



KÜNSTLICHE INTELLIGENZ IM ARCHITEKTURENTWURF

Der Beitrag beschreibt neue Möglichkeiten für den Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz in Architektur und Städtebau – und steckt diesbezüglich die Grenzen des Machbaren ab. Wie verändern diese Methoden die Arbeit von Architektinnen und Architekten? Und wie kann die kreative Nutzung neuer Technologien zu einem zukunftsweisenden Selbstverständnis in ihrem Berufsfeld führen?



Quelle: Pol Foreman

Prof. Dr. Reinhard König

ist Junior-Professor für Computational Architecture an der Bauhaus-Universität Weimar und Principal Scientist am AIT Austrian Institute of Technology.

reinhard.koenig@uni-weimar.de

Prof. Dr. Sven Schneider

ist Vertretungsprofessor für den Lehrstuhl für Informatik in der Architektur an der Bauhaus-Universität Weimar und Mitbegründer der DecodingSpaces GbR.

sven.schneider@uni-weimar.de

Dr. Martin Bielik

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Informatik in der Architektur an der Bauhaus-Universität Weimar und Mitbegründer der DecodingSpaces GbR.

martin.bielik@uni-weimar.de

Iuliia Osintseva

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Professur für Computational Architecture an der Bauhaus-Universität Weimar und Mitarbeiterin der CG Elementum AG.

julia.osintseva@gmail.com

Ekaterina Fuchkina

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Informatik in der Architektur an der Bauhaus-Universität Weimar.

ekaterina.fuchkina@uni-weimar.de

Aktuell kommen immer mehr digitale Werkzeuge auf den Markt, die Teile der bisherigen Arbeit von Architektinnen und Architekten unterstützen, automatisieren oder ganz überflüssig machen. Die Entwicklung ist vergleichbar mit der Einführung von CAAD-Systemen (Computer-Aided Architectural Design) in den 1980er-Jahren. Sie gestalten die zeichnerische Arbeit von Planerinnen und Planern bis heute wesentlich effizienter. Trotz der damals teils heftigen Widerstände haben sich diese Systeme heute durchgesetzt und das händische Zeichnen auf dem Reißbrett vollständig verdrängt. Von den neuen Systemen, die auf Künstlicher Intelligenz (KI) basieren, ist ein noch viel tiefgreifender Einfluss auf die Arbeitsweise von Akteurinnen und Akteuren aus Architektur und Städtebau zu erwarten. Sie berühren deren Kernkompetenz: den kreativen Entwurfsprozess.

Im Zuge der Digitalisierung aller Planungsprozesse mithilfe von digitalen Gebäudemodellen verbergen sich bereits heute KI-Algorithmen in verschiedenen Teilen gängiger Softwarelösungen: von der Fehlererkennung in digitalen Gebäudemodellen über die Lichtsimulation bis hin zu Vorschlagssystemen zur Materialwahl. Dieser Beitrag konzentriert sich auf jene Entwicklungen der KI, die anhand der Integration von Simulationen, Optimierungsmethoden und maschinellem Lernen den Entwurfsprozess verändern – also jene Phase des kreativen Lösens von gestalterischen Aufgaben. Aus Sicht der Autorinnen und Autoren ist die entscheidende Frage nicht, ob und wann sich KI-basierte Entwurfssysteme durchsetzen. Da diese mit einer enormen Effizienzsteigerung einhergehen, werden sie früher oder später traditionelle Arbeitsweisen verdrängen. Die wesentliche Frage besteht darin, wie sich Planende und Gestaltende der neuen Technologien bemächtigen können, um die Kontrolle über die Gestaltung und Qualität der gebauten Umwelt nicht aus der Hand zu geben. Die menschlichen Bedürfnisse an lebenswerte und nachhaltige Städte und Gebäude müssen über der ökonomischen Effizienz stehen.

Dieser Beitrag stellt einige der neuen digitalen Planungsmethoden dar. Er skizziert Möglichkeiten für deren kreative

Nutzung, die aufgeschlossenen Architektinnen und Architekten zu zukunftsorientierten Tätigkeitsbereichen und damit neuen Marktanteilen in der Planungsindustrie verhelfen kann. Die Struktur des Beitrags orientiert sich an den Kernkomponenten des architektonischen und städtebaulichen Entwurfsprozesses. Entwerfen gilt hier als Problemlösungsprozess, wobei Entwurfsprobleme allgemein als „schlecht strukturiert“ oder „bösaartig“ bezeichnet werden (Rittel/Webber 1973; Simon 1973). Für solche Probleme gibt es keine klaren Handlungsanweisungen, um zu einem guten Ergebnis zu gelangen. Folglich sind die Ansätze zur Lösung von Entwurfsproblemen zahlreich. Ein gemeinsames Muster haben aber alle gemeinsam: den Generieren-Testen-Explorieren-Zyklus (angelehnt an: Mitchell 1975; Simon 1994). Dabei handelt es sich im Wesentlichen um einen iterativen Prozess, der auf drei Phasen basiert:

- einer kreativen Phase, in der Entwurfsvorschläge (Hypothesen) generiert werden
- einer Testphase, in der bewertet wird, wie gut sich die Hypothesen bestätigen lassen
- einer Explorationsphase, in der ein Pool von Entwurfsalternativen untersucht wird

Der folgende Text ist in drei Abschnitte gegliedert, die zeigen, wie digitale Methoden diese drei Phasen unterstützen und teilautomatisieren können: (i) effiziente Generierung (führt zu Vielfalt an Lösungen); (ii) objektive Analyse (führt zu evidenzbasierter Bewertung); (iii) systematische Lösungssuche (führt zu Transparenz bei der Entscheidungsfindung).

Die im Folgenden gezeigten Beispiele stammen aus Projekten der Zukunft-Bau-Förderung (DigiWo, ILCO, Neufert 4.0). Das Programm Zukunft Bau des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat (BMI) fördert Forschungsprojekte, die einen Wissenstransfer von technischen, baukulturellen und organisatorischen Innovationen mit Praxispartnern realisieren. Hinter allen Maßnahmen steht der Anspruch, eine nachhaltige Entwicklung des Gebäudesektors insgesamt zu befördern.

Entwürfe automatisiert entwickeln, effizient Varianten erstellen

Gebäude bestehen aus zahlreichen Elementen, zwischen denen komplexe Abhängigkeiten bestehen. Deshalb kann sich die Änderung eines Elements auf viele andere Elemente auswirken. Architektinnen und Architekten sind gut darin, diese Abhängigkeiten zu erkennen. Allerdings ist es aufgrund

der begrenzten menschlichen kognitiven Kapazitäten (Miller 1956) schwierig, komplexe Systeme zu kontrollieren. Beim Entwerfen ist es daher kaum möglich, immer alle Wechselwirkungen im Blick zu behalten. Das gilt insbesondere, wenn auch noch viele Entwurfsvarianten auszuarbeiten sind.

Digitale, generative Modelle bieten hier die Möglichkeit, zahlreiche Elemente und deren Beziehungen abzubilden, nachzuverfolgen und in ihrer Wirkung im Gesamtsystem zu verstehen.

Im von den Autorinnen und Autoren durchgeführten Forschungsprojekt DigiWo entstand eine praxistaugliche Methodik, mit der sich Entwurfsvarianten für komplexe Wohnbauprojekte systematisch generieren lassen. Die Projektverantwortlichen entwickelten und kombinierten verschiedene Generierungs- und Analysemodule, um einen Entwurfsprozess über die verschiedenen Maßstabsebenen abzubilden (Gebäudevolumen, Erschließung/Wohneinheiten und Wohnungsgrundrisse).

Dabei helfen parametrische Modelle, Planungsvarianten geometrisch zu erstellen. Verschiedene formgebende Randbedingungen kontrollieren diese Modelle. Die Schwierigkeit bei der Anwendung parametrischer Modelle liegt darin, die zahlreichen maßstabsübergreifenden Abhängigkeiten zu berücksichtigen und aufeinander abzustimmen. Aspekte auf

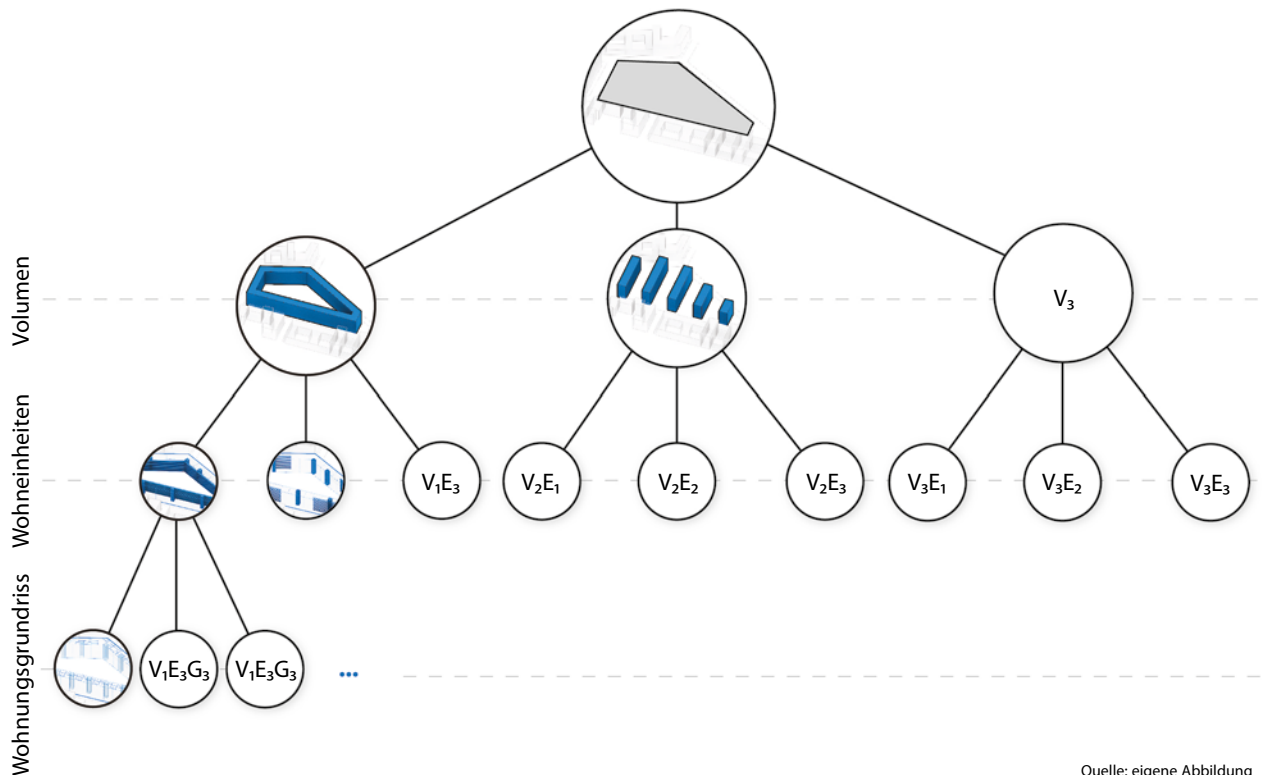
unterschiedlichen Maßstabsebenen beeinflussen sich dabei gegenseitig und sind daher nicht getrennt voneinander zu bearbeiten. Zum Beispiel beeinflussen sich die Definition des Gebäudevolumens und die Möglichkeiten zur Definition des Erschließungssystems gegenseitig stark.

Die im DigiWo-Projekt verfolgte generative Methode ist als Top-down-Ansatz konzipiert. Das in Abbildung 1 illustrierte Konzept gliedert die Planung in drei Maßstabsebenen: (i) Volumen, (ii) Erschließungen und Aufteilung in Wohneinheiten, (iii) Wohnungsgrundrisse. Diese Aufteilung erlaubt es zum einen, die komplexen Herausforderungen der einzelnen Ebenen gezielter anzugehen. Zum anderen sorgt sie dafür, dass sich übergeordnete Bauregeln besser integrieren lassen.

Die für die Gebäudegenerierung erforderlichen Angaben teilen sich in zwei Gruppen auf: Generierungsparameter und Kontextfaktoren. Die Kontextfaktoren bestehen aus geometrischen Daten (Kontextgeometrie) und nicht-geometrischen Daten (Bebauungsregeln). Die Kontextgeometrie

1

Darstellung des Top-down-Ansatzes: Gebäudevolumen werden auf einem Grundstück (Ebene 1) erstellt, weiter in Wohneinheiten aufgeteilt (Ebene 2) und bis in die Grundrisse (Ebene 3) ausgearbeitet



Quelle: eigene Abbildung

setzt sich aus dem Grundstück und, falls verfügbar, zusätzlichen Informationen wie Straßen, öffentlichen Räumen und der Nachbarbebauung zusammen.

Basierend auf diesen Kontextfaktoren kann das DigiWo-Generierungssystem schnell zahlreiche Varianten erstellen. Die Grundlage für dieses Generierungssystem bilden gängige Wohnungsbautypologien und typische Planungsschritte (z. B. das Erzeugen von Rücksprüngen, das Unterteilen von Baukörpern oder das Einfügen zusätzlicher Gebäuderiegel im Innenhof). Diese der Praxis entlehnte Methodik zur Eingrenzung des Variantenraums schließt unbrauchbare Lösungen von vornherein aus. Das macht den Entwurfsraum überschaubarer und die generative Methodik in der Praxis anwendbar. Abbildung 2 zeigt eine kleine Auswahl der generierten Gebäudevarianten.

Für jede Variante des generierten Gebäudevolumens werden verschiedene Erschließungssysteme generiert. Dafür werden die Geschosse der erzeugten Kubaturen nach bestimmten Regeln in Segmente unterteilt und mit vertikalen Erschließungen versehen. Ein zentraler Generierungsparameter ist dabei der Wohnungsmix: Um wie viele Wohnungen in welchen Größen geht es? Die geometrische Umsetzung

dieses Mixes ist nicht trivial, da bei größeren Wohnungsbauprojekten auf einem Grundstück in der Regel mehrere Gebäude liegen, die verschiedene Geschosshöhen haben. Die Wohnungen sind in der Regel aus konstruktiven Gründen in allen Geschossen übereinander gleich verteilt. Daraus folgt, dass sich der Wohnungsmix, der sich aus der geometrisch möglichen Unterteilung aller Regelgeschossflächen in Wohneinheiten ergibt, deutlich vom gesamten Wohnungsmix unterscheiden kann, der aus der einfachen Multiplizierung der Wohnungszahl mit entsprechender Geschosshöhe pro Gebäude resultiert. Die Wohnungen so zu verteilen, dass sich der gewünschte Wohnungsmix ergibt, ist dementsprechend ein multivariates Optimierungsproblem, bei dem man zwischen der Minimierung der Restflächen und der Einhaltung des Wohnungsmix abwägen muss.

Die Aufteilung erfolgt basierend auf den im Wohnungsbau typischen Erschließungstypologien: Spänner, Flur und Laubengang. Abbildung 3 zeigt exemplarisch fünf Varianten für die Spänner-Typologie für eine Gebäudeform.

Basierend auf den Varianten für Erschließung und Wohnungsaufteilung ergeben sich die Wohnungsgrundrisse. Das erfolgt über ein Optimierungsverfahren, dank dem die Plat-

2

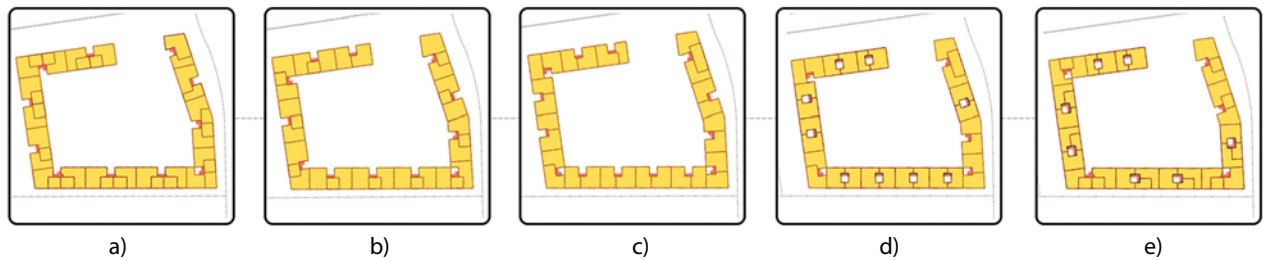
Ausschnitt aus 10.000 generierten Varianten für Gebäudevolumen auf einem Testgrundstück



Quelle: eigene Abbildung

3

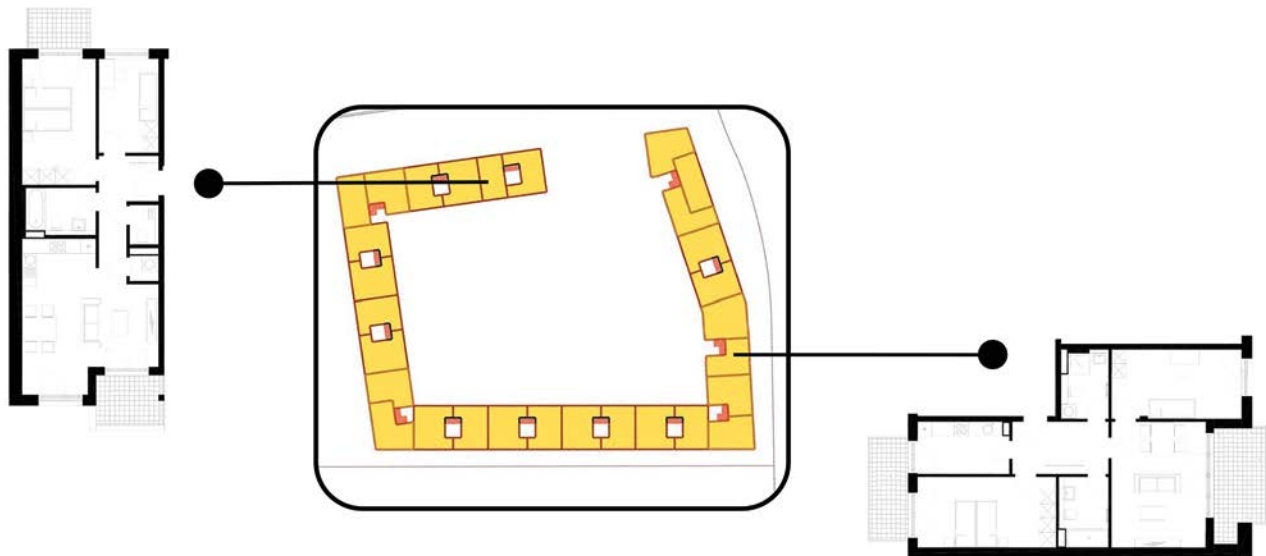
Erschließungsvarianten (v. l. n. r.: mit außenliegendem Vierspänner, mit außenliegendem Dreispänner, mit außenliegendem Zweispänner, mit innenliegendem Zweispänner, mit innenliegendem Dreispänner)



Quelle: eigene Abbildung

4

Schematische Darstellung der Suche an passenden Grundrissen mit auf maschinellem Lernen basierenden Algorithmen



Quelle: eigene Abbildung

zierung der Zimmer den Anforderungen an Raumgrößen, -beziehungen und natürlicher Belichtung entspricht. Dafür erstellten Studierende manuell eine Grundrissbibliothek aus 271 Wohnungslayouts, die neben der Grundrissgeometrie auch Daten zu Flächen, der Zimmeranzahl, Außenwänden und der Erschließung enthält. Mit einer auf maschinellem Lernen basierenden Methode (Zaghoul 2017) lassen sich für neue Grundrisse die ähnlichsten bereits bekannten Lösungskandidaten aus der Grundrissbibliothek ermitteln. Das Ergebnis ist die Näherung zwischen diesen Kandidaten (vgl. Abb. 4). Neben gut messbaren Analysekr iterien, um die es im nächsten Kapitel geht, gibt es in der Regel auch kontext-

beziehungsweise situationsabhängige Anforderungen. Diese lassen sich nicht quantitativ abbilden, sondern haben einen qualitativen, gestalterischen oder raumbezogenen Charakter. Daher ist es wichtig, dass der Entwerfende den Generierungsprozess beeinflussen kann. Der Prozess ist demnach so zu gestalten, dass er nicht nur anhand numerischer Anforderungen kontrolliert werden kann. Vielmehr muss der Entwerfende seine Erfahrungswerte in den Prozess einbringen. Das DigiWo-Projektteam hat die generativen Module so konzipiert, dass Entwerfende die Formgenerierung über einfache Interaktionstechniken – wie der Manipulation geometrischer Elemente – direkt beeinflussen können.

Automatisierte Analyse zur objektiven Entwurfsbewertung

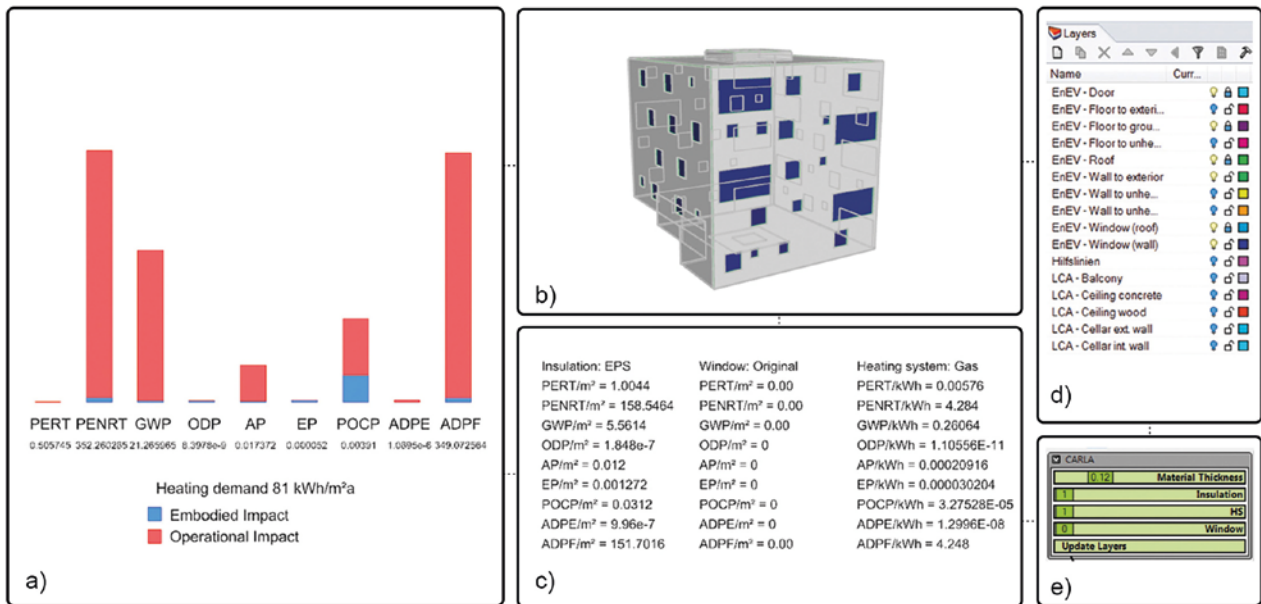
Es ist unerlässlich, die generierten Varianten zu bewerten, um zu guten Entwurfsergebnissen zu gelangen. Die Bandbreite der Bewertungsaspekte ist dabei sehr groß: Sie reicht von der Standfestigkeit des Gebäudes über den Energiebedarf bis hin zu Fragen des Nutzungskomforts und der Ästhetik. Digitale Assistenzsysteme ergänzen die derzeit nach wie vor oft intuitive und analoge Entwurfsbewertung. Sie ermöglichen zum einen eine schnelle Ermittlung der benötigten Kennzahlen. Zum anderen sind die Analyseergebnisse objektiv und nicht durch kognitive Verzerrungen oder individuelle Meinungen beeinflusst. Zu bedenken ist selbstverständlich, dass nur das berechnet werden kann, was sich klar formulieren lässt. Aspekte, für die das nicht gilt – zum Beispiel die Ästhetik – müssen der menschlichen Intuition überlassen bleiben.

Im Zukunft-Bau-Projekt ILCO entwickelten die Autorinnen und Autoren dieses Beitrags eine Methodik zur automatischen Lebenszyklusanalyse in frühen Entwurfsphasen. Das System liest lebenszyklusrelevante Bauteile wie Wände, Böden, Decken, Fenster oder Türen und deren Mengen sowie Flächen aus digitalen Gebäudemodellen (vgl. Abb. 5). Die ausgelesenen Bauteile werden dann mit unterschiedlichen Materialien und Materialstärken belegt. Eine Datenbank

mit Kennwerten zur eingebundenen Energie und des Erneuerungsbedarfs der Bauteile hilft dem System, die Energie zu berechnen, die es zur Erstellung und Erhaltung des Gebäudes braucht. Die Energie zum Betrieb des Gebäudes berechnet sich über ein etabliertes quasistatisches Monatsbilanzverfahren. Die Lebenszyklusperformance selbst ergibt sich dann aus der Summe aus eingebundener Energie und Betriebsenergie über die Nutzungsdauer. Aufgrund der verwendeten Berechnungsverfahren erfolgt die Analyse in Sekundenbruchteilen. Mittels parametrischer Entwurfsmodelle können so schnell verschiedene Material- oder Geometrievarianten analysiert und miteinander verglichen werden. Zusätzlich lassen sich komplexe Fragen untersuchen – zum Beispiel, welchen Effekt ein teureres Material, eine höhere Dämmstärke oder eine alternative Gebäudeform über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes haben.

Neben Analysen, die auf physikalischen Gesetzmäßigkeiten oder wirtschaftlichen Modellen beruhen, gibt es auch Methoden zur Analyse des Wohnkomforts. Sie zeigen zwar nicht direkt, wie sich Menschen im Gebäude fühlen oder verhalten. Dies ist aufgrund der Komplexität menschlichen Verhaltens zum gegenwärtigen Stand nicht modellierbar. Vielmehr ermitteln sie wahrnehmungs- und nutzungsrelevante

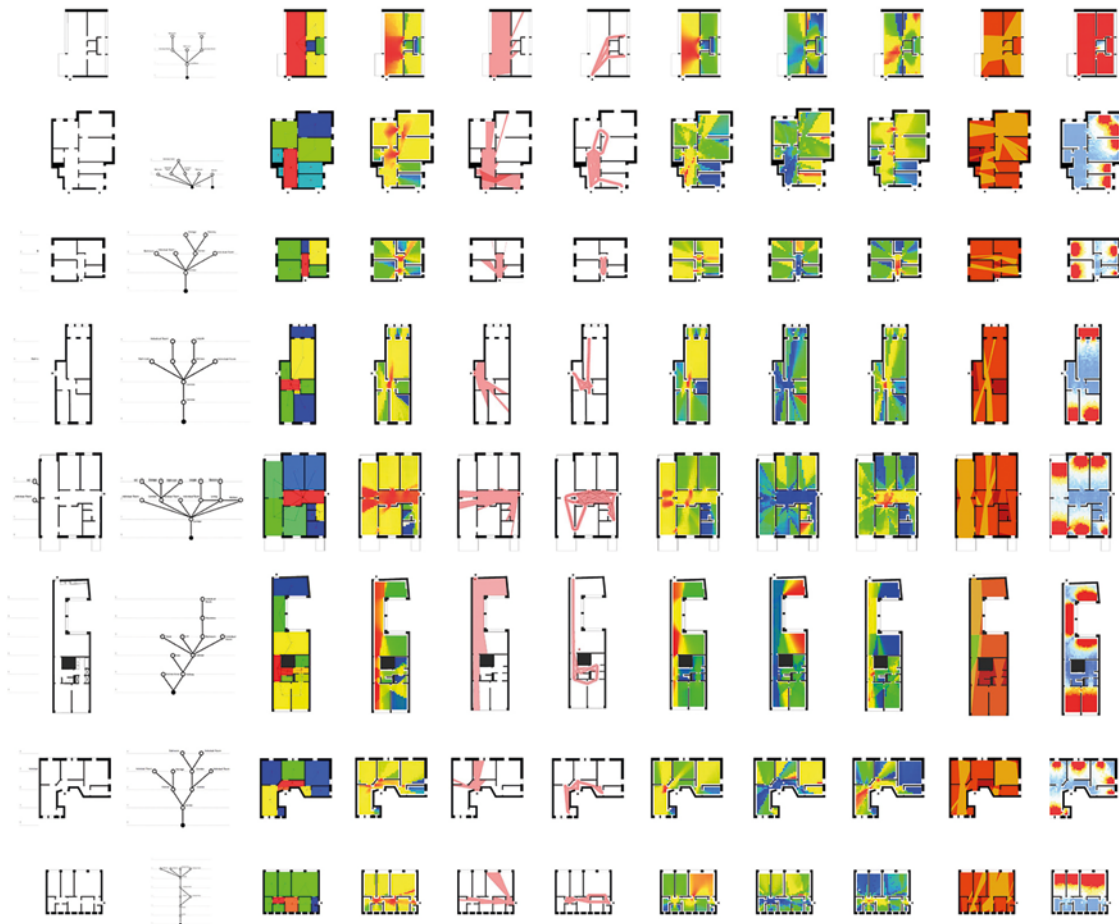
5 Prototyp zur parametrischen Lebenszyklusanalyse: (a) LCA-Ergebnisse, (b) 3-D-Modell, (c) Materialübersicht, (d) Ebenen für die Geometrieingabe, (e) Parameter zur Variantenerzeugung



Quelle: eigene Abbildung

6

Computerbasierte Analyse von Wohnungsgrundrissen (Spalten v. l. n. r.: 1: Grundriss, 2, 3: Erschließung, 4: Erreichbarkeit, 5: Sichtbarkeit vom Wohnungseingang, 6: Bewegungsräume, 7, 8, 9: versch. Sichtbarkeitseigenschaften, 10: Ausblick und 11: Tageslicht)



Quelle: eigene Abbildung

vante Eigenschaften eines Gebäudes und deuten auf Potenziale für bestimmte Nutzungen und Emotionen hin.

Über Tageslichtanalysen lässt sich beispielsweise errechnen, wie hell jeder Raum in einem künftigen Gebäude ist. So kann das System bewerten, ob die Räume hell genug sind, um bestimmte Aktivitäten (z. B. Lesen) bequem durchzuführen. Sichtbarkeitsanalysen können quantifizieren, wie sichtbar bestimmte Räume oder Objekte in einer Umgebung sind. Die Ergebnisse einer solchen Analyse liefern hilfreiche Hinweise, beispielsweise für die Orientierbarkeit in komplexen Gebäuden, den Grad an Privatheit oder die Qualität des Ausblicks: Sind die Gebäudeeingänge gut sichtbar? Kann man vom Eingang einer Wohnung ins Schlafzimmer schauen? Und wieviel Grün oder Himmel sieht man von den Zimmern einer Wohnung? Erreichbarkeitsanalysen ermög-

lichen zudem, die wahrscheinlichsten Wege zu berechnen, die Menschen gehen, wenn sie sich durch ein Gebäude oder eine Wohnung bewegen. Die Ergebnisse der Analyse lassen sich beispielsweise nutzen, um zu beurteilen, welche Räume potenziell am ehesten als Kommunikationsbereiche oder private Rückzugsbereiche dienen.

Die Analysen können Architektinnen und Architekten wie in Abbildung 6 dargestellt auf Wohnungsgrundrisse anwenden. Sie dienen dann als Grundlage für die Bewertung von Wohnqualitäten. Das Team im Zukunft-Bau-Projekt Neufert 4.0 bewertet auf diese Weise 35.000 Grundrisse. Die Ergebnisse verwendet es anschließend dazu, um über Methoden des maschinellen Lernens Entwurfsheuristiken für neue Wohnungsgrundrisse mit definierten Qualitäten zu entwickeln.

Systematische Entwurfsraumexploration

In einem automatisierten Entwurfsprozess lassen sich wie beschrieben in kürzester Zeit zahlreiche Varianten erzeugen und hinsichtlich zahlreicher Aspekte analysieren. Die Chance ist deshalb groß, nicht nur eine, sondern mehrere gute Lösungen zu finden. Das ist insbesondere für Entwurfsprobleme sehr wichtig: Für sie gibt es aufgrund der teilweise gegensätzlichen Anforderungen (hoher Nutzerkomfort, niedrige Kosten, hohe Lebenszyklusperformance) oft nicht die eine optimale Lösung, sondern nur mehrere Kompromisslösungen.

Um diese Kompromisslösungen zu identifizieren, entwickelten die Autorinnen und Autoren dieses Beitrags im Projekt ILCO eine Methode zur Entwurfsraumexploration (Design Space Explorer Framework, DSEF, Fuchkina et al. 2018). Der Entwurfsraum ist dabei die Menge aller erzeugten Varianten und deren Analysekenwerte. Eine Entwurfsvariante ist somit ein Datensatz, der sich mit anderen vergleichen lässt. Der Vorgang des Vergleichens und der daraus resultierende Erkenntnisgewinn nennt sich Entwurfsraumexploration.

Für diese Exploration bietet das DSEF verschiedene Methoden zur Datenanalyse und Visualisierung an – und erlaubt es, diese interaktiv miteinander zu verknüpfen. Beispielhaft zu nennen sind hier das Parallelkoordinatensystem und selbstorganisierende Karten. Das Parallelkoordinatensystem (vgl. Abb. 7, links) stellt die Entwurfsvarianten in einem Diagramm mit mehreren Y-Achsen dar. Diese Achsen sind die Bewertungskriterien (z. B. Tageslicht, Solareintrag, Kosten).

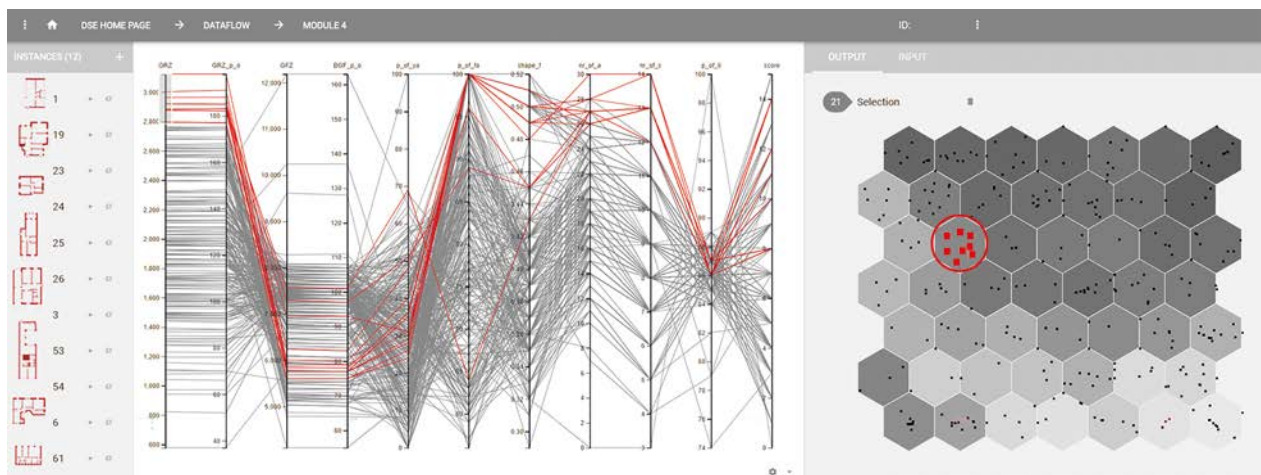
Selektiert man nun den gewünschten Wertebereich eines Bewertungskriteriums (z. B. hohe bis mittlere solare Gewinne), hebt das System alle Varianten hervor, die diese Eigenschaft aufweisen (rote Linien in Abb. 7). Verfolgt man diese Linien über alle Achsen des Diagramms, kann man erkennen, wie selektierte Varianten bei anderen Bewertungskriterien abschneiden. Durch weitere Eingrenzung des Wertebereichs bei unterschiedlichen Kriterien lassen sich die Varianten identifizieren, die den meisten Anforderungen entsprechen. Darüber hinaus zeigen sich so auch Zusammenhänge zwischen den Bewertungskriterien.

Eine Self-Organizing Map (SOM) ist eine zweidimensionale Karte, auf der die Entwurfsvarianten so angeordnet sind, dass Varianten mit möglichst vielen ähnlichen Eigenschaften nah beieinander liegen (vgl. Abb. 7, rechts). Haben Architekten und Architekten in einem Projekt beispielsweise schon eine Vorzugsvariante ermittelt, so können sie in der Karte die benachbarten Varianten anschauen und Alternativlösungen mit ähnlichen Eigenschaften finden.

Diese Entwurfsraumexploration lässt sich auch bei mehrstufigen Entwurfsprozessen – wie im Abschnitt zur Generierung beschrieben – durchführen. Dort wurden zunächst Varianten für die Gebäudeform erzeugt; für jede dieser Gebäudeformen Varianten für die Erschließung und Wohnungsanordnung und zuletzt für jede der Wohnungen Varianten für die Wohnungsgrundrisse. Die Varianten jeder dieser Generierungsstufen lassen sich dann, wie in Abbildung 8 darge-

7

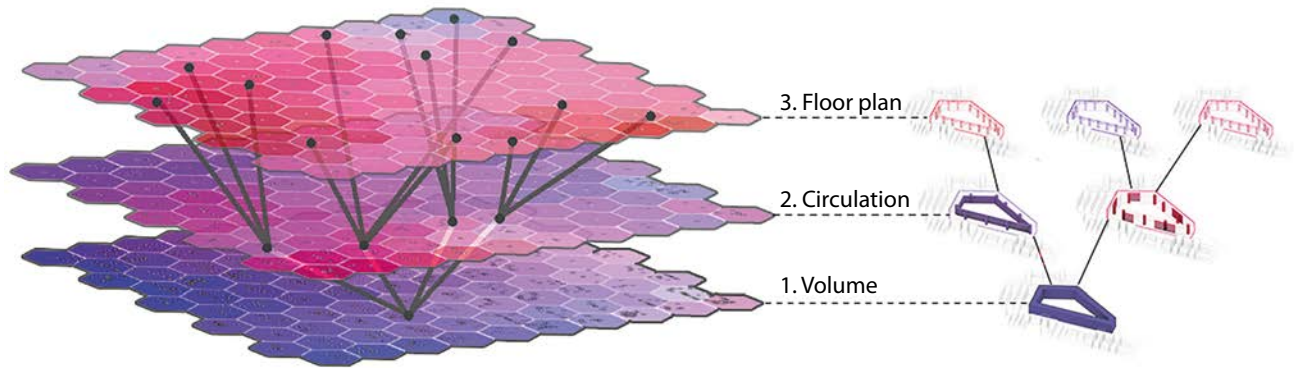
Zwei Methoden zur Entwurfsraumexploration: Parallelkoordinatensystem (links) und Self-Organizing Map (rechts)



Quelle: eigene Abbildung

8

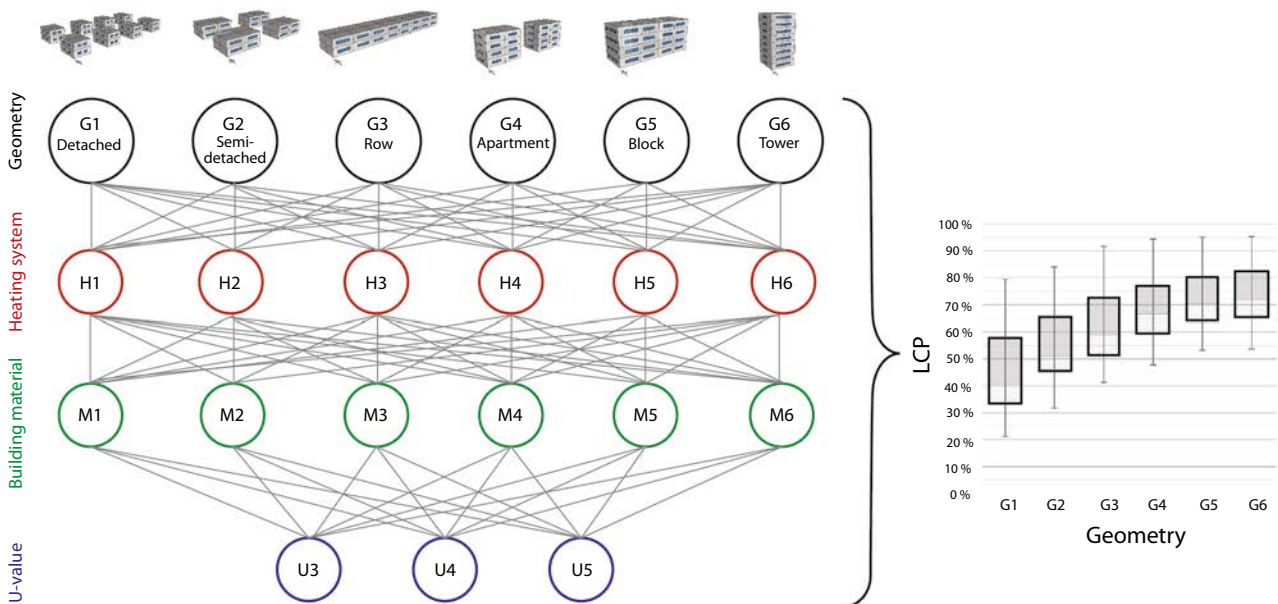
Hierarchisch gegliederte Entwurfsräume/Maßstabsebenen (Volumen, Wohnungsaufteilung, Wohnungen)



Quelle: eigene Abbildung

9

Errechnung der potenziellen Lebenszyklusperformance für sechs verschiedene Bebauungsvarianten (freistehende Einfamilienhäuser, Doppelhäuser, Reihenhäuser, Punkthäuser, Wohnblock und -turm)



Quelle: eigene Abbildung

stellt, auf mehreren SOMs anordnen. Durch Visualisierung der Beziehungen jeder Variante zu ihrer Ursprungsvariante lässt sich beispielsweise verfolgen, wie erfolgreich eine bestimmte Gebäudeform ist, um die gewünschten Grundrissqualitäten sicherzustellen.

Diese mehrstufige Exploration erlaubt es außerdem abzuschätzen, wie gut Entscheidungen auf einer höheren Maßstabsebene sind, ohne schon die Details auf einer niedrigeren Ebene festzulegen. Dies ist vor allem für frühe

Entwurfsphasen von großer Bedeutung, da die Informationen hier oft noch unvollständig sind. Im Projekt ILCO entstand dafür ein neues Bewertungskriterium: die potenzielle Lebenszyklusperformance (PLCP). Dabei erstellt das System für die Maßstabsebene „Gebäudeform“ verschiedene Varianten für infrage kommende Materialien, Materialstärken und Heizsysteme. Daraus ergibt sich die Lebenszyklusperformance (LCP) für alle Varianten. Die Durchschnittswerte und die Streuung der Analyseergebnisse liefern dann Hinweise darauf, welches Potenzial eine Gebäudeform hat, eine mög-

lichst hohe LCP zu erreichen. In Abbildung 9 ist dies beispielhaft für die Anordnung von sechs Wohneinheiten dargestellt. Anhand der Boxplots (vgl. Abb. 9, rechts) lässt sich erkennen, dass die Variante mit acht Einfamilienhäusern (G1) die niedrigste durchschnittliche LCP (40 %) und die größte Streuung aufweist. Sie ist damit viel stärker von der Material- und Technikauswahl abhängig als beispielsweise die Variante des Wohnblocks (G5). Diese weist eine hohe durchschnitt-

liche LCP (70 %) und eine niedrige Streuung auf. Zusätzlich ist es möglich, die gesammelten Daten mit Lernalgorithmen auszuwerten und Vorhersagemodelle zu entwickeln. Dies könnte in Zukunft aufwendige Teile des Entwurfsprozesses vorwegnehmen: Im Sinne eines „vorausschauenden Entwerfens“ können Architektinnen und Architekten bereits bei frühen Entwurfsentscheidungen antizipieren, welche folgenden Entwurfsschritte sich lohnen.

Neues Selbstverständnis – ein Ausblick

Eine der Hauptaufgaben von Akteurinnen und Akteuren aus Architektur und Städtebau ist es, kreative Lösungen für komplexe Entwurfsaufgaben zu finden. Neue digitale Entwurfsmethoden setzen dabei auf ein Zusammenspiel zwischen menschlichen Fähigkeiten des kreativen Denkens und den überragenden Rechenkapazitäten moderner Computer. Sie zielen darauf ab, Gebäude und Städte unmittelbarer zu planen, also schneller und trotz ihrer Komplexität nachvollziehbarer. Mithilfe des Computers lassen sich die Wechselwirkungen vieler unterschiedlicher Einflussgrößen auf einen Entwurf zudem besser verstehen. Der Einsatz moderner Techniken der Datenanalyse und von Simulationen ermöglicht es, vielfältige ökologische, ökonomische und soziale Kriterien zu messen und für informierte Entscheidungen zur Verfügung zu stellen. Ein wesentlicher Gewinn beim Einsatz von computerbasierten Entwurfswerkzeugen liegt darin, dass Lösungen komplexer Probleme nicht mehr an die kognitiven Grenzen des Menschen gebunden sind – was in der Regel eine Komplexitätsreduktion mit sich bringt. Vielmehr lassen sich auf innovativen Wegen neue Antworten für Entwurfsprobleme finden.

Der Automatisierungsgrad von Entwurfsprozessen wird mit der Entwicklung von Methoden der Künstlichen Intelligenz unaufhaltsam fortschreiten. Wie in anderen Berufen könnte

das auch Architektinnen und Architekten aus ihren bisherigen Tätigkeiten verdrängen. Das zwingt sie, ihre Rolle neu zu definieren. Im Gegensatz zum klassischen Selbstverständnis werden Pläne schon länger nicht mehr gezeichnet, sondern immer häufiger automatisch generiert (Fritz 2002). Viele Tätigkeitsfelder der Architektinnen und Architekten werden automatisiert – das stellt auch ihre gestalterische und künstlerische Hoheit infrage.

Die neuen Möglichkeiten digitalisierter Entwurfsprozesse bestehen ferner in einem effizienten Austausch von Fachwissen, der Einbindung von Fachleuten sowie Nutzerinnen und Nutzern, einer hohen Variabilität des Designs und der Transparenz der Entscheidungsfindung. Zweifelsohne bleibt es unerlässlich, dass wir Menschen die Gestaltung unserer Welt kontrollieren und steuern. Viele Aspekte des Entwurfsprozesses lassen sich jedoch als Synthese des digital verfügbaren Wissens von Computern effizienter und effektiver verarbeiten. Architektinnen und Architekten kommt in Zukunft eine völlig neue und ebenso komplexe Rolle zu: als Vermittelnde zwischen den unterschiedlichen Anforderungen von Interessengruppen und den Möglichkeiten, Computerprogramme bei der Entwicklung künftiger gebauter Lebenswelten zurate zu ziehen.

Literatur

Fritz, Oliver, 2002: Programmieren statt zeichnen? Vom Einfluss digitaler Technologie auf den architektonischen Entwurf. *Archithese*, Bd. 4: 14–19.

Fuchkina, Ekaterina; Schneider, Sven; Bertel, Sven; Osintseva, Iuliia, 2018: Design Space Exploration Framework – A modular approach to flexibly explore large sets of design variants of parametric models within a single environment. *Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design (eCAADe)*. Lodz, Bd. 2: 367–376.

Miller, George A., 1956: The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *The Psychological Review*. Bd. 63(2): 81–97.

Mitchell, William J., 1975: The theoretical foundation of computer-aided architectural design. *Environment and Planning B: Planning and Design*. Bd. 2(2): 127–150.

Osintseva, Iuliia; Koenig, Reinhard; Berst, Andreas; Bielik, Martin; Schneider, Sven, 2020: Automated Parametric Building Volume Generation, a Case Study for Urban Blocks. *SimAUD: Symposium on Simulation for Architecture & Urban Design*. Wien: 211–218.

Rittel, Horst; Webber, Melvin, 1973: Dilemmas in a General Theory of Planning. *Policy Sciences*, Bd. 4: 155–169.

Simon, Herbert A., 1994: Die Wissenschaft vom Künstlichen. Wien: Springer.

Simon, Herbert A., 1973: The structure of ill-structured problems. *Artificial Intelligence*, 4, 181-201.

Zaghoul, Mohamed, 2017: Machine-Learning aided Architectural Design – Synthesize Fast CFD by Machine-Learning. ETH Zürich.

Projekte

DigiWo (2018–2020): Digitale Methodik für eine integrierte maßstabsübergreifende Generierung, Analyse und Exploration von Planungsvarianten für Wohnungsbauprojekte
<https://toolbox.decodingspaces.net/digiwo>

ILCO (2015–2017): Integrierte Lebenszyklusoptimierung. Methoden zur systematischen Variantenexploration in frühen Phasen der Planung unter besonderer Berücksichtigung von Lebenszyklusaspekten
<https://www.uni-weimar.de/de/architektur-und-urbanistik/professuren/infar/research/titel/ilco-integrated-life-cycle-optimization-2015-2017>

Neufert 4.0 (2021–2023): Methoden der Künstlichen Intelligenz zur Erzeugung evidenzbasierter Entwurfsheuristiken für den nutzerzentrierten Wohnbau