

Integration digitaler Gebäudesimulationen in den frühen Entwurfsphasen

Fabian Ritter, Gerhard Schubert
Technische Universität München, Deutschland
fabian.ritter@tum.de

Abstract. In frühen Entwurfsphasen ist es trotz des wachsenden Einsatzes des Rechners im Gebäudeentwurf noch nicht gelungen, Gebäudesimulationen für Aussagen der Performanz eines Gebäudes hinsichtlich der Nachhaltigkeit sinnvoll zu integrieren. Größtes Hindernis dabei ist, dass die erzeugten Ergebnisse in frühen Phasen entweder sehr unzuverlässig sind oder ein hohes Maß an Nutzerinteraktion und Aufbereitung erfordern.

Ausgehend von dieser Diskrepanz wurde eine Methode entwickelt, die es den Planern ermöglicht in ihrer gewohnten Arbeitsweise weiterzuarbeiten und dennoch Zugriff auf Berechnungsergebnisse zu bekommen. Dies ist deshalb nötig, da nur so die Auswirkungen von verschiedenen Alternativen auf die Performanz eines Gebäudes darstellbar sind. Dazu wird ein Ersatzmodell erzeugt, das die für eine Simulation wichtigen Parameter enthält. Dieses kann nun an den aktuellen Entwurf „angepasst“ werden und ermöglicht so Simulation rein auf Basis der Kubatur ohne weitere Nutzerinteraktion. Werden die benötigten Simulationen für verschiedene Parameterkombinationen sogar im Vorfeld einer „Design-Session“ durchgeführt stehen die Ergebnisse sofort (Instant Feedback) zur Verfügung. Mehr noch; es können den Entwerfenden unterstützende Aussagen geliefert werden, wie beispielsweise welche Parameter einen großen bzw. geringen Einfluss auf die Performanz haben und in welcher Weise Verbesserungen erzeugt werden können.

Um diese Unterstützung möglichst intuitiv nutzbar zu machen wurde Sie zudem auf einer Plattform integriert, die dem Entwerfenden einen Umgang mit etablierten Entwurfswerkzeugen (Arbeitsmodelle und Handskizze) ermöglicht. Das Paper zeigt anhand einer Umsetzung (Case Study), wie der Einsatz der neuen Methode im Entwurfsprozess funktioniert.

1. Einleitung

Simulationen und computergestützte Analysen werden heutzutage erst spät im Entwurfsprozess berücksichtigt. Allerdings wird schon sehr früh die grundlegende Geometrie eines Gebäudes festgelegt. Diese hat jedoch einen immensen Einfluss auf die späteren energetischen Eigenschaften des Gebäudes. Da spätere Änderungen nur unter erheblichen Aufwand mit hohen Kosten, wenn überhaupt noch, möglich sind, ist dieser Ansatz jedoch nicht zielführend (vgl. Abb. 1).

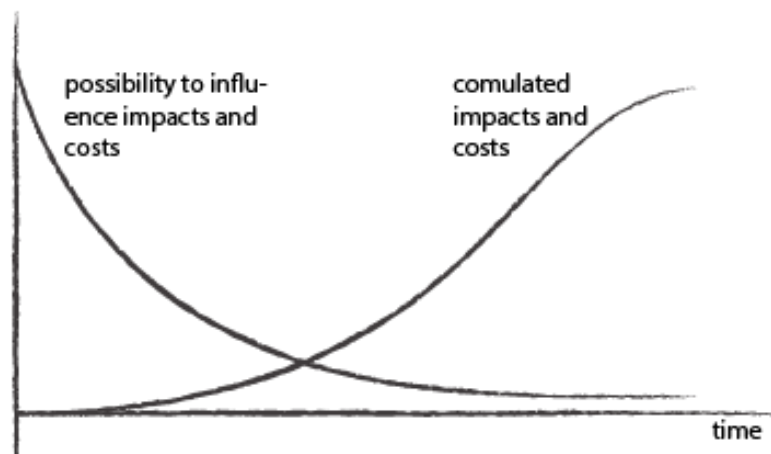


Abbildung 1: Verlauf der Möglichkeit eines Eingriffs auf Kosten und Auswirkungen (abfallend) und der Kosten, falls Änderungen gemacht werden (steigend), über den Verlauf der Zeit in der Planung.

2. Der entwerferische Prozess

Die Grundlage der Konzeptionierung eines Entwurfswerkzeuges bildet die Auseinandersetzung mit dem entwerferischen Prozess. Das Entwerfen, das vorrauschauende Planen kann seit dem späten Mittelalter als grundlegender Bestandteil im architektonischen Arbeitsprozess angesehen werden. Aus der Notwendigkeit des Vorrasschauens entwickelte sich dieser Prozess als eigenständige Handlung. Viele Ansätze haben seitdem versucht, den dabei stattfindenden Prozess in ein allgemeingültiges Vorgehen zu pressen. Da es sich bei entwerferischen Aufgaben jedoch um unscharf definierte Probleme handelt, ist dies nicht möglich, was die mehr als 100 von Dubberly (2008) gesammelten Entwurfstheorien deutlich untermauern. Auch wenn sich das Entwerfen nicht allgemeingültig darlegen lässt, so lassen sich dennoch wiederkehrende Methoden und Muster erkennen. Eine zentrale Rolle kommt hierbei den Entwurfswerkzeugen zu. Erst durch sie wird ein kreatives Denken ermöglicht. Und somit sind es vorrangig die Entwurfswerkzeuge, die ein schrittweises Vorwärtkommen zu dem vorerst unbekanntem Ziel ermöglichen.

Wenn man sich die traditionell verwendeten Entwurfswerkzeuge genauer betrachte, wird klar, dass sie von folgenden Eigenschaften charakterisiert werden: Einfache Nutzbarkeit, flexible Einsetzbarkeit, direktes kognitives Feedback von der ausgeführten Geste zum Gehirn, die Fähigkeit, vage Annahmen zu verarbeiten und eine Schritt-für-Schritt Vorgehensweise.

Ausgehend hiervon lassen sich, auch wenn der Prozess des Entwerfens nicht genauer dargelegt werden kann, dennoch wiederkehrende Methoden und Muster erkennen. Und somit ist die Suche nach dem vorerst Unbekanntem zu einem hohen Maß geprägt von Variantenbildung und der gegenseitige Abwägung dieser (Rittel and Reuter, 1992). Die Grundlage hierzu bildet das sogenannte „Visual Thinking“, das auch „reflection in action process“ genannt wird, als kreativer Kreislauf zwischen Entwerfer und seinen verbildlichten Gedanken. Durch die Externalisierung der Gedanken in Form von Skizzen werden diese für den Architekten direkt sichtbar und es entsteht ein kreativer Kreislauf zwischen Externalisierung und direkter Reaktion auf diese Abbilder. Diese Abbilder bilden die Varianten und Überlegungen und werden gegenseitig abgewogen. Zur Beurteilung verschiedener Lösungen werden sowohl subjektive, als auch objektive Kriterien herangezogen. Da die Kriterien sich meist gegenseitig beeinflussen ist ein automatisches Abwägen dieser nicht möglich.

3. Design Decision Support | DDS

Die bestehenden Tools können in zwei Kategorien eingeteilt werden; Einerseits in die Entwurfsautomaten, oder auch generativen Systeme. Die Integration von energetischen Analysen und Simulationen im entwerferischen Prozess ist zwar gang und gäbe in der Planung (Hopfe 2005), jedoch haben diese immer noch sehr eingeschränkte Möglichkeiten, den Entwerfer wirklich zu unterstützen und eignen sich daher selten für den DDS. Sie haben jedoch zum Nachteil, dass Sie durch ihre Lösungsvorschläge den Entwerfer bevormunden und somit zu einem Verlust der kreativen Komponente führen.

Auf der anderen Seite gibt es die sogenannten Assistenzsysteme, die Entscheidungen lediglich unterstützen (Decision Support). Insbesondere sind es hier Simulationen und Analysen, die objektive Bewertungskriterien bieten. Damit liegt die Entscheidung wieder beim Entwerfer. Beispiele für assistierende Systeme sind der Design Performance Viewer von Schlueter (2009) oder das Green Building Studio (2013). Während das erste Beispiel auf einer vereinfachten quasi-statischen Energieanalyse beruht, setzt das zweite Beispiel auf den Einsatz von Simulationen auf einem cloud-basierten Cluster, um schnell Ergebnisse zu erzeugen.

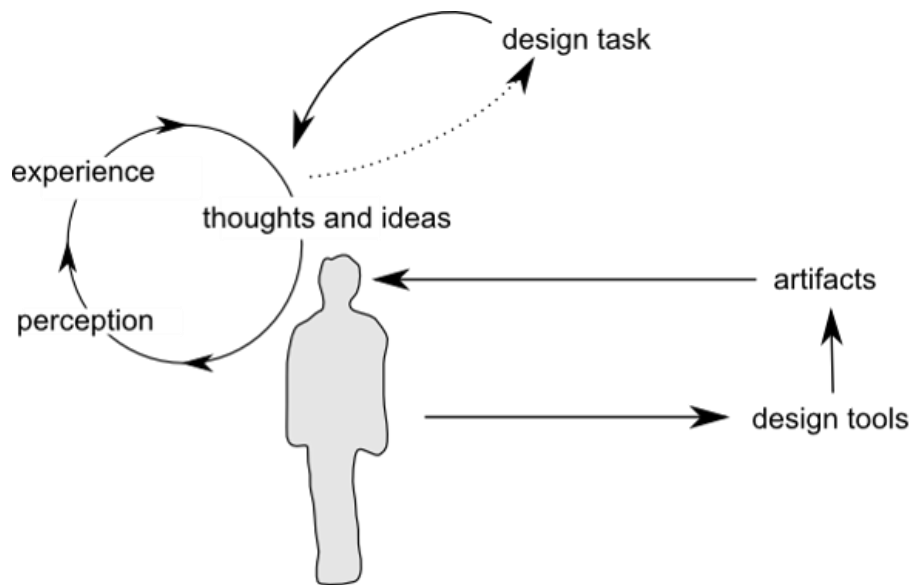


Abbildung 2: Der Entwurfsprozess bindet neben den eigenen Ideen und Erfahrungen auch die Entwurfswerkzeuge direkt in die Entscheidungsfindung mit ein. Daher ist die Möglichkeit der Rückkopplung von Entwurfswerkzeug zum Planer sehr wichtig (Quelle: Langenhan, C.)

Insgesamt beschränken sich die derzeitigen Werkzeuge meist auf die Analyse einer einzelnen Option. Sie geben keine Auskunft darüber, in welcher Art und Weise sich Verbesserungen erzielen lassen. Außerdem erlauben sie es den Planern nicht, ihren Entscheidungsgang zu den besten Lösungen nachzuvollziehen und aufzuzeichnen oder den Einfluss oder Wert der Entwurfsoptionen zu verstehen (Gane 2012). Hinzu kommt, dass viele Ansätze sehr komplexe Anforderungen haben und somit nicht intuitiv bedienbar sind. Sie setzen deshalb für den Einsatz Expertenwissen voraus, das im frühen Entwurf oft nicht vorhanden ist.

Zusammenfassend lassen sich zwei Punkte hervorheben, die in derzeitigen Ansätzen fehlen:

- der Einsatz des Design Decision Support (DDS) von Beginn an ist nicht möglich,
- die Eingabe kann nur von Fachleuten übernommen werden.

4. Ersatzmodelle

Um einen Einsatz des DDS in frühen Entwurfsphasen auch ohne Fachwissen zu ermöglichen, bietet sich das Arbeiten mit Ersatzmodellen an. Ein aus anderen Bereichen bekannter Ansatz ist die Response Surface Method (RSM). Es gibt aber auch bereits Untersuchungen zum Einsatz der RSM für Gebäude (Chlela et al. 2009).

Der Einsatz der RSM erlaubt die automatische Erstellung von Ersatzmodellen ohne ihre mathematische Struktur zu stören (Geyer und Schlueter, 2014). Dies erleichtert den Planern den Einsatz erheblich.

4.1 Erstellung eines Ersatzmodells

Die Idee der RSM beruht darauf, dass sich Ergebnisse aus einem großen Lösungsraum mithilfe von einzelnen, stichpunktartig generierten Lösungen abbilden lassen. Das heißt, für den Einsatz der RSM müssen bestimmte Punkte vordefiniert werden, die in einem ersten Schritt erzeugt werden müssen.

In diesem Fall wurden die wichtigsten Parameter, die die Geometrie bestimmen, gewählt (siehe Tabelle 1). Diese wurden dann in jeder möglichen Konstellation kombiniert (full-factorial) und

die daraus entstehenden Modelle in EnergyPlus berechnet. Da es sich um den sehr frühen Entwurf handelt, wurde auf exakte Eingaben von Baumaterialien und technische Gebäudeausstattung verzichtet. Es wurden lediglich die Flächen mit den Energiedurchgangsgraden verwendet und damit der nötige Energiebedarf zur Einhaltung einer Zieltemperatur berechnet. Dies erzeugt zwar eine Unschärfe in den Ergebnissen, bietet aber die gewünschte Vergleichbarkeit verschiedener Entwurfsoptionen die zudem schnell zur Verfügung steht. Zur Steuerung der Simulationen und zur Verwaltung der Ergebnisse wurde Matlab eingesetzt (siehe Abbildung 3).

Tabelle 1. Parameter

Parameter	Bereich	Stufengröße	Einheit
Länge (1)	20..50	10	[m]
Breite (2)	12..18	2	[m]
Höhe (3)	5..20	5	[m]
Orientierung (4)	0..270	90	[°]
Verglasungsanteil (6)	30..90	20	[%]

5. Implementierung

Um die Nutzung der Ersatzmodelle im Entwurfprozess darzustellen, wurden zwei Anwendungen implementiert, die im Folgenden näher erläutert werden.

5.1 Collaborative Design Platform | CDP

Ausgehend von den oben genannten Anforderungen wurde im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojektes das Konzept einer digitalen Entwurfsplattform, genannt “CDP | Collaborative Design Platform”, entwickelt und prototypisch umgesetzt. Kern bildet die Anbindung digital berechneter Analysen und Simulationen direkt an etablierte Entwurfswerkzeuge wie Arbeitsmodelle und Handskizzen (Schubert 2011 und 2012).

Technische Grundlage des Projektes ist ein großformatiger multi-touch Tisch mit einer integrierten 3D-Objekterkennung. Mit dessen Hilfe ist es möglich, reale haptische Arbeitsmodelle [1:500] mit interaktiven Komponenten in Echtzeit zu verknüpfen. Um den verschiedenen Anforderungen der Planer und Planungsaufgaben gerecht zu werden, wurde auf eine Plug-In Architektur gesetzt. Mit diesem Framework ist es möglich, Erweiterungen (in C#) an die Plattform zu koppeln und erlaubt somit einen einfachen Zugriff auf Physische Modelle, GIS-Daten und digitale Entwurfswerkzeuge wie Simulationen, Analysen und Berechnungen.

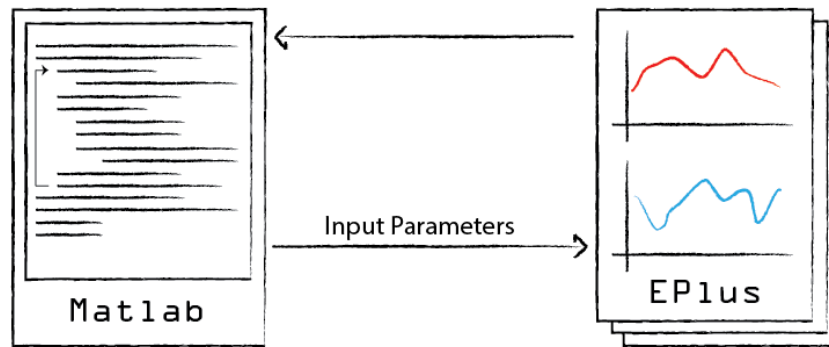


Abbildung 3: Die Erstellung des Ersatzmodells erfolgt in Matlab. Die benötigten Lösungen werden direkt aus Matlab heraus in EnergyPlus berechnet und anschließend in Matlab gesammelt und für das RSM zur Verfügung gestellt.

5.1.1 Case Study

Um die Funktionalität der CDP besser zu verdeutlichen, wurde eine typische Case Study entworfen. Unsere fiktive Aufgabe stellt den Entwurf eines Bürogebäudes im einen urbanen Kontext dar. Der Architekt beginnt sein konzeptionelles Design indem er Blöcke aus Styropor oder ähnlichem schneidet, die die Geometrie seines Gebäudes repräsentieren. Auf dem multi-touch Tisch wird der Plan mit dem Baugrundstück eingeblendet. Der Architekt kann dann in dieser Umgebung nicht nur die Zusammenstellung und die Erscheinung der Massenkörper untersuchen, sondern bekommt zusätzlich den entsprechenden Energieverbrauch des Gebäudes angezeigt.

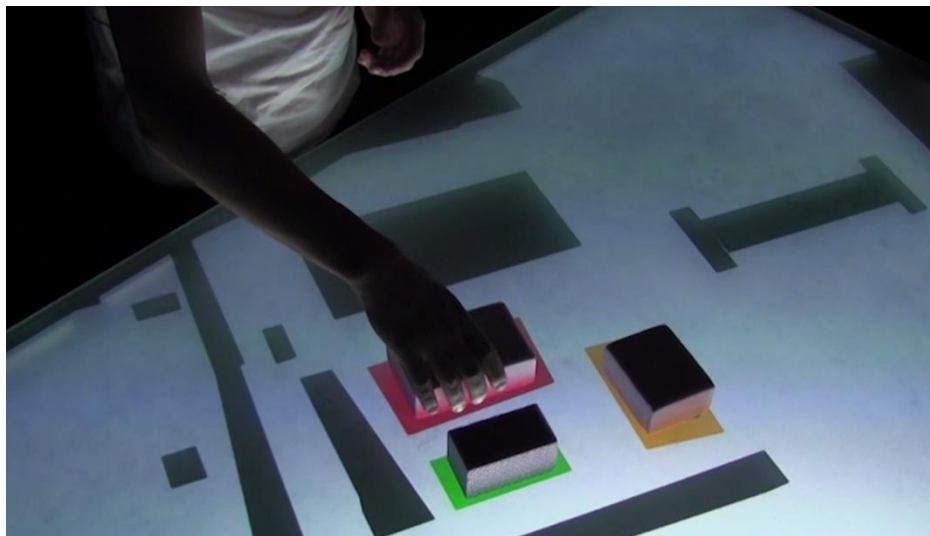


Abbildung 4: Die Arbeit mit der Collaborative Design Platform (CDP). Dem Planer wird es ermöglicht, interaktiv mit physischen Modellen zu arbeiten und bekommt den Energieverbrauch anhand der Geometrie in Echtzeit visualisiert.

5.2 Rhinoceros3D und Grasshopper

Um ein weiteres, in der Architektur weit verbreitetes Werkzeug zu untersuchen, wurde der Ansatz der RSM-basierten Ersatzmodelle auch noch in einem Prototyp auf Grundlage von Rhinoceros3D und Grasshopper implementiert. Dabei handelt es sich um ein CAD-Tool zur

dreidimensionalen Freiformmodellierung (Rhinoceros3D) und ein eigens hierfür erhältliches Plug-In (Grasshopper), dass die Parametrisierung und Auswertung der Geometrie in Rhinoceros3D ermöglicht.

Diese Arbeitsweise hat zwar den Nachteil, dass nicht mehr mit haptischen Modellen gearbeitet wird, bietet aber die Vorteile, dass einfacher Änderungen an der Geometrie vorgenommen werden können und außerdem leichter zusätzliche Informationen eingeblendet oder werden können (siehe Abbildung 5).

6. Erweitertes Szenario

Wurde der vorgestellte Prototyp rein auf Basis einfacher dreidimensionaler Geometrien implementiert, so lassen sich ausgehend von den gegebenen Rahmenbedingungen architektonischer Aufgabenstellungen in frühen Entwurfsphasen auch Szenarien komplexerer Anwendungsfälle beschreiben. Für ein besseres Verständnis sei hier ein solches beispielhaft beschrieben:

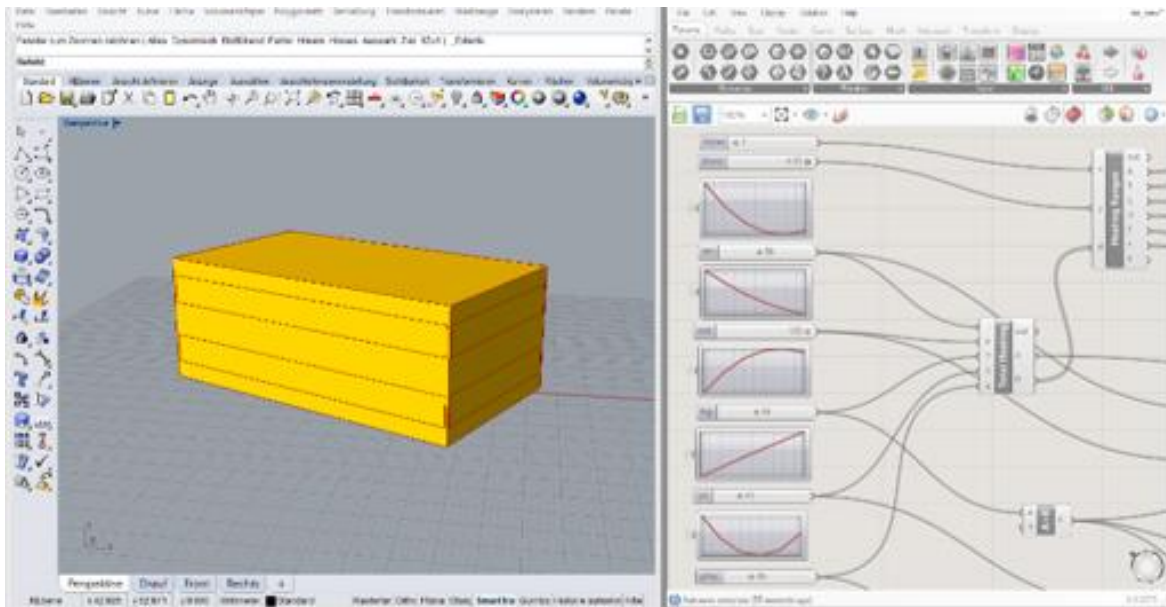


Abbildung 5: Die Implementierung in Rhinoceros 3D – Auf der linken Seite ist die aktuelle Geometrie zu erkennen, die sowohl den Verglasungsanteil als auch den aktuellen Energieverbrauch (durch Einfärbung in grün = gut bis rot = schlecht) visualisiert. Zudem lässt sich in Grasshopper (rechts) sehr leicht Einfluss auf die Parameter nehmen. Außerdem wird über jedem Parameterregler ein Verlauf des Einflusses auf die Performanz des Gebäudes gezeigt.

Entwurfsaufgabe stellt eine städtebauliche Masterplanung eines ehemaligen Fabrikgeländes dar. Neben der Erfüllung der räumlichen Anforderungen (Schaffung von 120 Wohnungen zwischen 50 und 150 qm, öffentlichen Bereichen sowie Grünflächen) stellt das vorgeschlagene Energiekonzept einen weiteren entscheidenden Faktor bei der Beurteilung der Entwürfe dar. Relevante Einflussfaktoren sind hierbei vor allem folgende Punkte:

- Anordnung der Gebäude zueinander und somit gegenseitige Verschattung / jeweilige Sonneneinstrahlung
- Ausrichtung der Gebäude
- Gebäudeform und somit Selbstverschattung

Mit herkömmlichen Mitteln ist es in frühen Entwurfsphasen nur bedingt möglich, objektive Faktoren der gestellten Anforderungen zu berechnen bzw. stets im Auge zu behalten.

6.1 Problematik

Ein großes Problem bei der bisherigen Vorgehensweise ist, dass die Verwendung der RSM nur fließende Übergänge abbildet. Damit sind keine sprunghaften Veränderungen möglich, die aber durchaus auftreten können. Beispiele hierfür wären:

- Grundlegend verschiedene Gebäudegeometrien, wie T-, H-, L-förmige Grundrisse,
- das Hinzufügen eines Stockwerkes bei höher werdendem Gebäude und
- der Einsatz von außenliegender Verschattung bei wachsender Verglasungsfläche.

Dies führt dazu, dass bei dem erweiterten Szenario eine Kombination mehrerer RSM-Modelle notwendig wird. Damit wird aber die Durchsuchung des Design Spaces deutlich komplizierter. Der Planer müsste sich damit entweder auf ein RSM-Modell festlegen, sie nacheinander auf eine Geometrie anwenden und vergleichen. Eine weitere Lösung wäre das Übereinanderlegen verschiedener Modelle in einer Ansicht, allerdings gibt es hierbei ein Problem bei der Übersichtlichkeit und hindert somit die intuitive Arbeitsweise, die in diesem Stadium des Entwurfs nötig ist.

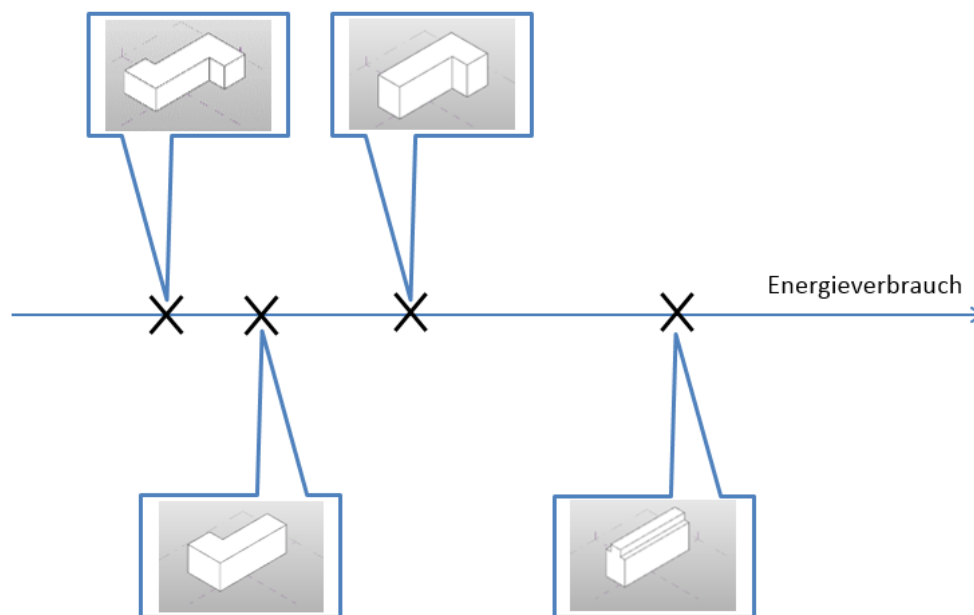


Abbildung 6: Die verschiedenen Geometrien erzeugen unterschiedliche, berechnete Ergebnisse. Allerdings kann ein „schlechterer“ Entwurf in anderen, „architektonischen“ Aspekten besser sein und muss somit mit betrachtet werden.

7. Fazit und Ausblick

Mit dem vorgestellten Ansatz wurde gezeigt, dass es möglich ist, die frühen Entwurfsphasen mit Simulationen zum energetischen Gebäudeentwurf zu unterstützen. Mithilfe der Response Surface Method (RSM) können simulationsbasierte Ergebnisse in Echtzeit in den Entwurf

integriert werden. Die prototypische Entwicklung auf der Collaborative Design Platform (CDP) sowie in Rhinoceros3D und Grasshopper haben dies gezeigt.

In weiteren Schritten soll die Erzeugung der Ersatzmodelle weiter automatisiert werden und die Position und damit beispielsweise die Verschattung von umliegenden Gebäuden mit berücksichtigen. Dies wird die Bereitstellung von weiteren Parametern nach sich ziehen und damit in einer längeren Berechnungszeit münden. Allerdings wird dies auch die Qualität des Ersatzmodells deutlich erhöhen und einen besseren Vergleich der verschiedenen Optionen in der aktuellen Entwurfsaufgabe ermöglichen. Es sollen in Zukunft komplexere Aufgabenstellungen mit abgebildet werden können. Außerdem bietet sich an, weitere Analysen, wie sie beispielsweise in Ritter (2012) zur Erzeugung eines Stahltragwerks mit daraus resultierenden Kosten und grauer Energie vorgestellt wurden, mit in die Oberflächen zu integrieren.

Quellen

- Chlela F, Husaunndee A, Inard C (2009): A new methodology for the design of low energy buildings, *Energy and Buildings* 41(9), pp. 982-990.
- Dubberly, H. (2008). *How do you design?*, San Francisco, Calif.
- Gane, Victor, and John Haymaker. 2012. "Design Scenarios: Enabling transparent parametric design spaces." *Advanced Engineering Informatics*, 26(3), 618–40.
- Geyer P, Schlüter A (2014): Automated Metamodel Generation for Design Space Exploration and Decision-Making – A Novel Method Supporting Performance-Oriented Building Design and Retrofitting, *Applied Energy* 119, pp. 537-556, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.12.064>.
- Green Building Studio (2013). Autodesk Inc., Available at: <http://www.autodesk.com/products/green-building-studio/overview>.
- Hopfe, C. J., Struck, C., Ulukavak Harputlugil, G., Hensen, J., & Wilde, P. d. (2005). "Exploration of using building performance simulation tools for conceptual building design". Proceedings of the IBPSA-NVL conference, 20 October, Delft: Technische Universiteit Delft.
- Rittel, H.W.J. and Reuter, W.D. (1992). *Planen, Entwerfen, Design: Ausgewählte Schriften zu Theorie und Methodik*, W. Kohlhammer, Stuttgart.
- Ritter, F., Li, H. (2012). "An early design tool for sustainable steel and steel composite structures under the use of a Genetic Algorithm." In: Proc. des 23. Forum Bauinformatik, 2012, Bochum.
- Schlueter A., und Thesseling F. (2009). Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages, *Automation in Construction*, 18(2), 153–163.
- Schubert, G., Artinger, E., Petzold, F. und Klinker, G. (2011). „Bridging the Gap: A (Collaborative) Design Platform for early design stages." In: *Respecting fragile places: Proceedings of the 29th Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe*. Bd. 29, hrsg. von Tadeja Zupančič-Strojan, Matevž Juvančič, Špela Verovšek und Anja Jutraž, 187-193. Brussels, Ljubljana: eCAADe, Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe; Faculty of Architecture.
- Schubert, G., Artinger, E., Yanev, V., Petzold, F. und Klinker, G. (2012). „3D Virtuality Sketching: Interactive 3D-sketching based on real models in a virtual scene." In: *Proceedings of the 32nd Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA): Synthetic Digital Technologies*. Bd. 32, hrsg. von Mark Johnson Jason Kelly Cabrinha und Kyle Steinfeld, 409–418. San Francisco: The Printing House Inc, WI.