

## Generative Solar Design

Quellen Nr. 1, 2 und 3

Säulen Nr. 1, 2 und 3

Wolkenbügel Nr. 1, 2 und 3  
© 2009 Wolfgang Höhl, München

### TAGESLICHTPLANUNG

#### LICHTRÄUME, SCHATTENKÖRPER UND DYNAMISCHE SONNENSTANDSSIMULATION

Wenn das Sonnenlicht selbstständig Räume gestalten könnte – wie könnten diese aussehen? Wären es amorphe Lichträume und fließende Schattenkörper? Zu entdecken gilt es neue Möglichkeiten der dynamischen Sonnenstands- und Fluidsimulation. Die Thematik ist nicht neu. Räumlich-grafische Verfahren zur Tageslichtplanung gehören seit langem zum Repertoire moderner Architektur. Neu sind hingegen die Möglichkeiten, diese Verfahren mit freier Software zu interpretieren und im generativen Architekturentwurf zu nutzen.

von Wolfgang Höhl

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Umsetzung räumlich-grafischer Verfahren zur Sonnenstandssimulation mit den freien Softwarepaketen Blender 2.48a und GIMP 2.6.2. Angewendet wird dabei ein Mix aus drei verschiedenen Techniken: Scripting mit Python, Texture Baking und dynamische Fluidsimulation.

In den ersten vier Abschnitten werden folgende Fragen ausführlich behandelt: Welche Hardware und welche Software brauche ich? Welche Verfahren zur Tageslichtplanung gibt es? Wie funktioniert ein Setup für „Generative Solar Design“ mit Open-Source-Software? Wie lassen sich die Baumassen nach Besonnung und Verschattung optimieren? Am Beispiel eines realen Bauplatzes werden konkrete Lösungsansätze formuliert. Eine abschließende Zusammenfassung zeigt weitere interessante und hoch aktuelle Forschungsansätze und Perspektiven in der Tageslichtplanung.

#### WELCHE HARDWARE UND SOFTWARE BRAUCHE ICH?

Alle Ergebnisse in dieser Arbeit wurden mit nachfolgend angegebener Hard- und Softwarekonfiguration erzielt. Denkbar wären aber auch andere Betriebssysteme wie Microsoft Windows XP oder MacOS oder ähnlich leistungsfähige Hardware.

#### WELCHE VERFAHREN ZUR TAGESLICHTPLANUNG GIBT ES?

Licht, Luft, Sonne! Das waren, unter anderen, die drei zentralen Forderungen der klassischen Moderne. Es gibt bis heute mehrere gebräuchliche Verfahren zur Tageslichtplanung und sehr viele hervorragende realisierte Beispiele zum solar optimierten Architekturentwurf. Haas-Arndt und Ranft nennen sieben Verfahren zur professionellen Tageslichtplanung: rechnerische Verfahren, grafische Schattenkonstruktionen, die grafische Bestimmung des Tageslichtquotienten, Messungen mit Horizontoskop und Sonnenstandsdiagramm, Simulationen am realen

Software	Blender 2.48 a GIMP 2.6.2 Yaf(aray 0.1.0 (optional))
Pythonscripts	sun_gui-D.py quantitybill.py
Betriebssystem	Ubuntu 8.10 (Intrepid Ibex) Kernel Linux 2.6.27-11-generic GNOME 2.24.1
Hardware	Hewlett Packard HP 6735 b
Prozessor	AMD Turion X2 Dual Core Mobile RM-72
Arbeitsspeicher	2048 MB RAM
Grafikkarte	512 MB ATI HD 3200
Harddisk	250 GB
Anzeigesystem	15,4" WXGA Widescreen matt

Modell, Computersimulationen und die fotometrische und physikalische Lichtmessung.<sup>1</sup> Betrachtet werden in diesem Beitrag lediglich grafische Schattenkonstruktionen, Messungen mit dem Horizontoskop und Computersimulationen.

Schon um 1931 entwickelte Alexander Klein neben anderen Analysemethoden ein grafisches Verfahren zur Bestim- → 10



Fortsetzung von Seite 9  
mung der Beson-  
nung im Tages- und  
Jahresverlauf. Es  
ermöglichte ihm,  
verschiedene Grundrissva-  
rianten besser zu beurteilen  
und eine optimal besonnte  
Alternative auszuwählen. 1934  
erscheint sein Buch „Der Süd-  
typ: Das Einfamilienhaus mit  
Südorientierung“.

„In diesem Buch formu-  
liert er die wesentlichen, noch  
heute gültigen Prinzipien  
des solaren Bauens – Süd-  
orientierung, Zonierung in  
unterschiedlich temperierte  
Bereiche, Maximierung der  
sonnenzugewandten Flächen  
und Minimierung der Außen-  
oberfläche zur Vermeidung  
von Wärmeverlusten.“<sup>2</sup>

Konsequent gestaltet er seinen Gebäudeentwurf nach den  
Erkenntnissen seiner Besonnungs- und Verschattungsanalysen.

Auch für Roland Rainer war die Besonnung immer ein zentrales  
Planungselement. Er nutzte grafische Schattenkonstruktionen  
zum Beispiel zur Darstellung der Besonnungszeiten eines  
Grundstücks abhängig von der Orientierung der Gebäudezeile.

Hannes Meyer verdeutlicht diesen interessanten Planungs-  
ansatz in seinen Thesen:

„... wir errechnen die Sonneneinfallswinkel im Jahreslauf  
und bezogen auf den Breitengrad des Baugeländes, und wir  
konstruieren danach den schattenschirm des Hauses im Gar-  
ten und den sonnenlichtfächer des Fensters im Schlafzimmer.  
Wir errechnen die Tageslichtbeleuchtung der Arbeitsfläche im  
Innenraum, ...: der Hauskörper ist bei uns ein Akkumulator der  
sonnenwärme.“<sup>3</sup>

1952 gründete der Architekt Friedrich Tonne das Institut  
für Tageslichttechnik in Stuttgart und entwickelte das Horizont-  
oskop. Das Horizontoskop ist ein grafisch-optisches Instru-  
ment zur Bestimmung der Dauer der Besonnung beziehungswei-  
se der Verschattung von vorgegebenen Orten. Es unterstützt die  
Tageslichtplanung bei Neubauten und Verbesserungen bei be-  
stehenden Gebäuden. Stereografische Sonnenstandsdiagramme  
erlauben die Bestimmung der Sonnenstandsposition für jeden  
beliebigen Zeitpunkt für einen konkret vorgegebenen Ort. Über  
ein fotografisches Verfahren kann die Dauer der Besonnung und  
der Verschattung von konkreten Orten bestimmt werden. Der  
Vorteil des Instruments liegt in seinem relativ einfachen Setup  
und seiner guten Nutzbarkeit im Innen- und im Außenraum.

Auch die japanische Baugesetzgebung nutzt räumlich-gra-  
fische Verfahren im Baugenehmigungsverfahren. Die sogenann-  
te „Set-Back-Line“ regelt die Baukörperform nach Besonnung  
und Verschattung in dicht bebauten Gebieten.

Der japanische Architekt Makoto Sei Watanabe entwickelte  
eines der ersten generativen Verfahren für den Architekturen-  
wurf. Das Sonnenlicht moduliert dabei Form und Dichte der Be-  
bauung. Ab 1995 entstanden die generativen Computermodelle  
der „City of the Sun God“ und der „Sun God City 2“.

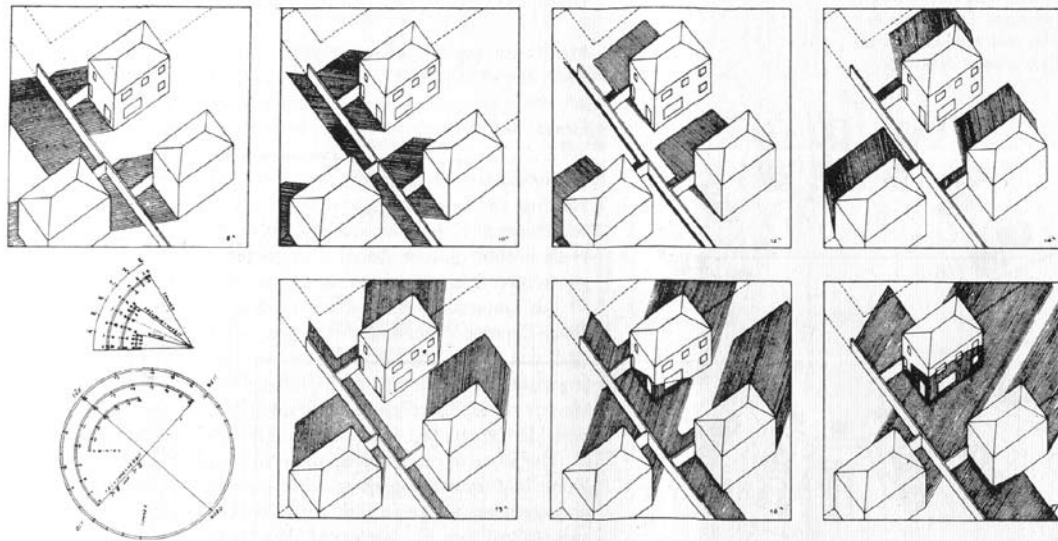
1996 präsentiert Ernst J. Fuchs (the next Enterprise – archi-  
tects, Wien) einen der ersten computergestützten, autokataly-  
tischen Architekturenwürfe. Für ein Grundstück in Zirl in Tirol  
entwickelt er aus der konkreten Besonnungssituation eine  
räumliche Struktur für ein Einfamilienhaus. Wie ein „räumliches  
Datenfeld“ initiieren Verschattung und Besonnung einen  
generativen Prozess, der die finale Gebäudeform entwickelt.  
Nach einigen automatisierten Programmschleifen entwickelt sich  
ein vielfältig gegliedertes Gebäude auf hohen Stützpfählern  
über dem Bauplatz.<sup>4</sup>

**WIE FUNKTIONIERT EIN SETUP FÜR „GENERATIVE SOLAR DESIGN“ MIT OPEN-SOURCE-SOFTWARE?**

Blender bietet viele Möglichkeiten für die Architekturvisualisierung.  
Mit Blender sind nicht nur klassische Visualisierungen und  
Animationen möglich. Auch komplexe interaktive 3-D-  
Walk-Throughs und einfache Games können Sie mit Blender  
sehr unkompliziert gestalten.<sup>5</sup>

Mit vielen sogenannten Pythonscripts können Sie den her-  
kömmlichen Funktionsumfang von Blender sehr rasch erwei-  
tern. Wenn Sie ein generatives Setup für die solare Gestaltung  
erstellen möchten, brauchen Sie zwei zusätzliche Skripte: eines  
zur Sonnenstandssimulation (sun\_gui-D.py) und ein weiteres,  
um Flächen und Volumina messen und festhalten zu können  
(quantitybill.py). Sie finden diese Skripte in den Foren von www.  
blender.org. Der Gebrauch der 3-D-Software Blender ist relativ  
komfortabel. Blender steht als freies Softwarepaket zum Down-  
load für die gebräuchlichsten Betriebssysteme zur Verfügung.

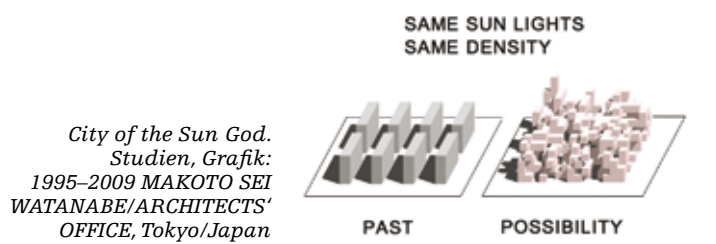
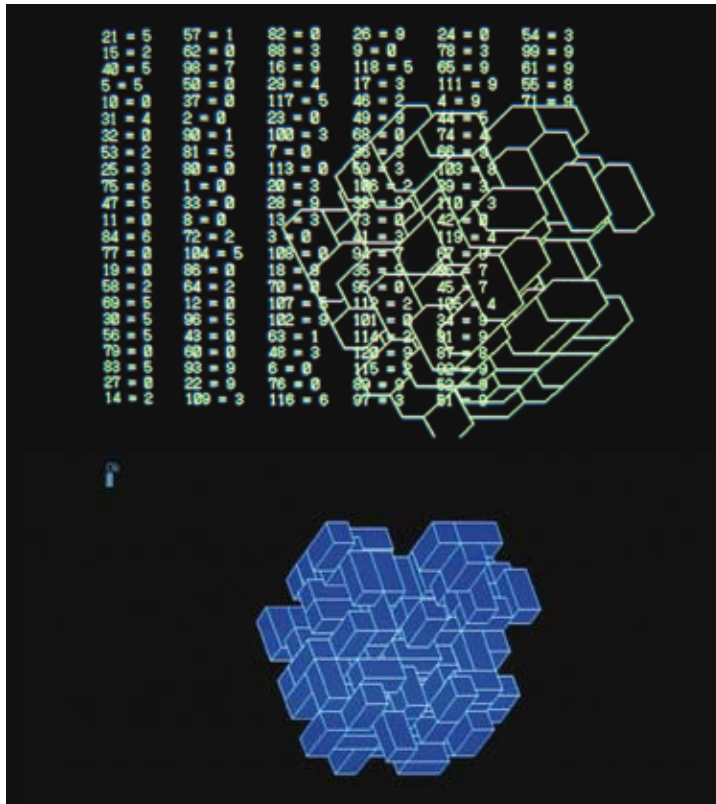
Öffnen Sie Blender und importieren Sie ein beliebiges 3-D-  
Baumassenmodell aus Ihrer standardmäßigen Architektur-  
anwendung. Laden Sie das Pythonscript sun\_gui-D.py Ihrer  
Blenderdatei hinzu und folgen Sie im Setup den Anweisungen  
des genannten Pythonscripts. Damit hätten Sie die Grundbe-  
standteile für ein Solar Setup schon beisammen. Wenn Sie nun  
eine bestimmte Tageszeit eingeben, können Sie mit dem Ani-  
mationsbutton jeden Sonnenstand zu jedem beliebigen Ort und  
zu jeder Zeit auf der Welt simulieren. Ein wertvoller Link im



Grafische Besonnungsanalysen von Alexander Klein; aus: KLEIN, Alexander: Der Südtyp: Das Einfamilienhaus mit Südorientierung, Stuttgart 1934. In: OSWALT, Philipp, REXROTH, Susanne (Hrsg.): Wohlt temperierte Architektur – Neue Techniken des energiesparenden Bauens. Verlag C. F. Müller, Heidelberg 1995, S. 53



Horizontoskop und Sonnenstandsdiagramm. Foto: 2009 Institut für Tageslichttechnik, Stuttgart



City of the Sun God. Studien, Grafik: 1995–2009 MAKOTO SEI WATANABE/ARCHITECTS' OFFICE, Tokyo/Japan

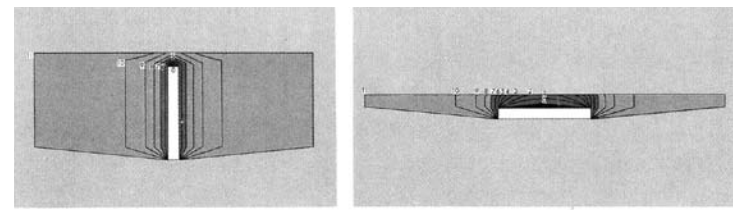
Pythonscript hilft Ihnen, den korrekten Längen- und Breiten-  
grad zu bestimmen. Sie können das Ergebnis über den internen  
Renderer oder auch über Yaf(a)ray als Bild ausgeben.

In welcher Reihenfolge können Sie nun vorgehen? Der gene-  
rative Architekturenwurf ist eine offene, zyklische Optimie-  
rungsschleife. Sie schaffen technische Rahmenbedingungen  
und generieren danach Formen. Aus der ersten Generation die-  
ser Formen wählen Sie die am meisten geeignete aus und ent-  
wickeln sie weiter, indem Sie die Optimierungsschleife wieder-  
holen. Wie sieht das nun konkret aus?

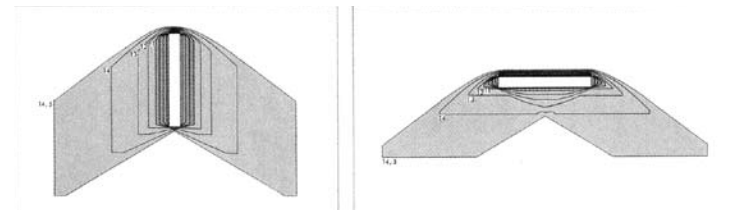
**WIE LASSEN SICH DIE BAUMASSEN NACH DER BESONNUNG OPTIMIEREN?**

Schaffen Sie zunächst die Rahmenbedingungen und legen Sie  
den maximalen Raum fest, in dem sich Ihr Entwurf entwickeln  
kann. Lassen Sie danach automatisch Formen generieren. Prü-  
fen Sie diese Formen nach Besonnung und Verschattung und  
wiederholen Sie die Prozedur, bis die optimale Form gefun-  
den ist. Dieser Prozess wird im Folgenden in zehn Schritten dar-  
gestellt:

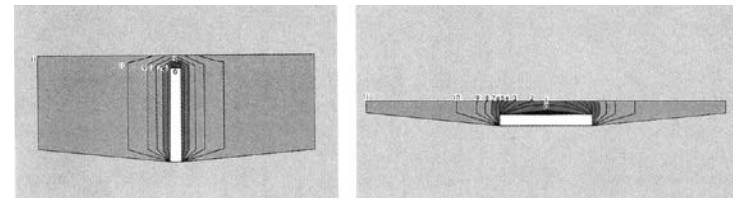
- Darstellen der Situation. Nachbargebäude und Bepflanzung
- Berechnen der Verschattung des Grundstücks



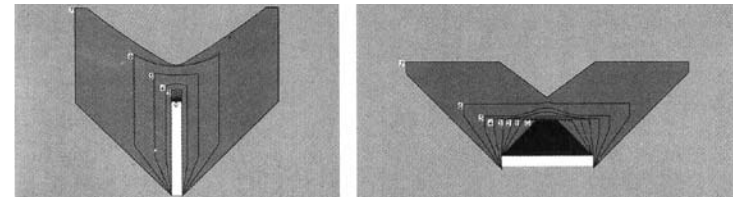
Am 21. März



Am 21. Juni



Am 23. September



Am 21. Dezember

Besonnungszeiten in Stunden  
auf 48° nördlicher Breite

- nicht besonnt
- 0–7 Stunden besonnt
- 7–11
- 11–14,5
- mehr als 14,5 Stunden besonnt

- Modellieren der Schattenkörper
- Festlegen des Umfangs der Bebaubarkeit
- Darstellen von Baumasse, Baugrenze und maximalem Lichtraum
- Generativer Entwurf innerhalb der optimal besonnten Baumasse
- Formtypen, Auswahl und Weiterentwicklung der besten Form
- Neuerliche Prüfung von Verschattung und Besonnung
- Remodeling von Schattenkörper und Baumasse
- Wiederholung der Optimierungsschleife bis zum finalen Rendering

**OPTIMIERUNG DER BEBAUUNG NACH BESONNUNG UND VERSCHATTUNG**

**1. Darstellen der Situation. Nachbargebäude und Bepflanzung**

Wie dieser Prozess funktioniert, erfahren Sie an dem nun fol-  
genden Beispiel. Der konkrete Bauplatz befindet sich nahe am  
Starnberger See, zirka 30 km südwestlich von München. Das  
Grundstück liegt am Rande einer dörflich gewachsenen Sied-  
lungsstruktur. Die Umgebung besteht aus Einfamilienhäusern,  
gebaut in den vergangenen vier Jahrzehnten. Das Grundstück  
ähnelt einer langgestreckten Raute. Die längeren Seiten liegen  
nach Westen und Osten. An diesen beiden Seiten schließen auch  
die Nachbargrundstücke mit ihrer Bebauung oder zum Teil mit  
hohen Hecken an. An der kurzen Nordseite liegt die Erschlie-  
ßungsstraße, nach Süden grenzen einige Bäume und Büsche  
das Grundstück von einer anderen Anrainerstraße ab.

**2. Berechnen der Verschattung des Grundstücks**

Berechnen Sie nun die Verschattung des Grundstücks (stündlich  
von z. B. 06:00 – 18:00 Uhr) zu drei verschiedenen Terminen: am  
22.06. (Sommer), 21.03./23.09. (Frühling/Herbst) und am 22.12.  
(Winter). Schaffen Sie dafür drei neue Blenderdateien. Stellen  
Sie im Dialogfeld des Pythonscripts sun\_gui-D.py die Werte ent-  
sprechend ein und speichern Sie die Dateien getrennt voneinan-  
der. Öffnen Sie nun eine Datei nach der anderen und lassen Sie  
die Verschattung zu einem konkreten Termin berechnen.

Gehen Sie dabei stundenweise vor. „Backen“ Sie jeden Schat-  
tenverlauf mit „Texture Bake“ auf das Grundstückspolygon.  
Sie erhalten so zu jedem der drei Termine 13 Bilder als Texture  
Bakes vom Grundstück. Exportieren Sie diese Bilder in einem  
Standardgrafikformat. In einem geeigneten Bildbearbeitungs-  
programm (z. B.: GIMP) können Sie diese Texture Bakes nun als  
Ebenen aufeinanderlegen und zu einem Gesamttagesbild ver-  
schmelzen. Projizieren Sie anschließend dieses Gesamttagesbild  
wieder auf Ihr Grundstück in Ihrer Blenderdatei. Damit erhalten  
Sie drei Schattenbilder für die entscheidenden Schlüsseltermine  
im Frühjahr/Herbst, Sommer und Winter. Danach modellieren Sie  
die zugehörigen Schattenkörper zu jedem Termin.

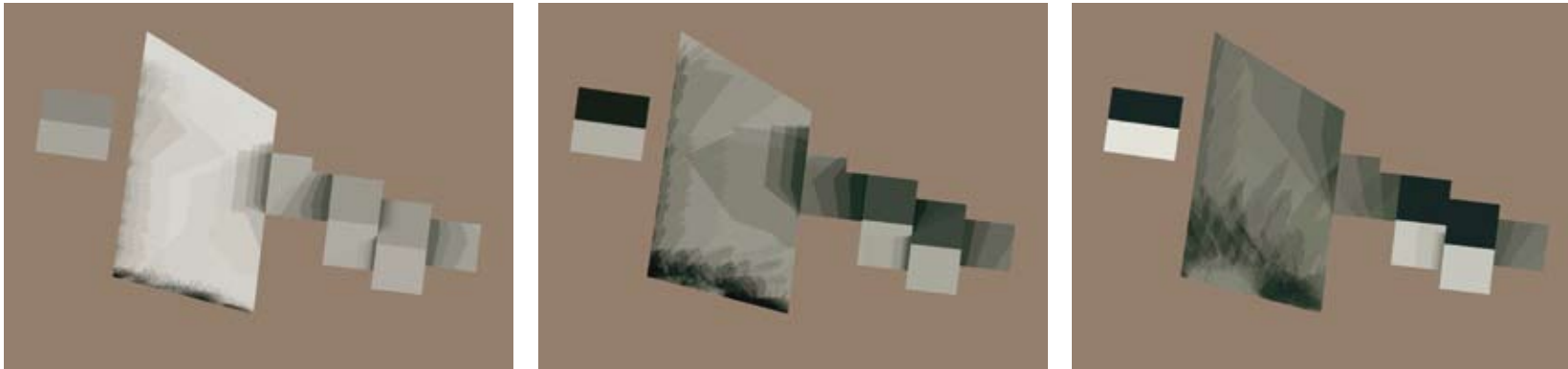
**3. Modellieren der Schattenkörper**

Wählen Sie eine geeignete Modellierungstechnik (z. B.: Face  
Extrude, Poly-by-Poly Modeling), um nun die Schattenkörper  
nach dem vorgegebenen Umgebungsmodell und den zugehö-

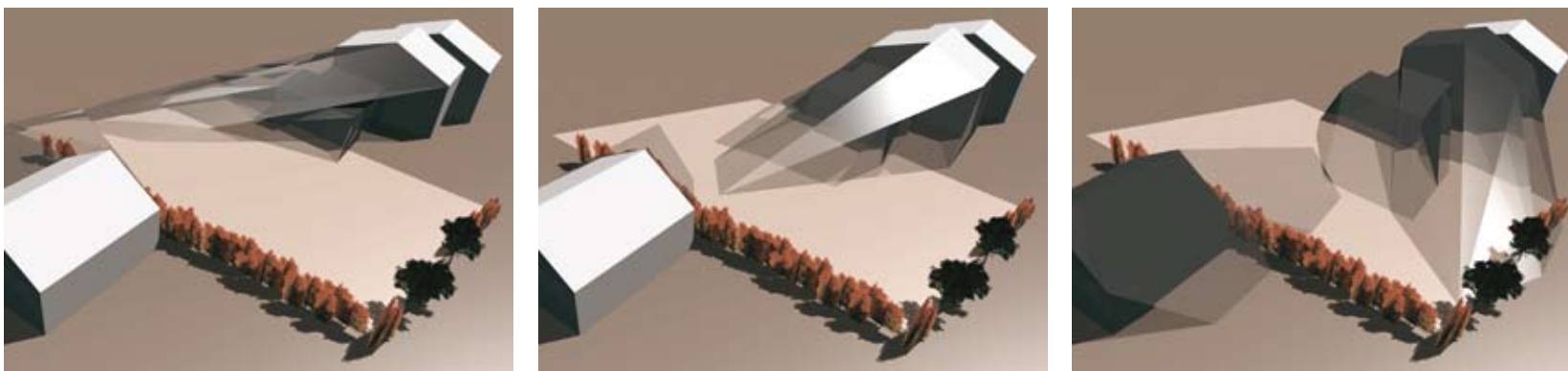




Situation mit Nachbargebäuden und Bepflanzung.  
Grafik: 2009 Wolfgang Höhl, München



Verschattung des Grundstücks am 22. Juni (Sommer)  
Verschattung des Grundstücks am 21. März/23. September (Frühling/Herbst)  
Verschattung des Grundstücks am 22. Dezember (Winter)



Modellieren der Schattenkörper nach Umgebung und Schattenbild

Schattenkörper im Gesamtjahr



Maximal zulässiges Volumen nach GFZ und GRZ = 634,48 m<sup>3</sup>

Maximales Volumen nach Abstandsflächen = 1934,03 m<sup>3</sup>

Maximales Volumen abzüglich Schattenkörper = 1490,94 m<sup>3</sup>

Optimierter maximaler Lichtraum = 1066,03 m<sup>3</sup>

rigen Schattenbildern zu modellieren. Das kann einige Zeit in Anspruch nehmen. Der Aufwand lohnt sich aber.

#### 4. Festlegen des Umfangs der Bebaubarkeit

Berechnen Sie nun das Maß der baulichen Nutzung.

Grundstücksgröße	604,25 m <sup>2</sup>
Geschoßflächenzahl (GFZ)	0,30
Maß der baulichen Nutzung	181,28 m <sup>2</sup>
Grundflächenzahl (GRZ)	0,20
Maximal zulässige Grundfläche	120,85 m <sup>2</sup>
Bruttogeschoßhöhe	3,50 m
Maximale Gebäudehöhe (2 Geschoße)	7,00 m
Maximal zulässiges Volumen	634,48 m <sup>3</sup>

#### 5. Darstellen von Baumasse, Baugrenze und maximalem Lichtraum

Der kleine Quader im ersten Bild entspricht dem maximal zulässigen Volumen von 634,48 m<sup>3</sup> auf der maximal zulässigen Grundfläche von 120,85 m<sup>2</sup>. Das zweite Bild stellt das größtmögliche Volumen über der maximal bebaubaren Fläche unter Berücksichtigung der notwendigen Abstandsflächen dar. Verschneiden Sie nun das größtmögliche Volumen nach Abstandsflächen mit den von Ihnen konstruierten Schattenkörpern. Der Restkörper, den Sie dadurch erhalten, ergibt den größtmöglichen Umräum, in dem sich Ihr Entwurf nun entfalten kann (maximaler Lichtraum). Das Volumen beträgt 1.490,94 m<sup>3</sup>. Diesen maximalen Lichtraum können Sie so modifizieren, dass Sie ein optimales Verhältnis von Oberfläche zu Volumen erhalten. Nutzen Sie dazu zum Beispiel einen Subsurf Modifier. Das optimierte Volumen nach dieser Prozedur beträgt nun 1.066,03 m<sup>3</sup>. Das ist unser Volumen, in dem sich Ihr Entwurf entwickeln kann. Füllen Sie im nächsten Schritt das Volumen des optimierten maximalen Lichtraumes mit Flüssigkeit.

#### 6. Generativer Entwurf innerhalb der optimal besonnenen Baumasse

Finden Sie nun die endgültige Lage und die Form Ihres Baukörpers. Füllen Sie dazu den optimierten maximalen Lichtraum mit Flüssigkeit. Begrenzen Sie das mögliche Füllungsvolumen

auf die maximal erlaubten 635 m<sup>3</sup>. Die Werkzeuge zur Fluidsimulation bieten eine Menge an Variablen und Einstellungsmöglichkeiten. Wählen Sie eine geeignete Konfiguration aus, um den optimierten maximalen Lichtraum zu füllen. Experimentieren Sie mit verschiedenen Setups und generieren Sie auf diese Weise unterschiedlichste Formen.

#### 7. Formtypen, Auswahl und Weiterentwicklung der besten Form

Abhängig von der experimentellen Anordnung können nun verschiedene Formtypen entstehen: In diesem Fall entwickelten sich „Quellen“, „Säulen“ und „Wolkenbügel“. Prüfen Sie diese Formen (z. B. nach der Verschattung) und wählen Sie die am meisten geeignete Form aus.

#### 8. Neuerliche Prüfung von Verschattung und Besonnung

In diesem Fall habe ich mich für den generativen Entwurf „Wolkenbügel Nr. 3“ entschieden. Sie hat ein Volumen von 479,95 m<sup>3</sup>. Wenn Sie mögen, können Sie weitere Parameter zur Auswahl der optimalen Form frei wählen. Beispielsweise können sich räumlich zusammenhängende Formen besser eignen als disperse. Danach können Sie die Optimierungsschleife wiederholen: Prüfen Sie Besonnung und Verschattung und gestalten Sie den Baukörper neu.

#### 9. Remodeling von Schattenkörper und Baumasse

Das Remodeling ist in diesem Beitrag nicht explizit dargestellt. Starten Sie einfach den Prozess erneut und wiederholen Sie die Optimierungsschleife, bis Sie die optimale Form gefunden haben.

#### 10. Wiederholung der Optimierungsschleife bis zum finalen Rendering

#### WEITERE FORSCHUNGSANSÄTZE UND PERSPEKTIVEN

Sehr zufrieden kann man mit dem Gesamtverhalten des Systems sein. Die Ergebnisse sind im Entwurf sehr gut anwendbar. Der Datenaustausch zu anderer Standardsoftware funktioniert sehr gut.

Die Pythonscripts funktionierten einwandfrei. Abhängig vom verwendeten Betriebssystem und der verwendeten Blenderversion gab es geringe Unterschiede in der Performance.

Das Erstellen der Verschattungsbilder mittels Texture Baking funktioniert sehr gut, genauso wie die Montage der Ein-

zelbilder mit GIMP und der Wiederimport der Grafiken als UV-Textures. Das Vorgehen ist hier zeitlich noch sehr umfangreich und kann bestimmt an vielen Stellen über geeignete Scripts noch automatisiert werden.

Die Wege zur automatisierten Formgenerierung der Schattenkörper müssen ausgebaut und verbessert werden. Momentan ist hier vorwiegend der Nutzer des Systems gefragt.

Die Werkzeuge zur Fluidsimulation verhielten sich stabil, die Anwendung ist relativ einfach. Etwas umständlich bleibt allerdings noch die Volumensbegrenzung mittels des Pythonscripts quantitybil.py. Zukünftig wird zu testen sein, ob nicht andere Werkzeuge wie zum Beispiel Partikelsysteme bessere, schnellere und genauere Ergebnisse liefern können. Gerade in Hinblick auf die Entwicklung von konstruktiv relevanten und statisch wirksamen Baukörperformen könnte das interessante Wege aufzeigen.

Sehr erfolgreich verliefen auch hier nicht näher bezeichnete Versuche, die Verschattungsberechnung geschoßbezogen in kleineren Einheiten zu wiederholen und den Baukörper dementsprechend zu remodellieren.

Computersimulationen bilden in diesem Bereich ein wertvolles Werkzeug, mit dem unsere Häuser tatsächlich zu Akkumulatoren der Sonnenwärme werden können.

<sup>1</sup> HAAS-ARNDT, D., RANFT, F.: Tageslichttechnik in Gebäuden. Energieagentur NRW (Hrsg.), Verlag C. F. Müller, Heidelberg 2007, S. 33 – 37

<sup>2</sup> WARHAFTIG, Myra, REXROTH, Susanne, OSWALT, Philipp: Gebäudeklimatische Studien von A. Klein. in: OSWALT, Philipp, REXROTH, Susanne (Hrsg.): Wohltemperierte Architektur – Neue Techniken des energiesparenden Bauens. Verlag C. F. Müller, Heidelberg 1995, S. 53

<sup>3</sup> MEYER, Hannes: bauen, in: bauhaus, 2. Jg., Nr. 4 in: CONRADS, Ulrich: Programme und Manifeste zur Architektur des 20. Jahrhunderts Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH., Braunschweig 198, S. 110 – 111

<sup>4</sup> HÖHL, Wolfgang: Why MU? Extended Play Column, in: ARCH'IT – rivista digitale di architettura, iMage, Firenze 1999, [http://architettura.supereva.com/extended/19990801/index\\_en.htm](http://architettura.supereva.com/extended/19990801/index_en.htm)

<sup>5</sup> HÖHL, Wolfgang: Interaktive Ambiente mit Open-Source-Software 3D-Walk-Throughs und Augmented Reality für Architekten mit Blender 2.43, DART 3.0 und ARToolKit 2.72 SpringerWienNewYork 2009