<sup>14</sup> Auch ist pragmatisch gesehen die zentrale Stellung von bild- und bewegungsbasierten Analysen in frühen Entwurfsskizzen und Plänen der Architektinnen und Architekten unmittelbar evident. Trotz der unumstrittenen Bedeutung dieses Themas repräsentieren und adressieren gegenwärtige CAAD-Werkzeuge diese wichtige Angelegenheit dennoch nicht.

Daher schlagen wir vor, dass die den Entwurfssystemen, -werkzeugen und -analysehilfen, die mit räumlichen Entwurfs- und Bauaufgaben befasst sind, zugrunde liegende Informatik auf Modalitäten der menschlichen Raumkognition fußen sollte, und zwar auf derjenigen, die auf der Ebene alltäglichen menschlichen Wahrnehmens und Denkens angesiedelt ist.<sup>15</sup> Insbesondere sollten Entwurfssemantik, allgemeine Raumkognition und visuell-räumliche Abstraktion sowie Berechnung als treibende Kräfte der nächsten Generation computergestützter Entwurfssysteme und -paradigmen zugrundegelegt werden. In den folgenden Abschnitten werden wir zeigen, wie dies unter Verwendung von Beispielen aus unserer eigenen Forschung erreicht werden kann. Dort geht es um die Darstellung von Raum aus der Perspektive der formalen Modellierung und Berechnung, das heißt um Raum, wie er innerhalb der Disziplinen der Informatik interpretiert wird, die sich mit der Untersuchung von künstlicher Intelligenz (KI) und Wissensdarstellung (*knowledge representation*, KR) im Allgemeinen und von logikbasierter geometrischer Raumdarstellung, -überlegung<sup>16</sup> sowie -berechnung für den Entwurf im Speziellen befassen.<sup>17</sup>

### 3 Narrative: Verbinden von Architektur, ihrer Konzeption und Nutzungserfahrungen

Ein zentraler Aspekt der Externalisierung des Entwurfsvorgangs ist die Antizipation der Nutzungserfahrungen in einem Gebäude, das heißt der Erfahrungen von Individuen und Gruppen, von denen erwartet wird, dass sie zu den Hauptanspruchsberechtigten des geplanten architektonischen Entwurfskonzepts zählen. Wir schlagen das Konzept der *narrativen Nutzungserfahrungen* als kognitiv fundiertes konzeptuelles Bezugssystem für visuell-räumlichen computergestützten Entwurf und Kognition vor.<sup>18</sup> Um das Wesen von Narrativen der Nutzungserfahrungen ausgehend vom Architektorentwurf zu verstehen, beachte man die folgende Situation, die durch die Aufgabe charakterisiert ist, sich durch ein Gebäude zu bewegen:<sup>19</sup> Man betritt das Gebäude (z. B. ein Museum oder einen Flughafen) womöglich zum ersten Mal; geleitet von der internen Struktur formt und erfasst man beim Herumwandern aufgrund visuell-räumlicher, lokomotiver und umweltaffordanzbasierter Wahrnehmungen im Gebäude seine Erfahrungen (wird dazu genötigt).

Angesichts des angestrebten Ziels, die beobachteten Wahrnehmungen im Gebäude zu externalisieren (wie es gemäß Aufgabenstellung nötig ist), könnten Menschen diese Aufgabe erfüllen, indem sie eine breite Palette der in Sprache, Diagrammen und Schematisierungen etc. gründenden Modalitäten nutzen. Die Erfahrung kann durch eine Vielzahl an Deskriptionsweisen beschrieben werden, so etwa mittels geschriebener oder gesprochener natürlicher Sprache (zu welcher etwa expressive bewegungs- und pfadbezogene sowie qualitative raumlinguistische Prädikate gehören)<sup>20</sup>, diagrammatischer Darstellungen (z. B. Sequenzgrafiken, Blendiagramme, Schematisierungen der Umgebung), Wegfindungserfahrung (vollzogene Rotations- oder Umkehrbewegungen, sich verlieren) usw. Beispielsweise könnte das Narrativ einer Nutzungserfahrung zur oben eingeführten Aufgabenstellung mittels der Beschreibung in natürlicher Sprache wie folgt lauten:

Sobald du die Schiebetüren passierst, siehst du direkt vor dir durch die Glaswand ein rundes Auditorium, der Lift zur Linken ... Wenn du den Lift im vierten Stock verlässt, befindet sich zur Linken eine Tür, die in einen langen, engen Korridor führt, mit einer Reihe von Büros auf der rechten Seite ...

Im Wesentlichen wäre es menschlichen kognitiven Prozessen, die sich mit dem Verarbeiten von Wahrnehmungsinformationen befassen, ein Leichtes, eine *Geschichte* auszudrücken – sprachlich oder auf andere Weise –, die die Erfahrungen im Gebäude wiedergibt; ein weitläufiges Experiment – typisch im Bereich der Umweltpsychologie – mit vielen Versuchsteilnehmenden könnte das kollektive Narrativ der Nutzungserfahrungen in der zu untersuchenden Umgebung gut widerspiegeln.<sup>21</sup> Architektinnen und Architekten, die sich mit dem Entwerfen eines Gebäudes beschäftigen, sehen sich während der anfänglichen Konzeptionsphase (des Entwerfens) der Aufgabe gegenüber, die Wahrnehmungserfahrungen von

Gebäudenutzenden zu imaginieren und vorwegzunehmen, und zwar zu einem Zeitpunkt, zu dem nichts weiter existiert als leerer Raum. Im Allgemeinen müssen sich Architektinnen und Architekten (zusätzlich zur Externalisierung ihrer eigenen sachverständigen Analysen zur funktionalen Entwurfsperformanz und kreativen wie ästhetischen Präferenzen) die kognitiven Erfahrungen einer Reihe von Leuten oder Gruppen in verschiedenen Situationen vergegenwärtigen.

### 3.1 Berechnen von Narrativen der Nutzungserfahrungen aus geometrischen CAAD-Modellen

Im Kern lautet unser Vorschlag lautet, die zugrunde liegende Informatik der Entwurfssysteme, -werkzeuge und assistierenden -analysehilfen (in der Architektur), die mit kreativen räumlichen Entwurfs- und Bauaufgaben befasst sind, auf Modalitäten der visuellen und räumlichen Kognition zu basieren, und zwar auf denjenigen, die in der Ebene des alltäglichen menschlichen Wahrnehmens und Denkens angesiedelt sind. Wir schlagen vor, dass dies von Prozessen der perzeptiven – z. B. visuellen, räumlichen, lokomotiven – Narrativierung im Alltagsleben getragen sein sollte.

Beschreibungen von Nutzungserfahrungen in Gebäuden, etwa in Form eines sprachlichen Narrativs, kann von Menschen (1) oder von einem System bzw. durch eine Folge von Algorithmen (2) generiert werden:

#### 1. Durch einen Menschen erzeugte Narrative

Protokoll 1 stellt ein Beispiel der Art dar, wie ein Mensch eine Beschreibung in natürlicher Sprache generieren würde. Die Beschreibungen sind für die Erfassung einer Nutzungserfahrung in einem existierenden öffentlichen Gebäude repräsentativ. Wir bezeichnen diese Beschreibungen in Protokoll 1 als ›Narrative von Nutzungserfahrungen‹.

#### Protokoll 1. Menschliche Beschreibung von Nutzungserfahrungen:<sup>22</sup>

(1) Der Haupteingang des Gebäudes befindet sich an einer Ecke unter einer Auskragung, wodurch er für Patientinnen und Patienten nicht leicht sichtbar ist. (2) Der innere Bereich unmittelbar um den Eingang fühlt sich beruhigend an, weil er offen und luftig ist. (3) Die meisten Fenster in den Untersuchungsräumen sind zu den Innenhöfen ausgerichtet. (4) Der Raum hinter der Skulptur könnte im Sommer für Außenbestuhlung genutzt werden und Passantinnen könnten sehen, dass es in der Gegend ein Café gibt.

#### 2. Durch ein System erzeugte Narrative

Protokoll 2 stellt ein Beispiel für rechnerisch generierte Narrative von Beschreibungen von Nutzungserfahrungen dar. Diese wurden nur auf Basis eines elaborierten geometrischen 3D-Modells des untersuchten Museums generiert.<sup>23</sup> Wir bezeichnen die formalen Wissensstrukturen und -modelle (wie z. B. in einem Rechnersystem oder Algorithmus dargestellt), von denen solche (sprachlichen

oder andersartigen) Beschreibungen von Nutzungserfahrungen erzeugt werden können, als ›deklarative Narrative von Nutzungserfahrungen‹. Den Prozess des computerbasierten Generierens der formal bestimmten deklarativen Narrative nennen wir ›deklarative Narrativierung‹.

*Protokoll 2. Von einem System berechnete Fachanalyse: The layout and spatial organisation of the museum maintains ›continuity‹ between locations. The overall plan follows a circular structure, starting at the front lobby, passing through Rooms A, B, C, D, and via the North Door of Room E. The rooms flow linearly, and maintain visibility with the external environment (except during the segment between Room C and Room D). By removing Wall Y in Room X, the circular ring structure can be converted to a hierarchical structure with Room Z as the central hub. Direct sunlight exposure is achieved in approximately 85% of the floor plan. Region x never receives any sunlight at any time during the year.*

Unser Ziel ist es, assistierende Entwurfsrechnungssysteme zu entwickeln, die – auf einen formalen Apparat basierend – Narrative von Nutzungserfahrungen generieren können, und zwar mit der Beschreibungskomplexität, die Architektinnen oder Gebäudenutzern entspricht. Somit können sie auf die Performanz menschlicher Expertise bezogen als guter entwicklungsorientierter Bezugspunkt dienen.

### 3.2 TalkingSpaces: Ein prototypisches System zur Errechnung von Narrativen von Nutzungserfahrungen

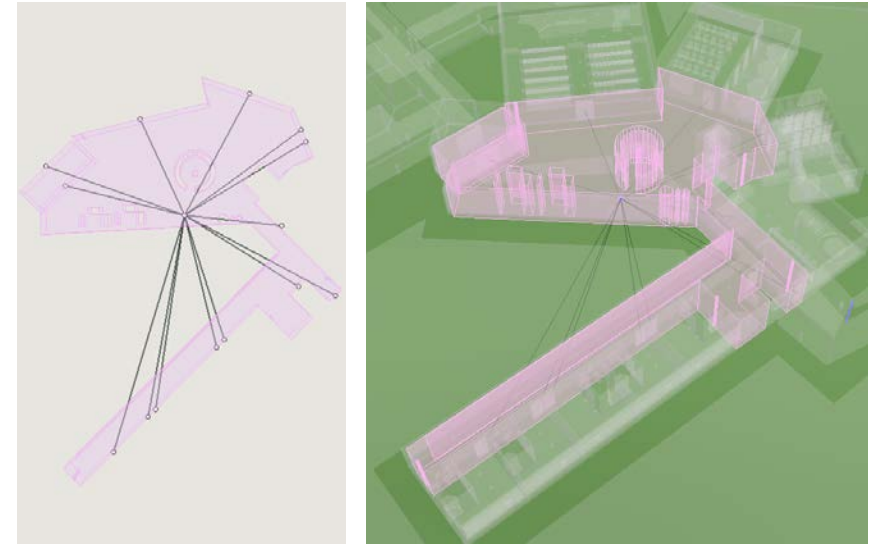
Wir präsentieren Beispiele visuell-räumlicher und lokomotiver Narrative von Nutzungserfahrungen, die durch unser prototypisches Softwarewerkzeug *TalkingSpaces* generiert wurden, welches den von uns vorgeschlagenen kognitiven CAAD-Ansatz in das computergestützte Entwerfen implementiert.<sup>24</sup> *TalkingSpaces* ist ein System, das ausgehend von digitalen CAAD-Modellen Narrative visuell-lokomotiver Nutzungserfahrungen in gebautem Raum erzeugt. Das System basiert auf einer unterliegenden deklarativ narrativen Repräsentation und einem rechnerischen Bezugssystem für konzeptuelles, geometrisches und qualitativ räumliches Wissen, das durch die Verwendung des Herzstücks *DSim*<sup>25</sup> – einem prototypischen Analysewerkzeug für das Entwurfsassistenzsystem (*Design Assistance System*) – und der Middleware *InSpace3D*<sup>26</sup> generiert wird. Das System integriert nahtlos Architekturwerkzeuge, die auf Größenordnungen von Industrieanlagen ausgelegt sind (z. B. *Revit*, *ArchiCAD*), und Standards (BIM, IFC). Als Beispiel betrachten wir die in Abbildung 3a–d dargestellte Fallstudie. Man sieht einen Grundriss eines vorgeschlagenen Gebäudeprojekts für den akademischen Austausch an der Universität Bremen. Das geplante Gebäude soll als Zentrum internationalen wissenschaftlichen Austauschs dienen und Forschungskonferenzen sowie Symposien beherbergen. Im Kontext dieses Entwurfs lässt sich eine narrative Beschreibung entwickeln, die folgende Aspekte betrifft:



**3** Eine über *DSim* dargestellte Analyse des Entwurfs a–b) in einer 3D-Wiedergabe des Gebäudes sowie in einer 2D-Wiedergabe des Grundrissplans; c) vom Erdgeschoss; d) vom ersten Stock.

#### *Bewegung und Gesamtstruktur der Gestaltung*

Das anfängliche Konzept der Organisation sah eine Zentrierung rund um einen großen Raum oder einen Mittelpunkt vor, von dem aus andere Bereiche und Räume erschlossen werden. Eine Zentrumsorganisation kann automatisch abgeleitet werden, indem man die relativen Raumgrößen und den Bewegungsgraphen berücksichtigt, das heißt Informationen darüber, wie separate Räume und Bereiche über Durchgänge verbunden sind. Eine Zentrumsgestaltung erfolgt, wenn ein relativ großer Bereich mit einer relativ großen Anzahl kleinerer Bereiche verbunden wird. Die Abbildungen 4a–b zeigen eine bildliche Darstellung dieser Analyse, verbunden mit der folgenden systemgenerierten sprachlichen Interpretation: »The design has a hub organisation.« Jeder »Knoten« im Bewegungsgraphen stellt entweder einen individuellen Raum oder ein Ortübergangsobjekt, nämlich Türöffnungen, dar. Zwischen zwei Knoten wird dann eine Linie gezogen, wenn es eine direkte Bewegungsverbindung zwischen dem Raum und der Türöffnung gibt.



**4** Die Gestaltung des Entwurfs ergibt eine Struktur um einen zentralen Raum: a) Grundrissansicht des zentralen Raums samt damit verbundenen Räumen; b) 3D-Ansicht des Zentrums im Kontext des Gebäudes.

#### *Ableiten von Pfaden durch einen zentralen Hauptraum*

Nun können wir damit beginnen, verschiedene Wege, die Nutzerinnen und Nutzer durch den Raum beschreiten können, zu simulieren und zu analysieren. Abbildung 5 stellt einen möglichen Pfad dar, auf dem sich Nutzende von verschiedenen Eintrittspunkten aus durch den zentralen Raum bewegen können. *DSim* legt alle einzelnen topologischen Pfade zwischen zwei Orten fest; ein topologischer Pfad ist eher eine deklarative Beschreibung eines Pfades der Nutzerinnen und Nutzer, der die Abfolge von Bewegungsräumen und Durchgängen spezifiziert, denn ein tatsächlicher geometrischer Linienzug (dargestellt als gestrichelte graue Linie zwischen weißen Kreisen). Für jeden topologischen Pfad simuliert *DSim* sodann auch verschiedene konkrete geometrische Linienzüge (dargestellt als blaue Linie).

#### *Sichtbarkeitsanalyse*

Abbildung 6a illustriert eine Analyse der Sichtbarkeit von Mobiliar und anderen vorspringenden Objekten, die den – von einer bestimmten Stelle entlang des Pfades aus wahrgenommenen – Charakter des Raumes gestalten können: Der 360° Isovist,<sup>27</sup> der für das Sichtfeld einer möglichen Besucherin steht, ist als roter Bereich wiedergegeben. Das *TalkingSpaces*-System generiert die folgende Interpretation in natürlicher Sprache: » Moving through the room the visitor can see some windows all around, some doorways all around and some pieces of furniture all around.« Der Ausdruck »all around« referiert auf die Orientierung der Objekte in Bezug auf den Standort der Person und die Richtung ihres Weges. Einschränkungen des Isovists erlauben Unterscheidungen zwischen verschiedenen Regionen im Sichtfeld



der Person. In Abbildung 6b ist der direkte Blickwinkel als ein stärker eingeschränktes Blickfeld modelliert, das die Ausrichtung der Person berücksichtigt.

#### *Linearitätsanalyse*

Eine Empfindung von Linearität kann generell durch eine Reihe von Entscheidungen, die Personen treffen, wenn sie sich durch einen Raum bewegen, beeinflusst werden. Dies wird über Eigenschaften des leeren Raums ausgewertet, im Besonderen über die Anzahl von markanten *Löchern* im leeren Raum. Wie in Abbildung 7 angezeigt, weist der zentrale Raum im Vergleich zur Raumgröße nur ein einziges relativ großes Loch (den Rezeptionstresen) auf, woraus resultiert, dass sich der Raum deutlich linear anfühlt. Die durch *TalkingSpaces* generierte Interpretation in natürlicher Sprache lautet: » The visitor follows the space's fairly linear flow.«

#### *Visuelle Kontinuität*

Die Orientierung und Desorientierung bei der Wegfindung kann aufgrund der beidseitigen Sichtbarkeit bestimmter Landmarken und Wegfindungspunkte durch einen Raum analysiert werden; solche Objekte können eine Beschilderung, einzigartige prominente Gegenstände und Ein- sowie Ausgänge mitumfassen. Die Abbildungen 8a–b illustrieren die Ergebnisse der Wegfindungsanalyse für den zentralen Raum, sobald die Nutzerinnen und Nutzer sich von einem Besprechungszimmer durch den Raum zum nächsten bewegen.

Dunkelblaue Bereiche bezeichnen gegenseitige Sichtbarkeit und hohe Wegfindungskontinuität; hier überschneiden sich die Sichtbarkeitsräume der Ein- und Ausgänge. Hellblaue Bereiche weisen auf eine mäßige Kontinuität hin; hier ist nur eine Türöffnung sichtbar. Die Analyse zeigt, dass die Nutzerinnen und Nutzer während beinahe des gesamten Weges in jedem Raum, den sie durchqueren, Sichtkontakt sowohl zum Ein- als auch Ausgang haben. Daher weist der Bereich ein Gefühl der Orientierung auf und trägt zum Kontinuitätsempfinden bei. Die entsprechende Interpretation in natürlicher Sprache durch *TalkingSpaces* lautet folgendermaßen: » The room is open and continuous.«

#### *Sonnenlichtanalyse*

Die originalen Konzeptskizzen der Architektin beinhalten eine einfache Sonnenlichtstudie. Das System kann den Verlauf der Sonne modellieren, um einige Entwurfseigenschaften im Zusammenhang von Sonnenlicht und Schatten zu erkennen. Abbildung 9 zeigt die Analyse der Interaktion zwischen dem Sonnenlicht und den Pfaden der Nutzerinnen und Nutzer durch den zentralen Raum. Die orange Farbe repräsentiert Bereiche, die zu einer gegebenen Tageszeit – die Sonne steht tief, nahe dem Horizont – dem Sonnenlicht direkt ausgesetzt sind. Das System weist im Besonderen darauf hin, dass ein Großteil des zentralen Raums direkte Sonneneinstrahlung erhalten kann und andere Räume zu gar keiner Tageszeit direktem Sonnenlicht ausgesetzt sind. *TalkingSpaces* bietet folgende Interpretation in natürlicher Sprache an: » Some of the design has direct sunlight exposure.«

## **4 MindYourSpace: Ein Werkzeug zur evidenzbasierten Entwurfsanalyse**

Ein fundamentales Ziel der Architekturforschung ist es, ein Verständnis der Beziehung zwischen der Bauform einerseits und der Entwurfsperformance und Nutzungserfahrung andererseits zu entwickeln. Die Technologie bietet ein enormes Potenzial dafür, Psychologen und Architekturforscherinnen bei der Datenerhebung und -analyse zum Nutzungsverhalten zu unterstützen. *MindYourSpace* ist flexibel genug, Studien über Nutzerinnen und Nutzer mit existierenden, hypothetischen und virtuellen Umgebungen durchzuführen.<sup>28</sup> Es dient als Assistenzwerkzeug der Beschaffung und der höherstufigen semantischen Analyse empirischer Felddaten, die? Nutzungserfahrungen, visuelle Wahrnehmung und Navigationsbewegung in der gebauten Umgebung betreffen. Das Tool bezweckt, breit angelegte Experimente zu unterstützen, die von Umweltpsychologinnen, Kognitionswissenschaftlern und Planenden durchgeführt werden. Die unterliegenden Grundaspekte des Werkzeugs basieren auf der Middleware *InSpace3D*, welche aus einem Gebäudemodell besteht, das die üblichen geometriezentrierten Modelle von gebautem Raum (wie sie in digitalen CAAD-Modellen beschrieben sind) ergänzt, und zwar um die Bandbreite menschenzentrierter Modalitäten in Bezug auf Sichtbarkeit, Bewegung, Affordanz und subjektive Raumeindrücke von Nutzerinnen und Nutzern. Damit stellt es eine technologische Plattform bereit, Feldstudien zu erleichtern, akkurat große Mengen an Informationen zu sammeln (z. B. Zeitmarken, Standortkoordinaten) und automatisch rechnerisch Analysen der Daten des Nutzungsverhaltens durchzuführen. Ein typischer architektonischer, die Analyse empirischer Daten und die Wissensgenerierung einbeziehender Forschungsprozess besteht aus drei separaten Stadien:

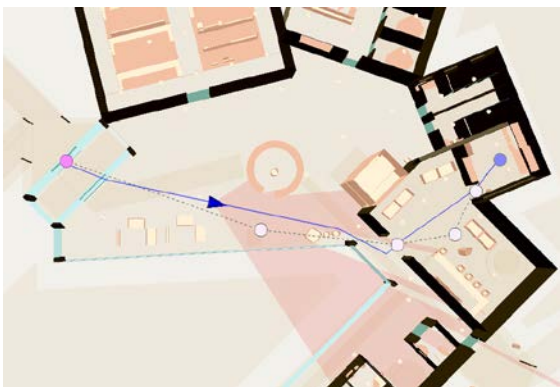
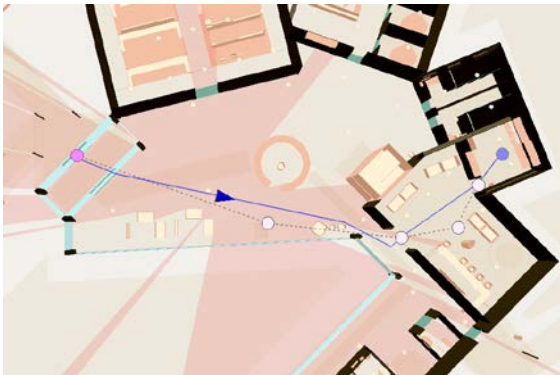
*Datenerhebung.* Forschende beobachten Nutzerinnen und Nutzer unter spezifizierten Versuchsbedingungen und zeichnen bestimmte Merkmale auf; beispielsweise folgen sie ihnen und zeichnen ihren Pfad nach, interviewen sie, verwenden Methoden wie »lautes Denken« und so weiter. Die Datenerhebung umfasst die Aufzeichnung von Navigationsmustern, Zeitmessungen, Audio- und Videostreams.

*Dateneintrag.* Die gesammelten Daten werden (oft manuell) in ein vom Computer lesbares Format übertragen, um schnellere Analysen, verlässliche Verbreitung und Archivierung zu ermöglichen. Beispielsweise tragen sie numerische Werte in eine Kalkulationstabelle ein, übertragen Bleistiftzeichnungen von Pfaden in einer Geometriesoftware als Linienzüge und geben das Interviewmaterial in ein Programm ein. Dieses Stadium ist zeitraubend, mühsam und fehleranfällig.

*Nichtsemantische Analyse.* Forschende »befragen« ihre Daten und suchen nach Mustern, Eigenschaften, Trends. Ohne ein reichhaltiges,



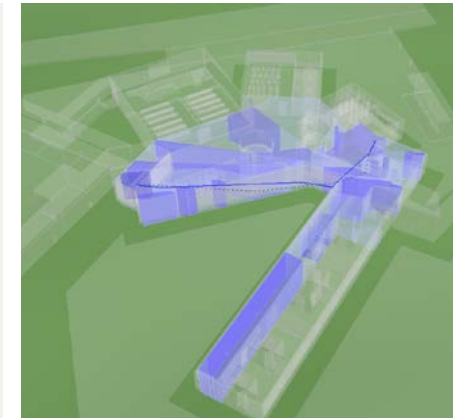
5 Grundrissdarstellung eines Pfades vom Eingang (links) durch den zentralen Hauptraum (rosa Bereich) zum Restaurant.



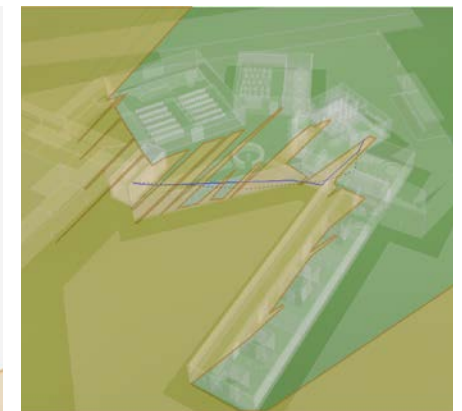
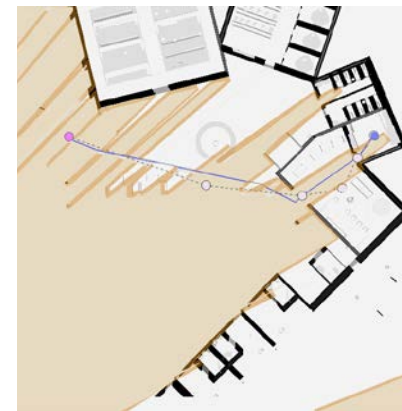
6 Sichtbares Mobiliar und andere vorspringende Objekte entlang eines Pfades: a) 360° Isovist (roter Bereich); b) Sicht der in eine Richtung blickenden Person (roter Bereich).



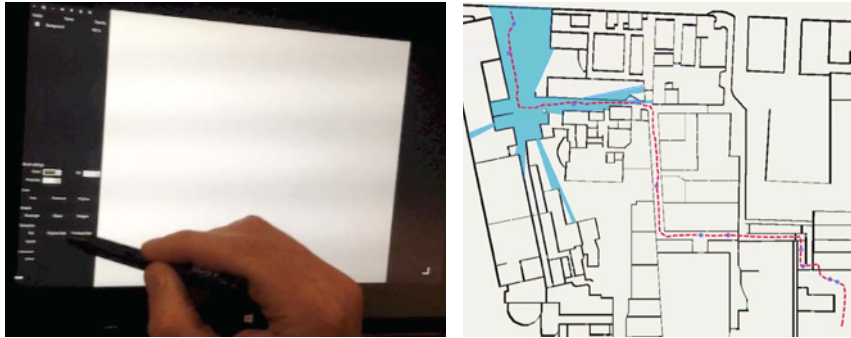
7 Linearität des zentralen Hauptraums, basierend auf der Topologie des leeren Raums.



8 Analyse der Wegfindungskontinuität: a) Grundrissansicht der Analyse der Wegfindungskontinuität durch den Hauptraum; b) 3D-Ansicht der Wegfindungskontinuität im Kontext des Gebäudes.



9 Analyse des Sonnenlichts: a) Grundrissansicht des Sonnenlichts im Hauptraum; b) 3D-Ansicht des Sonnenlichts im Hauptraum im Kontext des Gebäudes.



10 Das Interface von *MindYourSpace*: a) Tablet-basiertes Interface; b) Screenshot eines Wegfindungsexperiments.

strukturiertes Modell wird die automatische Weiterverarbeitung in generischen, nicht semantischen statistischen Techniken – geometrische Eigenschaften wie durchschnittliche Pfadlänge, Anhäufungen aufgrund geometrischer Eigenschaften und Wortzählungen – eingeschränkt.

Unser zentrales Ziel bei der Verwendung von Technologie zur Durchführung von Experimenten ist es, Forschenden zu ermöglichen, semantische, abstrakte Fragen bestimmter Art bezüglich der von ihnen gesammelten Daten so schnell wie möglich zu stellen und daraus *qualitatives Entwurfswissen* abzuleiten, das eine Basis für künftige Entwurfsprojekte und Grundsatzdefinitionen bieten kann.

#### 4.1 Umgebung, Versuchspersonen und ein Experiment

Abbildung 10a zeigt das Tablet Interface und Abbildung 10b einen Screenshot von *MindYourSpace*. In diesem Beispiel wurde das Werkzeug dazu benutzt, in einer Traumaklinik in Chile – dem Hospital del Trabajador de Santiago – Wegfindungsexperimente durchzuführen. Rote gestrichelte Linien repräsentieren den aufgezeichneten Nutzungspfad, kleine Kreise zeigen interessante Auffälligkeiten an, wie »Nutzer oder Nutzerin schaute sich um«, und der blaue Bereich ist eine Isovistanalyse an einer gegebenen Stelle. *Building information model* (BIM) wurde zur Verfügung gestellt und erlaubte es den Experimentatorinnen und Experimentatoren, Pfade und Auffälligkeitsmomente (*points of interest*) direkt im Kontext der Umgebung aufzuzeichnen und sofort höhere Analysen auszuführen. In anderen Situationen haben Experimentierende möglicherweise keinen Zugang zu einem BIM. In diesen Fällen können sie vor Ort umgehend eine Darstellung der Umgebung skizzieren und diese für die Durchführung ihrer Experimente und einer vorläufigen Analyse nutzen; falls dort Grundrissdarstellungen vorhanden sind (z. B. als Diagramm an der Wand), können diese fotografiert und in *MindYourSpace* importiert werden, um als Anhaltspunkte dafür zu dienen, Wände und andere hervorstechende Umgebungsmerkmale einzeichnen zu können.

#### 4.2 Analysen des Nutzungsverhaltens und evidenzbasiertes Entwerfen

Die letztendliche Zielvorgabe beim Erforschen von Nutzungsverhalten besteht darin, neue Informationen und experimentelle Ergebnisse in den Architekturentwurf sowie in die Forschungsgemeinschaften zurückfließen zu lassen, um die Entscheidungsfindung anzuregen. Es ist also weniger das Ziel, große Mengen abstrakter numerischer Daten zu produzieren, als vielmehr relevante und einfach zugängliche Daten zusammen mit effizienten Analysewerkzeugen zu generieren.

Entwerfende können bei der Benutzung unseres Werkzeugs *MindYourSpace* auf eine abstrakte semantische Analyse des Nutzungsverhaltens (z. B. hinsichtlich der Orientierung und Sichtbarkeit) zugreifen. Jeder aufgezeichnete Pfad kann beispielsweise als einzelnes Experiment angesehen werden, und möglicherweise werden im Laufe der Untersuchung Hunderte von Pfaden gesammelt. In *MindYourSpace* wird jeder Pfad mit dem dazugehörigen Kontext eines jeden Experiments verbunden und lässt sich daher dazu verwenden, Korrelationen zwischen bestimmten Gruppen von Nutzerinnen und Nutzern zu analysieren. *MindYourSpace* kann beispielsweise ermitteln, dass Leute in einer Studie je nach Tageszeit bestimmte Korridore bevorzugten. Die Experimentatorinnen und Experimentatoren können dann *MindYourSpace* veranlassen, relevante menschenzentrierte Eigenschaften eines jeden Korridors zu erfassen, wie beispielsweise den Einfluss des Sonnenlichts. Sie können sodann fragen, ob eine dieser Eigenschaften mit den Daten positiv korreliert. Bestimmte Ausnahmen zu diesen Trends können untersucht und möglicherweise über die Eigenschaften der Gruppen von Nutzerinnen und Nutzern erklärt werden: Blinde Besucherinnen oder Besucher fallen vielleicht aus dem ermittelten Trend heraus, da die Anziehungskraft des Musters des Sonnenlichts rein optisch funktioniert. Oder: Ärztinnen, Ärzte und anderes Personal in Eile verlassen sich auf ihre Erfahrung, wo und wann es zu Staus kommt, und schlagen vielleicht effizientere Wege ein und so weiter. Eine Fülle an relevanten abstrakten »Fragen« kann durch das Analysetool *MindYourSpace* erkundet werden, darunter folgende Aspekte:

*Stelle mit Auffälligkeiten*: legt Orte fest, an denen Nutzerinnen und Nutzer auf interessante oder aufschlussreiche Weise agierten, möglicherweise (aber nicht zwingenderweise) in Reaktion auf statische oder dynamische Umweltgegebenheiten.

*Studien zu mentalen Modellen* (z. B. Rotationen): vergleicht und evaluiert direkt Hypothesen zum mentalen Modell der Nutzerin oder des Nutzers mit empirischen Ergebnissen aus der Versuchsdurchführung.

*Externe Sichtbarkeit- und Wegmarkenanalyse*: untersucht Nutzungsverhalten als Reaktion auf sichtbare Zugänge zu Merkmalen der Wegfindung in der Umgebung.

*Visuelle Verschiebung:* untersucht den sich ändernden Zentralpunkt im Isovist, wenn sich die Person durch die Umgebung bewegt.

*Zeitinformation:* findet heraus, wie die Abfolge von Ereignissen, die relative Dauer der Vorkommnisse und numerische Zeiterfassungen mit den Verhaltensmustern der Nutzerinnen und Nutzer korrelieren.

*Einfluss von Licht und Schatten:* untersucht das Verhältnis zwischen Nutzungsverhalten und Licht- bzw. Schattenmuster.

Solche Eigenschaften werden auch in Kombination mit beispielsweise jenen Orten ausgewertet, an denen Personen entlang Pfaden mit Landmarken (*landmark paths*) zögerten: Bevor der Sichtkontakt zu einer Landmarke möglich ist, können Nutzerinnen und Nutzer merklich ›desorientiert‹ wirken. Nach Abschluss einer Untersuchung werden die eruierten Relationen zwischen den Umweltmerkmalen und dem Nutzungsverhalten formalisiert und in einer Art maschinenlesbaren Online-Bibliothek zugänglich gemacht. Entwerfende können ihre Entwürfe automatisch analysieren und auswerten, indem sie diejenigen Relationen auswählen, die sie interessieren.

## 5 Immerse3D: Generieren von immersiven Erfahrungen

Ein zentrales Ziel der Entwicklung von Rechensystemen und -werkzeugen, die vom Prinzip des menschenzentrierten Entwurfs getragen werden, besteht darin, Architektinnen und Architekten darüber zu informieren, welche Auswirkung ein Entwurf auf das Nutzungsverhalten und die hervorgerufenen subjektiven Eindrücke hat. Ein wirksames Mittel dafür, ihnen diese enormen Mengen an Informationen zu kommunizieren, ist die rechnerische Generierung immersiver Erfahrung. Auf dem anfänglichen Konzept der immersiven und virtuellen Realität aufbauend, versetzen Systeme der Architekturvisualisierung die Entwerfenden über eine Kombination diverser Sinneserfahrungen in die Rolle der Nutzerinnen und Nutzer; dies beinhaltet immersive Durchgänge (*walkthroughs*) und Interaktionsgelegenheiten, was durch die Kopplung von Technologien und Artefakten wie Head-Mounted Displays, 3D-Projektionen und Surround-Sound, Präzisions-Tracking von Personen, Bewegungserfassung und so weiter geschieht.<sup>29</sup> Im weiteren Sinne verstanden, können Technologien wie immersive virtuelle Realität, erweiterte (*augmented*) Realität oder gestenbasierte Interaktion auf eine lange Geschichte zurückblicken. Aber erst in jüngster Zeit sind sie im Bereich der Architekturvisualisierung populär geworden. Unser prototypisches System *Immerse3D* muss in dieser Entwicklungslinie gesehen werden. Bezogen auf die rechnerische Erstellung immersiver Durchgänge (die auf unserer menschenzentrierten rechnerischen Narrativierung visuell-lokomotiver Nutzungserfahrungen basiert), stellt es einen Machbarkeitsnachweis dar. Für ein im work-in-progress befindliches

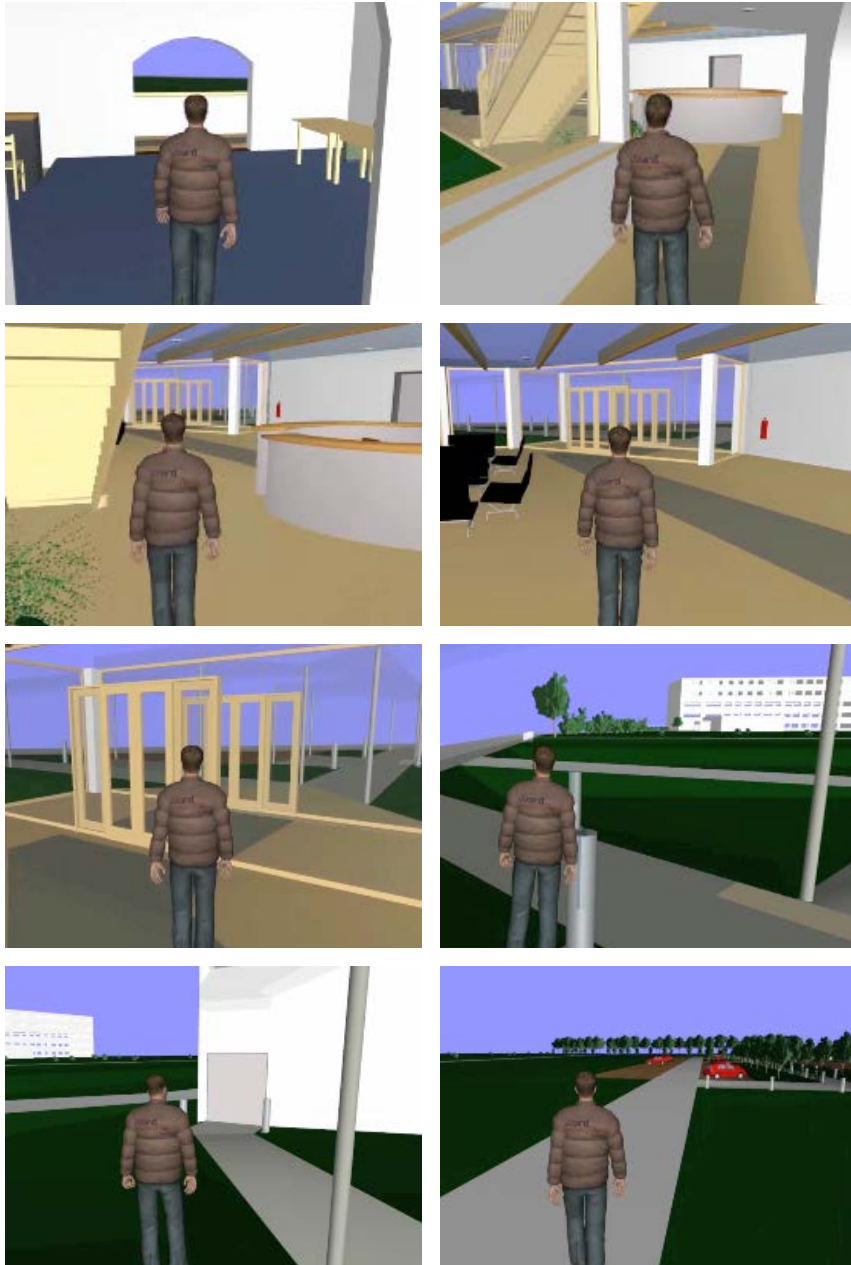
Entwerfen konzipiert, stützt sich *Immerse3D* technologisch auf die grundlegenden Funktionalitäten der Systeme *DSim* und *TalkingSpaces*. Der Hauptschwerpunkt von *Immerse3D* liegt auf der Verwendung von immersiver virtueller Realität und natürlichen Interaktionstechnologien, um die funktionale Entwurfsperformanz unter dem Blickwinkel der Simulation menschlichen Verhaltens zu kommunizieren.

Das Werkzeug erlaubt die automatische Generierung von immersiven Durchgängen innerhalb einer kompletten virtuellen 3D-Umgebung eines in Ausführung befindlichen Gebäudeentwurfs. Abbildung 11 veranschaulicht dies in der Abfolge von Stills aus einem simulierten immersiven Durchgang. Die von den Nutzerinnen und Nutzern verfolgten Ziele und durchgeführten Aufträge spielen in der generierten immersiven Erfahrung eine Rolle. Beispielsweise können die Architektinnen und Architekten die Perspektive und Interaktionen einer Person simulieren, die im Rollstuhl sitzt, ein Krankenhaus besucht und mit der Aufgabe betraut wurde, sich vom Haupteingang zum Rezeptionstresen zu begeben (wo dann eine Interaktion mit dem Rezeptionspersonal erfolgen kann), um dann weiter durch verschiedene Korridore schließlich zum Bestimmungsort zu gelangen.

Zudem kann *Immerse3D* zur interaktiven Visualisierung von experimentellen Daten, die über *MindYourSpace* erhoben wurden, verwendet werden. Die Pfade und Ereignisse, die während des Experiments aufgezeichnet wurden, können durch die Entwerfenden und andere Personen über die VR-Simulation auf interaktive und dynamische Weise nochmals erlebt werden. Die zunehmend einfache Benutzbarkeit und erschwingliche Verfügbarkeit solcher Technologien (z. B. das *Oculus Rift HMD*, das den Eindruck von optischer Tiefe bietet und leicht auf Kopfbewegungen anspricht) bedeuten, dass in Zukunft solche Produkte nicht nur großen Architekturfirmen zugänglich gemacht werden können, sondern auch kleineren Designbüros, einzelnen Praktizierenden, Architekturstudentinnen und Akademikern, die sich der Verhaltensforschung an der Schnittstelle zwischen Psychologie und Architektur widmen.

## 6 Zusammenfassung

Dieses Kapitel bietet einen Überblick über die in der DesignSpace-Forschungsgruppe am Spatial Cognition Research Center (SFB/TR 8) der Universität Bremen betriebenen Forschung.<sup>30</sup> Die Forschung zum DesignSpace befasst sich vor allem mit Methoden und entwickelt Werkzeuge für menschenzentrierte Nutzbarkeitsanalysen und Evaluierungen der Gebäudeperformanz zu allen Phasen des Architekturentwurfsprozesses, einschließlich der Entwurfskonzeption, dem vorläufigen Prototyping, der iterativen Verfeinerung, Statik und technischer Planung sowie der evidenzbasierten Gebäudenutzungsanalysen. Unsere Forschung konzentriert sich auf großräumig gebaute Umgebungen und die Formung von Erfahrungen, die Menschen, durch *universale Entwürfe* geleitet, mit ihnen machen. Die Forschungsinitiativen und deren Resultate (z. B. Softwaretools, empirische Resultate, Fallstudien) befassen sich insbesondere mit der aus dem Blickwinkel der visuell-räumlichen Kognition erfolgenden Erfahrung von Nutzerinnen und Nutzern sowie mit der funktionalen (Entwurfs-)Performanz (hinsichtlich Aspekten



11 a-h) Generierung einer immersiven Erfahrung mit *Immerse3D*.

wie der Wegfindungskomplexität) und dem Verhalten einer gebauten Umgebung (hinsichtlich der Dynamik von sozioräumlichen Interaktionen, Umweltaffordanzen und vermeidbaren Entwurfspannen). Die Forschung zum DesignSpace betont und vertritt eine holistische Methodologie zur räumlichen Entwurfsgenerierung und -analyse für einen umfassenden Zugang und eine Nutzbarkeit der gebauten Umgebung (im öffentlichen Raum). Sie verbindet die neuesten Erkenntnisse aus den Bereichen des Architekturentwurfs, der Kognitionswissenschaft (mit dem Schwerpunkt auf rechnerischen Kognitionssystemen), des durch Raumkognition und künstliche Intelligenz informierten analytischen computergestützten Entwerfens und der evidenzbasierten analytischen Methoden aus der Umwelt- und Sozialpsychologie. Durch einen kurzen Überblick über unsere Forschung haben wir veranschaulicht, wie die nächste Generation der architektonischen Entwurfssysteme, die auf ausgefeilten Modellierungswerkzeugen und einer Fülle verschiedener bildbasierter Interfaces beruhen, aussehen könnte.

*Aus dem Englischen von Inge Hinterwaldner unter Mitwirkung von Veit Friemert<sup>31</sup>*

## Endnoten

- 1 Das Konzept der *Gestalt des leeren Raums* ist in Abschnitt 1 ausgearbeitet; vgl. auch Mehul Bhatt, Carl Schultz, Minquan Huang, *The Shape of Empty Space: Human-Centred Cognitive Foundations in Computing for Spatial Design*, in: Martin Erwig, Gem Stapleton, Gennaro Costagliola (Hg.), *VL/HCC 2012: Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing*, Los Alamitos 2012, S. 33–40.
- 2 Thomas Froese, Martin Fischer, François Grobler, John Ritzenthaler, Kevin Yu, Stuart Sutherland, Sheryl Staub, Burcu Akinci, Ragıp Akbas, Bonsang Koo, Alex Barron, John Kunz, *Industry Foundation Classes for Project Management – A Trial Implementation*, in: *Journal of Information Technology in Construction* 4, 1999, S. 17–36; Charles Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston, *BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, Hoboken 2008.
- 3 Wolfgang Preisner, Harvey Rabinowitz, Edward White, *Post Occupancy Evaluation*, New York 1988.
- 4 Ömer Akin, *Iteration. What is it good for?*, in: Mehul Bhatt, Christoph Hoelscher, Thomas Shipley (Hg.), *SCAD 2011: Spatial Cognition for Architectural Design*, Spatial Cognition Research Center (SFB/TR 8), Report Series, Bremen 2011.
- 5 Louis H. Sullivan, *The tall office building artistically considered*, in: *Lippincott's Monthly Magazine* 57/3, 1896, S. 403–409.
- 6 Adolf Loos, *Ornament und Verbrechen [1908]*, in: ders., *Ins Leere gesprochen 1897–1900. Trotzdem 1900–1930*, Wien/München 1962, S. 276–288.
- 7 John Gero, Kwai-Wok Tham, HyonSoo Lee, *Behavior. A link between function and structure in design*, in: David Brown, Manjula Waldron, Hiroyuki Yoshikawa (Hg.), *IntCAD 1991: Intelligent Computer Aided Design*, Volume B-4 der IFIP Transactions, Amsterdam 1992, S. 193–225; Yasushi Umeda, Tetsuo Tomiyama, *Functional Reasoning in Design*, in: *IEEE Expert: Intelligent Systems and Their Applications* 12, 1997, S. 42–48; Yasushi Umeda, Hideaki Takeda, Tetsuo Tomiyama, Hiroyuki Yoshikawa, *Function, Behavior and Structure*, in: *AIENG-90: Applications of AI in Engineering*, Southampton/Berlin 1990, S. 177–193.
- 8 Mehul Bhatt, Joana Hois, Oliver Kutz, *Ontological Modelling of Form and Function for Architectural Design*, in: *Applied Ontology* 7/3, 2012, S. 233–267.
- 9 Francis Ching, *Architecture. Form, Space, and Order*, New York 1979.
- 10 Sarah Wigglesworth, Jeremy Till (Hg.), *Architectural Design 134: The Everyday and Architecture*, London 1998.
- 11 Jamie Horwitz, Paulette Singley (Hg.), *Eating Architecture*, Cambridge (Mass.)/London 2004.
- 12 Digitale Werkzeuge und Werkstätten mit Virtual-Reality-Ausstattung zählen heute eher zu den häufig anzutreffenden zeitgenössischen Ausbildungsmethoden im Architektorentwurf. Gabriela Goldschmidt bezeichnet diese Kultur, in der ein aktives Engagement mit dem Bleistift langsam durch digitale Modellierungswerkzeuge eingenommen wird, als *Ära des ›toten Bleistifts‹*, vgl. Gabriela Goldschmidt, *The black curtained studio: Eulogy to a dead pencil*, in: Bhatt, Hoelscher, Shipley, *SCAD 2011 (Anm. 4)*, S. 1–22. In unseren menschenzentrierten Studien erweisen sich die Raumkognition und die visuell-räumlichen Modalitäten der Entwurfsanalysen als von prinzipieller Relevanz. Das Interface, z. B. digital versus physisch, durch das die analytischen Modalitäten angewandt werden, ist eine gänzlich andere Angelegenheit.
- 13 Vgl. Bhatt, Hoelscher, Shipley, *SCAD 2011 (Anm. 4)*; Mehul Bhatt, Andre Borrmann, Robert Amor, Jakob Beetz, *Architecture, Computing, and Design Assistance*, in: *Automation in Construction* 32, 2013, S. 161–164.
- 14 Ching, *Architecture (Anm. 9)*.
- 15 Mehul Bhatt, Carl Schultz, Christian Freksa, *The ›Space‹ in Spatial Assistance Systems. Conception, Formalisation and Computation*, in: Thora Tenbrink, Jan M. Wiener, Christophe Claramunt (Hg.), *Representing space in cognition. Interrelations of behavior, language, and formal models*, Oxford 2013, S. 171–214.
- 16 Mehul Bhatt, Hans Guesgen, Stefan Wöfl, Shyamanta Hazarika, *Qualitative spatial and temporal reasoning. Emerging applications, trends, and directions*, in: *Spatial Cognition & Computation* 11/1, 2011, S. 1–14.
- 17 Mehul Bhatt, Christian Freksa, *Spatial Computing for Design. An Artificial Intelligence Perspective*, in: *US NSF International Workshop on Studying Visual and Spatial Reasoning for Design Creativity*, Berlin 2010, S. 109–127. Obwohl es nicht im Fokus dieses Kapitels steht, ist es doch erwähnenswert, dass wir in unserer Forschung insbesondere das Eindringen der Wissensdarstellung (KR), die einen Teilbereich der Künstlichen Intelligenz (KI) bildet, in CAAD-Systeme der nächsten Generation untersuchen. Unser Verständnis der KI für den (Architektur-)Entwurf gründet auf der Darstellung der *Science of Design* von Herbert A. Simon und seiner Auffassung vom Entwurf als eines »decision-making process under constraints of physics, logic, and cognition«. Vgl. Simon A. Herbert, *The Science of Design. Creating the Artificial*, in: *Design Issues* 4/1–2, 1988, S. 67–82. Diese Sicht auf den wissenschaftlichen Entwurfsprozess ist grundlegend für vieles von dem, was die KI-Forschung mittels ihrer formal-repräsentierenden und rechnerischen Apparatur für den Bereich des computergestützten Entwurfs bieten kann.  
In den letzten Jahren richteten etliche interdisziplinäre Initiativen, bestehend aus Informatikerinnen, Ingenieuren, Psychologinnen und Entwerfenden, die Aufmerksamkeit auf die Anwendung von Techniken der künstlichen Intelligenz für die Lösung von Problemen, die in unterschiedlichen Phasen des Entwurfsprozesses entstehen: Entwurfs-kreativität und -konzeptualisierung, Spezifizierung der Funktionalität, geometrisches Modellieren, Überprüfen der strukturellen Konsistenz und des Codes, Optimierung, Workflow-Management im kollaborativen Entwerfen und einer Menge weiterer Angelegenheiten. Das *Journal Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* feierte 2007 das 20-jährige Bestehen und bietet einen guten Überblick über das Gebiet. Vgl. David C. Brown, *AI EDAM* 20, in: *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 21/1, 2007, S. 1–2; John Gero, *AI EDAM* 20, *Artificial intelligence in designing*, inebd., S. 17–18. Eine Skizze zu ›40 Jahren Entwurfsforschung‹ ist verfügbar in Nigan Bayazit, *Investigating design. A review of forty years of design research*, in: *Design Issues* 20/1, 2004, S. 16–29. Die gesammelten Schriften folgender Autorinnen und Autoren stellen eine reiche Referenz- und Kontextualisierungsquelle dar: Ömer Akin, *Architects' reasoning with structures and functions*, in: *Environment and Planning B*, in: *Planning and Design* 20/3, 1993, S. 273–294; David H. Brown, *Intelligent computer-aided design*, in: James G. Williams, Allen Kent (Hg.), *Encyclopedia of Computer Science and Technology*, Bd. 28, New York 1993 (1998 revised version); Balakrishnan Chandrasekaran, *Design problem solving. A task analysis*, in: *AI Magazine* 11/4, 1990, S. 59–71; John Gero, *Design prototypes. A knowledge representation schema for design*, in: *AI Magazine* 11/4, 1990, S. 26–36; Julie Hirtz, Robert Stone, Daniel McAdams, Simon Szykman, Kristin Wood, *A functional basis for engineering design. Reconciling and evolving previous efforts*, in: *Research in Engineering Design* 13/2, 2002, S. 65–82; Ramesh Krishnamurti, *Explicit design space? Artificial Intelligence*, in: *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing* 20/2, 2006, S. 95–103.
- 18 Mehul Bhatt, Carl Schultz, Madhura Thosar, *Computing narratives of cognitive user experience for building design analysis: KR for industry scale computer-aided architecture design*, in: Thomas Eiter, Chitta Baral, Giuseppe Giacomo (Hg.), *Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Proceedings of the 14th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR 2014)*, 2014, S. 508–517.
- 19 In der allgemeinsten Form (Lexikondefinition) entspricht ein Narrativ (*narrative*) einem mündlichen oder schriftlichen Bericht zusammenhängender Begebenheiten – einer Geschichte. Narrative spielen in der alltäglichen menschlichen Wahrnehmung und Erkennung eine ausschlaggebende Rolle. Die Narrativierung von Alltagswahrnehmungen durch Menschen und die Bedeutung von Narrativen in Kommunikation, Interaktion

## Endnoten

- und Glaubensformation wurde unter Rückgriff auf verschiedene Bezugssysteme, z. B. der Diskursanalyse und Narratologie (vgl. David Herman, Manfred Jahn, Marie-Laure Ryan, Routledge Encyclopedia of Narrative Theory, London 2005), dem narrativen Paradigma (Walter R. Fisher, Human communication as narration. Toward a philosophy of reason, value, and action, Columbia 1987) und mittels verschiedener anderer interdisziplinärer Initiativen, zu denen Künste, Geistes- und Naturwissenschaften gehören, untersucht. Jüngst hat die Triade Logik, Sprache und Informatik begonnen, das Feld der »rechnergestützten Modelle von Narrativen« zu speisen (vgl. Mark Finlayson, Bernard Fisseni, Benedikt Löwe, Jan Christoph Meister (Hg.), CMN 2013: Proceedings des 2013 Workshop on Computational Models of Narrative, in: OpenAccess Series in Informatics 32, Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik 2013; Inderjeet Mani, Computational Modeling of Narrative, in: Synthesis Lectures on Human Language Technologies 5/3, 2012).
- 20 Bhatt, Schultz, Freksa, The »Space« in Spatial Assistance Systems (Anm. 15).
- 21 Robert Bechtel, Arza Churchman, Handbook of Environmental Psychology, Hoboken 2002.
- 22 Robert Gaizauskas, Emma Barker, Ching-Lan Chang, Leon Derczynski, Michael Phiri, Chengzhi Peng, Applying ISO-Space to Healthcare Facility Design Evaluation Reports, in: Proceedings of the Joint ISA-7, SRS-3 and I2MRT Workshop on Semantic Annotation and the Integration and Interoperability of Multimodal Resources and Tools, Mai 2012, S. 31–38.
- 23 Anna Tostoes, Aurora Carapinha, Paula Corte-Real, Gulbenkian, Lissabon 2006.
- 24 Wir betonen, dass sämtliche Analysen und Narrative in diesem Abschnitt durch eine Kombination prototypischer Softwarewerkzeuge aus unserer Forschung computergeneriert wurden. Vgl. Carl Schultz, Mehul Bhatt, Toward accessing spatial structure from building information models, in: UDMS 2011: Proceedings of the 28th Urban Data Management Symposium, Bd. XXXVIII-4/C21, ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial, Delft 2011, S. 25–30; Carl Schultz, Mehul Bhatt, InSpace3D. A middleware for built environment data access and analytics, in: ICCS 2013: Proceedings of the International Conference on Computational Science, Bd. 18, 2013, S. 80–89.
- 25 *DSim* ist ein prototypisches Entwurfsassistenzsystem, das als Instrument verwendet wurde, um das Potenzial der nächsten Generation menschenzentrierter CAAD-Technologie zu demonstrieren. *DSim* erweitert die normalen 3D-BIM, indem es räumliche Artefakte, wie etwa funktionale, operative Reichweiten-, Sonnenlicht- und Schatten-sowie leere Räume ableitet. *DSim* stellt eine übergreifendere Entwurfsanalyse, z. B. hinsichtlich von Linearität und Wegfindungskontinuität, bereit und leitet automatisch Bewegungsräume ab, bestimmt die topologische Konnektivität von Entwürfen in einer anpassbaren, auf Menschen ausgerichteten Art und generiert konkrete geometrische Pfade der Nutzerinnen und Nutzer durch die Umgebung.
- 26 *InSpace3D* ist eine Middleware für den einheitlichen Zugang zu Raumdaten, die eine Kombination aus einem Zugang zu und analytischer Funktionalität für abstrakte, multimodale, semantische und quantitativ-qualitative Raumdaten wie auch rechnerische Kernfunktionalitäten und ein abstraktes Raummodell, das mit den Industry Foundation Classes (IFC) kompatibel ist, zur Verfügung stellen kann.
- 27 Ein Isovist ist das Volumen eines Raums, das von einem gegebenen Raumpunkt aus sichtbar ist und auf der Spezifikation der Stelle des Ausgangspunkts basiert. Daher zeigt ein 360° Isovist den Umfang der Sichtbarkeit von einem gegebenen Punkt aus in alle Richtungen an.
- 28 Carl Schultz, Mehul Bhatt, Rodrigo Mora, *MindYourSpace* – A tool for evidence-based qualitative analyses of user experience and navigation behavior in the built environment, in: EDRA44providence: Proceedings of the 44th Environmental Design Research Association Conference, Providence 2013, S. 268; Giulia Mastrodonato, Mehul Bhatt, Carl Schultz, Lost in Rotation. Investigating the effects of landmarks and staircases on

## Endnoten/Abbildungsnachweis

- orientation, in: Proceedings of the 36th European Conference on Visual Perception 39, 2013, S. 130.
- 29 Thomas DeFanti, Gregory Dawe, Daniel Sandin, Jürgen Schulze, Peter Otto, Javier Girado, Falko Kuester, Larry Smarr, Ramesh Rao, The starCAVE, a third-generation CAVE and virtual reality OptIPortal, in: Future Generation Computer Systems 25/2, 2009, S. 169–178.
- 30 Zusammenarbeit: Die DesignSpace-Gruppe bedankt sich nachdrücklich bei den wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Kollegen für gemeinsame Initiativen, Diskussionen, Interaktionen, kritisches Feedback und Impulse. Konkret danken wir Robert Amor, Pardis Alizadeh, John Bateman, Jakob Beetz, André Borrmann, Domenico Camarda, Frank Dylla, Gregory Flanagan, Christian Freksa, Gabriela Goldschmidt, Norman Herchen, Christoph Piepka, Joana Hois, Minqian Huang, Franz Kurfess, Oliver Kutz, Giulia Mastrodonato, Frieder Nake, Madhura Thosar, Barbara Tversky und Rodrigo Vega. Gedankt sei auch Marc Gerken, Thorben Juilfs, David Koch, Kim Schlingmann, Brian Tietzen und Daniel Optiz für ihre Unterstützung bei der Programmierung. Software: GRAPHISOFT Deutschland GmbH stellte kostenlos akademische Lizenzen für das *ArchiCAD*-Designtool zur Verfügung – alle Entwurfs- und dazugehörige IFC-Daten, die wir in diesem Kapitel vorgestellt haben, wurden unter Benutzung des *ArchiCAD*-Produkts entwickelt bzw. generiert. Die in Abschnitt 5 präsentierte Funktionalität zur Generierung von immersiven Erfahrungen setzte auf die Visualisierungsfunktionalität der *WorldViz-Vizard-5-Beta-1*-Software auf. Finanzierung: Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Finanzierung und Unterstützung – die in diesem Kapitel beschriebene Forschung wurde konkret als Teil des DFG-geförderten SFB/TR 8 Spatial Cognition Project (DesignSpace), www.design-space.org, realisiert. Wir danken Annette Lang und dem Team vom Büro für Internationale Angelegenheiten an der Universität Bremen für ihre Unterstützung mehrerer DesignSpace-Aktivitäten und insbesondere dem Internationalen Akademischen Austausch, bezüglich des Fallbeispiels, über das in diesem Kapitel berichtet wurde.
- 31 Die Übersetzerin dankt Oliver Kutz und Paloma Lopez-Grüniger für ihre Hilfe bei der Terminologie.

## Abbildungsnachweis

- 1a–i © Mehul Bhatt, Carl Schultz 2013.  
2a–d © Mehul Bhatt, Carl Schultz 2013.  
3a–d © Mehul Bhatt, Carl Schultz 2013.  
4a–b © Mehul Bhatt, Carl Schultz 2013.  
5 © Mehul Bhatt, Carl Schultz 2013.  
6a–b © Mehul Bhatt, Carl Schultz 2013.  
7 © Mehul Bhatt, Carl Schultz 2013.  
8a–b © Mehul Bhatt, Carl Schultz 2013.  
9a–b © Mehul Bhatt, Carl Schultz 2013.  
10a–b © Mehul Bhatt, Carl Schultz 2013.  
11a–h © Mehul Bhatt, Carl Schultz 2013.