

Thomas Jocher, Jakub Pakula, Diego Romero

LUX – natürliche Ressource in Stadt und Haus

F 3169

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2019

ISBN 978-3-7388-0407-2

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung

LUX - natürliche Ressource in Stadt und Haus

Stand: 19.07.2018



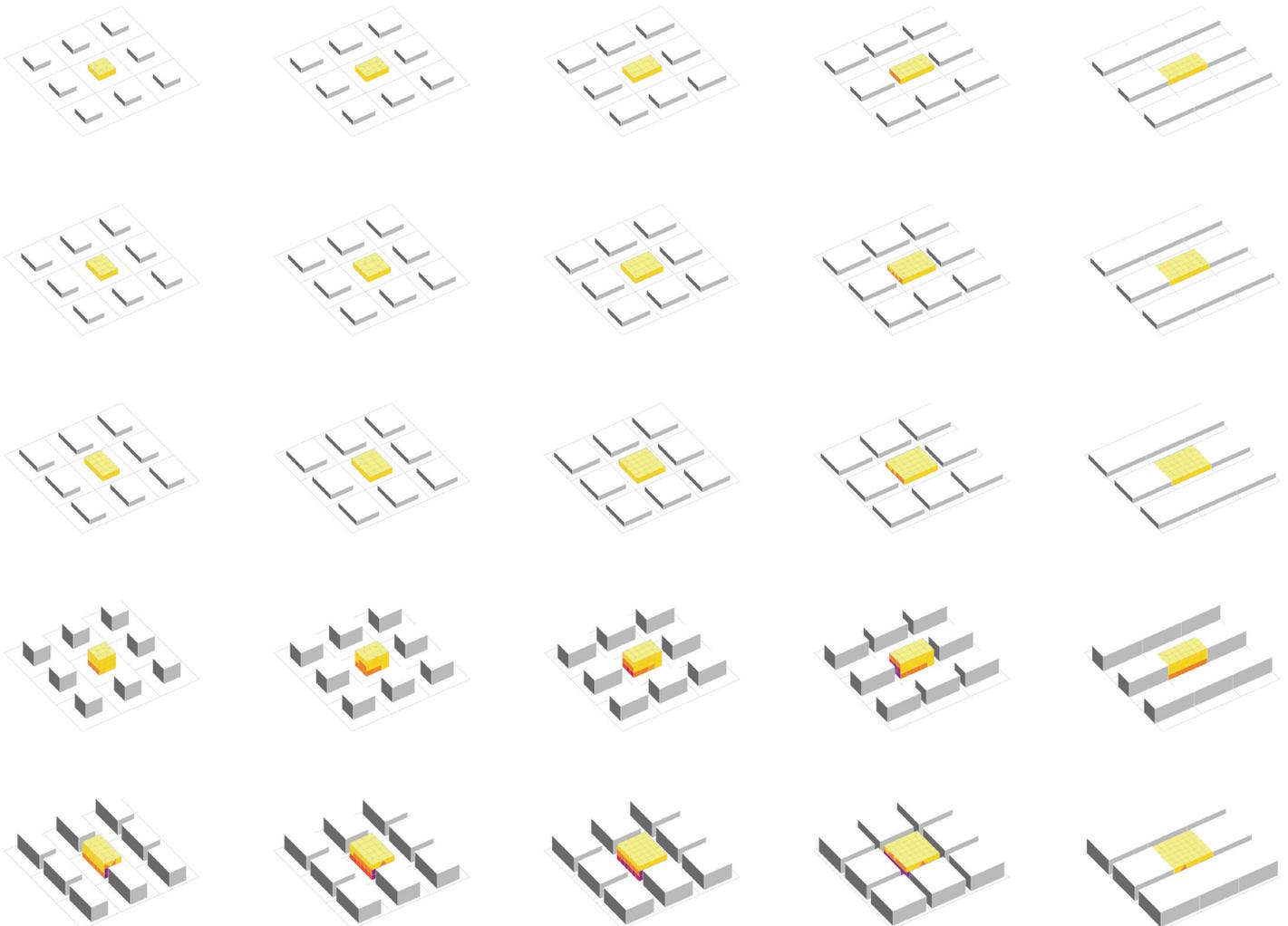
Universität Stuttgart

Fakultät 1

Architektur und Stadtplanung
Institut Wohnen und Entwerfen

Prof. Dr.-Ing. Thomas Jocher

Dipl.-Ing. Jakub Pakula



Mitwirkende des Projekts

Projektleitung

Institut Wohnen und Entwerfen
Univ. Prof. Dr.-Ing. Thomas Jocher
Keplerstraße 11
70174 Stuttgart

Autoren

Jakub Pakula
Diego Romero

Technische Mitarbeit

Dylan Wood
Boris Plotnikov

Wissenschaftliche Begleitung:

Stefan Holst, Diego Romero
Transsolar Energietechnik GmbH

Achim Menges, Dylan Wood
Institute for Computational Design ICD
Universität Stuttgart, Fakultät 1

Markus Nepl, Karlsruhe Institute of Technology
Michael Schmitd, Hochschule Augsburg
Herbert Plischke, Hochschule München

Fachliche Betreuung:

Bundesinstitut für
Bau-,Stadt- und Raumforschung, Bonn

Fraunhofer Informationszentrum
Raum und Bau IRB, Stuttgart
vertreten durch Fabian Brodbeck

Mittelgeber

Forschungsinitiative Zukunft Bau
B+O Stammhaus GmbH & Co. KG

FORSCHUNGSINITIATIVE
Zukunft BAU



Vorwort

Thomas Jocher

Dichte und Nachverdichtung im Städtebau sind altbekannte Forderungen. Der Bedarf an gebautem Raum für Mensch und Gerät steigt seit Jahrzehnten in Stadt und Land beständig an. Bei hoher Verdichtung steigt die Gefahr von unattraktiven, ungesunden Stadträumen. Bei geringer Verdichtung besteht die Gefahr der Zersiedelung. Verbunden mit langen Wegen, hoher Mobilität, einer Versiegelung unserer Landschaft, letztendlich also mit einem größeren Energieverbrauch.

Die Strategie gegen eine der beschriebenen Szenarien ist die Rückbesinnung auf die kompakte europäische Stadt mit kurzen Wegen und einem attraktiven städtischen Raum für Jung und Alt. Aktuell wird vielerorts sogar eine sehr starke Nachverdichtung der „europäischen Stadt“ gefordert. Maßnahmen welche die Energieverhältnisse (Einstrahlung auf Gebäude) im Gebäude und der Freifläche dauerhaft entscheidend beeinflussen. In der Gebäudeplanung stehen die verschärften Wärmeschutzanforderungen wirtschaftlich sinnvollen und ökologischen Überlegungen oft gegenüber, da in der Regel eine Reduzierung der Hüllfläche und ein gutes A/V-Verhältnis angestrebt wird.

Die Hüllflächenminimierung führt häufig zu schlecht belichteten (und belüfteten) Innenräumen mit sehr tiefen Grundrissen bei geringer Geschoßhöhe. Die sich daraus ergebenden ungünstigen Raumverhältnisse belasten auf Dauer die Energiebilanz negativ.

Diese Strategie der „dichten Stadt“ steht aber auch im Widerspruch zur Forderung nach „Licht, Luft und Sonne“, wie sie von Le Corbusier seit dem Anfang des 20. Jahrhunderts - neben sozialen Aspekten auch mit dem Streben nach Gesundheit und Hygiene- begründet wurde. Und sie steht im Widerspruch zum heutigen Wunschbild und ästhetisches Ideal nach großen Öffnungen bzw. sonnendurchfluteten Innen- und Außenräumen. Städtebauliche, architektonisch-gestalterische und funktionale Planungsziele entsprechen somit häufig nicht den energetischen Zielen.

Diesem Problem sieht sich jeder Architekt und Entscheider im Wettbewerb, spätestens aber bei der konkreten Gebäudeplanung ausgesetzt. Zurzeit stehen zwar bereits einige wenige Bewertungsinstrumente zur Verfügung. Diese berücksichtigen aber nur einzelne Aspekte energieeffizienter Gebäude- und Stadtplanung. Wissenschaftlich gesicherte Aussagen, die auch den jahreszeitlichen dynamischen Verlauf der Sonne (Strahlung), zusammen mit dem Gebäudeprofil, der Gebäudestellung, der Außenraumnutzung und der Vegetation (Bäume) betrachten, fehlen.

Zum Gelingen des Projekts mit einer Laufzeit von mehr als zwei Jahren hat Herr Dipl.-Ing. Jakub Pakula als erfahrener Architekt entscheidend beigetragen. Ohne seine intensive und engagierte Mitarbeit wäre dieses Projekt in dieser Form nicht entstanden.

Besonderer Dank gilt dem Büro Transsolar Energietechnik GmbH, namentlich Herrn Dipl.-Phys. Stefan Holst, Herrn Dipl.-Ing. Diego Romero und Herrn Boris Plotnikov sowie Herrn Dylan Wood M. A. vom Institut ICD (Universität Stuttgart).

Zu erwähnen sind die anregenden fachlichen Diskussionen mit Herrn Prof. Dr. med. Herbert Plischke (Hochschule München) und Herrn Prof. Dipl.-Ing. Michael Schmidt, (Hochschule Augsburg) und die vielen aufschlussreichen Einzelgespräche mit Prof. Dipl.-Ing. Markus Neppi (Karlsruher Institut für Technologie).

Dank gilt auch Herrn Dipl.-Ing. Fabian Brodbeck vom Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau, Stuttgart und dem BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Bonn/Berlin), die das Projekt über die gesamte Laufzeit mit vielen wertvollen Ratschlägen begleitet haben.

Abschließend gilt mein ganz besonderer Dank Herrn Dr. Ernst Böhm, (B&O Gruppe, Bad Aibling), der mit seiner Anschubfinanzierung das Projekt erst ermöglicht hat.

INHALT

Vorwort		S. 3
1. Einführung		
1.2	Überblick	S. 6
1.3	Der bauphysikalische Kontext	S. 8
2. Ziele und Methoden		
2.1	Zielsetzung	S. 52
2.2	Methode	S. 54
2.3	Abfolge und Zuständigkeiten	S. 56
3. Der Versuchsaufbau im Detail		
3.1	Räumliche Rahmenbedingungen	S. 60
3.2	Simulationsmethode	S. 66
3.3	Die unterschiedlichen Modelltypen	S. 69
3.4	Modell Typ 1: Repetitive Anordnung	S. 72
3.4.1	Simulationsergebnisse	S. 74
3.4.2	Fallstudien	S. 84
3.4.3	Berücksichtigung der Raumtiefe	S. 92
3.4.4	Verifizierung der Ergebnisse	S. 97
3.5	Modell Typ 2: Street-Canyon Tool	S.108
3.5.1	Simulationsergebnisse	S. 110
4. Anhang		
A	Expertengespräche	
	Markus Neppi	S.116
	Herbert Plischke	S.122
	Martin Schmidt	S.128
B	Literatur- und Quellverzeichnis	S.132
C	Forschungsbeteiligte	S. 134

1. Einführung

1.1 Überblick

Jakub Pakula

Der Wohnungsmarkt, insbesondere in Großstädten und Ballungszentren, ist sehr angespannt. Bezahlbarer Wohnraum ist vielerorts kaum zu finden. Gleichzeitig sind in Baugrundstücken in gefragten innerstädtischen Lagen rar. Oft ist Nachverdichtung die einzige Möglichkeit, um in bereits ‚gebauten‘ Quartieren zusätzlichen Wohnraum zu schaffen. Auch auf größeren innerstädtischen Konversionsflächen lastet ein hoher Druck, möglichst viele Wohnungen auf möglichst engem Raum zu generieren. Selbst in Randlagen führt die angespannte Lage auf dem Wohnungsmarkt zur Steigerung der baulichen Dichte.

Auch die steigenden Ansprüche an Energieeffizienz, welche sich in den regelmäßig verschärften Anforderungen der EnEV widerspiegeln, tragen durch das Streben nach einer Minimierung der Hüllflächen zu größeren, tieferen Baukörpern bei. In der Betrachtung der Effizienz und Nachhaltigkeit von Wohngebäuden wird jedoch ein Aspekt oft vernachlässigt: das Tageslicht. Diese wertvolle, dauerhaft verfügbare Ressource spielt weder in der EnEV noch im Planungs- bzw. Baurecht eine große Rolle. Im Wesentlichen beschränken sich die hierfür relevanten planungsrechtlichen Vorgaben auf die Abstandsflächen zwischen Gebäuden in Abhängigkeit von ihrer Höhe.

Bei der Diskussion um die Grenzen der (Nach-) Verdichtung sollte die Versorgung mit Tageslicht eine zentrale Rolle spielen. Dieses ist in mehrfacher Weise eine wertvolle Energiequelle: Neben der natürlichen Belichtung von Räumen bringt es Wärme und hat zudem einen wesentlichen Einfluss auf den menschlichen Biorhythmus. (vgl.

Um den Aspekt des Tageslichts sinnvoll in den Planungsprozess einbinden zu können, insbesondere in frühen Stadien, ist eine einfache Bewertungsmethode und ein grundlegendes

Verständnis der geometrischen Zusammenhänge erforderlich. An dieser Stelle setzt das vorliegende Forschungsvorhaben an.

Zur Bewertung von Belichtungsverhältnissen in Räumen steht eine Reihe gängiger und erprobter Simulationsverfahren zur Verfügung. Für deren Anwendung ist aber meist das Expertenwissen eines Fachingenieurs erforderlich. Zudem geben sie nur über die konkreten Belichtungsverhältnisse in einer jeweiligen Einzeluntersuchung einer bereits

entwickelten Geometrie Auskunft. Zum grundsätzlichen Verständnis der geometrischen Abhängigkeiten – zumal im städtebaulichen Maßstab – tragen sie wenig bei.

Genau diese grundsätzlichen Zusammenhänge sollen erforscht, analysiert, und in ein leicht verständliches Regelwerk überführt werden.

Entscheidend ist dabei, dass zu den bisherigen Parametern Gebäudehöhe und Gebäudeabstand, die bereits im heutigen Planungsrecht eine Rolle spielen, die Parameter Gebäudetiefe und Orientierung hinzukommen, die maßgeblichen Einfluss auf die Tageslichtausbeute im Innenraum haben.

Verfahren zur Beurteilung der Lichtqualität sind, wie zuvor erwähnt, ausgiebig erforscht, und es liegt hierzu eine Reihe konkreter Simulationswerkzeuge vor. Beispielhaft genannt sei hier das RADIANCE Verfahren und eine Reihe darauf aufbauender Tools, IDA ICE, Ecotect/Vasari u.v.a..

Bereits seit den 80er Jahren liegen auch Arbeiten vor, welche sich einer vereinfachten Bewertung der Belichtungsverhältnisse in unterschiedlichen Maßstäben widmen. Hervorzuheben ist Knowles' „Solar Envelope“ Modell^{1,2}, das wertvolle Erkenntnisse zur Verschattung durch benachbarte Gebäude liefert. Einen wichtigen Beitrag

¹ Knowles, 1981

² Knowles, 2003

leisten zahlreiche Publikationen von Christoph Reinhardt, die sich mit den Tageslichtverhältnissen im Innenraum beschäftigen, unter anderem seine Doktorarbeit zu Tageslichtsimulationen in Büroräumen³ sowie das 2014 erschienene Daylight Handbook⁴. Die hierin enthaltenen Ansätze beziehen sich dabei in erster Linie auf die Gestaltung einzelner Räume oder Gebäude in einem gegebenen Kontext.

Um über das Verhältnis von Licht und Dichte zu sprechen, muss der Begriff der Dichte klar definiert sein. Neben bau- und planungsrechtlichen Definitionen und zahlreichen theoretischen Abhandlungen leisten Berghauser Pont und Haupt⁵ hierzu einen sehr aufschlussreichen Beitrag, indem sie die quantitativen und qualitativen Eigenschaften baulicher Dichte zueinander in Beziehung setzen, sich mit dem Raumprogramm auseinandersetzen, und die Performance unterschiedlicher Baukörper untersuchen.

Der Daylight Factor⁶ spielt hierbei bereits eine Rolle. Die Bedeutung der Orientierung und damit des tatsächlich verfügbaren Tageslichts wird dabei aber nicht einbezogen. In Zusammenarbeit mit dem Institute for Computational Design (Uni Stuttgart) und der Transsolar Energietechnik GmbH in München ist eine umfangreiche Auswertung parametrisch erzeugter städtebaulicher Gebäudetypen in Bezug auf ihre Tageslicht-Performance entstanden. Das Forschungsprojekt mündet in einer ausführlichen Datenbank, welche die untersuchten Geometrien nach ihren Parametern (Höhe, Tiefe, Abstand, Orientierung, Dichte etc..) aufschlüsselt. Hinzu kommt ein Web-Tool, das die Datenbank in verständlicher und grafisch anschaulicher Form zugänglich macht.

Auf Grundlage der ermittelten Werte sollen überschaubare Faustformeln entwickelt werden, welche die Beurteilung von Planungsentscheidungen auch ohne Verwendung computergestützter Werkzeuge ermöglichen. In ihrer Art und Aussagekraft sollen diese Formeln zu einem Regelwerk zusammengefasst werden, welches zum grundlegenden Verständnis der geometrischen Zusammenhänge zwischen Tageslicht und Baukörper beiträgt, und so die Festlegung einer auf Tageslichtausbeute optimierten Anordnung von Baukörpern bei hohen baulichen Dichten ermöglicht. Dabei steht nicht die Suche nach dem optimalen Gebäudetyp oder Stadtgrundriss als Patentrezept im Vordergrund, sondern eine sorgfältige Analyse der geometrischen Rahmenbedingungen, die es erlauben, im Kontext der zahlreichen anderen kulturellen, ökologischen, infrastrukturellen oder wirtschaftlichen Kriterien und Interessen eine fundierte planerische Entscheidung zu treffen.

³ Reinhard, 2001

⁴ Reinhard, 2013

⁵ Berghauser Pont, Haupt, 2007

⁶ Simms, Coley, 2011

1.3 Der bauphysikalische Kontext

Diego Romero

1.3.1 Einleitung

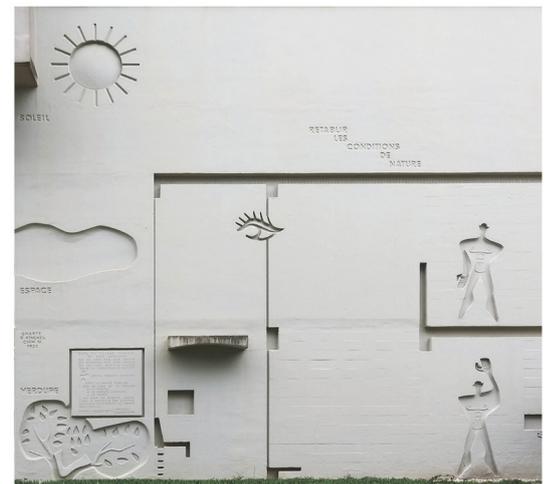
Ziel dieses Beitrages ist es, das Potential der Sonne für städtebauliche Konzepte zu erläutern und erörtern.

Städte entstehen oft an strategisch günstig liegenden Orten. Zum Beispiel an einer wichtigen Handelsstrecke, nah an Energie- oder Rohstoffquellen, Flüssen oder an Seen. Diese Orte stellen auch Treffpunkte dar. 70 % der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschlands wohnen im urbanen Raum, diese Zahl steigt kontinuierlich an. Verkehrs- und Siedlungsflächen nehmen rund 14% der Gesamtfläche der BRD in Anspruch. Diese Flächen nehmen zu. Die Hälfte der bebauten Umwelt ist für Wohnungen vorgesehen. Die durchschnittliche bewohnte Fläche pro Person beträgt 45m².

Das Ziel des Klimaschutzplanes 2050 der Bundesregierung ist die Reduktion des Flächenverbrauchs auf 30 Hektar pro Tag im Jahr 2020 zu erreichen. Die „Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie von 2016“ spricht von 20 Hektar pro Tag für das Jahr 2030. Derzeit werden täglich rund 60 Hektar verbraucht (siehe Seite 31).

Wie dicht man baut und wie eng man wohnt ist häufig eine Frage der Qualität des Stadtraumes. Hierfür ist die Sonnenenergie von großer Bedeutung. Sie versorgt die Städte mit Tageslicht und Wärme. Außerdem trägt sie zur menschlichen Gesundheit bei, sie hält die innere Uhr aufrecht

Abb. 1.3.1-1
Wiederherstellung der natürlichen Bedingungen. Le Corbusier
Unité d'habitation Type Berlin.
Betonrelief an der Fassade.
(Quelle: Eigene Aufnahme)



und hilft bei der Herstellung von Vitamin D (siehe Seite 13).

Bäume und Grünflächen nutzen ebenfalls Sonnenenergie. Sie reinigen unsere Luft, spenden Schatten und kühlen die Stadt ab (siehe Seite 43).

Sonneneinstrahlung kann zur Energiegewinnung genutzt werden. Photovoltaiksysteme auf den Dächern und an den Fassaden produzieren Bsp. Strom. Stromüberschüsse lassen sich anhand vorhandener Infrastruktur oder mit Batteriesystemen speichern. Solarthermieanlagen erwärmen Wasser für den täglichen Gebrauch. Die Hitze des Sommers kann vor Ort gespeichert werden um das Gebäude mit Wärme in der Winterzeit zu versorgen (siehe Seite 46).

Um dieses Potenzial zu entfalten sind die Besonderheiten der Himmelsrichtungen und Materialien sowie geometrische als auch physikalische Zusammenhänge zu berücksichtigen.

1.3.2 Die Sonne

Die Sonne ist ein Stern im Zentrum des Sonnensystems. Sie ist ein durchschnittlich großer Stern im ungefähr mittleren Alter, sie hat sich seit mehr als vier Milliarden Jahren nicht dramatisch verändert und wird nach den aktuellsten Prognosen mindestens fünf Milliarden Jahre lang stabil bleiben.

Sie ist eine nahezu perfekte Kugel aus heißem Plasma, mit interner Konvektionsbewegung, die über einen Dynamoprozess¹ ein Magnetfeld erzeugt und ist bei weitem die wichtigste Energiequelle für das Leben auf der Erde. Ihr Durchmesser beträgt etwa 1,39 Millionen Kilometer, ihre Masse ist etwa 330.000 Mal so groß wie die der Erde und macht damit etwa 99,86% der Gesamtmasse unseres Sonnensystems aus. Etwa drei Viertel der Sonnenmasse bestehen aus Wasserstoff. Der Rest hauptsächlich aus Helium. Vermischt mit kleineren Mengen von schwereren Elementen wie zum Beispiel Sauerstoff, Kohlenstoff, Neon und Eisen.

Die mittlere Entfernung des Sonnenkernes zum Erdkern beträgt etwa eine astronomische Längeneinheit, diese entspricht circa 150 Mio. km. Die Entfernung zur Erde ändert sich im Laufe des Jahres. Insbesondere wenn die Erde sich vom Perihel im Januar zum Aphel im Juli bewegt.

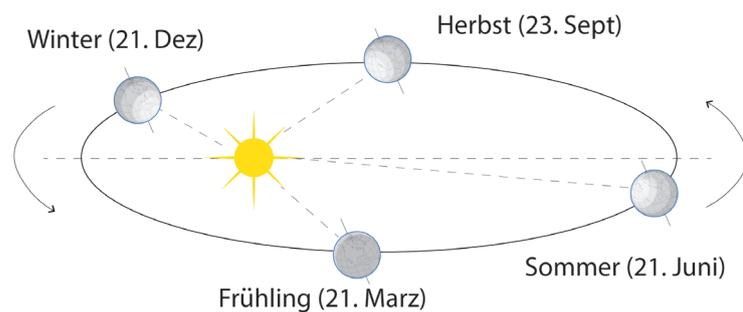
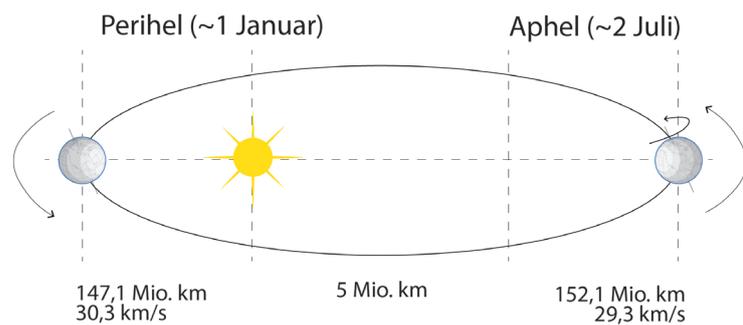


Abb. 1.3.2-1
Bezug zwischen Erdbahn und
Sonnenstand
(Quelle: Transsolar)

Bei dieser mittleren Entfernung benötigt das Licht 8 Minuten und 19 Sekunden vom Horizont der Sonne zum Horizont der Erde, während das Licht von den nächstgelegenen Punkten der Sonne und der Erde etwa zwei Sekunden schneller ist. Die Energie dieses Sonnenlichts unterstützt fast das gesamte Leben auf der Erde durch Photosynthese und treibt das Klima und das Wetter der Erde an.

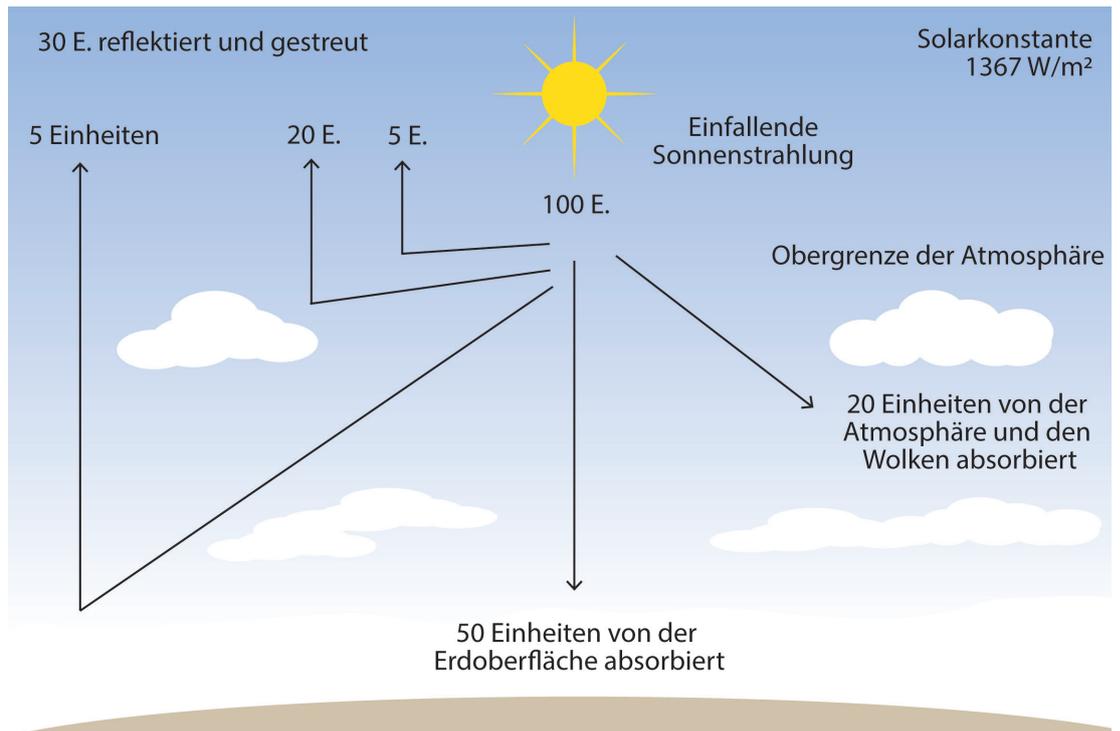


Abb. 1.3.3-1
Solarkonstante
(Quelle: Transsolar)

1.3.3 Die Solarkonstante

Die Solarkonstante ist die Menge an Energie, die die Sonne pro Flächeneinheit abstrahlt. Die Sonnenkonstante beträgt 1.367 W/m^2 bei einer Entfernung von einer astronomischen Einheit (AE) zwischen Sonne und Erde. Das Sonnenlicht auf der Erdoberfläche wird durch die Erdatmosphäre abgeschwächt, sodass weniger Energie an der Oberfläche ankommt, ca. 1.000 W/m^2 , wenn die Sonne nahe dem Zenit steht.

Das Sonnenlicht an der Spitze der Erdatmosphäre (Gesamtenergie) besteht aus etwa 50% Infrarotlicht, 40% sichtbarem Licht und 10% Ultraviolettlicht. Die Atmosphäre filtert über 70% des ultravioletten Sonnenlichts heraus, insbesondere bei kürzeren Wellenlängen.

Solare, ultraviolette Strahlung ionisiert die obere Atmosphäre der Erdoberfläche und erzeugt die elektrisch leitende Ionosphäre. Die gesamte Sonneneinstrahlung die über ein Jahr auf die Erdatmosphäre einfällt beträgt $1.5 \times 10^{18} \text{ kWh}$. Ein Fünftel davon wird von Gasen in der Atmosphäre absorbiert, etwa 30% wird in den Weltraum zurückreflektiert, und 5% werden von der Erdoberfläche reflektiert.

Die verbleibenden 50% werden absorbiert und gelten als Ursache verschiedener Naturerscheinungen wie Pflanzenwachstum, Temperaturschwankungen, Regen oder Wind.

Die Oberflächentemperatur der Sonne liegt bei 5.900 K. Diese Temperatur bestimmt die spektrale Verteilung der Sonne emittierten Strahlung. Die elektromagnetische Strahlung wird nach Wellenlänge in Radio-, Mikrowellen-, Infrarotstrahlen im sichtbaren Bereich eingeteilt. Dieser wird als Licht bezeichnet. Ultraviolett-, Röntgen- und Gammastrahlen gelten als nicht sichtbar. Das Verhalten der elektromagnetischen Strahlung hängt von ihrer Wellenlänge ab. Höhere Frequenzen haben kürzere Wellenlängen und niedrigere längere.

Ein schwarzer Körper, auch Planck'scher Strahler² genannt, absorbiert die gesamte auf seine Oberfläche einfallende Strahlung und strahlt die maximale Energiemenge ab, die ein Medium ausstrahlen kann. Kein solches Material existiert in der Natur. Allerdings gibt es Materialien die sich diesem Verhalten über Teile des elektromagnetischen Spektrums annähern. Wir können also von einem schwarzen Körper bei thermischen Wellenlängen oder sichtbaren Wellenlängen sprechen. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass dasselbe Material sich wie ein schwarzer Körper in beiden Wellenlängen verhält. Schnee ist ein sehr schlechter Absorber der sichtbaren Strahlung, aber fast ein perfekter schwarzer Körper im ferninfrarot Bereich³.

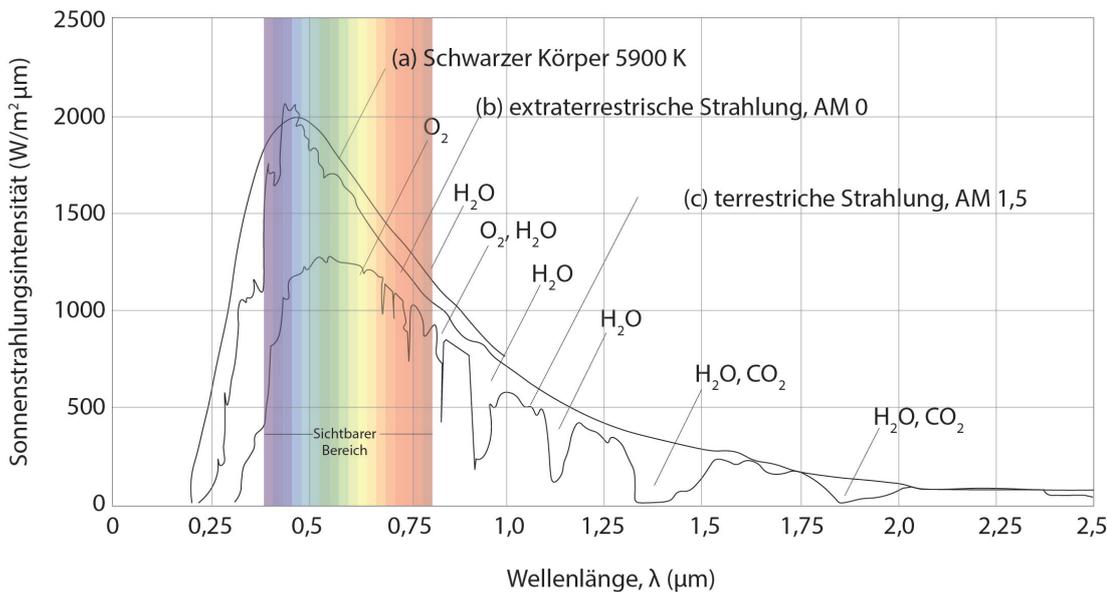


Abb. 1.3.4-1
Sonnenlichtspektrum
(Quelle: Transsolar)

1.3.4 Die Infrarotstrahlung

Die Entdeckung der Infrarotstrahlung verdanken wir William Herschel (1738-1822). Er beobachtete die Lichtbrechung eines Strahles durch ein Glasprisma und dachte, dass die Farben selbst von unterschiedlichen Temperaturen sein könnten. Also entwickelte er ein Experiment um seine Hypothese zu untersuchen. Er verwendete drei Thermometer mit geschwärzten Glühbirnen (um Wärme besser zu absorbieren) und legte für jede Farbe des Spektrums eine Glühbirne in einer sichtbaren Farbe an, während die anderen beiden außerhalb des Spektrums als Kontrollproben angeordnet waren. Beim Messen der individuellen Temperaturen des violetten, blauen, grünen, gelben, orangen und roten Lichts maß, bemerkte er, dass alle Farben höhere Temperaturen hatten als die Kontrollen. Zusätzlich fand er heraus, dass die Temperaturen der Farben vom violetten zum roten Bereich des Spektrums zunahmten⁴.

Nachdem er dieses Verhalten erfasst hatte, beschloss Herschel die Temperatur nur über den roten Bereich des Spektrums zu messen in der kein Sonnenlicht sichtbar war. Zu seiner Überraschung stellte er fest, dass dieser Bereich die höchste Temperatur hatte. Hierdurch stellte er fest, dass sich diese Wärmestrahlung wie eine sichtbare Strahlung verhält, sie kann reflektiert, gebrochen, absor-

biert und übertragen werden. Diese Strahlung wird als Infrarot bezeichnet, in diesem Zusammenhang bedeutet das lateinische Präfix „Infra“ unterhalb.

Herschel kam zu dem Schluss, dass Wärme und Licht Bestandteil desselben Spektrums sind, von denen wir Bereiche mit unseren Augen sehen und andere Bereiche als Wärme auf der Haut wahrnehmen. Sichtbares Licht beinhaltet Wellenlängen zwischen 380 und 780 Nanometer. Als Infrarot gilt der Bereich zwischen 780nm bis 1mm. Die kurzwellige Ultraviolettstrahlung schwankt zwischen 290 und 380nm.

Etwa zur selben Zeit entdeckte Joseph Fraunhofer (1787-1826) dunkle Linien in engen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums. Diese Unregelmäßigkeit des Spektrums, heute Fraunhoferlinien, ist das Ergebnis von Gas in der Sonnenphotosphäre. Das Photosphärgas ist kälter als die inneren Ebenen und absorbiert das Licht, das heraus strahlt. Die chemische Zusammensetzung und Temperatur der Gasatmosphäre der Sonne und andere Himmelsobjekte lassen sich durch die Fraunhoferlinien definieren.

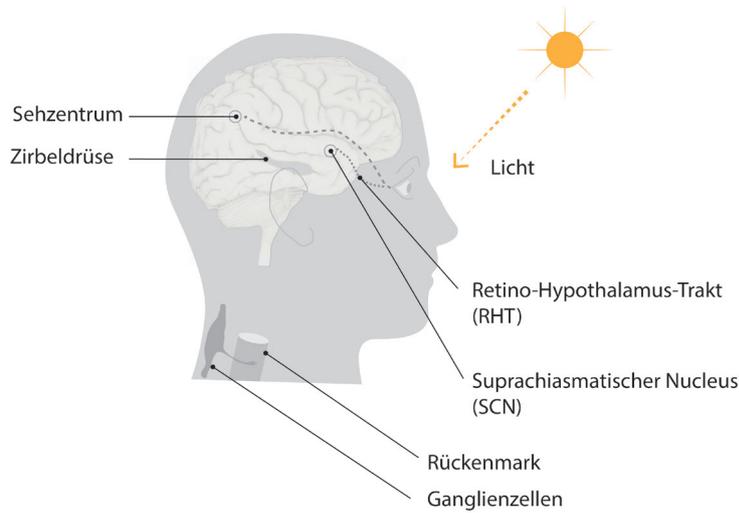


Abb. 1.3.5-1
Der Weg des visuellen Reizes im menschlichen Nervensystem
(Quelle: Transsolar)

1.3.5 Einfluss auf den Menschen

Die visuellen und nicht visuellen Effekte des Sonnenlichtes nehmen Einfluss auf das Wohlbefinden von Menschen. Niedrige Mengen an Sonnenlicht während eines Zeitraums von mehreren Monaten erhöhen die Gefahr von Depressionen, bekannt als saisonale affektive Störung (SAD)⁵. In höheren geografischen Breitengraden tritt die SAD häufig auf. Diese Depressionen waren zuvor im antiken Griechenland und Rom ein bekanntes Problem⁶.

Der Circadiane Rhythmus ist ein biologischer Prozess der eine endogene Oszillation von etwa 24 Stunden aufweist. Circadiane Rhythmen werden durch externe Zeitgeber, wie zum Beispiel Licht und Temperatur, angepasst. Die Exposition gegenüber ausreichendem Licht leistet einen wichtigen Beitrag bei der Regulierung und Synchronisierung des circadianen Rhythmus. In der Medizin ist ein anormaler circadianer Rhythmus beim Menschen als circadiane Rhythmusstörung bekannt. Menschen haben sich mit dem Zyklus von Licht zu Dunkelheit entwickelt und den circadianen Rhythmus gleichlaufend gehalten. Circa stammt aus dem lateinischen und bedeutet in diesem Zusammenhang „ungefähr“. Diem steht im lateinischen für „Tag“.

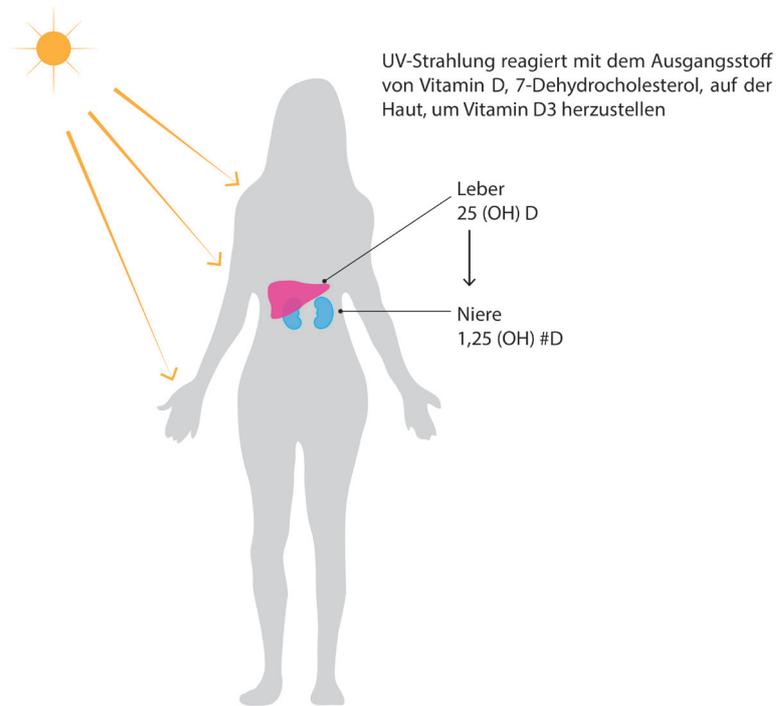
Die benötigte Menge an Licht die für den circadianen Rhythmus gebraucht wird nimmt mit dem Alter zu. Im Alter von 75 Jahren benötigt man drei Mal so viel Licht wie der Mensch mit 45 Jahren, um die gleiche circadiane Reaktion auszulösen. Es ist auch bekannt, dass das im blauen Bereich des sichtbaren Spektrums gewichtete Licht den größ-

ten Einfluss auf die circadianen Rhythmen hat.

Mittlerweile ist bekannt, dass das Auge die „nicht-visuellen“ Verbindung zum circadianen System im Gehirn ermöglicht und lichtempfindliche Zellen dafür enthält. Diese Zellen werden retinale Ganglienzellen genannt.

Diese Zellen unterscheiden sich von Stäbchen und Zapfen, die Licht empfangen und in elektrische Anregung umwandeln. Sie enthalten das Photopigment Melatonin und ihre Signale folgen einem Pfad der Retinohypothalamus-Trakt genannt wird. Dieser Pfad führt zum Suprachiasmatischen Kern (SCN). Hierfür wird die Information über die Länge des Tages und der Nacht, die in der Netzhaut erfasst wurde, interpretiert und an die Zirbeldrüse, eine winzige Struktur die wie ein Tannenzapfen geformt ist und sich auf dem Epithalamus befindet, weitergegeben.

Ihre Hauptfunktion ist die Umwandlung des am Tage im Gehirn gebildeten Serotonins zu Melatonin in der Nacht. Der Melatoninspiegel steigt in der Dunkelheit an, fördert das Einschlafen und reguliert das Schlafverhalten. Serotonin, das sogenannte Glückshormon, ist multifunktional und hat einen besonderen Einfluss auf die Stimmung, den Schlaf-Wachrhythmus, den Appetit und die Regulation der Körpertemperatur. Eine Beleuchtungsstärke ab 1.000lx auf die Netzhaut während mindestens einer Stunde löst den circadianen Rhythmus aus.



1.3.6 Vitamin D

Die ultraviolette Strahlung mit Wellenlängen zwischen 280 und 315 nm (UV-B) auf die Haut ist die Hauptquelle von Vitamin D₃ für den Menschen. Die zweitwichtigste Quelle ist die Aufnahme von Vitamin D₂ und D₃ durch die Ernährung. Im Gegensatz zu der hohen Verfügbarkeit des Sonnenlichtes sind nur ein paar Salzwasserfische wie Heringe, Lachse und Sardinen gute Quellen von Vitamin D. Obwohl die Haut in der Lage ist Vitamin D sehr effizient zu synthetisieren, ist es entscheidend wie lange und wie stark sie bestrahlt wird. Das Vitamin D das aus der Nahrung oder aus der Haut synthetisiert ist biologisch inaktiv. Eine enzymatische Umwandlung (Hydroxylierung) in Leber und Niere ist zur Aktivierung erforderlich. Die resultierende aktive Form wird Calcitriol benannt. Calcitriol zirkuliert als Hormon im Blut, hat eine wichtige Rolle bei der Regulierung der Konzentration von Kalzium und Phosphat, fördert das gesunde Wachstum und den Umbau von Knochen. Außerdem steht es im Zusammenhang mit dem Zellwachstum, der neuromuskulären Funktion, der Immunfunktionen und der Verringerung von Entzündungen⁸.

Die Einnahme von Vitamin-D ist weltweit unzureichend. Mangelhafte Konzentration auf 25(OH)D, Calcidiol ist gewöhnlich in Regionen wie Südasien und im nahen Osten⁹. Urbanisierung ist ein wichtiger Risikofaktor für die Vitamin-D Insuffizienz in großen Teilen der erwachsenen Bevölkerung. Andere Faktoren sind kurze Tageslichtperioden, lange kalte oder heiße Jahreszeiten, sowie stren-

ge Traditionen oder Gewohnheiten wie lange Aufenthalte im Innenräumen. Zahlreiche Studien belegen, dass der Vitamin-D-Mangel bei älteren Menschen eine stille Epidemie ist die zu Knochenschwund und Frakturen führen kann¹⁰.

Da Vitamin D ein wichtiger Regulator von verschiedenen zellulären Stoffwechselketten ist, ist es wichtig für die zelluläre Reifung, Differenzierung und Apoptose¹¹. Epidemiologische Studien zeigten, dass die Inzidenz- und Sterblichkeitsraten für bestimmte Krebsarten bei Personen die in südlichen Breitengraden leben, wo die Sonneneinstrahlung relativ hoch ist, niedriger sind als bei Menschen die in nördlichen Breitengraden leben¹².

Während des Sommers dürfen Arme und Beine zwischen 10 und 15 Uhr etwa 5 bis 30 Minuten lang der Sonnenstrahlung ausgesetzt werden, in Abhängigkeit von Hautfarbe und Breitengrad. Die Annahme ist, dass in der Winterzeit die zufällige Exposition, insbesondere in Städten, nicht gut ist. Terrassen, Plätze, Dachgeschoße und Balkonen eignen sich gut für diesen Zweck.

Abb. 1.3.6-1
Einfluss des Sonnenlichts auf den Stoffwechsel
(Quelle: Transsolar)

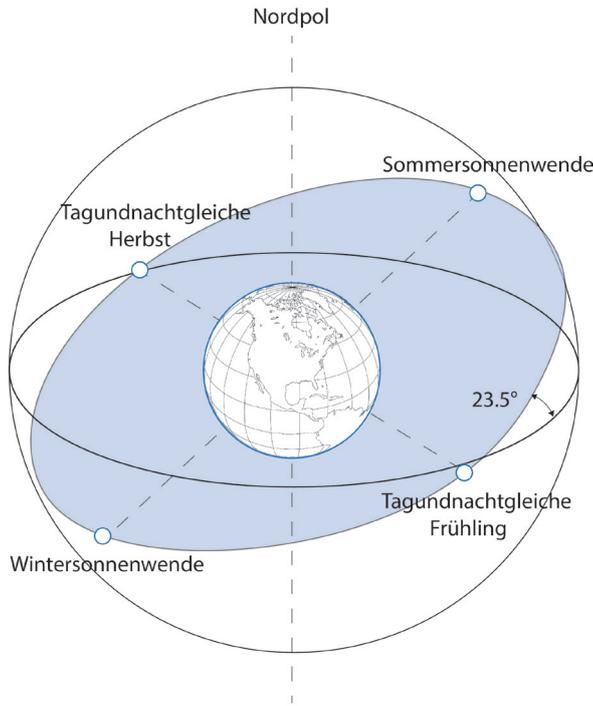


Abb. 1.3.7-1
Ekliptik der Erde
(Quelle: Transsolar)

1.3.7 Die Dynamik des Sonnenlichts

JAHRESZEITEN

Die Jahreszeiten resultieren aus der Umlaufbahn der Erde um die Sonne und der axialen Neigung der Erde relativ zur Ekliptikebene. Während der Monate Mai, Juni und Juli ist die nördliche Hemisphäre direkterem Sonnenlicht ausgesetzt da sie der Hemisphäre der Sonne zugewandt ist. Das Gleiche gilt für die südliche Hemisphäre im November, Dezember und Januar. Die Neigung der Erde von $23,5^\circ$ gegenüber der Bahnebene führt dazu, dass die Sonne während der Sommermonate am Himmel höher steht, die Temperaturen steigen und die Tage länger werden. Wenn die Drehachse eines Planeten durch die Schiefstellung der Ekliptik auf seiner Nord- oder seiner Südhalbkugel am stärksten zu dem Stern geneigt ist der ihn umkreist, findet eine Sonnenwende statt.

Ohne die Berücksichtigung des Bewölkungsgrads ist der längste Tag des Jahres seltsamerweise nicht auch der heißeste. Aufgrund der saisonalen Verzögerung¹³ sind Juni, Juli und August die wärmsten Monate in der nördlichen Hemisphäre. Während Dezember, Januar und Februar die wärmsten Monate in der südlichen Hemisphäre sind. Dies wird größtenteils durch von großen Mengen an Wasser verursacht. Gewässer und Erdreich haben verschiedene Wärmekapazitäten. Wasser braucht viel länger, bzw. mehr Energie, zum Aufwärmen als Erde. Da unser Planet zu ca. 70% aus Wasser besteht, sind unsere Temperaturen am Boden in hohem Maße von den Temperaturen der Gewässer in der Nähe abhängig.

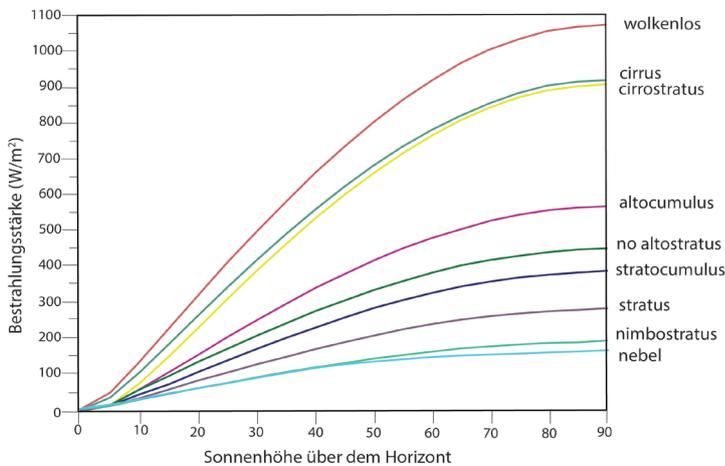


Abb. 1.3.7-2
Solare Einstrahlung in
Abhängigkeit von Himmelszustand
und Sonnenhöhe
(Quelle: Transsolar nach Campbell)

SONNENSTAND

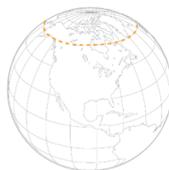
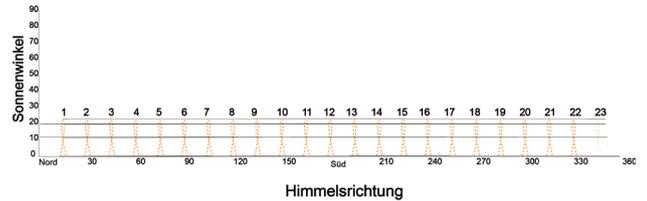
Die Solarkonstante weißt die durchschnittliche solare elektromagnetische Strahlung pro Flächeneinheit aus. Sie wird auf einer Fläche senkrecht zur Bestrahlungsrichtung gemessen im Abstand von einer astronomischen Einheit (AE). Sie beträgt 1300 W/m^2 , ca. 80% davon kommt bei klarem Wetter am Boden an. Wie die Abbildung 1.3.7-2 zeigt ist die Bestrahlungsstärke der Sonne abhängig von dem Bewölkungsgrad des Himmels und dem Winkel der Sonne über dem Horizont¹⁴. Die relative Position der Sonne ist ein entscheidender Faktor für den Wärmegegewinn, die Belichtung von Gebäuden und für die Leistung von Solaranlagen.

Die Position der Sonne am Himmel wird als Höhe (Elevationswinkel über dem Horizont) oder Zenitwinkel (Vertikalwinkel zwischen der Richtung zum Zenit und der Zielrichtung der vom Zenit aus positiv gezählt wird) und Azimut (Winkel vom wahren Norden oder Süden in der Horizontalebene) beschrieben. Verschiedene Koordinatensysteme sind mit Azimutwinkeln möglich¹⁵. Diese Koordinaten werden häufig in der Astronomie, Mathematik und Meteorologie verwendet.

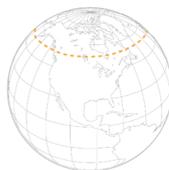
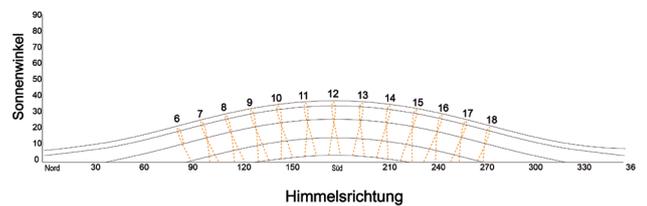
In Architektur und Stadtplanung wird das stereographische Sonnenstanddiagramm oft verwendet. Linien die vom Mittelpunkt ausgehen stellen den Azimut dar und die konzentrischen Linien zeigen die Höhe der Sonne. Die Sonnenhöhe kann als eine Ansicht dargestellt werden. Dieses Diagramm verwendet den Süden als Mittelpunkt. In beiden Fällen kann die Position und Größe von Objekten wie Bäumen und Gebäuden dargestellt werden um zu erkennen, wann der Referenzpunkt verschattet wird¹⁶.



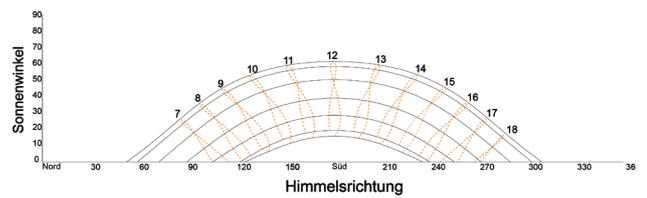
90°



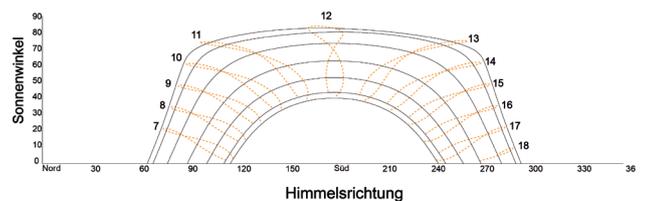
75°



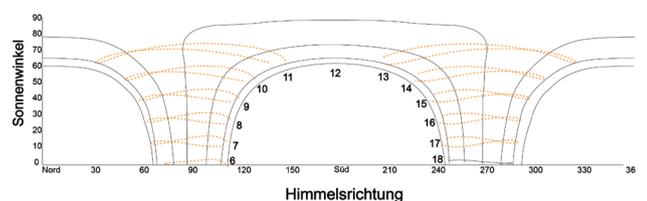
50°



25°



0°



Geographische Breite

Abb. 1.3.7-3
Sonnenstandsverläufe an
verschiedenen geographischen
Standorten
(Quelle: Transsolar)

1. Einführung

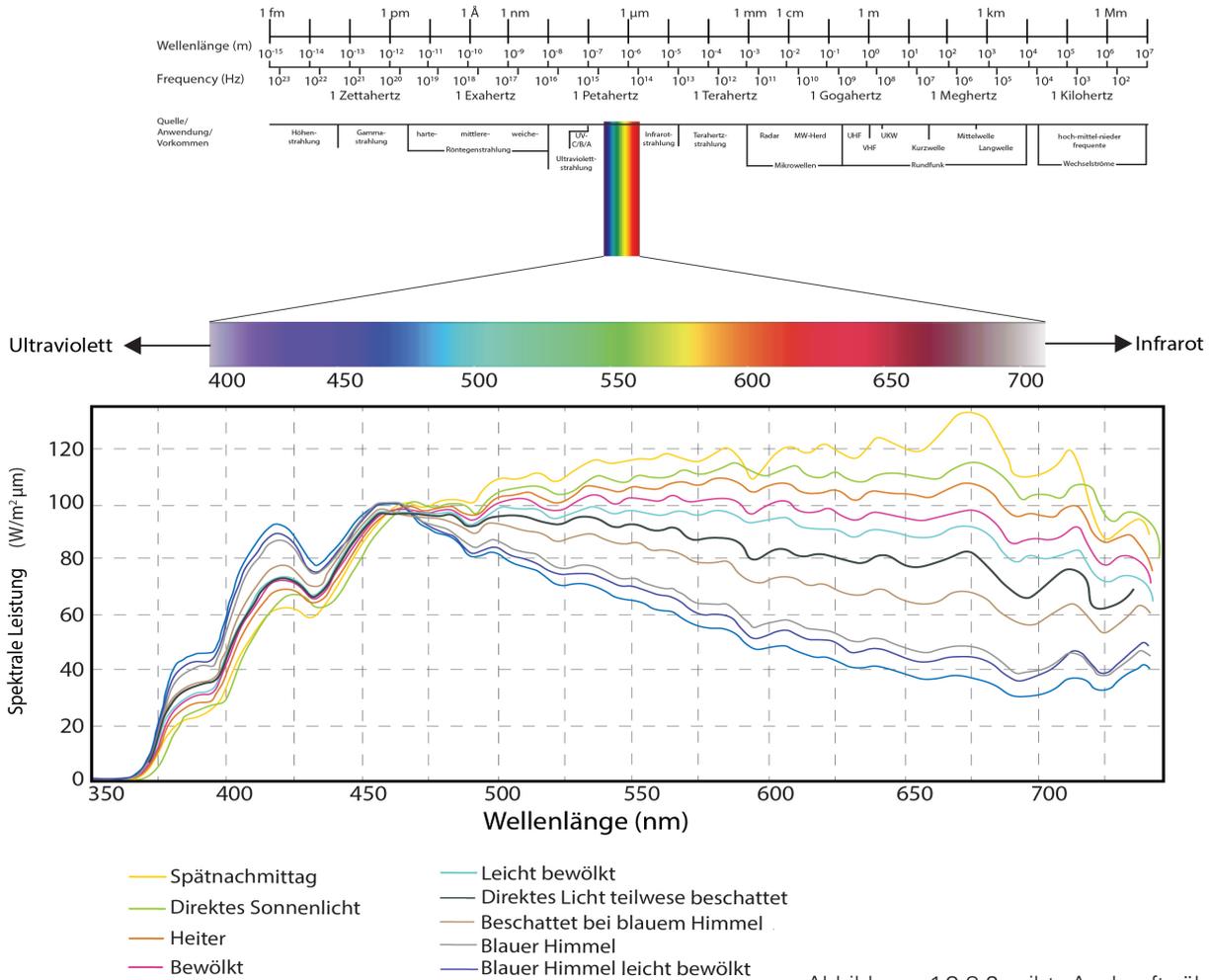


Abb. 1.3.8-1
 Elektromagnetisches Spektrum
 (Quelle: DIN 5031-10:2013-12
 Strahlungsphysik im optischen
 Bereich und Lichttechnik - Teil
 10: Photobiologisch wirksame
 Strahlung, Größen, Kurzzeichen,
 Wirkungsspektren)

1.3.8 Elektromagnetisches Spektrum

Die Strahlung besteht aus Energiemengen und Wellenlängen. Abbildung 1.3.8-1 zeigt die Klassifizierung der verschiedenen Wellenlängen und ihren Frequenzen. Die Sonne strahlt im Bereich von 0.29 und 4.0 μm . Davon ist für das menschliche Auge der Bereich 380-780nm sichtbar. Bei dem photischen Sehen liegt die maximale Empfindlichkeit bei 560nm. Dies entspricht einem gelb-grün Farbton. Die UVA-Strahlung, die unter anderem die Bräunung der Haut verursacht, liegt zwischen 320 und 400 nm. Der UVB-Strahlung mit 290 bis 320nm ist für die Vitamin D Herstellung verantwortlich. Das Hautkrebsrisiko kann durch eine übermäßige Sonnenexposition erhöht werden¹⁷. Photorezeptoren der Pflanzen, Algen, Bakterien und Pilzen (Pythochrome) sind zwischen 660 und 730nm empfindlich. Pflanzen absorbieren Licht im sogenannten PAR Bereich (engl. Photosynthetically Active Radiation) mit 400 -700nm. Licht ab 700nm wird von grünen Blättern reflektiert¹⁸.

Strahlung kann mit verschiedenen Begriffen beschrieben werden die die Übertragung, Energie, Flächenwellenlänge und Richtung beschreiben.

Abbildung 1.3.8-2 gibt Auskunft über die obigen Zusammenhänge aus denen die Grundlagen der Beleuchtungsgrößen abgeleitet werden.

Die Lichtausbeute ist ein Maß dafür wie gut eine Lichtquelle sichtbares Licht erzeugt. Es ist das Verhältnis von Lichtstrom zu Leistung und wird gemessen in lm/W . Wellenlängen des Tageslichtes sind aufgrund der spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges nicht gleichermaßen sichtbar. Bei direktem Sonnenlicht steigt die Lichtausbeute mit der Sonnenhöhe (70-105 lm/W). Bei diffusem Licht liegt die durchschnittliche Lichtausbeute zwischen etwa 130 lm/W und etwa bei 110 lm/W bei bedecktem Himmel¹⁹.

Die Lichtstärke (cd) gibt die emittierte Lichtmenge im Bereich eines Raumwinkels an. Der Raumwinkel wird in Steradian ausgedrückt, ein Maß ohne Einheit. Ein Steradian auf einer Kugel mit einem Radius von einem Meter ergibt eine Fläche von 1 m^2 . Die gesamte Fläche einer Kugel beträgt 4π sr ²⁰.

Leuchtdichte (cd/m^2) und Beleuchtungsstärke (lx) stehen in Beziehung zueinander. Die Leuchtdichte wird typischerweise für Licht emittierende Oberflächen verwendet und die Beleuchtungsstärke für beleuchtete Oberflächen.

Strahlungskenngrößen

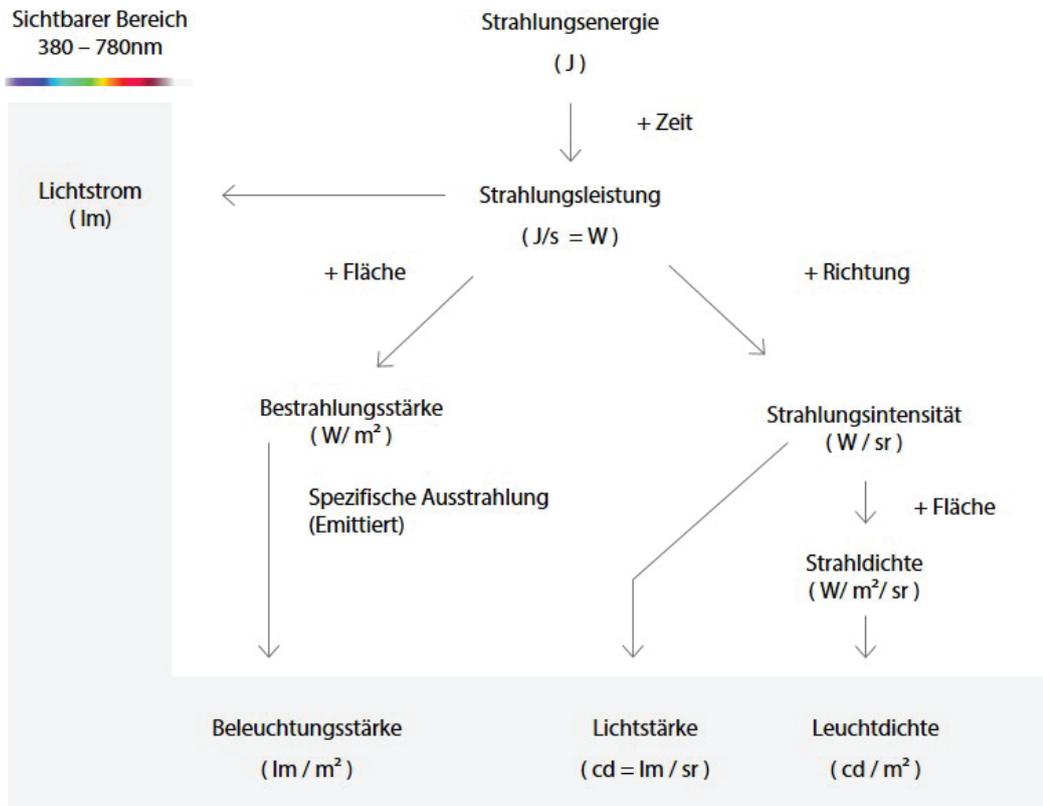


Abb. 1.3.8-2
Strahlungseinheiten im
Zusammenhang
(Quelle: Transsolar)

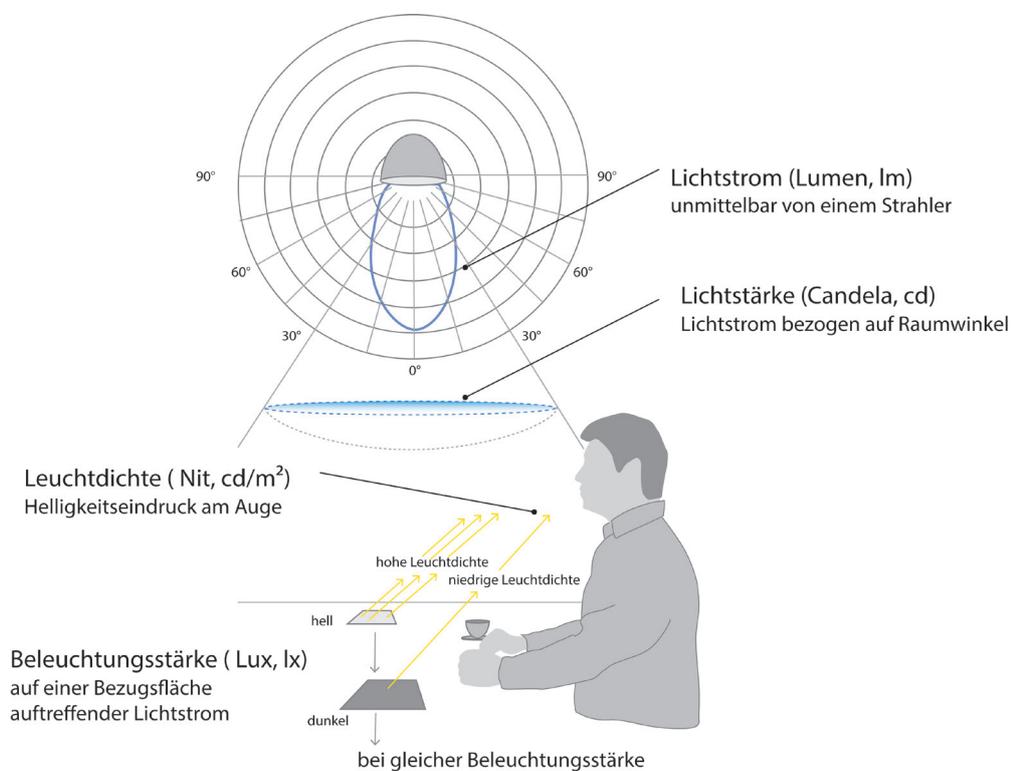


Abb. 1.3.8-3
Lichttechnische Begriffe und
Maßeinheiten im Zusammenhang
(Quelle: Transsolar)

1.3.9 Sehen und Leuchtdichte

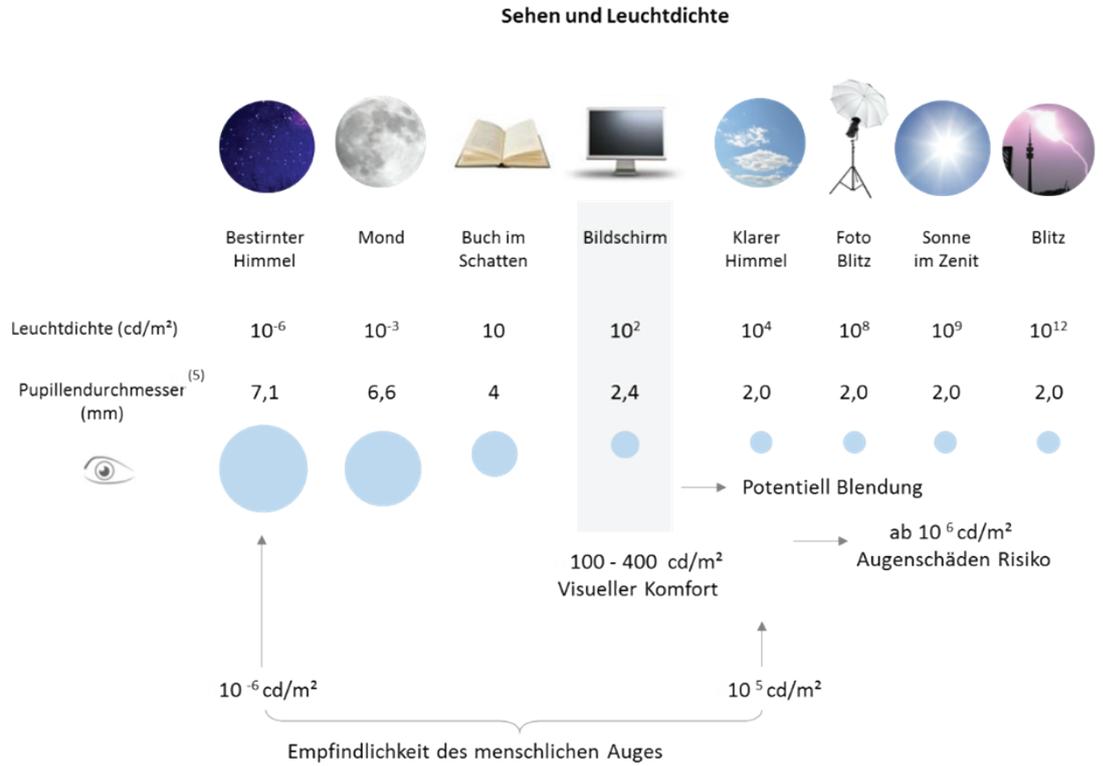


Abb. 1.3.9-1
Sehen und Leuchtdichte
(Quelle: Transsolar)

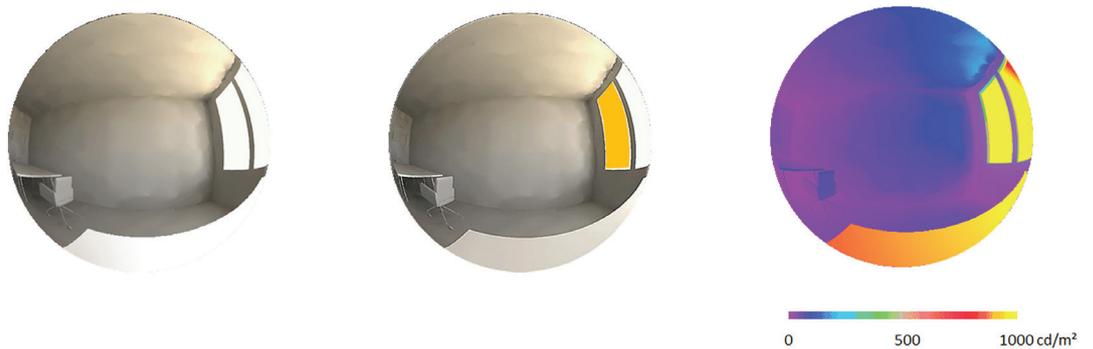


Abb. 1.3.9-2
Lichtstärkenverteilung im
Innenraum
(Quelle: Transsolar)

Wie die Abbildung 1.3.9-1 zeigt verengt sich unbewusst der Pupillendurchmesser je nach Lichteinfall ²¹. Der Helligkeitseindruck eines Raumes wird mit einer Fischaugenperspektive dargestellt. Somit wird die Intensität und Position einer Lichtquelle berücksichtigt. Abbildung 1.3.9-2 erfasst die Leuchtdichteverteilung eines Raumes und ist damit die Grundlage einer Blendungswahrscheinlichkeitsauswertung.

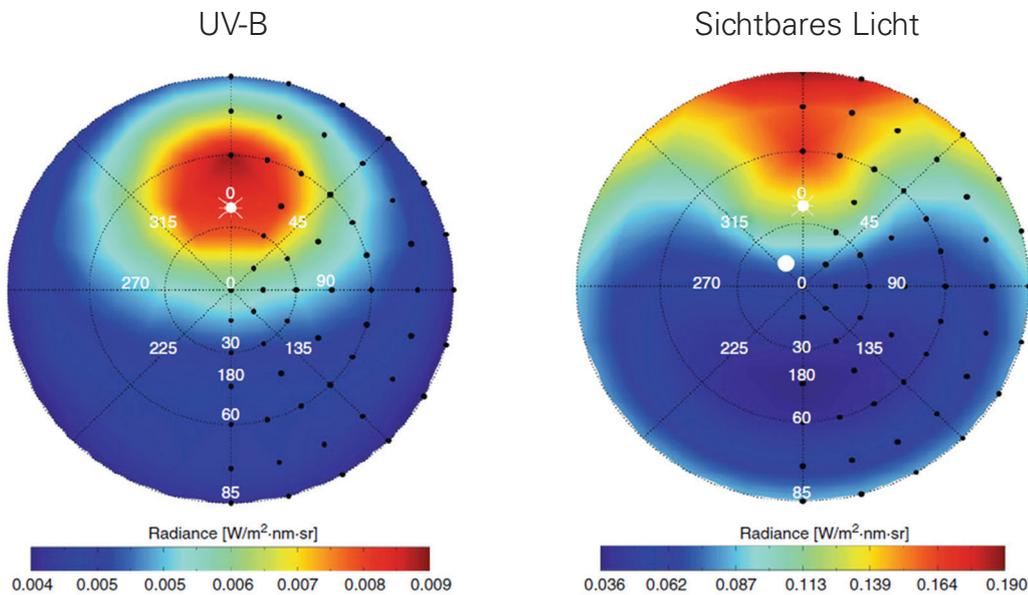


Abb. 1.3.9-3
Strahlrichtmessung Hannover
(Quelle: NOAA)

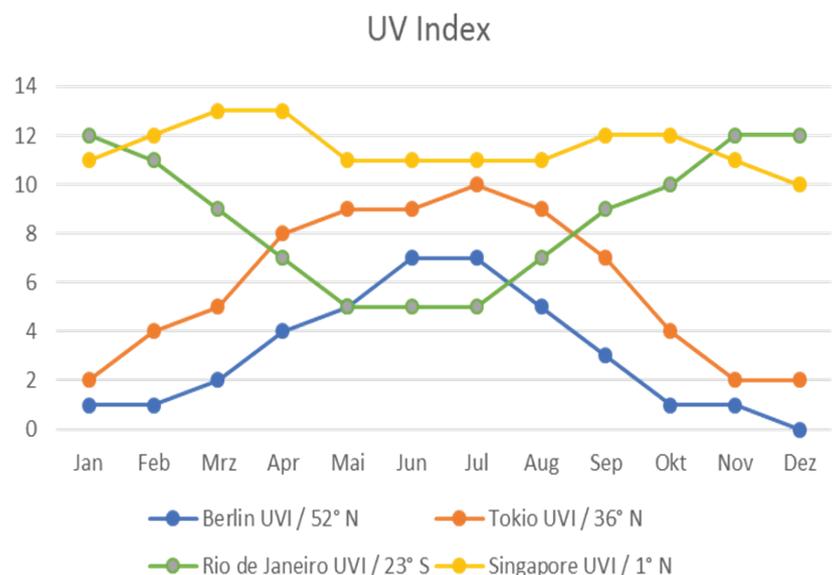
Die Abb.1.3.9-3 gibt Auskunft über Strahlrichtmessungen am Mittag bei klarem Himmel in Hannover. Die Position der Sonne – Süden am Mittag – wird durch das weiße Symbol angedeutet (Links 305nm, rechts 500nm). Es ist erkennbar, dass die räumliche Verteilung bei diesen zwei Wellenlängen verschieden ist und die Verteilung der Himmelsstrahllichte im UV Bereich gleichmäßiger wirkt, was an der Doppelstreuung der Rayleigh-Streuung liegt²². Eine lichttechnische Simulation beruht auf der Ermittlung der Strahllichte mit einem validierten Himmelsmodell. Diese stündliche Berechnung erfolgt anhand von Daten einer Wetterstation.

Es gibt eine große Variation zwischen den optimalen Aussetzungszeiten im Sommer und Winter in den mittleren Breitengraden. Es gibt keinen direkten Zusammenhang zwischen dem UV-Index und der sichtbaren Strahlung. Obwohl bei steigender Beleuchtungsstärke die UV-Strahlung auch zunimmt, ist die Beziehung komplex und nichtlinear. Abbildung 1.3.9-5 zeigt die annähernden Aussetzungszeiten die zu einem Erythem oder zu einer anhaltenden adäquaten Vitamin-D-Produktion als Funktion der UVI führen²⁴.

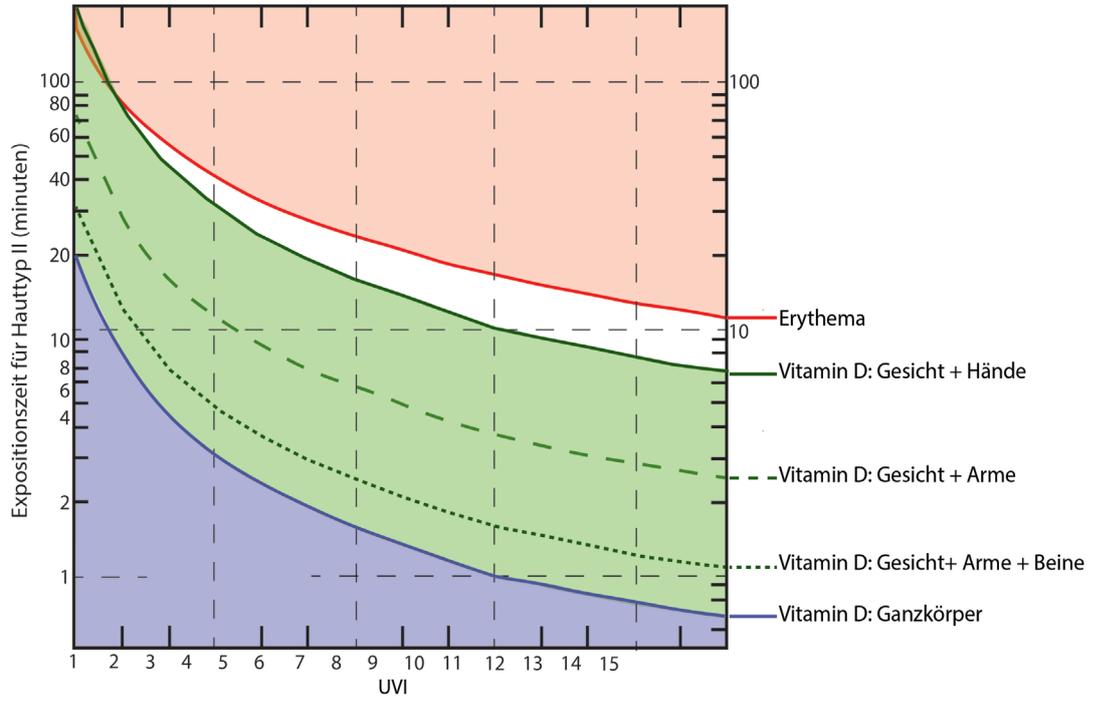
Abb. 1.3.9-4
UV-Index für Berlin, Tokio, Rio de Janeiro und Singapore
(Quelle: WHO)

Der UV-Index ist eine lineare Skala die von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) anerkannt ist. Sie weist die Intensität der UV-Strahlung auf die einen Sonnenbrand auf der menschlichen Haut verursachen kann. Die UVI-Werte sind Empfehlungen zum Schutz vor UV-Strahlung²³.

Um eine optimale Sonnenexposition zu definieren wurden zahlreiche Versuche durchgeführt. Die Ergebnisse beziehen sich auf UVI Aussetzungszeiten und hängen vom Hauttyp und der möglichen Anwendung von Sonnenschutzmitteln ab. Die optimale Aussetzungszeit für die Vitamin-D Herstellung ist abhängig von der exponierten Hautfläche.



1. Einführung

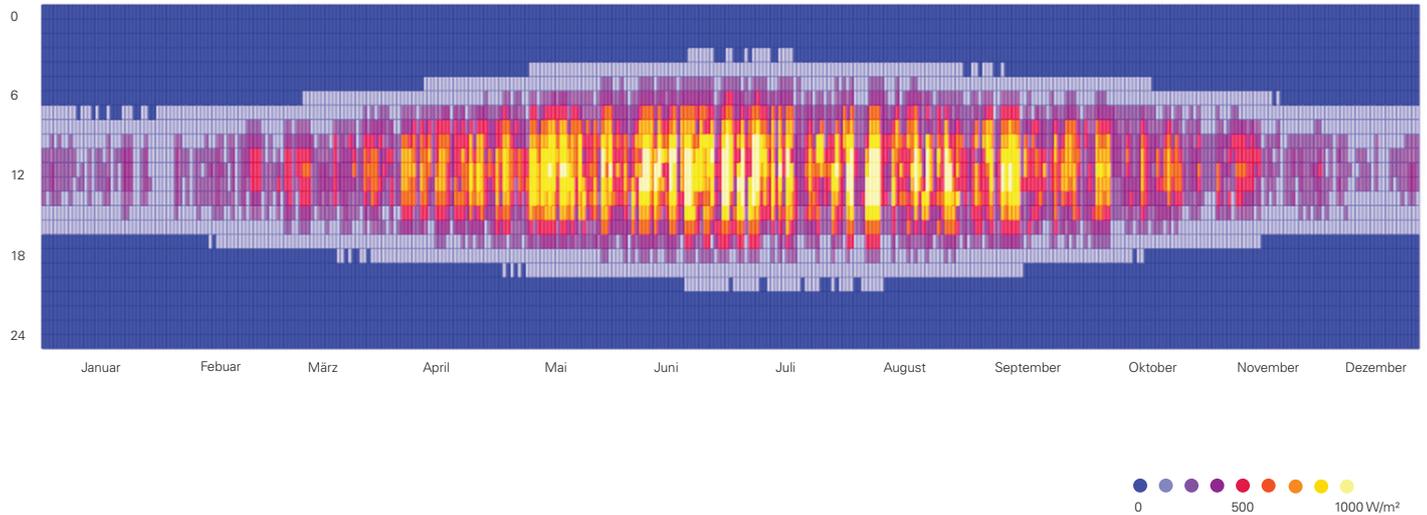


- UV Beschädigung
- Mangelhafte UV-Exposition wenn nur Hände und Gesicht ausgesetzt sind
- Mangelhafte UV-Exposition

Abb. 1.3.9-5
UV-Strahlungsexposition
(Quelle: Transsolar nach
McKenzie et al.)

UV-Index	Belastung	Schutzmaßnahmen ²⁵
0 - 2	niedrig	Kein Schutz erforderlich
3 - 5	mäßig	Schutz erforderlich: Hut, T-Shirt, Sonnenbrille, Sonnencreme.
6 - 7	hoch	Schutz erforderlich: Hut, T-Shirt, Sonnenbrille, Sonnencreme. Die WHO empfiehlt, mittags den Schatten zu suchen.
8 - 10	sehr hoch	zusätzlicher Schutz erforderlich: Aufenthalt im Freien möglichst vermeiden Die WHO empfiehlt, den Aufenthalt im Freien zwischen 11 und 15 Uhr zu vermeiden; auch im Schatten gehören ein sonnendichtes Oberteil, lange Hosen, Sonnencreme, Sonnenbrille und ein breitkrempiger Hut zum sonnengerechten Verhalten.
> 11	sehr hoch	zusätzlicher Schutz erforderlich: Aufenthalt im Freien möglichst vermeiden Die WHO rät, zwischen 11 und 15 Uhr im Schutz eines Hauses zu bleiben und auch außerhalb dieser Zeit unbedingt Schatten zu suchen. Auch im Schatten gelten ein sonnendichtes Oberteil, lange Hosen, Sonnencreme, Sonnenbrille und ein breitkrempiger Hut als unerlässlich.

Tabelle. 1.3.9-6
UV-Schutzmaßnahmen
(Quelle: WHO)



Der Deutsche Wetterdienst stellt Datensätze zusammen. Testreferenzjahre enthalten für jede Stunde eines Jahres diverse meteorologische Daten. Sie repräsentieren den Witterungsverlauf einer bestimmten Klimaregion. Das Bild unten zeigt die 15 Klimaregionen Deutschlands und die Verteilung der Globalstrahlung in der BDR.

Laut dem DWD herrscht Sonnenschein, wenn die Bestrahlungsstärke der direkten Sonnenstrahlung 120 W/m^2 überschreitet²⁶. Abbildung 1.3.7-12 zeigt die Bestrahlungsstärke auf eine horizontale Ebene für den Standort Stuttgart. Die Position der Sonne ist unabhängig von der Stärke der Sonnenstrahlung und kann ebenfalls für die verschiedenen Jahreszeiten geometrisch bestimmt werden und ist aus den Sonnenstanddiagrammen ablesbar.

Abb. 1.3.9-7
Jährliche Bestrahlungsstärke auf eine horizontale Fläche in Stuttgart (Quelle: Transsolar)

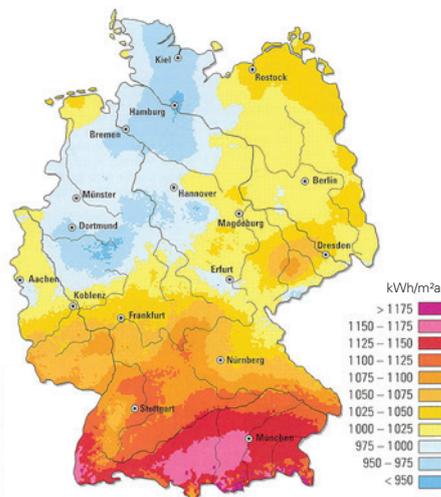


Abb. 1.3.9-8
Die 15 Klimaregionen (Links) Deutschlands und die Verteilung der jährlichen Globalstrahlung (Rechts) (Quelle: DWD)

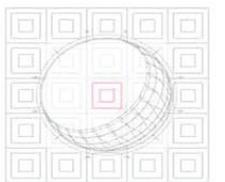
1. Einführung

Besonnung Stuttgart
21. Dezember

GFZ: 3,5
GRZ: 0,4



Orientierung 1: 0°

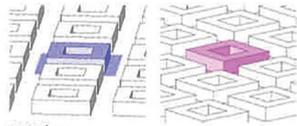


Orientierung 2: 45°

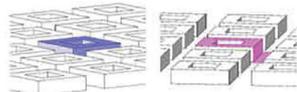
Orientierung 0° N Orientierung 45° N



9 Uhr

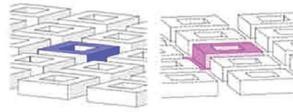


12 Uhr

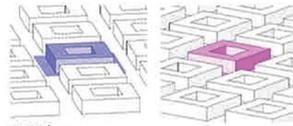


14 Uhr

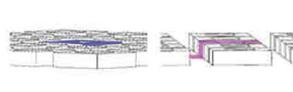
Orientierung 0° N Orientierung 45° N



10 Uhr

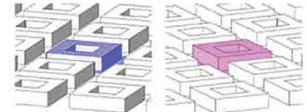


13 Uhr

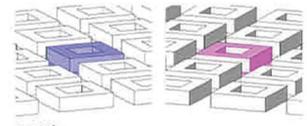


16 Uhr

Orientierung 0° N Orientierung 45° N



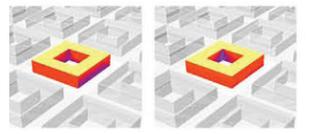
11 Uhr



14 Uhr



0 Uhr



16 Stunden



N-S



NO-SW

SONNENSCHEN

Um die Sonnenscheindauer für eine Fläche geometrisch zu ermitteln müssen die Umgebungsbebauung und der Breitengrad des Standortes in Betracht gezogen werden.

Die auf dieser Seite abgebildete Studie illustriert den Verlauf der Sonne auf und um ein Gebäude. Da die Perspektive mit der Position der Sonne übereinstimmt, kann man darauf schließen, dass die Oberflächen – die nicht dargestellt sind – im Schatten stehen.

Die Abbildungen zeigen die Besonnung einer Blockbebauung in Stuttgart und stellen zwei Orientierungen einander gegenüber²⁷. Die Bilder auf der rechten Seite (Blau) weisen eine Nord-Süd Ausrichtung auf.

Die Besonnung auf Dächer, Fassaden, Innenhöfe und Außenflächen wird in der Abbildung 1.3.7-10 zusammengefasst.

Mindestanforderungen für die Besonnung:

Laut DIN 5034-01, wird für Wintermonate: am 17 Januar mindestens 1h kann 1 Stunde als Ziel empfohlen werden. In mindestens einem Wohnraum zur Tag-Nachtgleiche mindestens 4h²⁸.

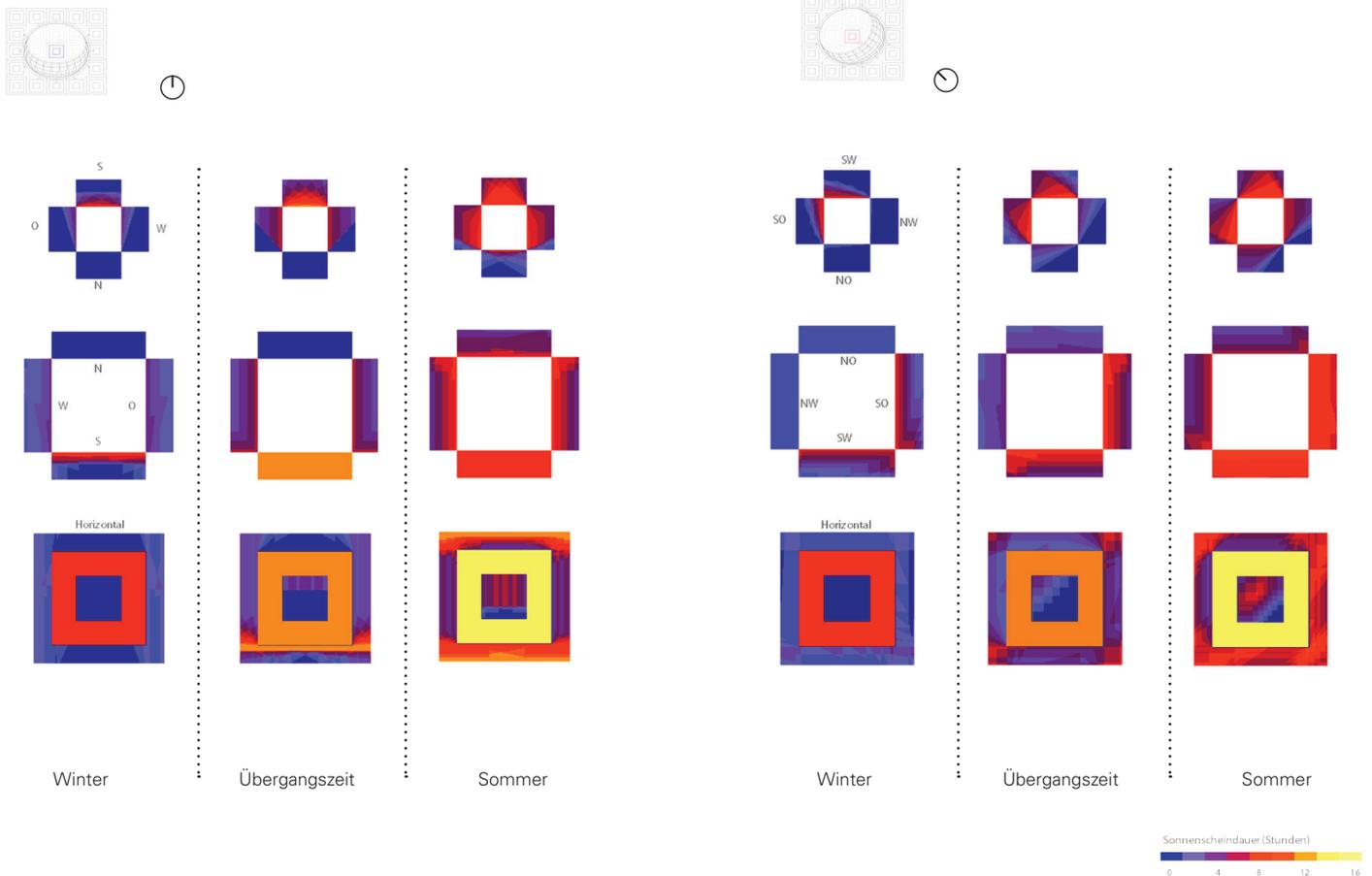
Nach der Mindestempfehlung der DIN 17037, sollte ein Raum möglichst Sonnenlicht für eine Dauer aufnehmen die länger ist als 1,5h am 21. März (vorausgesetzt es ist wolkenlos). Die Empfehlung für mittlere und intensive Besonnung sind 3 und >4h jeweils²⁹.

Alle Abbildungen auf dieser Seite:
eigene Darstellungen

Bei den Bildern auf der linken Seite handelt es sich um eine NW-SO Orientierung.

Abb. 1.3.9-9

Die Besonnung auf Dächer, Fassaden, Innenhöfe
(Quelle: Transsolar)



1.3.10 Sonnestunden und Solareinstrahlung

Das Verhältnis zwischen Sonnenstunden und Solareinstrahlung variiert. Diese Variation hängt von den Sonnenstunden, der Jahreszeit, dem Einfallswinkel, der Orientierung zu den Himmelsrichtungen und der geographischen Lage ab.

Die Einstrahlungen und die Besonnungen im Laufe eines Tages auf die Fassade der bereits untersuchten Bebauung wurden ermittelt und als Mittelwert für auf die 8-geschossige Fassade angesetzt. Die senkrechte Fassademittelachse gilt als Referenz für die Berechnung. Stellvertretend repräsentieren die gemessenen Wetterdaten des Monats Juli den Sommer, die des Dezembers den Winter und die des März Frühjahr und Herbst.

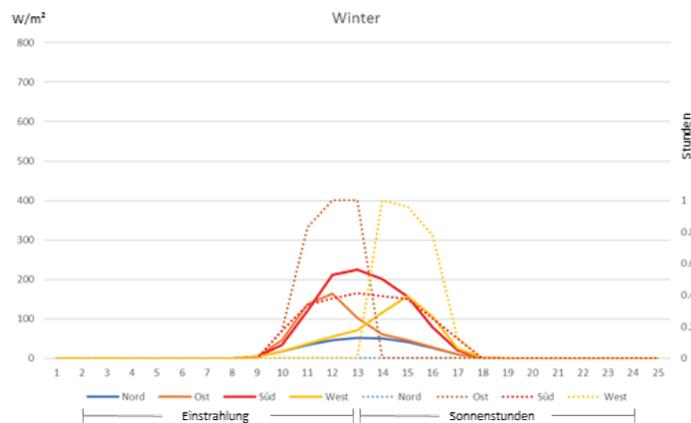


Abb. 1.3.10-1
Einstrahlung und
Sonnenstunden auf
Fassaden im Winter
(Quelle: Transsolar)

1. Einführung

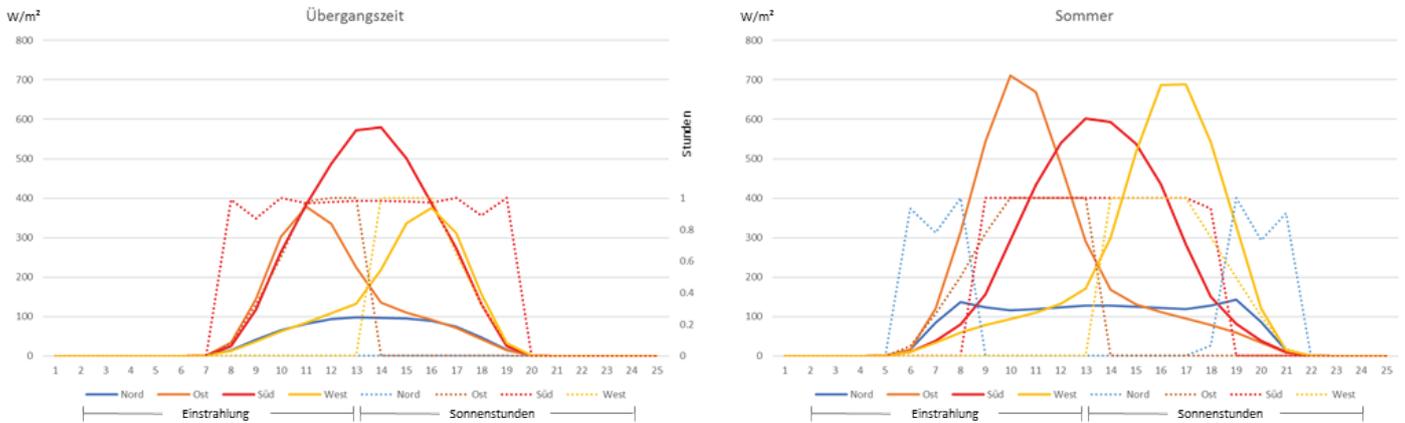


Abb. 1.3.10-2
Besonnung und
Einstrahlung auf Fassaden
in der Übergang und
Sommerzeit
(Quelle: Transsolar)

Aus den Abbildungen 1.3.10-1, 2 lässt sich folgendes entnehmen:

Im Sommer werden auf der Ost- und Westfassade höhere Spitzenwerte erreicht als auf der Südfassade. Die aufsummierte Bestrahlungsstärke der Ost und Westfassade jeweils ist jedoch geringer als die der Südfassade. Sie entspricht ca. 90% der Einstrahlung auf eine Südfassade.

Die Maximalwerte einer Südfassade in der Übergangszeit (Frühling und Herbst) und im Sommer weisen ähnliche Werte auf. Dies liegt daran, dass die Bestrahlungsstärke im Sommer höher ist. Dennoch wird eine Südfassade in der Übergangszeit mit einem günstigeren Einfallswinkel bestrahlt.

Die Nordfassade erfährt in der Summe eine geringe Gesamtbestrahlung. Die Bestrahlungsdauer beträgt im Durchschnitt 8 Stunden und kurzzeitig werden Werte von über 100 W/m² erreicht. Daraus kann man schließen, dass in den Sommermonaten für alle Orientierungen Sonnenschutzmaßnahmen vorzusehen sind.

Im Gegensatz zu den anderen Jahreszeiten wirkt im Winter der stärkste Lichteinfall auf vertikale Oberflächen. Eine Südfassade wird circa 6 Stunden der Sonne ausgesetzt, deren Bestrahlungsstärke liegt am Mittag bei 200 W/m².

	Sommer				Übergangszeit				Winter			
	Nord	Ost	Süd	West	Nord	Ost	Süd	West	Nord	Ost	Süd	West
Sonnenstunden	5,4	5,6	9,9	5,6	0	4	11,6	4	0	2,9	2,5	2,8
Sonniger Tag (kWh/m ²)	1,71	3,83	4,28	3,88	0,81	1,88	3,75	1,87	0,28	0,60	1,05	0,59
Monatlich (kWh/m ²)	20	50	75	50	10	25	55	25	3	5	20	5

Tabelle 1.3.10-1 Besonnungsdauer, Einstrahlung an einem sonnigen Tag und während eines Monats für die verschiedenen Himmelsrichtungen und Jahreszeiten.

Die Ergebnisse werden gewöhnlich für den Zeitraum eines Monats angegeben und gelten als Grundlage für die Auswertung der Besonnung in Außenräumen.

Die geographische Breitengrade Deutschlands weisen Bestrahlungsstärken auf Fassaden zwischen 0 und 140 kWh/m² im Sommer und 0 bis 30 kWh/m² im Winter auf.

Eine senkrechte Oberfläche, beispielsweise eine Wand, wird vom Himmel bestrahlt. Die Intensität dieser Bestrahlung hängt von den atmosphärischen Bedingungen ab. (Abbildung 1.3.7-2.) Die Vorderseite wird einer Hälfte des Himmelsgewölbes ausgesetzt und die Rückseite der anderen Hälfte. Horizontale Oberflächen werden vom ganzen Himmelsgewölbe bestrahlt. Beide Arten von Oberflächen sind Grundbestandteile jeglicher städtischen Bebauung. Das Seitenverhältnis einer Straßenschlucht wird durch Höhe zu Breite ausgedrückt. Es wirkt sich auf die Luftbewegung, Abkühlung und Besonnung aus und hängt von der Dichte und urbanen Form der Bebauung ab.

Die Gestalt einer Straßenschlucht wird ebenfalls durch das Verhältnis von Höhe zu Breite definiert. Wenn Höhe und Breite gleich sind spricht man von einem 1:1 oder a:a Verhältnis. Die Einstrahlung auf eine solche Straßenschlucht im Sommer, Winter und der Übergangszeit wird in den folgenden Bildern dargestellt. Die ausgewerteten Himmelsrichtungen sind N-S, O-W, SW-NO und NW-SO.

Die Fassade schützt die Gebäudenutzer vor niedrigen und hohen Temperaturen. Hierfür sind Materialien und Wandaufbauten mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit erforderlich. Fenster weisen eine höhere Wärmeleitfähigkeit auf und stellen eine Schwachstelle bezüglich des Wärmeverlustes dar. Darüber hinaus ist die Entstehung von Wärmebrücken zwischen Rändern und Fensterrahmen unumgänglich. Allerdings hängt der gesamte Wärmeverlust zusätzlich von dem Nutzerverhalten, der Lüftung und der Bauweise ab.

Die Heizbilanz eines Fensters gibt Aussage über den gesamten Wärmeverlust oder -gewinn eines Bauteils während eines bestimmten Zeitraumes. Für den Wärmeverlust werden die Größe des Fensters, der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) und die Gradtagzahl des Standortes in Erwägung gezogen. Für den Gewinn werden der Energiedurchlassgrad der Verglasung (g-Wert), die Einstrahlung auf das Fenster im gleichen Zeitraum und ebenfalls die Größe des Fensters berücksich-

tigt. Der solare Gewinn trägt zur Reduzierung des Heizenergiebedarfes bei. In der Winterzeit ist der Wärmeverlust am größten und die solaren Gewinne am geringsten. Aus diesem Grund ist eine positive Heizbilanz unwahrscheinlich. Im Dezember und Januar ist eine Abdeckung bis 50% erstrebenswert, für Februar und November ist eine Abdeckung von 80% möglich. Dabei sind monatliche Einstrahlungswerte von 40 bis 50 kWh/m² notwendig.

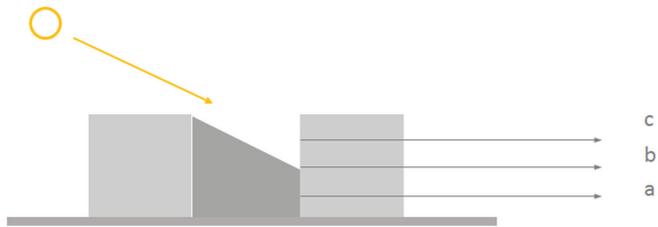
Das größte Potenzial für solare Gewinne liegt im Frühling und Herbst. Die Besonnung hat eine längere Dauer. Fassaden werden mit einem günstigeren Winkel bestrahlt. Die Intensität der Bestrahlung und Außenlufttemperatur nehmen zu. Als Folge dieser Zusammenhänge nimmt die Gradtagzahl für diesen Zeitraum ab. Eine positive Heizbilanz ist erreichbar. Monatliche Einstrahlungswerte auf Fassaden ab 60 kWh/m² sind dabei Voraussetzung. Ebenfalls ist das Potenzial des Tageslichtes in Innenräumen zu dieser Jahreszeit am Größten. Sonnenschutz- und Blendschutzsysteme werden selten zum Einsatz kommen.

In der Sommerzeit kann Überhitzung in Innenräumen durch die zusätzliche Wärmezufuhr von Personen und elektronischen Geräten eintreten. Infolgedessen dient die Fassade als Schutz gegen Sonne und hohe Außentemperaturen. Zudem kann ein effizientes Verschattungssystem die Überhitzungsgefahr verringern. Dabei spielen ebenfalls die Bauweise, thermische Masse des Hauses, das Nutzerverhalten und die Lüftungsstrategien eine wesentliche Rolle.

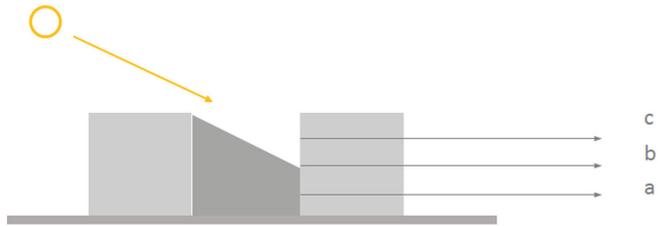
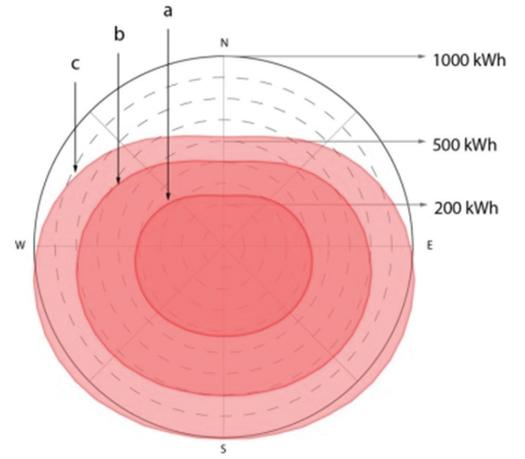
Außenliegende Sonnenschutzelemente funktionieren am besten. Sie können beweglich oder feststehend sein. Bei den beweglichen Systemen sind Faktoren wie Windwiderstandsfähigkeit, Wartungsaufwand und Regelung der manuellen oder automatischen Antriebe zu beachten. Ein feststehender Sonnenschutz in Form von Balkonen, Loggien oder Dachüberstände wird im Zusammenhang mit der Straßenschlucht gestaltet. In dieser Jahreszeit werden Sonnenschutzmaßnahmen erforderlich ab Einstrahlungswerten von 70 kWh/m² auf die Fassade.

Die Einstrahlung auf eine Fassade in einer Straßenschlucht mit einem 1:1 Verhältnis ist in Form einer Solar-Rose für alle Himmelsrichtungen dargestellt.

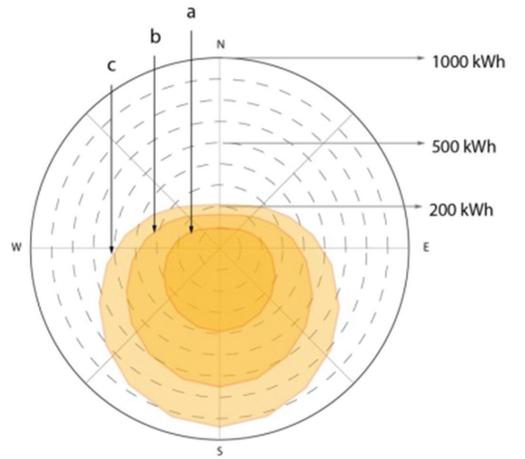
1. Einführung



Sommer
(Juli)



Frühjahr
(März)



March



Winter
(Dezember)

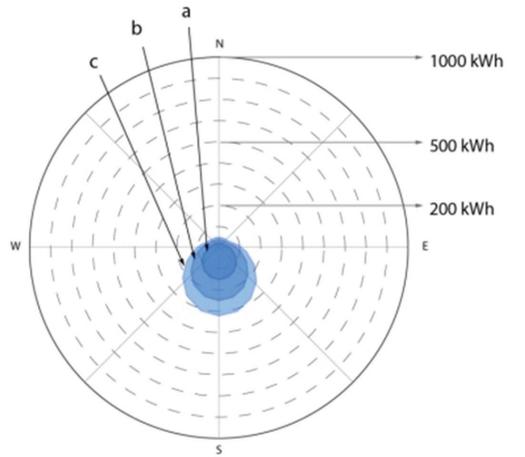
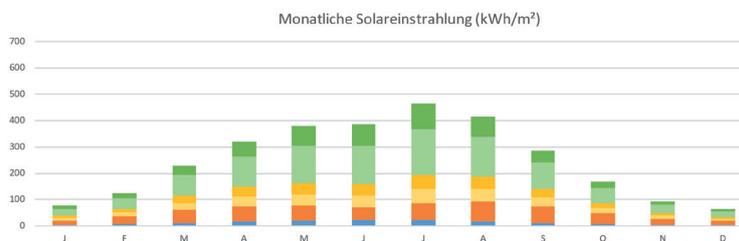
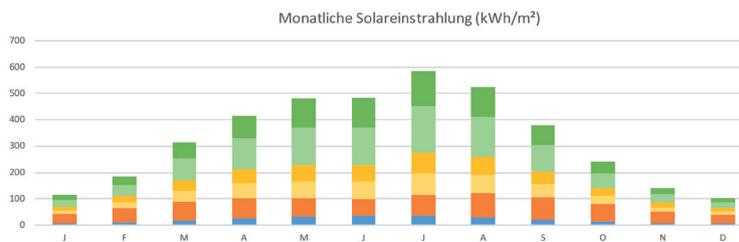


Abb. 1.3.10-3
Solar Rose für Winter, Frühjahr
und Sommer (Quelle: Transsolar)

Um den Solarertrag auf eine bestimmte Bebauung auszuwerten wurde die Einstrahlung auf die Gebäudehülle eines 8 geschossigen Stadthauses (Grundflächenzahl: 0,2, Geschossflächenzahl ca. 1,6)³⁰. Die grundlegende Bewertung gilt für ein Haus ohne Berücksichtigung der Umgebungsverschattung. Abbildung 1.3.11-4 zeigt eine Aufteilung der Gebäudehülle und die entsprechende monatliche Bestrahlungsstärke im Laufe eines Jahres. Abgesehen von der Grundfläche sind alle Oberflächen unverschattet. Alle Fassaden besitzen eine Fläche von 400m². Die höchste Einstrahlung findet in Sommer statt. Auf die Überdachung fallen in Juli mehr als 170 kWh/m². Ebenfalls sind während des Sommers Ost, Süd und Westfassaden gleichermaßen bestrahlt, mit 60 kWh/m² jeweils. Dabei ist zu beachten, dass die Fassaden zu verschiedenen Zeitpunkten am maximal bestrahlt werden. Im Osten am Vormittag, Süden am Mittag und Westen am Nachmittag. Darüber hinaus hat eine die mögliche Nachbarbebauung Einfluss auf Ost und Westfassaden.

Aus der Abbildung 1.3.10-2 wird deutlich in welcher Bestrahlungskategorie die verschiedenen Fassaden sich befinden. Nämlich die Anzahl von m² einer Fassade die einer gewissen jährlichen Strahlungsstärke ausgesetzt ist. Die Bestrahlungsstärke der Nordfassade liegt im Bereich von 200 bis 300 kWh/m²a. Osten und Westen weisen eine Einstrahlung von 500 bis 600 kWh/m²a auf. Die Südfassade liegt im Bereich von 700-800 kWh/m²a. Am meisten bestrahlt wird das Dach mit 1.000 kWh/m²a. Die Einstrahlung auf den Boden, die einzige Oberfläche die bei diesem Beispiel verschattet wird, ist in 3 Bereichen unterteilt, von 700 bis 1.000 kWh/m² a.

Bei der zweiten Auswertung, dient der gleiche Gebäudetyp als Umgebung. Das heißt, der untersuchte Baukörper ist beschattet. Die Abnahme der Bestrahlungsstärke und die neuen Bestrahlungskategorien der Flächen ist aus der Abbildung 1.3.10-4 zu entnehmen. Wie erwartet sind die Erträge auf alle Oberflächen, abgesehen vom Dach, geringer als bei der ersten Falluntersuchung.



- Freigelände
- Dach
- SO
- NW
- SW
- NO

Abb. 1.3.10-4
Monatliche Auswertung und Bestrahlungskategorie
(Quelle: Transsolar)

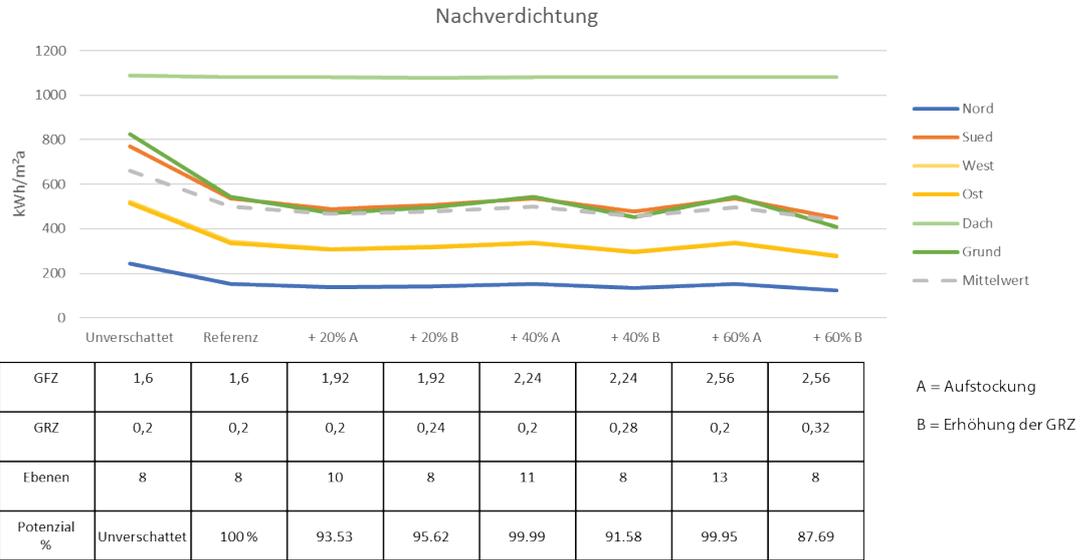
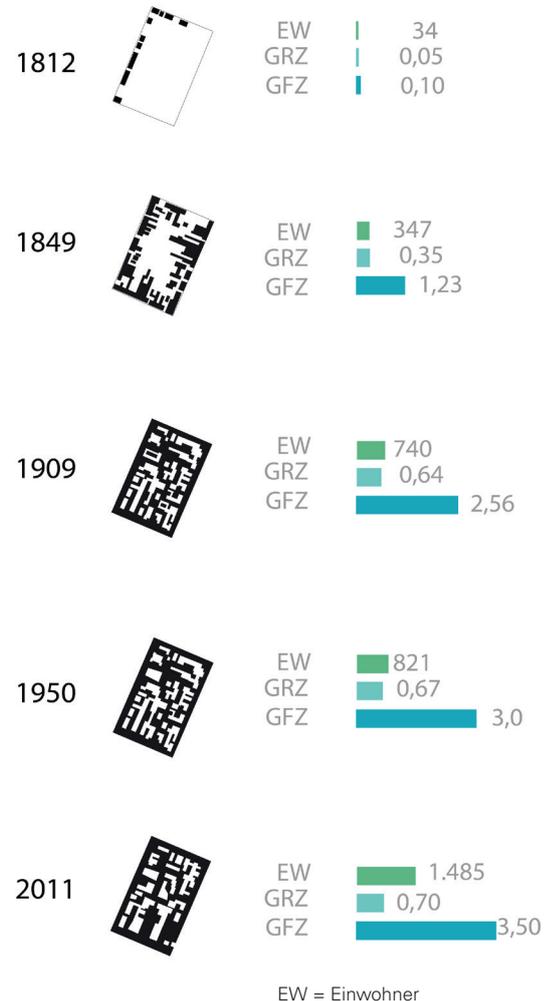


Tabelle 1.3.10-2
GFZ, GRZ und
Nachverdichtung
(Quelle: Transsolar)

Referenz: (29) Stadthaus (GRZ=0,2, GFZ=1,6) Siehe Raumpilot.

Verschieden Bebauungsdichten können auf die gleich Art und Weise untersucht werden. Die Tabelle 1.3.10.2 fasst Verdichtung der gleichen urbanen Form (Stadthaus) zusammen. Die GFZ wurde schrittweise erhöht von 20% zu 40 und 60%. Eine Nachverdichtung kann auf zwei Weisen erfolgen. Es können weitere Etagen hinzugefügt werden, beispielweise, bei Sanierungsbedarf könnte man schließen eine Aufstockung zu unternehmen. Dabei bleibt die Grundflächenzahl gleich und die Geschosßflächenzahl nimmt zu.

Eine weitere Möglichkeit ist, am Ende der Nutzungszeit eines Hauses eine neue Bebauung mit der gleichen Anzahl von Geschossen zu errichten. Um die Dichte zu erhöhen, sollten sowohl die GRZ als auch die GFZ steigen. Beide Varianten wurden untersucht. Steigerungen der Geschosßflächenzahl von 20%, 40% und 60% wurden für die zwei erwähnten Arten von Nachverdichtung in Betracht gezogen. Zusammenfassend kann man sagen, dass die Reduktion der Solareinstrahlung auf die Fassaden auf beiden Fällen vertretbar ist; dennoch wird eine Aufstockung einen etwas geringeren Verlust verursachen.



In einem Zeitraum von zwei Jahrhunderten, hat sich z.B. in München-Schwabing, die Einwohnerdichte um den Faktor 43 erhöht und die bauliche Dichte um den Faktor 35

1.3.11 Urbane Dichte

Die urbane Dichte kann auf zwei Arten definiert werden. Die bauliche Dichte bezieht sich auf die bebaute Fläche auf einer Grundfläche und wird durch die Geschosßflächenzahl gekennzeichnet. Dabei kann man entweder die Anzahl von Geschossen oder das Verhältnis von bebauter zu unbebauter Fläche variieren. Darüber wird das Maß der baulichen Nutzung in Bebauungspläne bestimmt. Die Einwohnerdichte sagt die Anzahl von Einwohner auf einer bestimmten Fläche aus. Die Definition wird für demographische Studien berücksichtigt, um den Bedarf nach Schulen, Gewerbe und Verkehr einzuschätzen³¹.

Im Laufe der Entwicklung einer Stadt ändert sich sowohl die baulich als auch die einwohnerdichte. In einem Zeitraum von zwei Jahrhunderten, hat sich z.B. München-Schwabing, die Einwohnerdichte um den Faktor 43 erhöht und die bauliche Dichte um Faktor 35.³² Daraus kann man schließen, dass in diesem Zeitraum der Wohnraum pro Person ebenso zugenommen hat. Die durchschnittliche Anzahl von Etagen ging von 2 auf 5 und die unbebaute Fläche hat sich auf weniger als ein Drittel reduziert. Den Verlust an Solareinstrahlung und Änderung in der Bestrahlungskategorie der Fassaden, Dächern und unbebauten Flächen ist aus der Abb. 1.3.11-1 zu entnehmen.

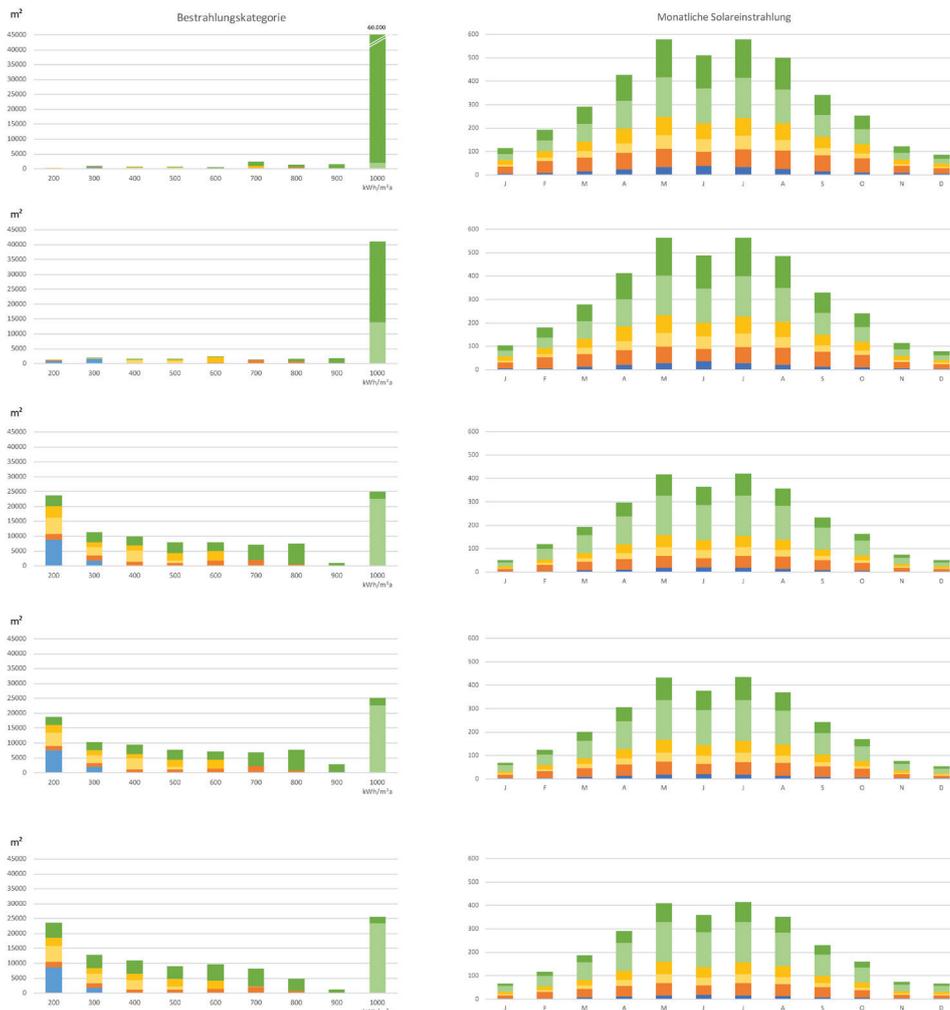


Abb. 1.3.11-1
Entwicklung eines Blockes über 200 Jahre
und Einfluss auf die Besonnung
(Quelle: Transsolar)

Die Stadt ist in unserem Beispiel München-Schwabing dichter geworden. Die Einwohnerdichte eines solchen Blocks würde ca. 34.000 EW/km² betragen. Dabei ist zu beachten, dass nicht alle Blocks gleich dicht bewohnt sind. Betrachtete man dies in einem größeren Maßstab, zum Beispiel in einem Stadtbezirk, werden freie Flächen wie Parks und Plätze sowie öffentliche Gebäude, die Einwohnerdichte verringern. Die Einwohnerdichte dieses Stadtbezirkes beträgt ca. 16.500 Einwohner/km² und zählt zu den dichtesten von München.³³

Gemäß Prognosen der Stadt München ist in 2035 ist mit einem Bevölkerungswachstum in Höhe 23,1% zu rechnen.

Gemäß Prognosen der Stadt München ist im Jahr 2035 mit einem Bevölkerungswachstum in Höhe 23,1% zu rechnen. Die stabile Geburtenrate und der Zuzug jüngerer Bevölkerung sind die Ursache dieses Wachstums. Es ist erwähnenswert, dass ein bedeutender Anteil der Zuzüge aus dem Inland stammt. Dies bedeutet: Andere deutsche Städte schrumpfen. Laut dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt und Raumforschung, nach einer langen Periode stetigen Wachstums und wirtschaftlicher Prosperität der Städte setzte in den 1970er Jahren ein wirtschaftlicher und demografischer Wandel ein, der in Teilen der Republik zu anhaltenden Arbeitsplatz- und Bevölkerungsverlusten führt.

Gemeinden im Umland der Großstädte haben lange von deren Entwicklung profitiert, zum Beispiel durch Suburbanisierung. Seit Mitte der 2000er Jahre verzeichnen die Großstädte einen starken Bevölkerungszuwachs. Viele mittlere und kleine Städte sowie Landgemeinden vor allem in ländlichen Regionen schrumpfen dagegen.³⁴

Die Verteilung der Einwohnerdichte in München ist für die aktuellen Zahlen und Prognose aus Abbildung 1.3.12.1 zu entnehmen. Zur Gegenüberstellung ist die Einwohnerdichte von Berlin (die größte Stadt Deutschlands) und Paris (die dichteste Stadt Europas) dargestellt.

1.3.12 Flächenverbrauch und Bevölkerungsentwicklung

Die Konzentration von Bevölkerung verstärkt die Wirtschaft und erhöht das Angebot an Mobilität, Dienstleistungen, Bildungsmöglichkeiten und Arbeitsplätzen. Hingegen ist Wachstum in Ballungsräumen und städtischen Gebieten mit dem Bedarf nach Verkehrsentwicklung gekoppelt. Die bestehende Infrastruktur wird unter Druck gesetzt. Aus diesem Grund sind Maßnahmen wie Nachverdichtung frühzeitig vorzudenken.

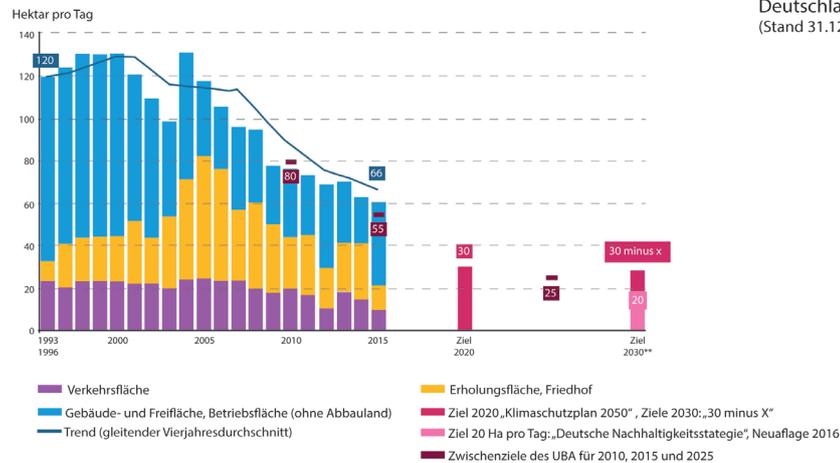
Die Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr liegt Bundesweit bei 13,7%. Auf Grund des demografischen Wandels wächst dieser Anteil konstant. Jeden Tag werden 66 Hektar bebaut. Das Ziel für 2020 ist eine Verringerung auf 30 ha/Tag. Eine zukunftsorientierte Siedlungsentwicklung, die die hohe Infrastrukturkosten sowie Energieeffizienz und Klimaschutz nachhaltig betrachtet, konzentriert sich zunehmend auf die Ausnutzung der bestehenden Städte und auf die Reduzierung des Flächenverbrauchs. (Statistisches Bundesamt 2015)³⁵

Zu diesem Zweck sind die innerörtlichen Baulücken, Brachen, unbenutzte Rangierflächen, alte Kasernen und untergenutzte Bauflächen systematisch zu entwickeln. Die städtische Bevölkerung Deutschland lag im Jahr 2017 bei 75,7%, Tendenz steigend. Außerdem ist darauf hinzuweisen, dass etwa die Hälfte der städtischen Bevölkerung pendelt Strecken kürzer als 10km von Wohn zum Arbeitsort und ca. 13% der Pendler fahren Strecken von 25 bis 50km, (Hamburgisches Wirtschaftsinstitut. 2014)³⁶.



Abb. 1.3.12-1
Bevölkerungsdichte von München, Berlin und Paris
(Quelle: Transsolar mit Daten der Stadt München)

Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche



Flächennutzung in Deutschland
(Stand 31.12.2015)

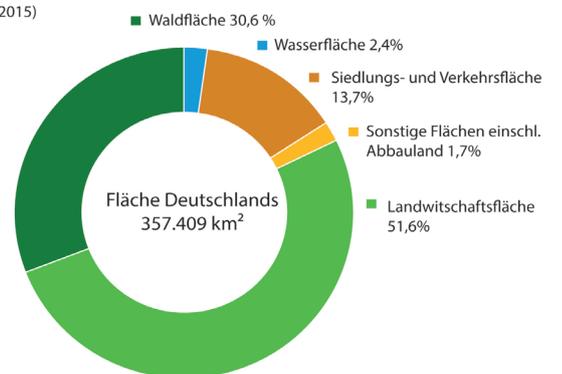
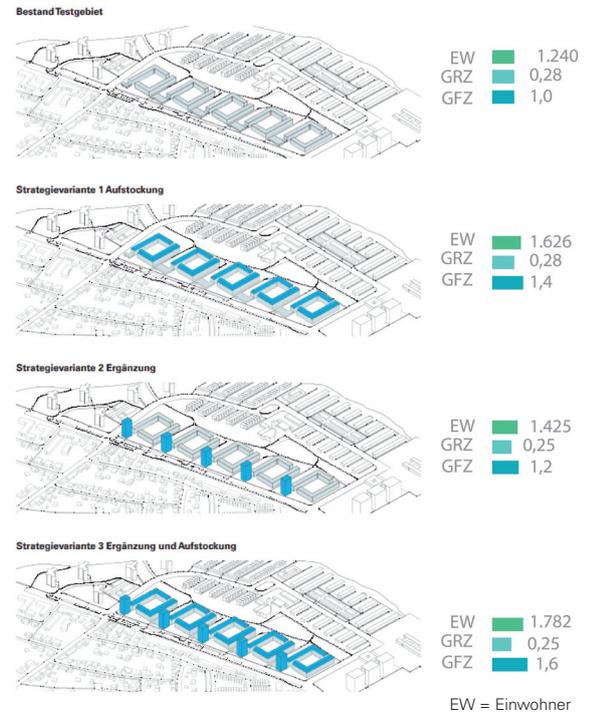


Abb. 1.3.12-2
Flächenverbrauch in Deutschland
(Quelle: Statistisches Bundesamt)

Die langfristige Siedlungsentwicklungsstrategie der Stadt München beabsichtigt 4 Strategievариante um das Wohnangebot zu erhöhen. Aufstockung, Ergänzung, Aufstockung mit zusätzlicher Ergänzung und komplette Neubau Planung³⁷.

Im Rahmen eines Gutachtens wurden die ersten 3 Strategien für verschiedene repräsentative Gebiete untersucht. Das größte Potenzial ist in Gebieten mit geringen GRZ zu entfalten, was mit der Prognose der Stadt München zusammen trifft. Demnach werden Gebiete mit geringer Einwohnerdichte am meisten wachsen.

Um den Einfluss einer Nachverdichtung zu berechnen wurde das Testgebiet „Wohnsiedlung Fürstenried Ost“ untersucht. Das Gebiet weist 5.000 Einwohner/km² auf und entspricht der häufigsten Bevölkerungsdichte Münchens.



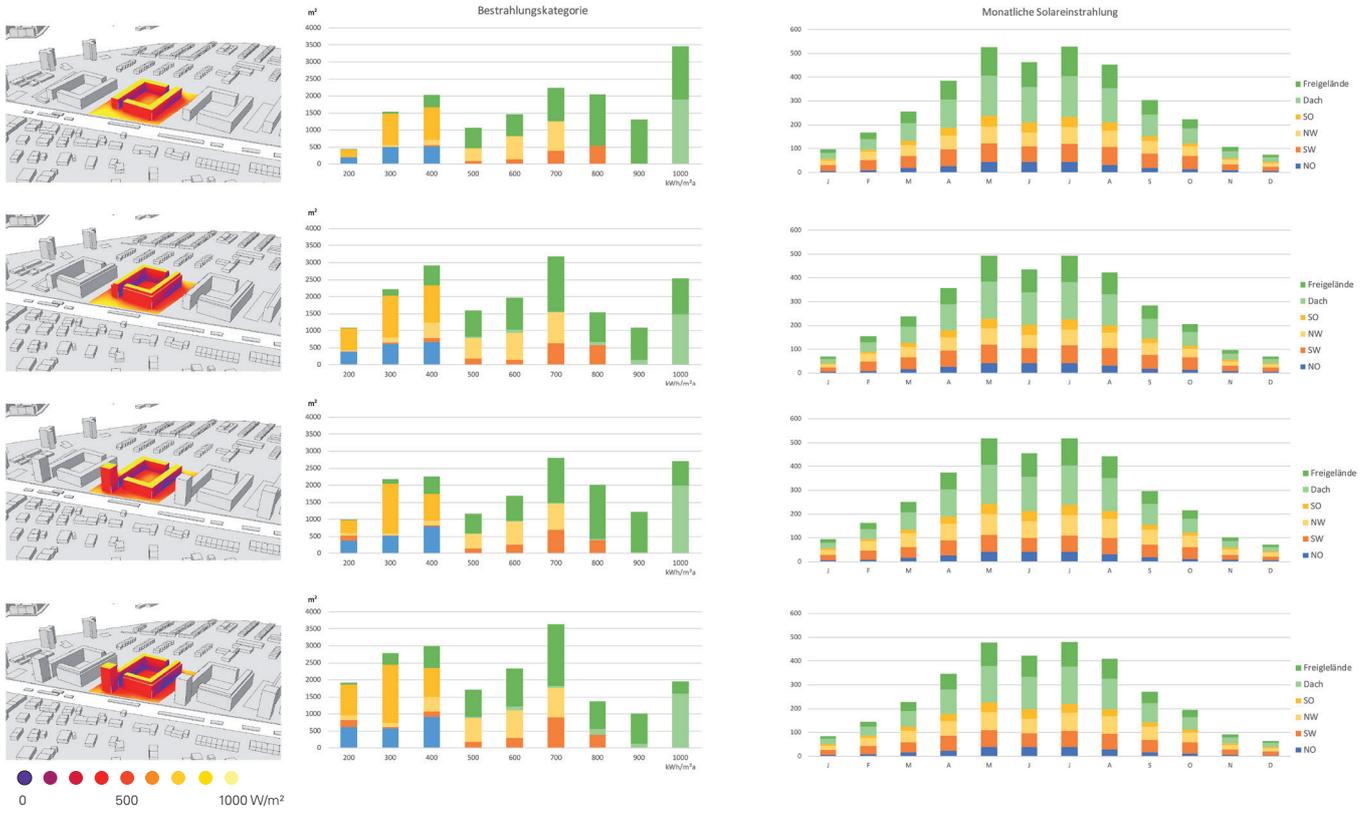
Aus der Studie ist Folgendes zu entnehmen:

Bei einer GFZ von 0.28, bildet eine Ergänzung einen geringen Einstrahlungsverlust als eine Aufstockung ab. Der Verlust an Bestrahlungsstärke ist bei allen Varianten vertretbar da die Schwankungen in der Bestrahlungskategorie den verschiedenen Strategievариante gering sind. Die Wirkung einer Nachverdichtung kann durch eine Verbesserung der Gebäudehülle, beispielsweise durch Fenster mit höheren Licht und Energiedurchlassgrad vermindert werden.

Abbildung 1.3.12-4 zeigt die monatliche Einstrahlung und Bestrahlungskategorie des Bestandes und der Strategievариante.

Abb. 1.3.12-3
Langfristige Siedlungsstrategie
(Quelle: Stadt München)

Bei einer GFZ von 0.28, bildet eine Ergänzung einen geringen Einstrahlungsverlust als eine Aufstockung ab.



Einstrahlung und Bestrahlungskategorie des Bestandes und der Strategievarianten.
 Abb. 13.12-4
 (Quelle: Transsolar)

1.3.13 Bevölkerungsgruppen

Der Entwicklungsweg des Menschen hat sich in täglichen Zyklus von hellem Licht von Tageslicht bis Dunkelheit ergeben; auf diese Weise konnte der circadiane Rhythmus synchron gehalten werden. Die Belichtung mit ausreichend Tageslicht ist der Auslösereiz bei der Regulierung und Synchronisierung dieses Rhythmus. Die Beleuchtungsstärke, die diesen Zyklus auslöst liegt bei 1.000lx. Bei zunehmendem Alter ändern sich der Wach-Schlaf-Zyklus. Es wird geschätzt, dass ein Mensch im Alter von 75 Jahre im Vergleich zu einem 45-jährigen das dreifache an Lichtexposition benötigt, um den Zyklus aufrechtzuerhalten. Statistische Untersuchungen belegen, dass ältere Menschen längeren Aufenthaltszeiten in Innenräumen haben ³⁹. Die Studie gibt Auskunft über die mittlere Beleuchtungsstärke, im Sommer lag sie bei 466 lx und im Winter bei 65 lx. Die Dauer bei Tageslicht über 1.000 lx betrug im Sommer

46 Minuten und im Winter 3 Minuten. Unter Berücksichtigung der Empfehlung von Besonnungsdauer im Winter und der Übergangszeit (siehe Seite 22) und angenommen Beleuchtungsstärke im Innenraum von mindestens 1.000lx können durch eine Sonnenstunde erreicht werden, kann man den Schluss ziehen, dass Beleuchtungsstärken über 1.000 lx während 1 bis 3 Stunden im Winter und der Übergangszeit jeweils liegen sind erreichbar und gelten als erstrebenswert.

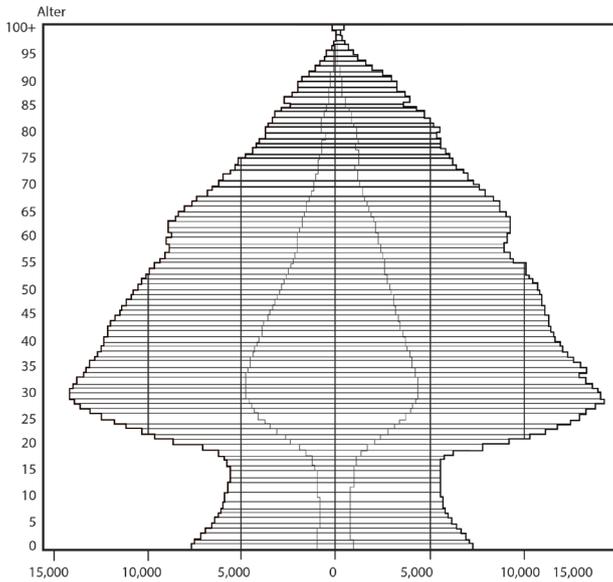


Abb. 1.3.13-1
Bevölkerungsbaum von 2009 und
die Planungsprognose für 2030
(Quelle :Stadt München)

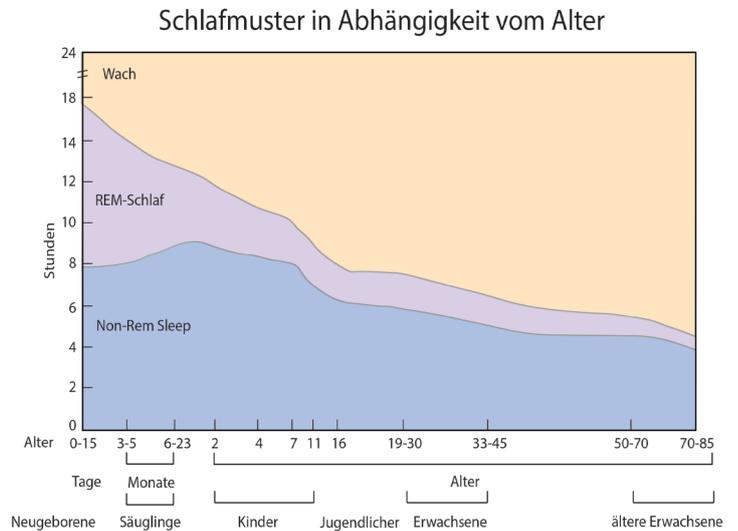


Abb. 1.3.6-10
Menschliches Schlafverhalten
(Quelle: Kalat J. et al.)

1.3.14 Licht und Wachsamkeit

Die Netzhaut treibt verschiedene, nicht bilderzeugenden Photoreaktionen an, einschließlich einer circadianen Lichtaufnahme und der Pupillenverengung. Untersuchungen zeigten, dass beim Menschen die photische Suppression des taktgesteuerten Hormons Melatonin am empfindlichsten für 460 nm blaues Licht ist. Bei sinkendem Melatoninspiegel nimmt die Wachsamkeit von Menschen zu. Melatonin wird nur während der nächtlichen Dunkelheit produziert. Aus diesem Grund ist der Sichtkontakt mit dem frühem Morgenlicht für den menschlichen circadianen Rhythmus ein Tempomachers von großer Bedeutung. Die Empfindlichkeit auf Wellenlängen des

Morgenlichts steht in einem nichtlinearen Zusammenhang zur Beleuchtungsstärke. Erst ab 1.000lx wird die Suppression von Melatonin ausgelöst.⁴⁰

Die Konzentration von im Blut vorhandenem Cortisol variiert über den Tagesverlauf. Früh am Morgen wird der Spitzenwert erreicht. Die niedrigsten Werte wurden zwischen 22 Uhr und etwa 3 Uhr morgens bzw. drei bis fünf Stunden nach dem Einsetzen des Schlafes gemessen. In diesem Zeitraum sinkt die Körpertemperatur von 38°C auf 36°C. Informationen über den Hell-Dunkel-Zyklus werden von der Netzhaut auf den SCN im Hypothalamus übertragen. Nach dem Erwachen nimmt die Körpertemperatur wieder zu.⁴¹

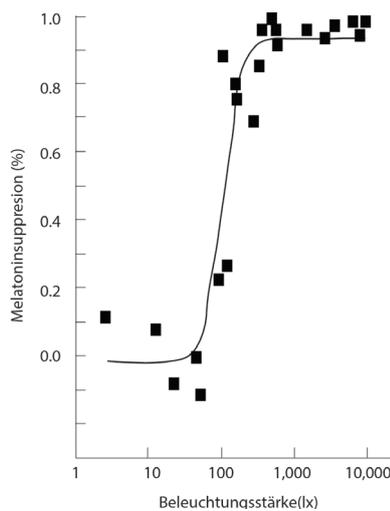


Abb. 1.3.14-1
Melatonin Suppression
(Quelle: Zeitzer J. et al.)

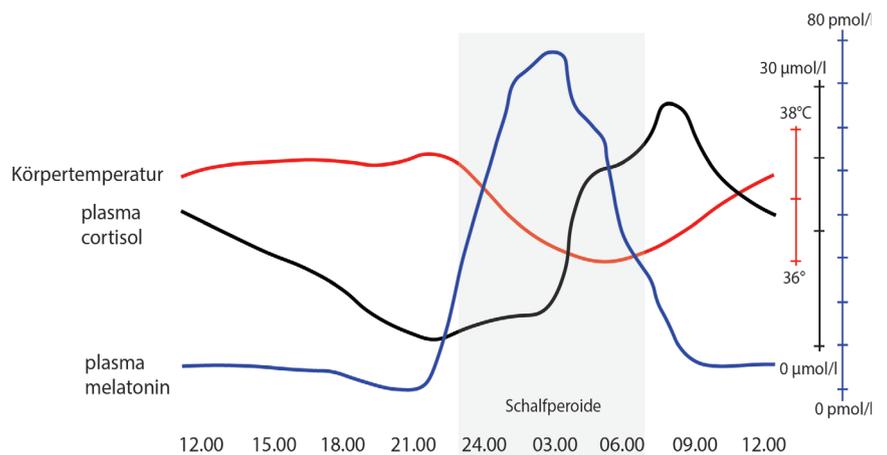


Abb. 1.3.14-2
Melatonin und Cortisolspiegel
(Quelle:Hickie I. et al.)

Bei sinkendem Melatoninspiegel nimmt die Wachsamkeit von Menschen zu. Melatonin wird nur während der nächtlichen Dunkelheit produziert.

1.3.15 Bestrahlungsdosis

Die Sonnenexposition ist wesentlich für die Herstellung von Vitamin D. Dies erhält den circadianen Rhythmus aufrecht. Dennoch kann eine übermäßige Exposition Gesundheitsschaden verursachen. Wie häufig und wie intensiv Menschen der Sonne ausgesetzt sind hängt von Freizeitgewohnheiten und der Beschäftigung ab. Eine Studie aus dem Jahre 2007⁴² berichtet anhand von Messungen die UV-Jahresexposition verschiedener Arbeitnehmergruppen. Hierfür wurden Bauarbeiter, Landwirte, Müllwerker, Sportlehrer,

Kindergärtner und Glasreiniger Beschäftigungsfelder die im Freien arbeiten untersucht mit Innenbeschäftigte (Arbeitnehmer die in geschlossenen Gebäuden arbeiten) gegenübergestellt.

Messungen an 19 verschiedener Körperbereichen wurden über 52 Wochen durchgeführt. Wenn man ein Innenbeschäftigter als Referenz betrachtet zeigt es sich, dass die durchschnittliche UV-Exposition z.B. eines Bauarbeiters um Faktor 4,7 größer ist. Bemerkenswert ist jedoch, dass für einen Innenbeschäftigten 50% der UV-Jahresexposition während des Urlaubes erhalten.

*Bei Innenbeschäftigten findet 50% der UV-Jahresexposition während des Urlaubes statt.
- Für Landwirte liegt der Anteil bei 13%.*

Die UV-Exposition löst photochemische Reaktion in der Haut aus. Eine intensive Exposition über einen kurzen Zeitraum hat die gleiche Wirkung wie eine niedrige Exposition über eine längere Zeit.

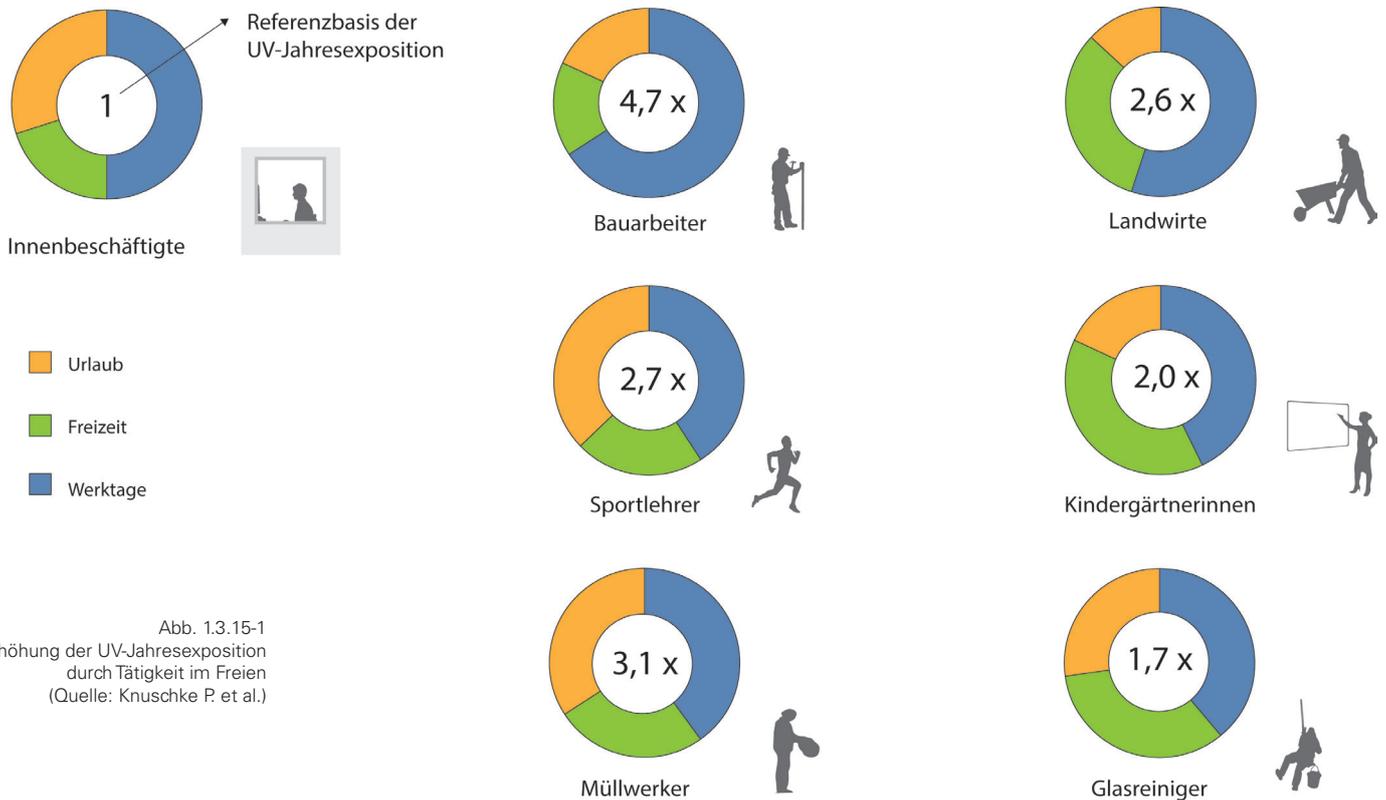


Abb. 1.3.15-1
Erhöhung der UV-Jahresexposition durch Tätigkeit im Freien
(Quelle: Knuschke P. et al.)

Um die Bestrahlungsdosis zu erfassen, ist das Produkt aus Bestrahlungsstärke ($W \cdot m^2$) und Belichtungszeit (s) zu berücksichtigen. Die minimale Erythemdosis MED entspricht die geringste Bestrahlungsdosis die eine Rötung in der Haut verursacht. Dies hängt von Hauttyp ab. Bei Hauttyp II (Skandinavisch) beträgt zwischen 250 und 400 J/m² und bei Hautyp III (Süddeutsch) 300-500 J/m² 43.

Die standardisierte Dosis (SED) wird verwendet um verschiedenen Strahlungsquellen verlässiger zu messen und auszuwerten. Die tägliche SED für die verschiedenen Beschäftigungsgruppen wurde gemessen. Zu beachten ist, das bei Innenbeschäftigten wird den SED Wert= 0.5 nie überschritten. Die Abbildung 1.3.16-2 zeigt die UV-Dosis während den 52 Wochen.

Pigmentierung	Haarfarbe	Augenfarbe	Reaktion auf Sonne	Eigenschutz der Haut (min)	MED (mJ/cm ²)
hell	rötlich	grün	immer Erythem keine Bräunung	10	10-15
hell	blond	blau	meist Erythem schwache Bräunung möglich	20	25-40
normal	braun	grau-braun	selten Erythem gute Bräunung	30	30-50
hell-braun	braun oder schwarz	dunkel-braun	seh selten Erythem intensive Bräunung	50	45-60
mittel-braun	schwarz	dunkel-braun	fast nie Erythem intensive dunkle Bräunung	>60	60-90
dunkel-braun	schwarz	dunkel-braun	nie Erythem tiefbraunschwarze Pigmentierung	>60	90-150

Tabelle. 1.3.15-1
Die 15 Haut bzw. Pigmentierungstypen
(Quelle: Fitzpatrick et al.)

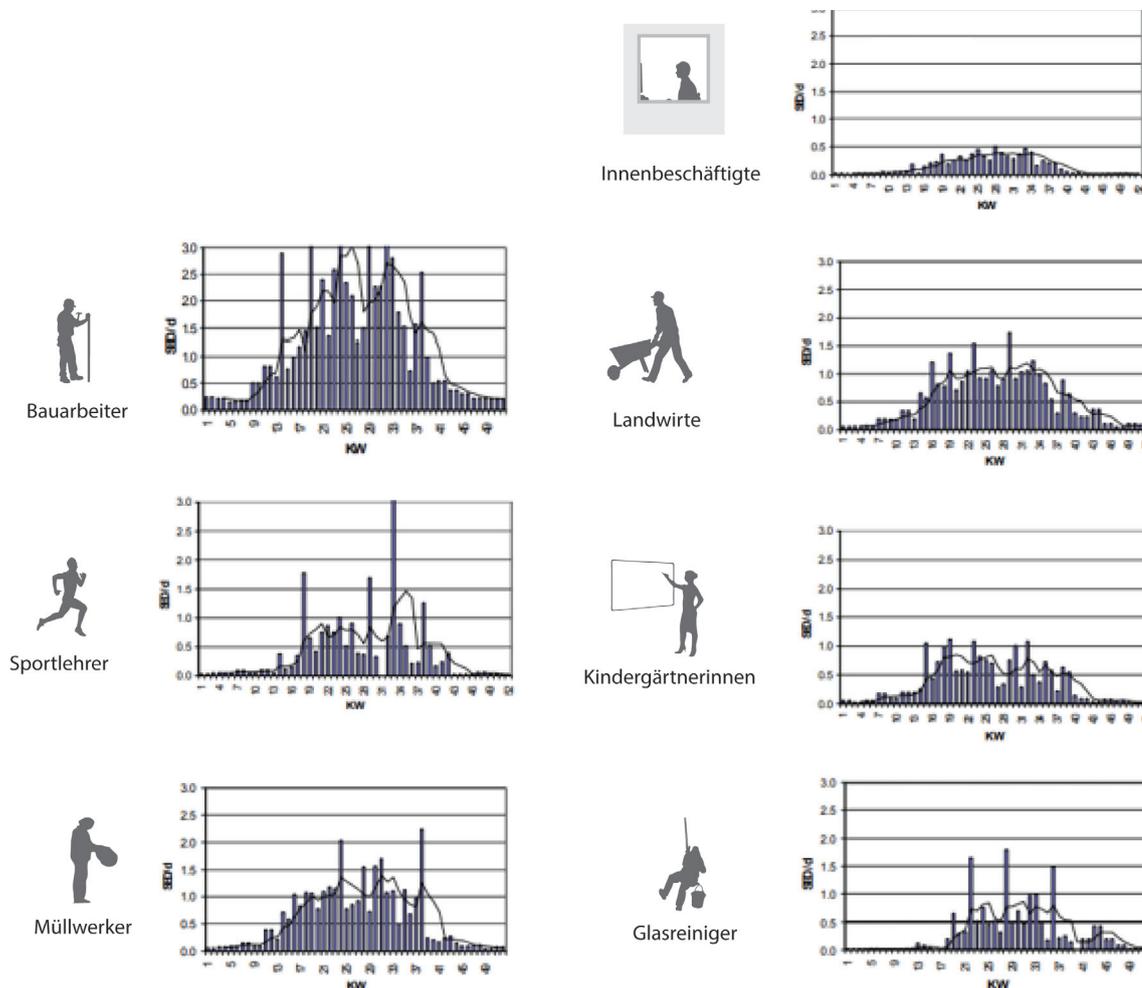


Abb. 1.3.15-2
Mittlerer Jahresverlauf der erythem-effektiven UV-Exposition
(Quelle Knuschke P. et al.)

1.3.16 Glas, Licht und Wärme

Lichtdurchlässige Bauteile ermöglichen die Belichtung von Innenräumen und leisten gleichzeitig Schutz vor Regen, Wind und andere ungünstigen klimatischen Bedingungen. Glas ist das am weitesten verbreitete Material für diesen Zweck. Durch eine Fassade mit einem gewissen Glasanteil wird Sonnenenergie in den Raum in Form von Strahlung hereingelassen. Der sichtbare Anteil der solaren Einstrahlung (kurzwellig) wird absorbiert und in Infrarot Strahlung umgewandelt. Dadurch wird der Raum beheizt. Dieser Effekt ist als Gewächshauseffekt bekannt.

ENERGIEDURCHLASSGRAD

Die auf ein Fenster auftreffende Bestrahlung wird nicht vollständig dem Innenraum abgegeben. Sie wird teilweise reflektiert, absorbiert und transmittiert. Die Energiemenge die die Verglasung durchlässt wird Energiedurchlassgrad oder g-Wert genannt. Der g-Wert gibt den prozentualen Anteil der Einstrahlung an.

GESAMTENERGIEDURCHLASSGRAD

Die Summe aus der Transmission der solaren Einstrahlung (g-Wert) und der Wärmeabgabe durch Konvektion und Abstrahlung nach Innen (Sekundärwärmeabgabe) wird Gesamtennergiedurchlass-

grad genannt. Die Einstrahlung wird im Bereich von 320-2.500nm abgegeben.

LICHTDURCHLÄSSIGKEIT

Die Einstrahlung die im sichtbarem Bereich (360-780nm) wird Lichtdurchlässigkeit genannt und durch den griechischen Buchstaben vertreten.

WÄRMEDURCHGANGSKOEFFIZIENT

Der Wärmedurchgang eines opaken oder lichtdurchlässigen Bauteiles gibt, den Wärmeaustausch aufgrund von Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen an. Im Bauwesen wird er u-Wert genannt. Je höher der u-Wert, desto höher der Wärmeverlust. Eine Beschichtung mit einem niedrigen thermischen Emissionsgrad (z.B. Edelmetallschichten) kann den u-Wert eines Fensters verbessern.

Energiedurchlassgrad, Lichtdurchlässigkeit und Wärmedurchgangskoeffizient stehen in einem engen Zusammenhang. Die Tabelle 1.3.16-1 fasst die technische Werte verschiedener Isolierglasscheiben zusammen.⁴⁴

Tabelle 1.3.16-1
Technische Werte verschiedener
Isolierglasscheiben
(Quelle: Energie Atlas, Hegger et al.)

		Ug-Wert nach DIN EN 673	Tageslichttrans- mission	g-Wert nach DIN EN 673
Einfachglas	Floatglas	5.8	0.9	0.85
	Floatglas mit Low E Beschichtung	3.8	0.67	0.62
	Weißglas	5.8	0.92	0.92
	Verbund-Einfachglas, einlamierte Sonnenschutzfolie	5.8	0.75	0.52
Zweifach-Isolierglas	Wärmeschutzglas, luftgefüllt	1.4	0.8	0.63
	Wärmeschutzglas, argongefüllt	1.1	0.8	0.63
	neutrales Sonnenschutzglas, argongefüllt	1.1	0.7	0.41
	neutrales Sonnenschutzglas, argongefüllt	1.1	0.62	0.34
	neutrales Sonnenschutzglas, argongefüllt	1.1	0.51	0.28
	neutrales Sonnenschutzglas, argongefüllt	1.1	0.4	0.24
Dreifach-Isolierglas	Wärmeschutzglas mit 2 Beschichtungen, argongefüllt	0.7	0.72	0.5
	Wärmeschutzglas mit 2 Beschichtungen, kryptongefüllt	0.5	0.72	0.5
Vierfach-Isolierglas	Wärmeschutzglas mit 4 Beschichtungen, kryptongefüllt	0.3	0.59	0.38

Der Verlust durch Transmission nimmt bei abfallender Temperatur zu. Die Gradtagzahl Methode (GTZ) beschreibt den monatlichen Wärmebedarf. In der Regel wird eine Raumtemperatur von 20°C und eine Heizgrenze von 15°C angenommen. Dies bedeutet, wenn die mittlere Tagesaußenlufttemperatur unter 15°C liegt wird die Temperaturdifferenz (20°C-Außenlufttemperatur) aufsummiert zur GTZ. Die GTZ wird in Kelvin Einheiten angegeben. Anhand dessen lassen sich Heizkosten und Heizwärmebedarf ermitteln. Die Tabelle 1.3.16-2 zeigt die monatlichen Gradtagzahlen verschiedener Standorte Deutschlands.⁴⁵

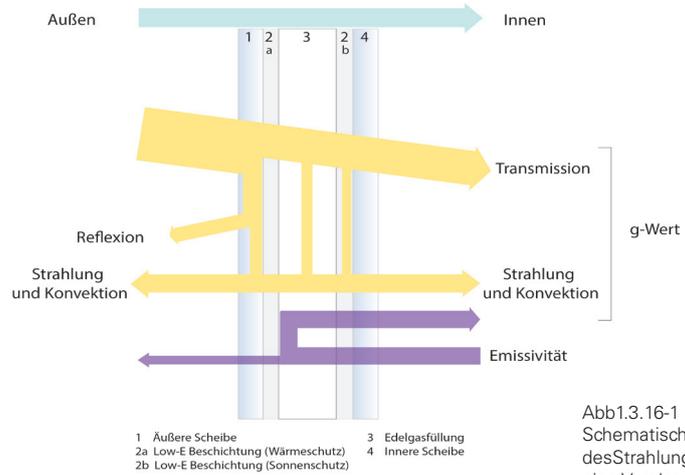


Abb1.3.16-1 Schematische Darstellung des Strahlungsdurchganges durch eine Verglasung (Quelle: Energie Atlas. Hegger et al.)

	Rostock	Hamburg	Berlin	Köln	Dresden	Frankfurt	Stuttgart	München
Jan	617.4	590.3	616.7	473	600.8	517.6	539.6	581.1
Feb	473.4	480.2	457.5	446.9	469.8	439.5	453	457.1
Mrz	479.1	479.4	457.9	456.3	483.2	446.3	473	484.9
Apr	365.7	365.7	309	315.4	340	314.6	334.1	345.7
Mai	256.4	256.1	156.6	192.2	169.7	127.6	137.7	170.8
Jun	120.5	127.8	46.9	62.7	91	45.2	63.3	57.9
Jul	33.3	38.6	5.1	22.4	11.5	0	5.6	0
Aug	0	10.2	0	11.2	5.2	0	0	0
Sep	113.2	181.5	124	162.1	157.2	126.7	161	174.9
Okt	322.8	336.5	335.3	301.7	350.2	307.6	330.7	356.5
Nov	355.9	351.1	353.4	290.6	361.5	346.7	356.4	390.3
Dez	381.4	373.6	390.8	325.7	405.5	397.4	440	507

Tabelle 1.3.16-1 Gradtagzahlen verschiedener Standorte Deutschlands (Quelle: IWU)

Der monatliche Transmissionsverlust durch Verglasung an einem bestimmten Standort lässt sich mit folgender Formel ermitteln.

$$QT = GTZ * T * u * A$$

mit:

QT: Verlust durch Transmission (kW/h)

GTZ : monatliche Gradtagzahl (Kd)

T: Anzahl von Tage im Monat

u: U-Wert (W/(m²·K))

A: Fläche der Verglasung (m²)

Der solare Gewinn im gleichen Zeitraum wird wie folgt berechnet.

$$QS = QF * g * A$$

mit:

QS: Solargewinne (kW/h)

QF: monatliche Einstrahlung auf die Fassade (kWh/m²)

g: Energiedurchlassgrad (%)

A: Fläche der Verglasung (m²)

Die solare Abdeckung berechnet sich aus dem Verhältnis vom Verlust zum Gewinn.

1.3.17 Lichteinfall im Innenraum

Die Erhellung eines Innenraumes durch Tageslicht wird von externen Faktoren sowie den Eigenschaften des Raumes beeinflusst. Zu den externen Faktoren zählen Umgebungsbebauung, Himmelsrichtung und Standort. Unter den rauminternen Einflussfaktoren finden sich: Größe, Position, Anzahl von Fenstern ebenso wie Raumhöhe, Farbe und Reflexionsgrad der Innenausrichtung sowie die Qualität der Verglasung.

Der Lichteinfall auf einen Innenraum kann sowohl statisch als auch dynamisch berechnet werden. Bei der dynamischen Berechnung wird ein bedeckter Himmelszustand berücksichtigt. Das Tageslichtangebot wird mit dem Tageslichtquotienten D beschrieben. Dieser entspricht dem Verhältnis der Beleuchtungsstärke innen zur Beleuchtungsstärke außen und wird mit dem Faktor 100 multipliziert.

Der Tageslichtquotient bezieht sich in der Regel auf bedeckten Himmel mit einer Außenbeleuchtungsstärke von 10.000 lx. Bei dieser Außenbeleuchtungsstärke muss der Tageslichtquotient mindestens 3 Prozent betragen, damit eine Belichtung ausschließlich mit Tageslicht ausreicht. Bei Arbeitsplätzen in Fensternähe ist das möglich. Bei bedecktem Himmel wird in Mitteleuropa außen eine Beleuchtungsstärke von:

-10.000 lx an 50 % der Tagesstunden im Jahr überschritten.

-5.000 lx an 75 % der Tagesstunden im Jahr überschritten.

-2.500 lx an 90 % der Tagesstunden im Jahr überschritten.⁴⁶

Der bedeckte Himmel weist eine Helligkeitsverteilung von 3:1 auf. Die Beleuchtungsstärke im Zenit ist drei Mal höher als im Horizont. Der Tageslichtquotient im Innenraum wird wie folgt berechnet.

Nach DIN 5034 wird für einseitig beleuchtete Räume in halber Raumtiefe in 1m, Abstand von den Seitenwänden 0,85m über dem Fußboden ein mittlerer Tageslichtquotient ein mittlerer Tageslichtquotient von 0,9% gefordert. Der ungünstigere der beiden so definierten Punkten auf der Arbeitsfläche sollte einen Tageslichtquotient von mindestens 0,75% aufweisen.

Bei zweiseitig tagesbelichteten Räumen steigt der

Wert von 0,75 % auf 1% Bei der tageslichttechnischen Planung muss jedoch beachtet werden, dass die DIN 5034 vorgegebenen Werte absolute Minimalwerte sind. So führt z.B. ein Tageslichtquotient von 1% bei 10.000 lx Außenbeleuchtungsstärke zu lediglich 100 lx Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz, was gerade mal ein Fünftel der über Kunstlicht bereitzustellenden Beleuchtungsstärke darstellt.

Der Tatsache, dass der Mensch Tageslicht dem Kunstlicht vorzieht, wird in der DIN 5034 Rechnung getragen, indem die Nennbeleuchtungsstärke durch Tageslicht im Vergleich zu der durch Kunstlicht auf drei Fünftel verringert ist. So reicht z.B. für einen Arbeitsplatz, der eine Beleuchtungsstärke durch Kunstlicht von 500 lx aufweisen soll eine Tageslichtbeleuchtung von 300 lx aus.

Studien haben jedoch ergeben, dass Menschen erst einer Beleuchtungsstärke von ca. 1.000 lx das Gefühl haben, es sei Tag. Bei geringeren Beleuchtungsstärken bleibt der Körper im Nachtmodus. Andere Untersuchungen zeigen höhere Beleuchtungsstärkeniveaus von bis zu 2.500 lx, ab welchem Licht eine biologische Wirkung auf den Menschen zeigt.⁴⁷

Die DIN EN 17037 hat bei der Verfassung dieses Textes Entwurfstatus. Danach liegt die minimale Zielbeleuchtungsstärke bei 300 lx und dieser Wert soll in über 50% des Raumes erreicht werden. Außerdem ist die Mindestempfehlung für Mindestzieltageslichtquotienten $DTM > 100lx$ und ist über 100% des Raumes zu erreichen. Die Norm bezieht sich auch auf eine dynamische Berechnung des Lichteinfalls, mit der können ebenfalls die Anforderungen an Tageslicht nachgewiesen werden. Nach der Mindestempfehlung soll eine Beleuchtungsstärke von 300 lx über 50% des Raumes während 50% der Tageslichtstunden und über 100 lx über 100% des Raumes während 50% der Tageslichtstunden erreicht werden. Nach DIN EN 17037 liegt die Gesamtzahl der Tageslichtstunden im Jahr bei 4.380 Stunden. Dieser Wert stellt die Anzahl von Stunden zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang dar. Laut dem Deutschen Wetter Dienst liegt die Anzahl der Sonnenstunden für Deutschland zwischen 1.300 und 1.900 Stunden (ein Jahr hat insgesamt 8760 Stunden). Freiburg gilt als die sonnigste Stadt Deutschlands mit 1740 Sonnenstunden.⁴⁸

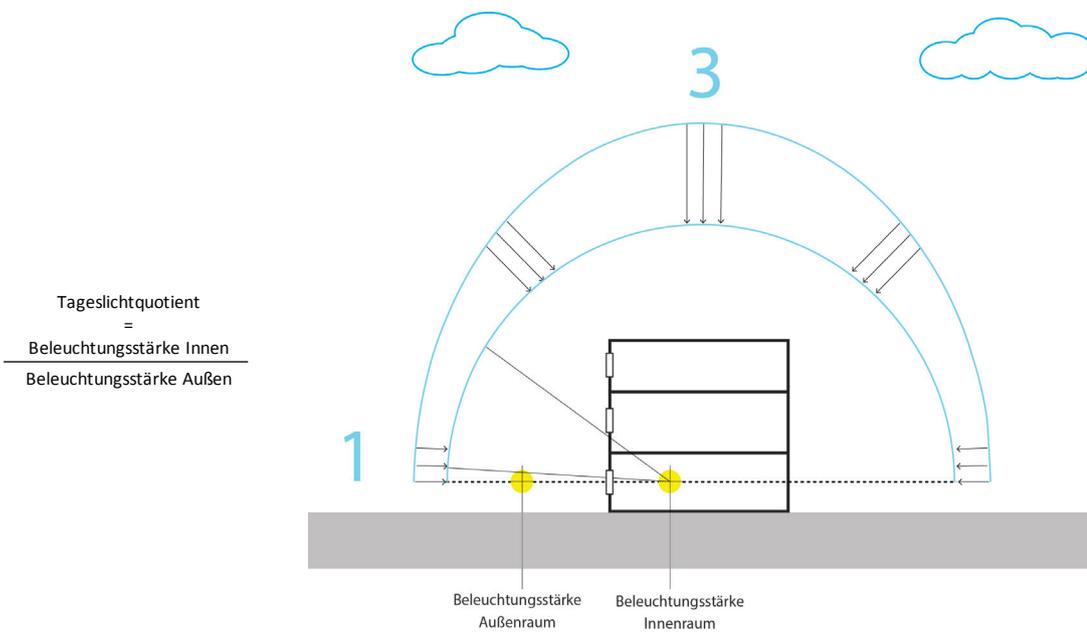


Abb. 1.3.17-1
Tageslichtquotienten Berechnung
(Quelle: Transsolar)

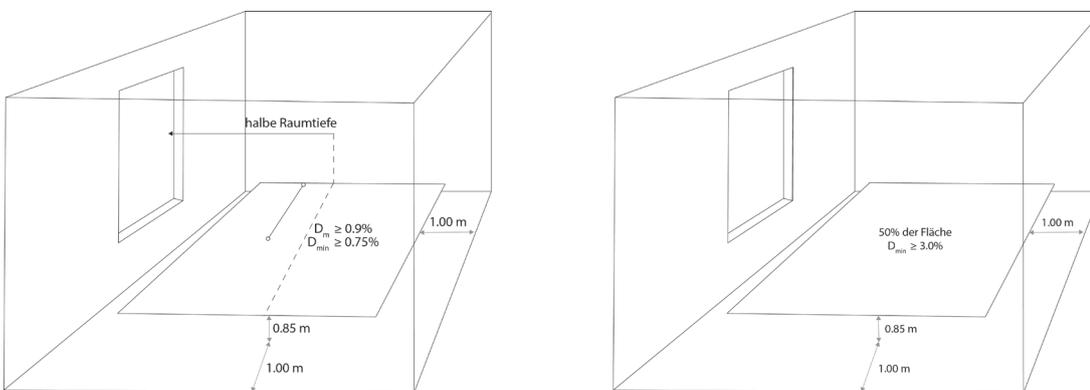


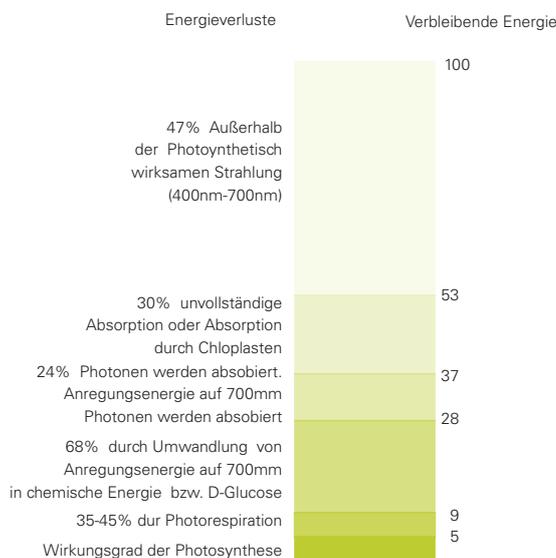
Abb. 1.3.17-2
Mindestanforderungen DIN
5034 und 17037
(Quelle: Transsolar)

1.3.18 Vegetation im Stadtraum

Bäume und Pflanzen tragen zum Mikroklima im Stadtraum bei. Im Sommer verdunstet Wasser über die Blätter und dies trägt zur Abkühlung in der Stadt bei. Die Temperatur eines Blattes entspricht annähernd der Lufttemperatur, dies bedeutet grüne Oberflächen werden, im Gegensatz zu Beton oder Asphalt, nie überproportional wärmer als die Lufttemperatur. Dieses Prinzip lässt sich auf Dächer und freie Flächen anwenden. Bäume sind außerdem in der Lage, Luft zu reinigen. Die Blätter der Bäume filtern Feinstaub aus verschmutzter Luft heraus. Die gereinigte Luft mischt sich mit verschmutzter Luft die dann wieder Bäume und Blätter durchströmt. Dieser Prozess wird Trocken-deposition genannt und reinigt die Stadtluft von Schadstoffen⁴⁹.

Der von Bäumen gespendete Schatten ist ein Einflussfaktor für die Besonnung sowohl von Innen- als auch von Außenräumen. Im Sommer ist die Wirkung durchaus positiv. Luft und Oberflächentemperaturen nehmen nicht erheblich zu. Im Winter verursacht der Schatten einen Verlust der potentiellen solaren Gewinne. Laubbäume, die ihr Blattwerk in dieser Jahreszeit nicht haben, eignen sich gut, um diese Wirkung zu vermeiden.

Abb. 1.3.18-1
Energiefluss in der Photosynthese
(Quelle: Hall D. et al.)

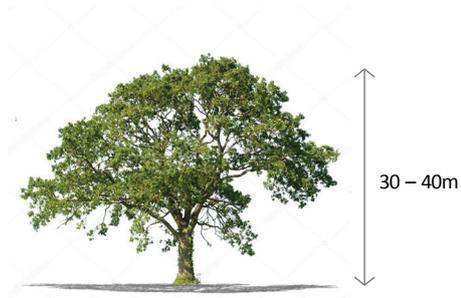


In der Tabelle 1.3.18-1 werden häufige vorkommende Baumarten und deren Blätterzeit dargestellt.

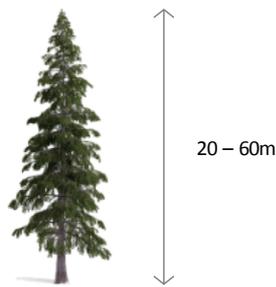
Pflanzen, Algen und einige Bakterien wandeln Sonnenenergie in chemische Energie um, die später freigesetzt werden wird, um biochemische Prozesse anzuregen. Solche Lebewesen betreiben Photosynthese. Hierfür ist eine Bestrahlung im Bereich von 400 bis 700nm nötig. Diese Strahlung wird photosynthetisch aktive Strahlung genannt und wird in W/m^2 angegeben.

Die Photosynthese ist ein Quantenprozess, und die chemischen Reaktionen der Photosynthese sind stärker von der Anzahl der Photonen abhängig als die Energie, die in den Photonen enthalten ist. Daher quantifizieren Pflanzenbiologen PAR häufig mit der Anzahl der Photonen im 400-700 nm-Wellenlängenbereich, die eine bestimmte Zeit lang von einer Oberfläche aufgenommen wurden, oder der Photosynthetischen Photonenflussdichte (Photophyton Photon Flux Density, PPF_D). Dies wird normalerweise unter Verwendung von $mol\ m^{-2}s^{-1}$ gemessen⁵⁰.

Innerstädtische Grünflächen können auch für Gemüseanbau verwendet werden. Die Flächeninanspruchnahme für die Nahrungsmittelproduktion nimmt weltweit zu, derzeit liegt der Flächenverbrauch für Landwirtschaft bei rund 5 Milliarden Hektar⁵¹. Gemäß der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) kann die urbane Landwirtschaft bis zu 15-mal produktiver als ländliche Betriebe sein. Auf einer Fläche von nur einem Quadratmeter können pro Jahr 20 kg Gemüse angebaut werden⁵². Dadurch geben Gemüsehändler weniger für Transport, Verpackung und Lagerung aus und können direkt über Straßenverkaufsstände und Marktstände verkaufen. Obwohl der jährliche Gemüsebedarf durch die urbane Landwirtschaft nicht abdeckbar ist, liegt das Potenzial an der Energieeinsparung dadurch bei 70% des Energieverbrauchs der Gemüseproduktion wird für Transport, Lagerung und Verpackung benötigt⁵³.



Eiche (Quercus)



Fichte (Picea)



Abb. 1.3.18-2
Blätterzeit für
Eiche und Fichte im Jahresverlauf
(Quelle: Transsolar)

Tabelle 1.3.18-1
Baumarten und Blätterzeit
(Quelle: Transsolar)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ahornblättrige Platane	Platanus acerifolia Willd.			x	x	x	x	x	x	x	x		
Birken	Betula			x	x	x	x	x	x	x	x		
Birne	Pyrus spp				x	x	x	x	x	x	x		
Blauglockenbaum	Paulownia tomentosa (Thunb.) Steud			x	x	x	x	x	x	x	x		
Borsten-Fichte	Picea asperata	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Eberesche	Sorbus aucuparia			x	x	x	x	x	x	x	x		
Echte Trauerweide	Salix babylonica			x	x	x	x	x	x	x	x		
Japanischer Schnurbaum	Sophora japonica			x	x	x	x	x	x	x	x		
Kiefern	Pinus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kirschpflaume	Prunus Cerasifera	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pappel	Populus			x	x	x	x	x	x	x	x		
Roskastanien	Aesculus			x	x	x	x	x	x	x	x		
Rotahorn	Acer Rubrum			x	x	x	x	x	x	x	x		
Eiche	Quercus			x	x	x	x	x	x	x	x		
Silber-Ahorn	Acer saccharinum			x	x	x	x	x	x	x	x		
Weichkastanie	Castanea mollissima			x	x	x	x	x	x	x	x		
Winterblüte	Chimonanthus praecox)				x	x	x	x	x	x	x		
Yulan-Magnolie	Magnolia denudata				x	x	x	x	x	x	x		

1.3.19 Außenliegender Sonnenschutz

Ein außenliegender Sonnenschutz vermeidet übermäßige solare Gewinne in der Sommerzeit. Die Wirkung solcher Systeme hängt stark von der Orientierung der Fassade ab. Horizontale Elemente schützen am besten wenn der Sonnenwinkel steil steht. Bei geringeren Sonnenwinkeln leisten vertikale Elemente angemessene Verschattung, allerdings nur wenn die Bestrahlung nicht senkrecht zur Fassade erfolgt. Sollte eine Glasfläche

senkrecht bestrahlt werden - z.B. eine Westfassade an einem warmen Sommerabend - würde ein bewegliches System (dies können Jalousien, Fensterläden oder Raffstoren sein) eine höhere Leistung aufweisen.

Die Abbildung 1.3.19-1 zeigt die Reduktion mehrerer außenliegender Verschattungselemente für die unterschiedliche Ausrichtungen und Jahreszeiten.

Außenliegender Sonnenschutz

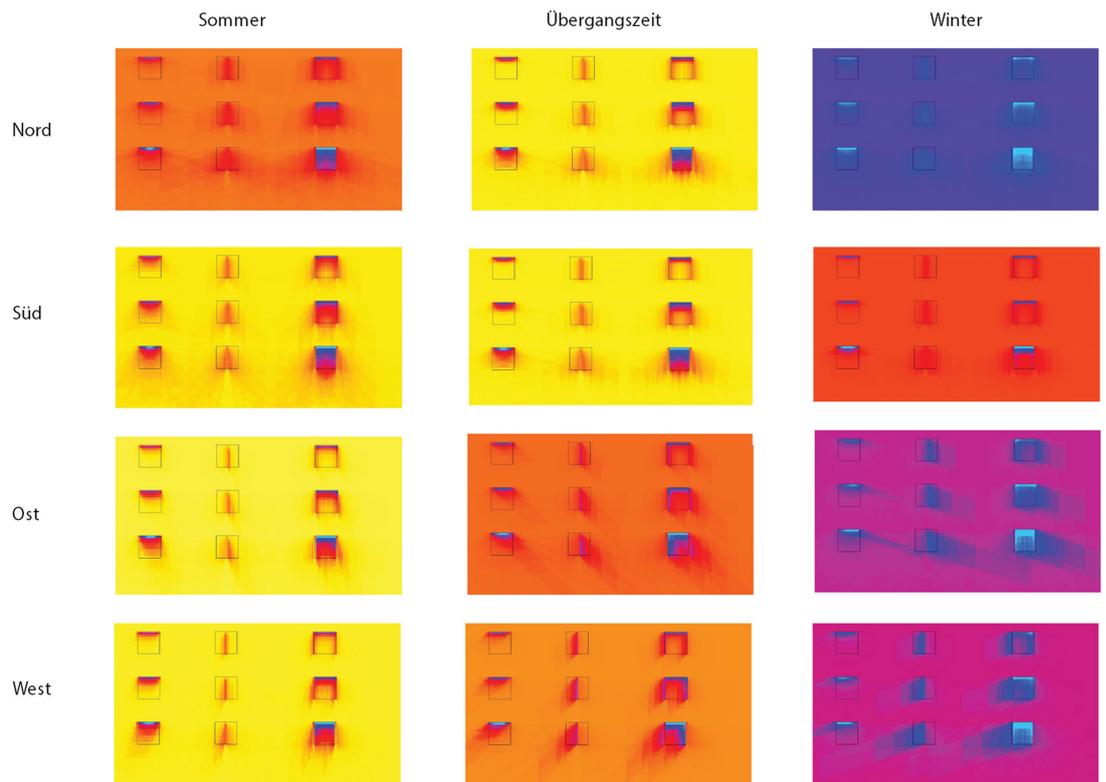
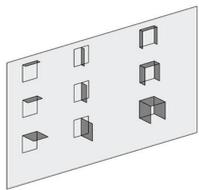
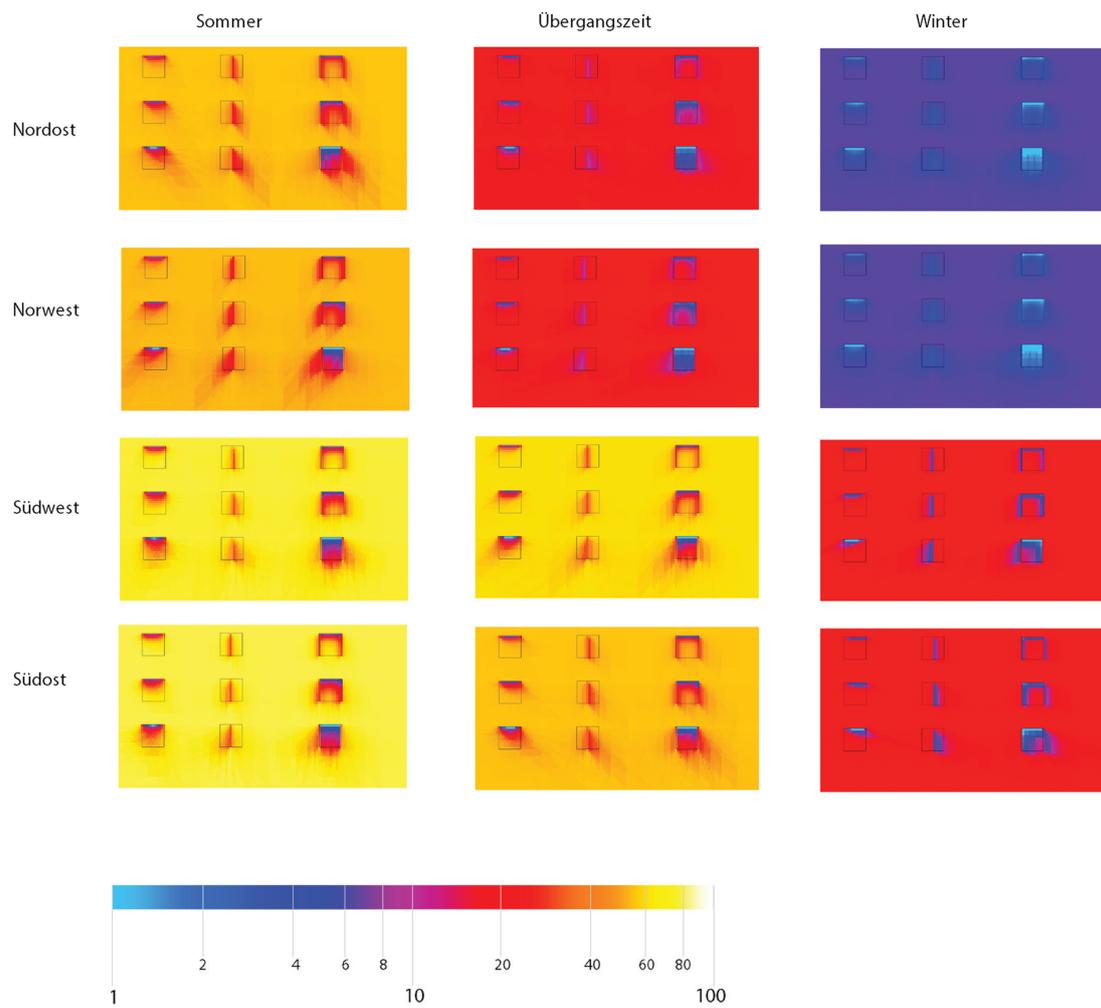


Abb. 1.3.19-1
Verschattung durch
Außenliegenden Sonnenschutz
je nach Geometrie und
Himmelsrichtung
(Quelle: Transsolar)



1.3.20 Sonnenenergie im Stadtraum

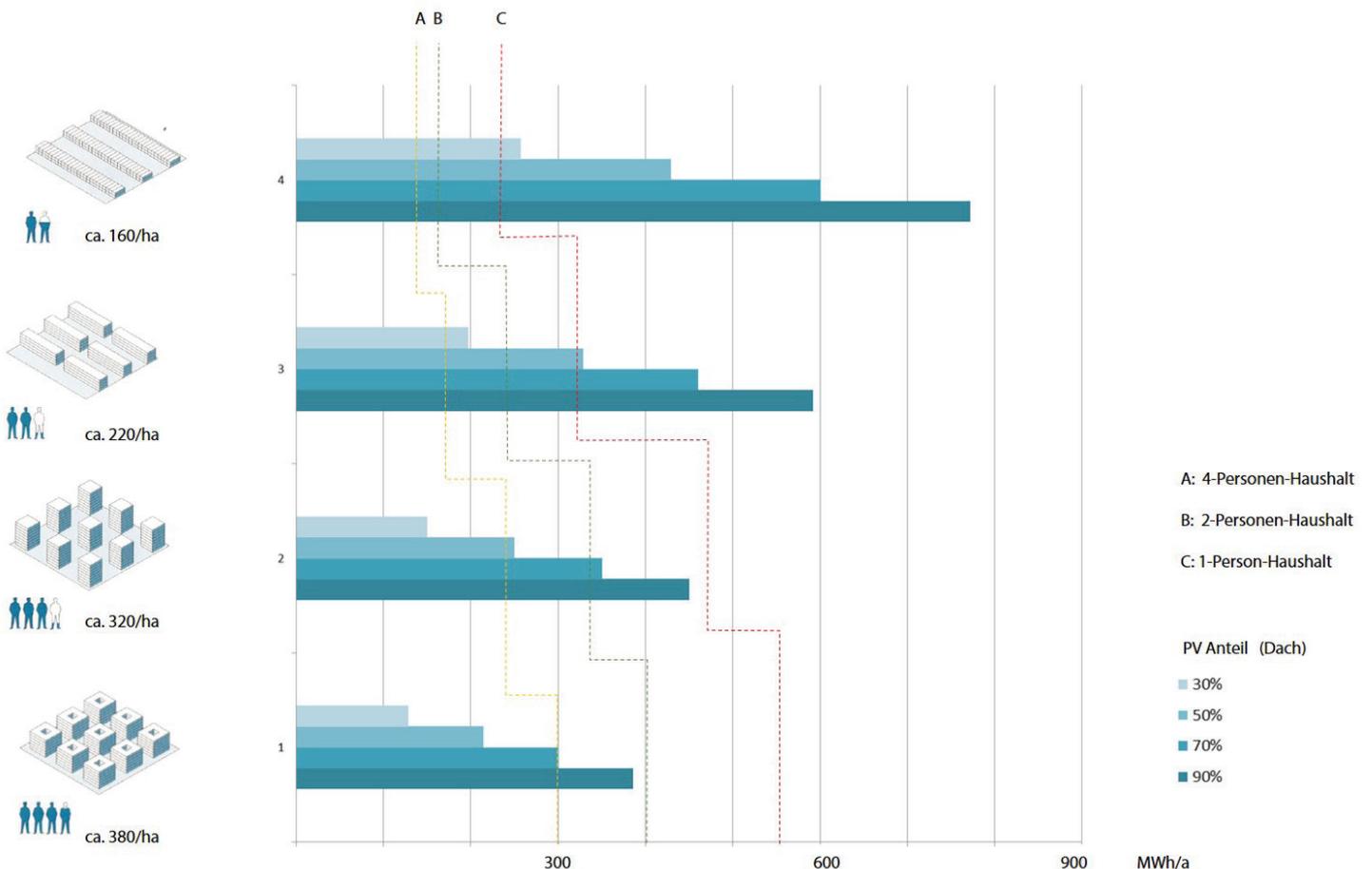
Sonnenenergie kann aktiv gewonnen werden. Anhand von Photovoltaik und Solarthermieanlagen wird unmittelbar Strom und Wärme erzeugt. Laut Angaben des statistischen Bundesamt aus dem Jahr 2016⁵⁴ wird rund 70% des Energieverbrauchs eines Haushalts für Raumwärme verwendet. Der Anteil für Warmwasser-erzeugung liegt bei 15%. Die restlichen 15% berücksichtigen Beleuchtung, Haushaltsgeräte und sonstiges.

der Wärmebedarf geringer und von Mai bis September ist anhand eines solches Systems leicht abzudecken. Der Wärmeüberschuss wird für den Winter gespeichert. Pufferspeicher werden isoliert und sind dadurch in der Lage bis 50% des Heizwärmebedarfs zu decken. Neue Technologien, wie z.B. vakuum-isolierte Pufferspeicher, kühlen nur 0,2 Kelvin pro Tag aus. Damit könnte im Winter Temperaturen von mehr als 60° für Heizungszwecke zur Verfügung stehen.⁵⁵

Abb. 1.3.20-1
Die 15 Klimaregionen
Gebäudetypologie und
Stromverbrauch
(Quelle: Transsolar)

Der Wärmebedarf kann durch die Sonnenenergie teilweise abgedeckt werden. Solarkollektoren wandeln solare Einstrahlung in Wärme um. Sie weisen einen hohen Wirkungsgrad auf, er liegt im Bereich von 70 bis 85% und erreichen Temperaturen von 50 bis 80°C. In der Sommerzeit ist

Der Stromverbrauch hängt stark von der Anzahl der Personen pro Haushalt ab. Die häufigste Haushaltgröße Deutschlands ist der Ein-persone-Haushalt. Er entspricht 40% der Bevölkerung, dieser Prozentsatz steigt an. Der Energie-



verbrauch ist überdurchschnittlich hoch weil die Grundausstattung, beispielsweise Kühlschrank, Waschmaschine, Fernseher, und andere Geräte, nur von einer Person genutzt werden. Die Tabelle 1.3.20-1 zeigt den Stromverbrauch ohne elektrische Warmwasseraufbereitung für 1, 2 und 4-Personen-Haushalte.⁵⁶

Gebäudetyp	Einpersonenhaushalt (kWh/a)	Zweipersonenhaushalt (kWh/a)	Vierpersonenhaushalt (kWh/a)
Einfamilienhaus	2.300	3.000	4.000
Mehrfamilienhaus	1.400	2.000	3.000

Tabelle. 1.3.20-1
Stromverbrauch pro Haushalt
(Quelle: Stromspiegel 2017)

Der Energieverbrauch für vier Gebäudetypologien, unter Berücksichtigung der entsprechenden Anzahl der Bewohnern wurde für Ein, Zwei und Vierpersonenhaushalt berechnet. Die Stromerzeugung auf dem dazugehörigen Dach für Belegungen von 30,50,70 und 90% wurde ermittelt. Der angenommene Stromertrag der Photovoltaikanlage beträgt 180 kWh/m²a. Aus der Abbildung ist die Belegung des Daches mit Photovoltaik die den Energieverbrauch der verschiedenen Typologien und Haushalt-Profile abdecken kann.

Diese Bilanz zeigt nur im Jahresverlauf das Verhältnis des am Dach erzeugtem Stroms zu dem Verbrauchten. Aus Messungen eines Vierpersonenhaushalts mit einer 30m² Photovoltaikanlage und 4,7kWp Leistung, lässt sich zeigen, dass der auf dem Dach erzeugte Strom nicht stets unmittelbar verwendet werden kann. Dabei sind drei Fälle zu betrachten.

Beim ersten wird wenig Strom erzeugt aufgrund der Wetterbedingungen. Während dieser Zeit wird die benötigte Energie aus dem Stromnetz zur Verfügung gestellt. Der zweite Fall weist eine ausreichende Stromerzeugung auf. Entweder wird der Strom direkt verbraucht, in das Netz eingespeist oder gespeichert. Beim dritten Fall wird entweder wenig Er wird teilweise unmittelbar verbraucht und der Überschuss wird entweder ins Netz gespeist oder in Batterien gespeichert. Beim dritten Fall wird Strom zur falschen Zeitpunkt erzeugt. Der Strom wird vom Netz geliefert und die Erzeugung gespeist oder gespeichert. Der Unterschied

zwischen Fall 1 und 3 besteht darin, dass beim dritten Fall, das Haus genügend Strom erzeugt, dennoch ist es nicht autark. Genau da liegt die Herausforderung der Energiewende. Die Integration und gegenseitige Anpassung von Erzeugung und Gebrauch.

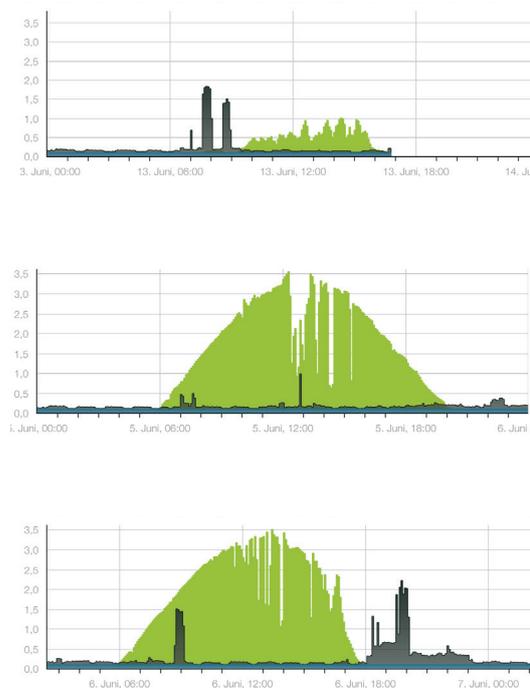


Abb. 1.3.20-2
Stromverbrauch und Erzeugung
eines Vierpersonenhaushalts
(Quelle: Transsolar)

1.3.17 Fußnoten mit Anmerkungen

1. In der Physik stellt die Dynamotheorie einen Mechanismus dar, mit dem ein Himmelskörper wie zum Beispiel die Erde oder ein Planet ein Magnetfeld erzeugt. Es wird angenommen, dass ein Dynamo die Quelle des Magnetfeldes der Erde ist.

2. In der Physik absorbiert ein schwarzer Körper die einfallende elektromagnetische Strahlung unabhängig von der Frequenz oder dem Einfallswinkel. Im Gegensatz dazu reflektiert ein weißer Körper mit seiner „rauen Oberfläche“ die einfallenden Strahlen vollständig und gleichmäßig in alle Richtungen.

3. Nachdem er über die Entdeckung der „Wärmestrahlung“ (Infrarotstrahlung) von Herschel in 1801 erfahren hatte, suchte Johan Ritter am anderen Ende des sichtbaren Spektrums nach einer entgegengesetzten (kühlenden) Strahlung. Er fand nicht genau, was er erwartet hatte, aber nach einer Reihe von Versuchen stellte er fest, dass sich Silberchlorid schneller von weiß zu schwarz umwandelte, wenn es in der dunklen Region des Sonnenspektrums nahe seines violetten Endes platziert wurde. Die von ihm gefundenen „chemischen Strahlen“ wurden danach als ultraviolette Strahlung bezeichnet.

4. Hobday Richard: The Light Revolution. Findhorn 2006, S. 29.

5. Die saisonale affektive Störung (SAD) ist eine Stimmungsstörung, bei der Menschen, die während des größten Teils des Jahres eine normale psychische Gesundheit haben, jedes Jahr zur gleichen Zeit depressive Symptome zeigen, dies geschieht am häufigsten im Winter. Ein typisches Symptom ist, wenn Menschen zu viel schlafen oder wenig Energie haben.

6 Edb., S. 6-8. Florence Nightingale hielt das Sonnenlicht für wichtig, um eine gesunde Umgebung für Kranke zu schaffen. Dies wurde in ihren Aufzeichnungen zu Krankenhäusern aus dem Jahre 1859 wie folgt hervorgehoben: „Direkte Sonneneinstrahlung, nicht nur Tageslicht, ist für eine schnelle Genesung notwendig, außer vielleicht in einigen Augen- und wenigen anderen Fällen. Es konnte fast endlos

vorgegangen werden, wo man in dunklen oder in nordischen Bezirken, auch wenn sie durch und durch gewärmt waren, und in Krankensälen mit geborgtem Licht, selbst wenn sie gründlich durchlüftet waren, die Kranken keineswegs schnell wieder gesund machen konnten ... Alle Krankenhausgebäude in diesem Klima sollten so aufgestellt werden, dass eine möglichst große Fläche direkte Sonneneinstrahlung erhält - eine Regel, die in einigen unserer besten Krankenhäuser beobachtet wurde, aber leider in einigen von ihnen übergangen wurde zuletzt gebaut“.

7. Circadian neural rhythms in mammals. Turek FW. Annual Review of Physiology. 1985; 47: 49-64. Viele Aspekte des Verhaltens und der Physiologie von Säugetieren zeigen circadiane Rhythmik, einschließlich Schlaf, körperliche Aktivität, Aufmerksamkeit, Hormonspiegel, Körpertemperatur, Immunfunktion und Verdauungsaktivität. Der Suprachiasmatische Nucleus (SCN) koordiniert diese Rhythmen über den gesamten Körper und die Rhythmik geht verloren, wenn das SCN zerstört wird. Zum Beispiel wird die Gesamtschlafzeit bei Ratten mit SCN-Schäden aufrechterhalten, aber die Länge und das Timing von Schlafepisoden wird unberechenbar. Das SCN behält die Kontrolle über den Körper hinweg, indem es „Slave-Oszillatoren“ synchronisiert, die ihren eigenen 24-Stunden-Rhythmus aufweisen und circadiane Phänomene im lokalen Gewebe kontrollieren.

8. Hewison M., Burke F, Evans KN., Lammas DA. (2007) Extra-renal 25-hydroxyvitamin D3-1alpha-hydroxylase in human health and disease. Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology. 103: 316-321. Die großen saisonalen Schwankungen sind auch ein Gesundheitsrisiko.

9. Die Migration von Menschen kann durch die Untersuchung von Genen kartiert werden. Einige Menschen wanderten von Afrika in Richtung Osten nach Indonesien, blieben ständig in den Tropen und behielten ihre dunkle Hautfarbe. Andere wanderten nach Norden. Weiße Haut braucht nur ein Sechstel der Sonne, um genügend Vitamin D zu produzieren (Hewison et al., wie in Anmerkung 8). Im Winter reicht die UV-Strahlung möglicherweise nicht aus, um ausreichend Vitamin D zu erhalten. Das Problem wird verschlimmert, da die Haut gebräunt wird, um den Körper vor weiteren Schäden

im Sommer zu schützen. Diese Bräune hält bis in den Winter und verhindert somit die Aufnahme weiterer UV-Strahlen.

10. Bischoff-Ferrari H., Dawson Hughes B., Staehlin H., Orav J., Thoma A., Kiel D., Henschowski J., (2009) Prevention of nonvertebral fractures with oral vitamin D and dose dependency: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Archives of Internal Medicine* 169:551-561. Vitamin D spielt eine wichtige Rolle bei der Aufrechterhaltung des Kalzium- und Knochenstoffwechsels, einem Risikofaktor für Osteoporose, Sturz und Frakturen im Alter. Die Verringerung der D-Vitamingehalte, die mit einem kompensatorischen erhöhten Parathyroidhormonanteil einhergeht, verursacht einen signifikanten Verlust des Knochengewebes, so dass Substitutionen von Vitamin D und Calcium sehr wichtig sind.

11. Apoptose (vom altgriechischen ἀπόπτωσις „Abfallen“) ist ein Prozess des programmierten Zelltods, der in vielzelligen Organismen auftritt. Biochemische Ereignisse führen zu charakteristischen Zellveränderungen (Morphologie) und Tod. Im Gegensatz zur Nekrose, die eine Form des traumatischen Zelltods ist, die von einer akuten zellulären Verletzung herrührt, ist die Apoptose ein hochregulierter und kontrollierter Prozess, der während des Lebenszyklus eines Organismus Vorteile bietet.

12. Die benötigte Aufnahme muss auf Außenplätzen erfolgen, da die UV-Bestrahlung von meisten Verglasungsarten filtrierte wird.

13. An vielen Orten ist die saisonale Verzögerung nicht „saisonal symmetrisch“; das heißt, die Zeit zwischen der Wintersonnenwende und der thermischen Mittwinterzeit (kälteste Zeit) ist nicht die gleiche wie zwischen der Sommersonnenwende und der thermischen Mittsommerzeit (heißeste Zeit).

14. Gaylon S.C., Norman J.M., *An introduction to environmental biophysics*. Springer 2012. S. 156, 175. Im Bereich der Optik sagt das Lambertsche Kosinusetz aus, dass die von einer idealen diffus reflektierenden Oberfläche oder einem idealen diffusen Strahler beobachtete Strahlungsintensität oder Lichtstärke direkt proportional zum Kosinus

des Winkels zwischen der Richtung des einfallenden Lichts und der Oberflächennormalen ist.

15. Edb., S. 167-170.

16. Das lokale Koordinatensystem wird verwendet, um die Anstiegs- und Einstellzeiten eines Objekts am Himmel zu bestimmen. Wenn die Höhe eines Objekts 0° beträgt, befindet es sich am Horizont. Alle Objekte auf der Himmelskugel unterliegen jedoch einer täglichen Bewegung, die immer von Ost nach West erfolgt.

17. Katalinic A., Kunze U., Schafer T., (2003) Epidemiology of cutaneous melanoma and non-melanoma skin cancer in Schleswig-Holstein, Germany: incidence, clinical subtypes, tumour stages and localization (epidemiology of skin cancer) *British Journal of Dermatology*. 149:1200.1206. Die krebserzeugenden Eigenschaften des ultravioletten (UV) Lichtes werden durch seine Fähigkeit zur Erzeugung von DNA-Schäden vermittelt. Zellreaktionen auf UV-induzierte DNA-Schäden modulieren stark die krebserregende Wirkung von UV-Expositionen, und diese Reaktionen sind wellenlängenabhängig. Die genauen Beiträge verschiedener Wellenlängen des UV-Lichts zu DNA-Schäden, zellulären Schadensreaktionen, Mutationen und Hautkarzinogenese sind jedoch unvollständig verstanden.

18. Gaylon et al., *An introduction to environmental biophysics* (wie Anmerkung 14). S. 150. Die Augen vieler Tiere zeichnen ihre evolutionäre Geschichte in ihrer heutigen Anatomie auf. Das Wirbeltierauge ist zum Beispiel „rückwärts und kopfüber“ gebaut, und es erfordert, dass „Lichtphotonen durch die Hornhaut, Linse, wässrige Flüssigkeit, Blutgefäße, Ganglienzellen, Amakrinzellen, horizontale Zellen und bipolare Zellen wandern, bevor sie es erreichen die lichtempfindlichen Stäbchen und Zapfen, die das Lichtsignal in neurale Impulse umwandeln, die dann zur Verarbeitung zu aussagekräftigen Mustern in den visuellen Kortex im hinteren Teil des Gehirns geschickt werden.“

19. Das photometrische Strahlungsäquivalent einer Lichtquelle ist der Quotient aus dem von der Lichtquelle abgegebenen Lichtstrom und der abgegebenen elektromagnetischen Strahlungsleistung. Seine SI-Einheit ist Lumen durch Watt

(lm/W).

20. Raumwinkel werden häufig in der Physik, insbesondere die der Berechnung von Strahlungsaustausch, verwendet. Die gegenseitige Orientierung und Lage von Flächen wird mit dem Begriff Sichtfaktor bezeichnet.

21. Watson A.B., Yellot J.I., A unified formula for light-adapted pupil size (2012). *Journal of Vision* Vol. 12,1.doi 10.1167/12.10.12.

22. Die blaue Farbe des Himmels wird durch die Streuung des Sonnenlichts an den Molekülen der Atmosphäre verursacht. Diese Streuung wird Rayleigh-Streuung genannt und ist bei kurzen Wellenlängen (dem blauen Ende des sichtbaren Spektrums) effektiver. Daher ist das Licht, das unter einem großen Winkel in Bezug auf die Richtung des Sonnenlichts zur Erde gestreut wird, überwiegend im blauen Ende des Spektrums.

23. Lucas R., McMichel T., Smith W., Armstrong B. 2006 Global burden of disease from solar ultraviolet radiation. *World Health Organization. Public Health and the Environment*. Geneve 2006. S. 6-16.

24. McKenzie R. L., Liley J. B., Björn L. O., (2009) UV Radiation: Balancing Risks and Benefits. *Photochemistry and Photobiology*, 2009, 85: 88–98.

25. World Health Organization. *Global Solar UV Index: A Practical Guide* (2012). S. 6-9. Der UV-Index ist ein wichtiges Instrument, um die Öffentlichkeit für die Risiken einer übermäßigen Exposition gegenüber UV-Strahlung zu sensibilisieren und die Menschen auf die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen aufmerksam zu machen. Im Rahmen einer internationalen Anstrengung wurde der UV-Index von der WHO, dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen und der World Meteorological Organization entwickelt. In vielen Ländern wird der UV-Index (UVI) zusammen mit der Wettervorhersage in Zeitungen, im Fernsehen und im Radio gemeldet. Dies wird jedoch normalerweise nur während der Sommermonate durchgeführt.

26. Sonntag D., Behrens K., Ermittlung der Sonnenscheindauer aus pyranometrisch gemessenen Bestrahlungsstärken der Global- und Himmelsstrahlung. *DWD Bericht*. Hamburg 1992. S. 9-12.

27. Jocher T., Loch S., *Raumpilot: Grundlagen* Stuttgart 2012. S. 162.

28. DIN 5034-1 (2011) *Tageslicht in Innenräumen-Teil 1 Allgemeine Anforderungen*. S.11

29. DIN EN 17037 (2016) *Tageslicht in Gebäuden*. S.26

30. Jocher T., Loch S., *Raumpilot: Grundlagen* Stuttgart 2012. S. 159

31. *Space Density and Urban Form*. Berghauer Pont Y., Haupt P. A., Delft 2009. S. 71-73

32. *Langfristige Siedlungsentwicklung*. Hrsg. Ernst + Basler. Zürich 2013. S. 23. *Gutachten Qualifizierte Verdichtung*.

33. *Edb.*, S. 4-5.

34. Bundesinstitut für Bau-,Stadt- und Raumforschung. *Wachsende und schrumpfende Städte und Gemeinden in Deutschland*. Bonn 2015. S. 1

35. Mitteilung des Statistischen Bundesamts vom 16.01.2017; Werte teilweise aus Statistisches Bundesamt(2016): *Fachserie 3 Reihe 5.1.2015. Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung*.

36. Hamburgisches Weltwirtschaftsinstitut. *Pendeln in Deutschland*. Hamburg 2014.

37. *Langfristige Siedlungsentwicklung*. (wie Anmerkung 32). S. 26.

38. *Edb.*, S. 3

39. Kalat J. W., *Biological Psychology*. Wadsworth 2009. S. 284.

40. Zeitzer, JM et al. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: Melatonin phase resetting and suppression. *Journal of Physiology* 526: 695-702.

41. Hickie I. et al. Manipulating the sleep-wake cycle and circadian rhythms to improve clinical management of major depression. *BMC Medicine* 11(1):79. 2013.

42. Knuschke P., Unverricht I., Ott G., Janßen M. Personenbezogene Messung der UV-Exposition von Arbeitnehmern im Freien. Forschung Projekt F 1777. Dresden 2007
43. Höger P. Kinderdermatologie: Differenzialdiagnostik und Therapie bei Kindern und Jugendlichen; mit 272 Tabellen.. Schattauer Verlag, 2007, ISBN 978-3-7945-2489-1, S. 393 (Abgerufen am 17. August 2013).
44. Hegger M. et al. Energie Atlas. Nachhaltige Architektur. Birkhäuser Verlag. 2007
45. Institut für Wohnen und Umwelt. Energie. Berechnungswerkzeuge für EnEV und Energieberatung. Gradtagzahlen in Deutschland. 2018
46. Jocher T., Loch S., Raumpilot: Grundlagen Stuttgart 2012. S. 430.
47. Balkow D., Schuler M., Sobek W., Glasbau Atlas. München.1998. S.140-141.
48. DIN EN 17037 (2016) Tageslicht in Gebäuden. S.22
49. McDonald R., Kroeger T., et al. Planting Healthy Air. A global analysis of the role of urban trees in addressing particulate matter pollution and extreme heat . Nature Conservancy. 2016. S.24-28.
50. Hall D.O., Rao K., Photosynthesis.Sixth Edition.Cambidge University Press. 1999.S.2-4
51. <https://ourworldindata.org/yields-and-land-use-in-agriculture>
52. FAO. Food in cities report. <http://www.fao.org/urban-agriculture/en/>
53. Grain. Food and Climate Change: The forgotten link. 2017
54. Mitteilung des Umwelt Bundesamts vom 23.02.2018; Energieverbrauch privater Haushalt
55. Webseite: <https://www.energie-bau.at/hei-zen-kuehlen/2085-langzeitspeicher-fuer-solarwaer-me>
56. Daten aus Stromspiegel 2017. Stand: 08.2017.

2. Ziele und Methoden

2.1 Zielsetzung

Jakub Pakula

Zielsetzung

Kern des Vorhabens ist die Überführung der Parameter und Zusammenhänge von Sonnenstrahlung (Tageslicht, Wärmeeintrag, Energiegewinnung) und städtebaulicher Planung (Dichte, Gebäudetiefen, Gebäudehöhen, Abstandsflächen, Orientierung, Dachformen, Grundrissformen) in ein leicht verständliches Regelwerk für den planenden Architekten.

Dies soll in Form einer Datenbank erfolgen, die einerseits ausgewertet wird, um grundlegende Zusammenhänge zu veranschaulichen.

Geometrische Optimierung von Gebäuden in Bezug auf potentiellen solaren Energiegewinn (Schwerpunkt Licht) für Wohngebäude – im städtebaulichen Maßstab.

Andererseits macht ein Online-Tool den Inhalt der Datenbank für Einzelfallbetrachtungen zugänglich. Der entwerfende Architekt oder Stadtplaner soll damit in die Lage versetzt werden, noch vor Hinzuziehen eines Fachplaners energetisch günstige Parameter zu setzen und die Konsequenzen seiner Handlungen in Bezug auf Tageslichtausbeute und Solarenergieertrag früh einschätzen zu können.

Fokus

Um das weitläufige Thema greifbar zu machen, werden zusätzliche Aspekte wie Verkehr, soziale Aspekte, Nutzungsmischung etc. außer Acht gelassen. Es geht also fokussiert um die Auswirkung der solaren Strahlung auf die Stadt bzw. das Quartier. Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt auf der Wohnnutzung.

Das Untersuchungsfeld beschränkt sich auf Mitteleuropa. Konkret erfolgen die Simulationen auf Grundlage der Wetterdaten (EPW) für Stuttgart. Das Online-Tool enthält zusätzliche Daten für unterschiedliche Standorte in Deutschland.

Die Sonneneinstrahlung verändert sich ständig – im Laufe eines Tages, aber auch im Laufe des Jahres. Energetisch entscheidend ist die Unterscheidung zwischen Sommer, wenn Gebäude vor Wärme geschützt werden müssen, und Winter, wenn der solare Wärmeeintrag zur Heizlastreduzierung beitragen kann. Die gebaute Umwelt besteht aus Gebäuden, die u.a. Schutz vor der Witterung bieten und entsprechend konditioniert sein müssen, sowie Freiflächen, die neben anderen Funktionen auch Raum für Vegetation bieten müssen.

In diese 2 Kategorienpaare wird die Untersuchung gegenüberstellend aufgeteilt, und im Ablauf nach Relevanz priorisiert.

Unterscheidung von Szenarien

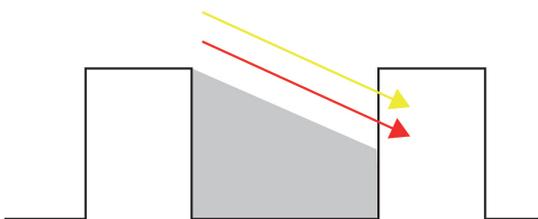


Abb. 2.1.1

1. **Einwirkung d. winterlichen Sonnenstrahlung auf Gebäude und Innenräume.**

In unseren Breitengraden ist eine maximale Ausbeute von Licht- und Wärmeeintrag im Winter anzustreben. Der Fall ist gut untersuchbar und auf der städtebaulichen Ebene das maßgebliche Kriterium. Hier soll daher der Fokus von LUX liegen.

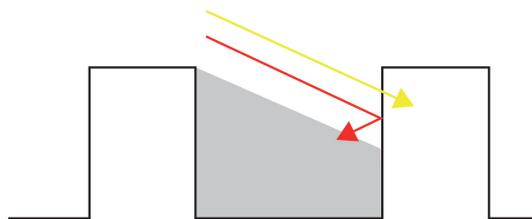


Abb. 2.1.2

2. **Einwirkung d. sommerlichen Sonnenstrahlung auf Gebäude und Innenräume.**

Im Sommer ist ein hoher Lichtertrag, aber ein möglichst geringer Wärmeeintrag das Ziel. Hierzu kann der Städtebau nur einen untergeordneten Beitrag leisten – vielmehr geht es um technische Lösungen in der Gebäudehülle. Dennoch wollen wir in einem weiteren Schritt der Frage nachgehen, ob bereits die Gebäudeform zur sommerlichen Verschattung beitragen kann, ohne im Winter Nachteile zu bringen.

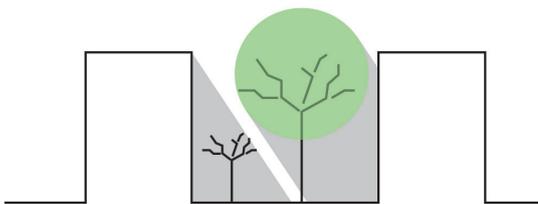


Abb. 2.1.3

3. **Einwirkung d. sommerlichen Sonnenstrahlung auf Freiflächen und Vegetation**

Gerade in dicht bebauten Quartieren ist die Frage nach der ausreichenden Besonnung der Freiflächen wichtig. Aus Sicht der Vegetation gilt auch hier: Je mehr, umso besser. Der Aspekt der Vegetation soll in unser Modell unter diesem Gesichtspunkt einfließen. Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt aber auf den bebauten Flächen.

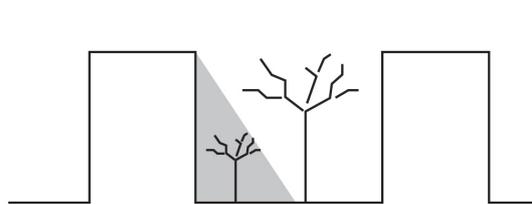


Abb. 2.1.4

4. **Einwirkung d. winterlichen Sonnenstrahlung auf Freiflächen und Vegetation.**

Dieser Aspekt hat für die LUX-Forschung die geringste Priorität, da die Vegetation im Winter ohnehin ruht. Eine gute Sonnenlichtausbeute auf dem Boden ist im Winter daher zweitrangig, und bei hohen baulichen Dichten zudem ohnehin fast ausgeschlossen.

2.2 Methode

Jakub Pakula

Methode

Das Forschungsvorhaben gliedert sich in folgende wesentliche Schritte:

1. Untersuchung bestehender Quartiere sowie idealisierter Typologien auf relevante Parameter:
 - Topographie - Lage - Höhe - Tiefe - Orientierung
 - Dichte
2. Auswertung der untersuchten Quartiere im Hinblick auf solarenergetisches Potential:

- Tageslicht - Wärme (Winter/Sommer) - Strom

3. Ableitung von Regeln und Zusammenhängen im Bezug auf die Parameter:

Mit Blick auf die Arbeit des planenden Architekten ist es ein essenzielles Ziel von LUX, leicht verständlich und handhabbar, bewertete Zusammenhänge zwischen den genannten Parametern herzustellen. Wie beeinflusst die Orientierung die mögliche Gebäudetiefe? Wie verändern sich Mindestabstände bei steigender Gebäudehöhe? Welchen Einfluss hat die Topographie des Grundstücks auf den solar optimierten Städtebau? Welche Bedeutung hat hierbei die genaue geographische Lage des Quartiers?

4. Qualitative Bewertung der Parameter und deren Wechselwirkungen:

Die konträren Ansprüche: hohe Dichten einerseits und max. Lichtausbeute andererseits verlangen nach Kriterien zur Feststellung eines Optimums sowie von Mindest- und Höchstwerten für eine positive Bewertung. Für die minimal zu erreichende Dichte können z.B. Angaben aus B-Plänen herangezogen werden. Interessant ist herauszufinden, ob bei gleicher Dichte durch andere Anordnung eine höhere Lichtausbeute realisierbar ist.

Die Bewertung des mindestens erforderlichen Sonnenlichtertrags stellt sich schwieriger dar.

Ein Anhaltspunkt ist die bauphysikalische Bewertung des Einflusses auf den Wärmeschutz (Winter/Sommer). Für die Bewertung der Tageslichtausbeute kommen besonders für den Wohnbau gesundheitliche und gesellschaftliche Aspekte hinzu. Wieviel Tageslicht braucht der Mensch, um gesund zu sein? Wann ist wer wie lange zu Hause? Als Stellschraube der qualitativen Bewertung müssen diese Aspekte anhand vorhandener Studien und Forschungsergebnisse erörtert werden.

Zusätzliche Rahmenbedingungen aus der Gebäudelehre und der architektonischen Praxis sind hinzuzuziehen. Nutzbare Gebäudetiefen, sinnvolle Parzellengrößen oder wirtschaftliche Verhältnisse von Grundfläche und Gebäudehöhe müssen (besonders für die Entwicklung des Tools) recherchiert und in Form von Min-Max-Werten implementiert werden.

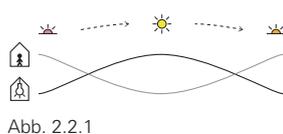


Abb. 2.2.1

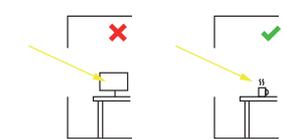


Abb. 2.2.2

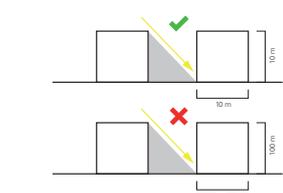
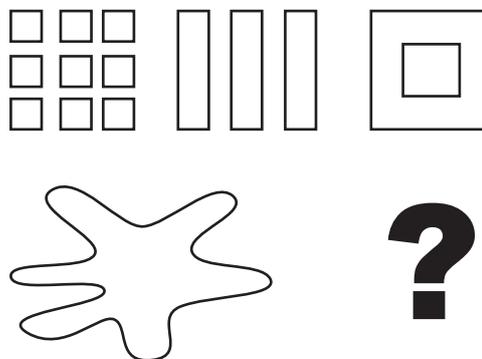


Abb. 2.2.3

Idealisierung und Typenbildung

Für die Handhabbarkeit und zur Erhöhung des Nutzens für den Planer erscheint es sinnvoll, die Untersuchung auf Basis von idealisierten Typen durchzuführen. Für unser Forschungsvorhaben ist nicht entscheidend, ob eine Nische in der Fassade zu Schattenbildung führt, sondern wie sich ein Blockrand zu einem Zeilenbau verhält oder welche Dichte bei einer Ost-West-Orientierung realisierbar ist. Dafür werden unter den eingangs genannten Parametern die Grundtypen ‚Punkt‘, ‚Zeile‘ und ‚Blockrand‘ sowie darauf aufbauend Mischtypologien untersucht - auf der Suche nach der solar optimierten Typologie.



Abbildungen:
eigene Darstellung

Abb. 2.2.4
Städtebauliche Typen

Schaffen eines einfachen Werkzeugs für planende Architekten in frühen Entwurfsphasen zur eigenständigen Abschätzung der Auswirkung ihrer Entscheidungen

Auswertung

Aus den erhobenen Daten soll ein gewichtetes Bewertungsmodell für die Sonneneinstrahlung entstehen, das für die Entwicklung eines Online-Tools zur Bewertung städtebaulicher Entwürfe herangezogen wird.

Zur Bewertung werden u.a. folgende Kriterien herangezogen:

- Dauer der Sonneneinstrahlung in Abhängigkeit von der Orientierung (>Effizienz)
- Intensität der Sonneneinstrahlung in Abhängigkeit von der Orientierung (>Effizienz)
- Verfügbare Lichtmenge im Verhältnis zur erwünschten Lichtmenge

Das Bewertungsmodell soll ermöglichen, nicht nur den gesamten Lichteinfall zu bewerten. Es sollen Aussagen zum „Wert“ des verfügbaren Lichts in Abhängigkeit von Tageszeit und Orientierung möglich sein. Ziel ist das Erreichen guter Tageslichtbedingungen bei möglichst hoher Dichte. Es ist daher entscheidend, qualifiziert zu formulieren, was „gut“ bedeutet. Hierzu wurden Gespräche mit Experten aus dem Bereich Stadtplanung, Lichtplanung und Chronobiologie geführt, um anhaltspunkte für ein fundiertes Bewertungskriterium herauszuarbeiten.

Planungswerkzeug

Die erarbeiteten Ergebnisse sind nachfolgend grafisch und textlich zusammengefasst, und sollen so ein Grundverständnis für die Zusammenhänge von Geometrie und Tageslichtausbeute vermitteln. Gleichzeitig sind konkrete Aussagen zu Veränderungen der Tageslichteffizienz durch Veränderung einzelner Parameter der untersuchten Baukörper ablesbar. Die erkennbaren Regelmäßigkeiten im Wechselspiel zwischen einzelnen Parametern und der Lichtausbeute ist in Diagrammen dargestellt.

Zusätzlich ist ein interaktives Web-Tool als Planungswerkzeug entstanden. Dieses soll Planern, Preisrichtern und Bauherren eine einfache Möglichkeit bieten, vorliegende Arbeiten unter dem Aspekt der Tageslichtoptimierung zu bewerten und einzuordnen. Das Tool ist nicht als Berechnungssoftware konzipiert. Vielmehr ist es die interaktive Visualisierung der in diesem Forschungsprojekt erstellten Datenbank, um potentielle Planungsfehler und konkrete Optionen zur Optimierung aufzuzeigen.

Dabei wurde Wert auf eine einfache Benutzeroberfläche gelegt. Ziel war es, das richtige Maß der Vereinfachung zu finden, um den Nutzer nicht technisch zu überfordern, und zugleich belastbare Aussagen auch für komplexe Entwürfe zu liefern.

2.3 Abfolge und Zuständigkeiten des Versuchsaufbaus

Jakub Pakula



Kernstück der Forschungsarbeit ist die Erstellung der Datenbank von Simulationsergebnissen, welche als Grundlage für weitere Auswertungen fungiert.

Das Diagramm auf der linken Seite erläutert das Funktionsprinzip und den Grundaufbau der Datengenerierung für die Datenbank.

Die einzelnen Bestandteile der Versuchsabfolge werden im folgenden Kapitel „3. der Versuchsaufbau im Detail“ beschrieben.

Auf Grundlage der festgelegten räumlichen und bauphysikalischen Rahmenbedingungen wurde eine automatisierte Simulationsroutine erstellt, welche eine sehr große Zahl parametrisch erzeugter Gebäudegeometrien auf deren Tageslichtausbeute untersucht, und die Ergebnisse der Simulation einschließlich der geometrischen Parameter in eine zentrale Datenbank einspeist. Dies bildet die Grundlage für weitere Rückschlüsse, für das zuvor beschriebene Online-Tool, und potentiell auch für zukünftige, über dieses Projekt hinaus gehende Forschungsvorhaben.

Das Diagramm veranschaulicht auch die Aufgaben und Zuständigkeiten der Forschungsbeteiligten innerhalb des Projekts

Auf der folgenden Doppelseite ist der Gesamtabriss des Forschungsvorhabens grafisch veranschaulicht.

Übersicht über die Bestandteile und Schritte des LUX Projekts

Abb. 2.3.1:
isometrische darstellungen
unterschiedlicher Quartiere
(Quelle: Träger, 2015:
348, 349, 413)



Abb. 2.3.1

Abb. 2.3.2:
idealisierte Gebäudetypen
unterschiedlicher Dichte
(Quelle: Jocher, Loch, 2010: 159)

Untersuchung idealisierter Typen

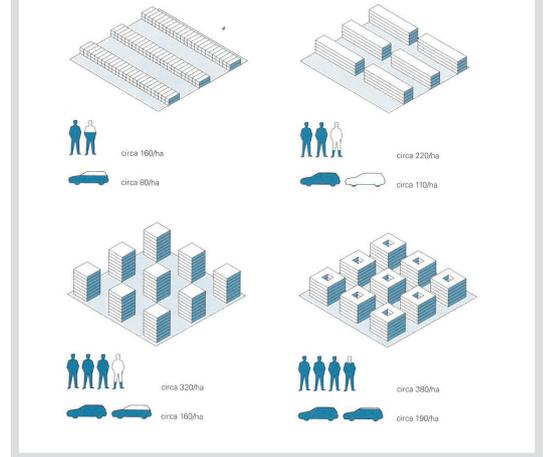


Abb. 2.3.2

Aufgliederung in steuerbare Parameter

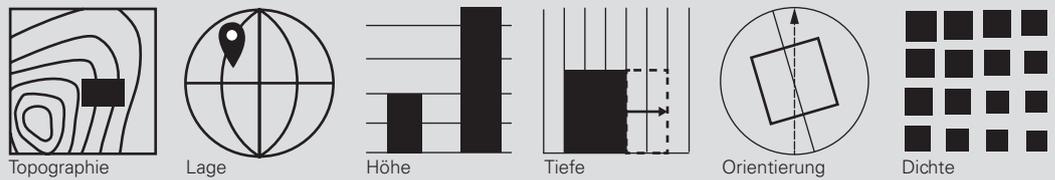


Abb. 2.3.3

Untersuchung anhand qualifizierbarer Kriterien

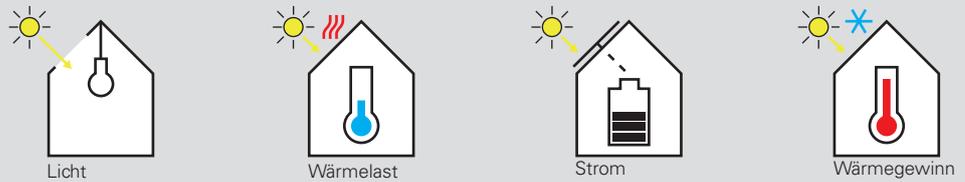


Abb. 2.3.4

Abb. 2.3.5:
Sonnenstandsverlauf und
Einstrahlung auf die Gebäudehülle
(Quelle:
Transsolar)

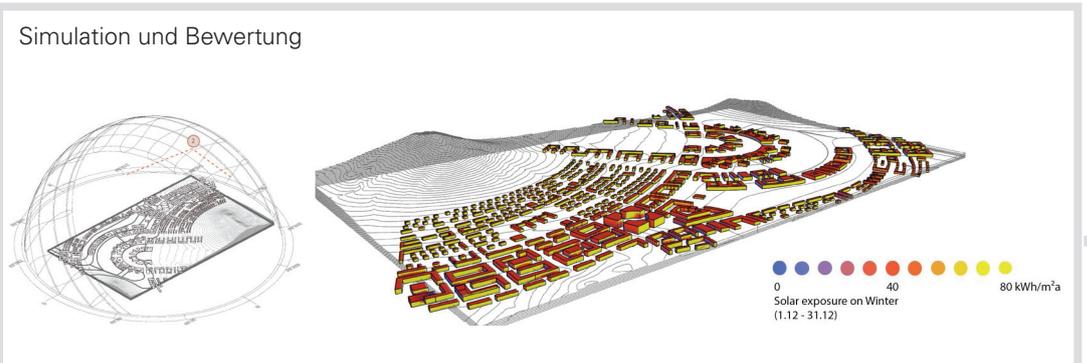
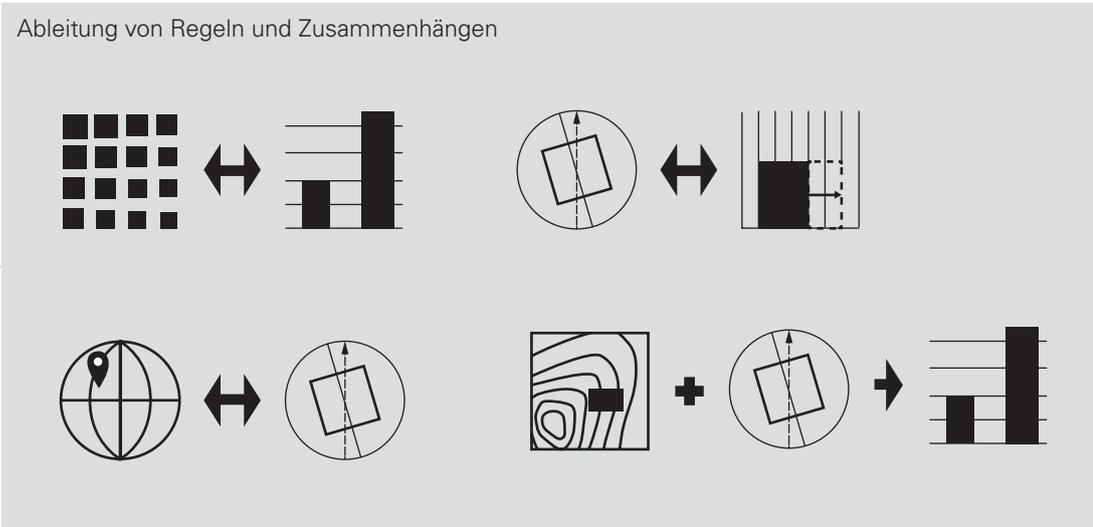


Abb. 2.3.5



übrige Abbildungen:
eigene Darstellung

Abb. 2.3.6

Darstellung der Simulationsergebnisse in einem leicht zugänglichen Online-Tool, das die situationsspezifische Einzelfallbetrachtung ermöglicht.

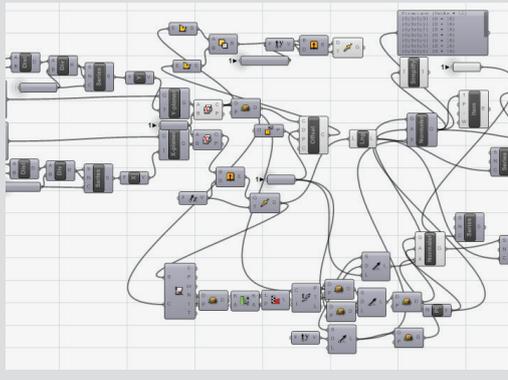


Abb. 2.3.7

Fixieren, Beschreiben und Darstellen der Simulationsergebnisse sowie daraus abgeleiteter Regeln und Zusammenhänge in graphisch anschaulicher Form.

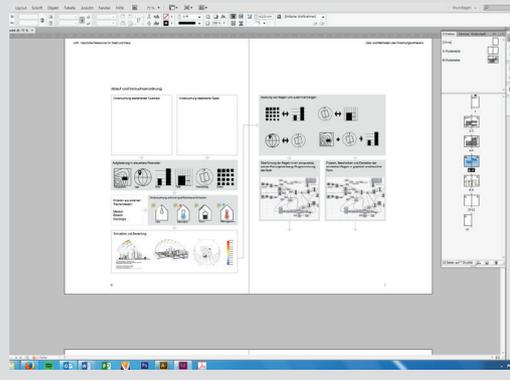


Abb. 2.3.8

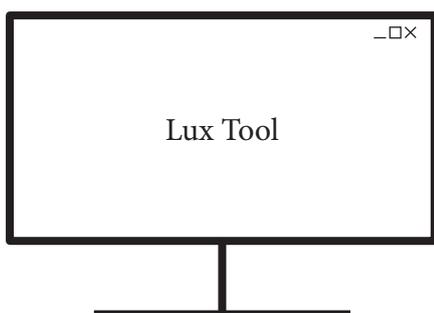
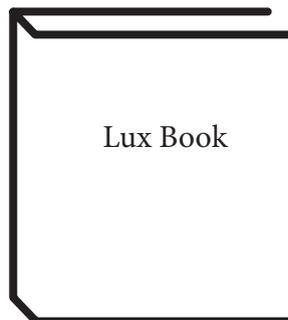


Abb. 2.3.9



3. Der Versuchsaufbau im Detail

3.1 Räumliche Rahmenbedingungen

Jakub Pakula

Für die Relevanz der Untersuchungsergebnisse ist entscheidend, dass die geometrischen Annahmen einen Bezug zur architektonischen Realität aufweisen. Die Grenzwerte und die Intervalle der Parameter für die Versuchsanordnung orientieren sich daher an baugesetzlichen Bestimmungen und Erfahrungswerten aus der architektonischen Praxis. Da die bauphysikalischen Annahmen für Deutschland gelten, orientieren sich die räumlichen Rahmenbedingungen ebenfalls an deutschen Standards und Richtlinien. Die Festlegung und Begrenzung der Parameter ist erforderlich, um die Anzahl der untersuchten Varianten auf ein handhabbares Maß zu beschränken, ohne die Aussagefähigkeit der Ergebnisse zu beschneiden.

3.1.1 Typologie

Die Formenvielfalt möglicher Baukörper ist nahezu unbegrenzt. Um die zu untersuchenden Geometrien mit einer überschaubaren Anzahl an Variablen zu parametrisieren, müssen diese typisiert werden.

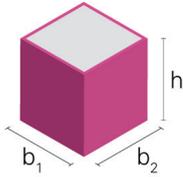
Ziel ist es, mit möglichst einfachen Mitteln, also wenigen Parametern, eine möglichst große typologische Vielfalt abzubilden, und dabei möglichst realitätsnahe Baukörper zu erzeugen.

Die Studie konzentriert sich auf unsere mitteleuropäischen klimatischen Verhältnisse - dem entsprechend sollte auch der typologische Ansatz sich an der europäischen Stadt orientieren.

Dabei liegt der Fokus auf der reinen Gebäudegeometrie, da diese die Sonneneinstrahlung direkt beeinflusst. Weitere wichtige städtebauliche Kriterien, wie Erschließung (sowohl öffentlich als auch im Gebäude), oder die Zonierung von Freiflächen (öffentlich, privat) bleiben für die Zwecke dieser Untersuchung außen vor. Untersucht werden die typischen Bausteine einer städtebaulichen Struktur: Solitär, Zeile, Block sowie Zwischenformen.¹

Zur Konkretisierung für das weitere Vorgehen werden die Gebäudetypen folgendermaßen definiert:

¹ vgl. Bott (2003), 224ff.

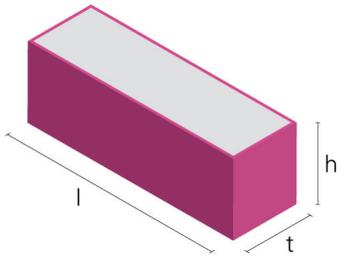


1. SOLITÄR

ein Baukörper mit ähnlicher Länge und Breite, in der Regel mit nur einer vertikalen Erschließung und einer allseitigen Orientierung.

Beschrieben durch:

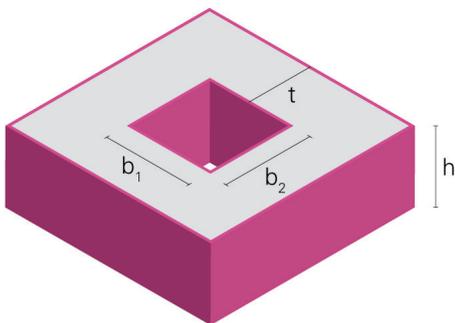
Breite (b_1), Breite (b_2), Höhe (h).



2. ZEILE

ein gestreckter Baukörper mit deutlich größerer Länge als Gebäudetiefe, in der Regel mit mehreren vertikalen Erschließungen und einer zweiseitigen Orientierung.

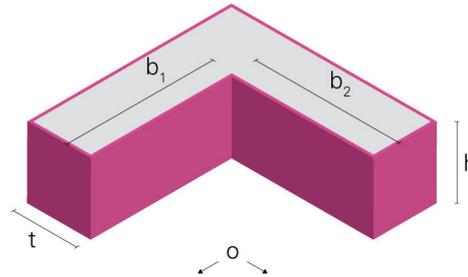
Beschrieben durch: Länge (l), Tiefe (t), Höhe (h).



3. BLOCK

ein Baukörper, der einen Hof allseitig umschließt. In der Regel mit mehreren vertikalen Erschließung und einer allseitigen Orientierung. (zweiseitig je Blockrandseite).

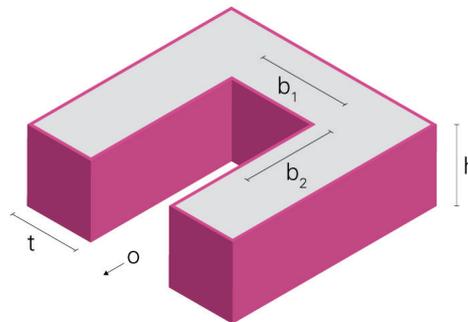
Beschrieben durch: Hofbreite (b_1), Hofbreite (b_2), Gebäudetiefe (t), Höhe (h).



4. L-FORM

Ein Baukörper, der einen Hof oder Außenraum zweiseitig flankiert. In der Regel mit mehreren vertikalen Erschließungen. vierseitig orientiert.

Beschrieben durch: Hofbreite (b_1), Hofbreite (b_2), Gebäudetiefe (t), Höhe (h), Öffnungsrichtung (o)



5. U-FORM

ein Baukörper, der einen Hof dreiseitig umschließt. in der Regel mit mehreren vertikalen Erschließungen. vierseitig orientiert.

Beschrieben durch: Hofbreite (b_1), Hofbreite (b_2), Gebäudetiefe (t), Höhe (h), Öffnungsrichtung (o)

Betrachtete Gebäudetypen:

Solitär, Zeile, Blockrand, L-Form, U-Form

Abbildungen:
eigene Darstellung

3. Der Versuchsaufbau im Detail



Luftbilder von vier Quartieren von links oben nach rechts unten:
Berlin, Bonner Straße -GFZ 1,53
München Tumblingerstr. -GFZ 1,78
Wien Hasnerstraße -GFZ 1,62
Zürich Bändliweg -GFZ 1,55
(Bildquelle: Google Earth, Quelle GFZ: Eberle, Tröger 2015)

3.1.2 Bauliche Dichte

Die Definition der baulichen Dichte ist zentral für die Verwertbarkeit der Simulationsergebnisse, da nur Baukörper mit dem gleichen Maß der baulichen Nutzung quantitativ miteinander vergleichbar sind.

Die gängigen Kennwerte für das Maß der baulichen Nutzung sind in der Baunutzungsverordnung¹ beschrieben. Die Geschossflächenzahl (GFZ) beschreibt das Verhältnis von Bruttogrundfläche zu Grundstücksfläche. Da für eine Betrachtung der Sonneneinstrahlung im städtebaulichen Maßstab die Grundstücksgrenze nicht das relevante Maß sein kann, bezieht sich der hier verwendete GRZ-Begriff auf den Umgriff eines Baukörpers bis zur Mitte der Abstandsfläche zum angrenzenden Baukörper - angelehnt an die Definition von Eberle und Tröger: „Der Dichtefaktor auf Basis der GFZ berechnet sich aus der Summe der oberirdischen Geschossflächen (...) aller Gebäude innerhalb des Perimeters im Verhältnis zur Gesamtfläche dieses Perimeters“²

¹ BauNVO, Stand 21.11.2017
² Eberle, Tröger 2015: 243

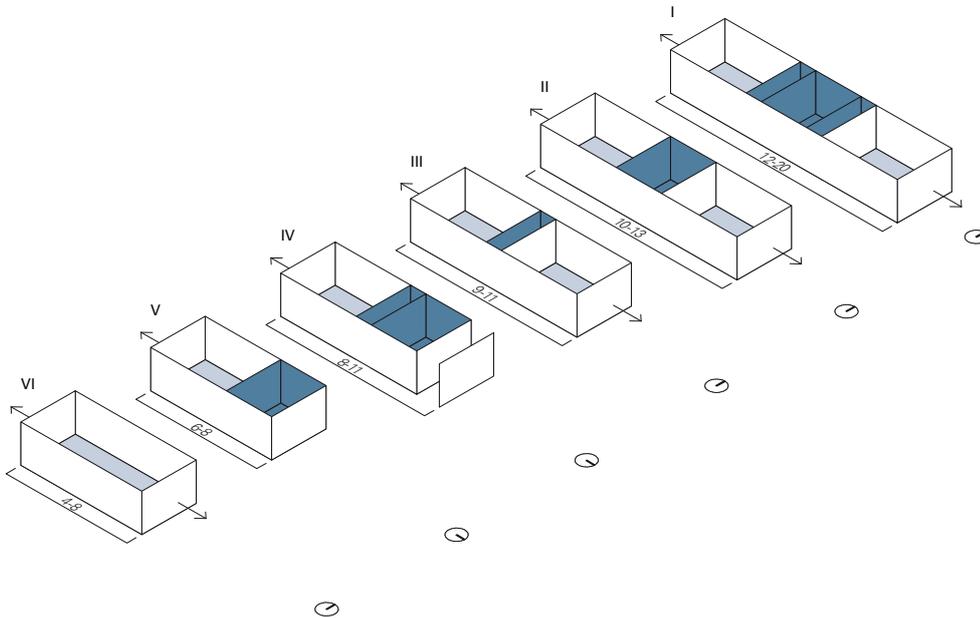
Die untersuchten Dichten orientieren sich grob an den Grenzwerten der deutschen BauNVO sowie an den Dichtekategorien 4 bis 8 nach Eberle und Tröger³, da es sich hierbei um dichte, geschlossen bebaute Quartiere mit überwiegender Wohnbebauung handelt. Das entspricht einer GFZ von 1,2 - 3,0.

Die abgebildete Auswahl an Luftbildern von Quartieren mit annähernd gleicher baulicher Dichte aber sehr unterschiedlicher typologischer Ausprägung veranschaulicht die mögliche Varianz der Bauvolumen bei gleicher Baumasse.

Ein zentrales Anliegen dieser Untersuchung ist das Ermöglichen einer Vergleichbarkeit zwischen diesen sehr unterschiedlichen Ausprägungen

Betrachtete bauliche Dichte: GFZ 1,2 - 3,0

³ Tröger 2015: 41



Grundrisstiefen nach Faller.
(Quelle: Raumpilot)

3.1.3 Gebäudetiefen

Ausschlaggebend für die Tageslichtqualität im Innenraum ist neben der Sonneneinstrahlung auf die Fassade insbesondere die Raumtiefe.

Die für die Untersuchungen herangezogenen Raumtiefen richten sich nach den Grundrisstiefen im Zeilenbau nach Faller¹.

Diese sind anhand üblicher Raumgrößen im Wohnungsbau (Wohn- und Nebenräume) sowie gängiger Erschließungssysteme gegliedert.

Es werden folgende Tiefenzonen unterschieden (Auswahl):

Typ	Beschreibung	Tiefe [m]	
		von	bis
I	Einseitige Orientierung Innengang	14	18
II	Zweiseitige Orientierung dunkle Nebenraumzone	10	13
III	Zweiseitige Orientierung Spänner	9	11
IV	Einseitige Orientierung Laubengang	8	11
V	Einseitige Orientierung Spänner	6	8
VI	Zweiseitige Orientierung Spänner	4	8

Die Gebäudetiefe hat einen erheblichen Einfluss auf den möglichen Wohngrundriss und auf die Nutzungsverteilung.

Auch in schlechter belichteten Bereichen können sinnvolle Nutzungen untergebracht werden. Die Steigerung der Gebäudetiefe ist ein gängiges Mittel zum Erreichen höherer baulicher Dichten.

Es stellt sich jedoch die Frage, bis zu welchem Maß - gerade für eine Wohnnutzung - die hohe Raumtiefe noch vertretbar ist. Daher ist hier besonders die Untersuchung großer Raumtiefen relevant. Bei sehr schlanken Gebäuden hat die Tiefe des Raums keinen nennenswerten Einfluss auf die Belichtungsqualität. Daher wird auf die Untersuchung der Typen V und VI verzichtet.

Über eine gewisse Tiefe hinaus ist unabhängig von der Tageslichtsimulation eine sinnvolle Grundrissanordnung kaum noch möglich. Die größte untersuchte Gebäudetiefe richtet sich daher nach dem Maximalwert der Grundrisstiefen nach Faller.

Dabei wird die Lage von Erschließungen und Nebenräumen in der Untersuchung nicht beachtet. Auf der städtebaulichen Ebene ist das Nutzungspotential der erzeugten Baukörper entscheidend. Die Erkenntnisse aus dieser Studie können hierzu im Planungsprozess eine Unterstützung bieten.

Betrachtete Gebäudetiefe: 9-18 Meter

¹ Faller 2002: 377

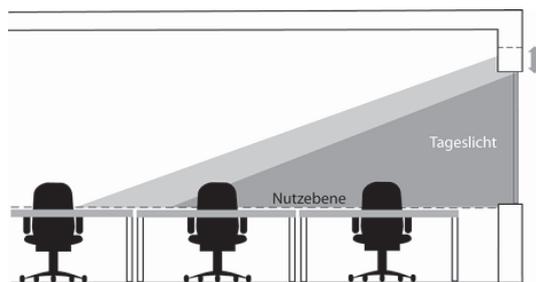


Abb. 3.1.4

3.1.4 Geschosshöhen

Abb. 3.1.4
Beispiel für die
Tageslichtversorgung in
Abhängigkeit von der Raumhöhe,
der Größe und Anordnung des
Fensters (Quelle: Fachverband
Tageslicht und Rauchschutz e.V.)

Geschosshöhen variieren von Bauvorhaben zu Bauvorhaben. Die Mindestraumhöhe für Aufenthaltsräume nach Musterbauordnung¹ beträgt 2,40 m.

Im Geschosswohnungsbau liegt die lichte Raumhöhe in der Regel bei 2,50-2,60m.

Zuzüglich der Geschosdecken und Bodenaufbauten kommt man so auf gängige Geschosshöhen zwischen 2,80 m und 3,00 m.

Hinzu kommen Dachaufbauten und gegebenenfalls erhöhte Erdgeschosse. Die Gesamthöhe zweier viergeschossiger Wohngebäude kann also je nach Sockel, Konstruktionsart und Dachform leicht um 1-2 Meter variieren.

Zur Vereinfachung wird für die vorliegende Studie von einer Geschosshöhe von 3,00 m ausgegangen. Sockel und Dachaufbauten werden nicht separat berücksichtigt.

Auf Grundlage der Geschosshöhe wird der gesamte Versuchsaufbau auf einem Raster von 3,0 x 3,0 x 3,0 m (l x b x h) aufgebaut. Dies spiegelt auch realitätsnahe Raumdimensionen im Wohnungsbau wieder. (vgl. Faller, 2002: 377)

Betrachtete Geschosshöhe: 3,00 m

¹ MBO (Musterbauordnung), Stand 21.12.2012

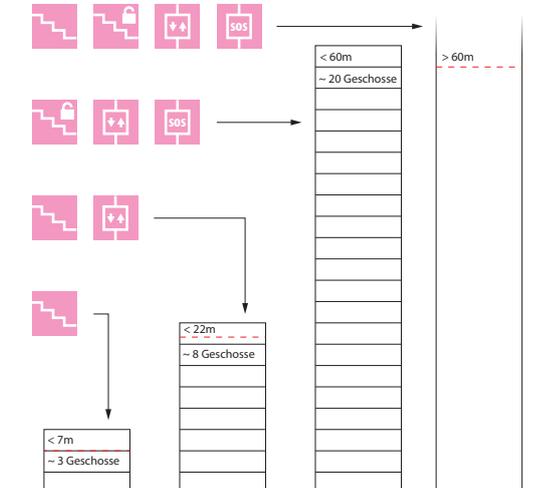


Abb. 3.1.5

3.1.5 Gebäudehöhen

Neben Festlegungen in Bebauungsplänen und der Orientierung an der umliegenden Bebauung gemäß §34 BauGB setzen vor allem Brandschutzbestimmungen der Höhenentwicklung Grenzen.

Da für die Betrachtung der Lichteffizienz besonders hohe bauliche Dichten interessant sind, wird der verdichtete Flachbau außenvor gelassen. Bei ein- und zweigeschossigen Gebäuden wird eine GFZ >1,0 nur in Ausnahmefällen erreicht. Diese Fälle spielen bei der vorliegenden Untersuchung keine Rolle.

Es ist naheliegend, dass hohe Gebäude, insbesondere einzelne Hochpunkte bezüglich der Lichtausbeute günstig sind.

Die Muster - Hochhaus - Richtlinie¹, sowie die Hochhausrichtlinien der Länder legen fest, dass ab einer Höhe von >22m (Oberkante oberster Fußboden eines Aufenthaltsraums) eine Reihe zusätzlicher technischer und baulicher Maßnahmen für den Brandschutz gefordert werden, da eine Anleiterung durch die Feuerwehr ab dieser Höhe nicht mehr möglich ist. Das entspricht in der Regel maximal 8 Vollgeschossen. Der damit verbundene Mehraufwand schließt Hochhäuser im Wohnungsbau in der Praxis daher meist aus. Um einen möglichen Mehrwert höherer Gebäude zu überprüfen, finden auch achtgeschossige Baukörper in der Studioberücksichtigung

Betrachtete Gebäudehöhen: 3-8 Geschosse

¹ MHHR (Musterhochhausrichtlinie) Fassung 2008

3.2 Simulationsmethode

Jakub Pakula, Diego Romero

Eine zentrale Bedeutung kommt der Art und Weise zu, in welcher das verfügbare Licht gemessen und bewertet wird. Welche Kriterien sind für die Qualität des Wohnens relevant, und wie lassen sich diese beschreiben und messen?

Im Bürobau übliche Verfahren konzentrieren sich auf die Tageslichtautonomie, also auf die Wahrscheinlichkeit, in der Hauptbetriebszeit (9 -18 Uhr) ohne künstliche Lichtquellen die geforderten Werte von 300 Lux auf Schreibtischhöhe zu erreichen. Wesentliches Kriterium der Optimierung ist die Energie- und damit Kostenersparnis. Die Lichtverteilung soll hierbei möglichst gleichmäßig sein, da die Nutzung weitestgehend homogen ist und annähernd vollständig aus Arbeitsplätzen besteht.

Abb. 3.2.1
der zirkadiane Rhythmus des Menschen
(Quelle: Transsolar)

Die Funktionsverteilung und das Verhalten der Bewohner sind wesentlich differenzierter und heterogener. Auf den Wohnungsbau ist diese Methode daher nicht ohne Weiteres übertragbar. Einerseits besteht jede Wohneinheit aus einer Reihe unterschiedlicher Räume mit unterschiedlichen Anforderungen an die Belichtung, andererseits unterscheidet sich die Nutzung der Räume individuell von Bewohner zu Bewohner. Zudem sind so gut wie nie alle Räume gleichzeitig genutzt.

Hinzu kommt die individuelle Einrichtung jeder Wohnung mit abweichenden Materialien, Oberflächen, und Farben, die eine genaue Bewertung der Helligkeit innerhalb eines Raums unmöglich macht.

Abb. 3.2.2
der Aufbau des menschlichen Auges
(Quelle: Transsolar)

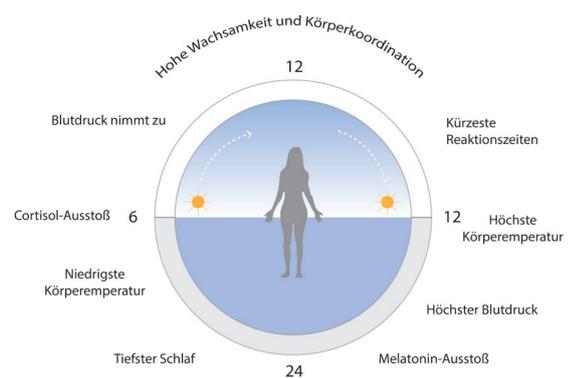


Abb. 3.2.1

Die genannten Rahmenbedingungen sprechen dafür, nicht den Raum sondern den Menschen in den Fokus der Betrachtung zu stellen. Die vorgeschlagene Simulationsmethode bewertet nicht die Helligkeit auf Oberflächen sondern die Menge des für das Auge verfügbaren Tageslichts.

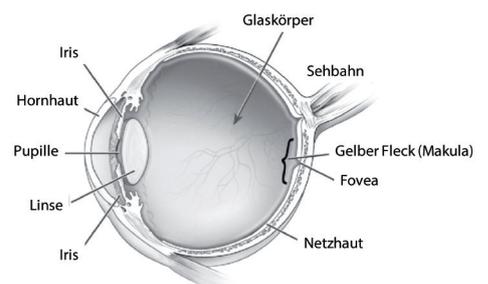


Abb. 3.2.2

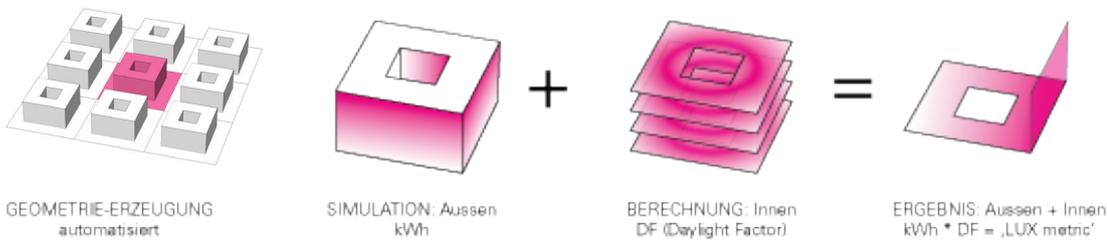


Abb. 3.2.3
Bestandteile des Versuchsaufbaus
(Eigene Darstellung)

SOLAREINSTRALUNG AUF DIE GEBÄUDEHÜLLE

Zur Bewertung der im Gebäude verfügbaren Lichtmenge wird zunächst die Menge des verfügbaren Lichts auf der Gebäudehülle gemessen. Dies erfolgt über eine Tageslichtsimulation auf Basis eines künstlichen Himmels unter Verwendung von Wetterdaten. Berechnet wird die Strahlungsleistung in kWh. Dies gibt Auskunft sowohl über direkte Sonneneinstrahlung bei klarem Himmel als auch über indirektes Licht bei bedecktem Himmel.

Die Betrachtung der Gebäudehülle allein gibt jedoch noch keine Auskunft über die Lichtverhältnisse im Innern, insbesondere über deren Verschlechterung mit zunehmender Gebäudetiefe.

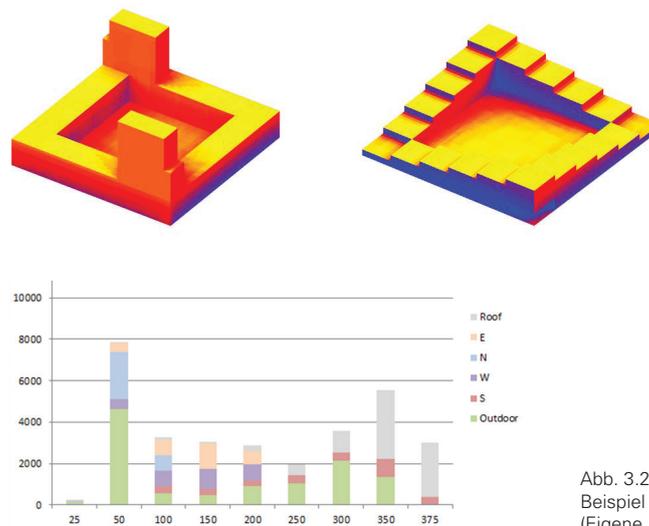


Abb. 3.2.4
Beispiel einer Belichtungsstudie
(Eigene Darstellung)

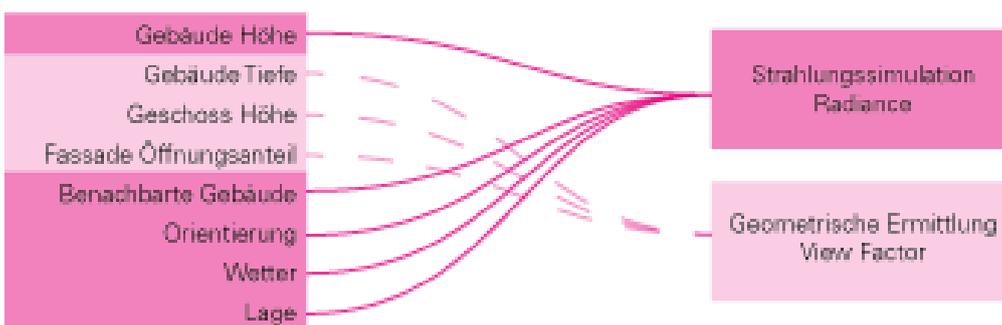


Abb. 3.2.5
Simulationsmethode und
berücksichtigte Parameter
(Eigene Darstellung)

VIEW FACTOR

In einem zweiten Schritt wird daher überprüft, wieviel Fassadenöffnung von einem beliebigen Punkt im Gebäude für das Auge sichtbar ist. Der Anteil der Fassadenöffnung am Blickfeld ergibt einen Faktor, mit dem die Werte aus der Tageslichtsimulation multipliziert werden. So kann eine Aussage über die Menge des potentiell für das Auge verfügbaren Lichts an jedem Punkt im Gebäude getroffen werden.

Die Methode erlaubt auch Aussagen zum Einfluss der Art und Größe der Fassadenöffnungen.

Abb. 3.2.6 Projektion des sichtbaren Lichts vom Standpunkt des Betrachters (Quelle Transsolar)

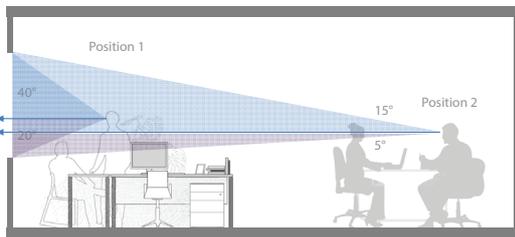
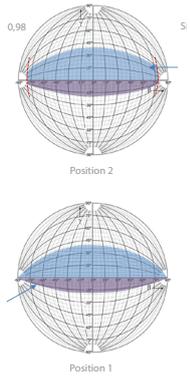
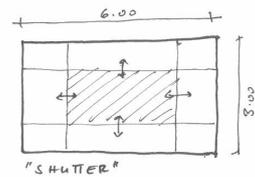


Abb. 3.2.7 Prinzip der View Factor Methode (Quelle. Transsolar)

3) VERTICAL VIEW ANGLE APPROACH



IS IT POSSIBLE TO ADAPT THIS DYNAMICALLY IN THE MODEL?

OR
3-4 TYPICAL SITUATIONS TO BE COMPARED

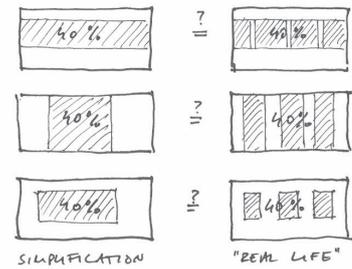


Abb. 3.2.8 Vereinfachte Berücksichtigung der Öffnungsanteile

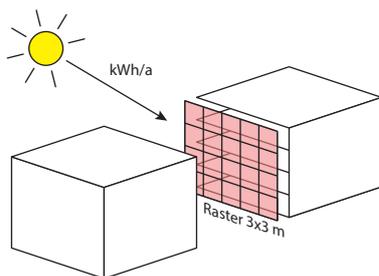


Abb. 3.2.9 Rastermaß Simulation Gebäudehülle (eig. Darst.)

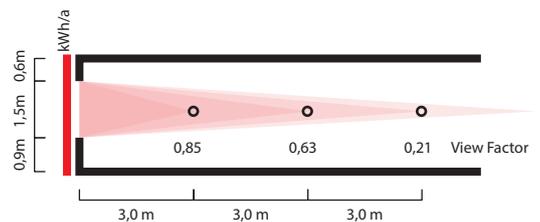


Abb. 3.2.10 Rastermaß Simulation Gebäudehülle (eig. Darst.)

3.3 Die unterschiedlichen Modelltypen

J. Pakula

3.3.1 Prinzipien der Lösungsfindung

Bei der Suche nach den besten Lösungen ve folgen wir zwei prinzipiell unterschiedliche Ansätze:

1. Erschöpfende Suche:

Wir untersuchen jede mögliche Variante eines parametrischen Modells und zeichnen diese auf, sodass sie nach verschiedenen Kriterien und unter Anwendung frei wählbarer Filter und Prioritäten katalogisiert werden können.

- Freie Bestimmung von Zielen, dadurch größere Relevanz für mehr Nutzer
- Modell kann sehr konzeptionell oder präzise auf Anwendungsfall zugeschnitten sein.
- Simulation wird im Vorfeld ‚am Stück‘ durchgeführt - schneller Zugriff auf Daten.

- Eingeschränkte Anzahl der Variablen (aufgrund Rechenleistung)
- Im Ergebnis eingeschränkte Zahl der Lösungen.
- Varianz der Lösungen beschränkt durch Design des parametrischen Modells.

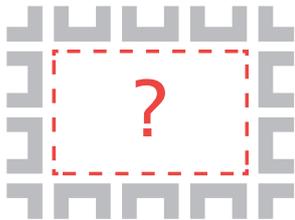
2. Optimierung:

Durch Anwendung einer Optimierungsmethode erzeugen wir ein Testszenario, das die beste bzw. eine Reihe von guten Lösungen für eine vorgegebene Sammlung von Kriterien generiert.

- Große Zahl an Parametern möglich, da nicht alle Varianten getestet werden müssen.
- Möglichkeit zur Entstehung neuer Formen, die vom Entwerfer nicht antizipiert wurden.
- Große Typologische Freiheit.

- Lösung nur auf zuvor definierte Kriterien anwendbar.
- Simulation muss für jedes Kriterien-Set, also für jeden Kontext neu durchgeführt werden.
- Nützlichkeit der Lösungen unter anderen (z.B. architektonischen) Kriterien ungewiss.

3.3.2 Planungsszenarios und geeignete Modelle



STADTPLANUNG



SZENARIO 1: QUARTIER

Im Großmaßstab basiert die städtebauliche Planung auf der Definition von Hüllflächen und Baugrenzen. Dabei werden oft wiederkehrende Muster verwendet. Geometrische Festlegungen beschränken sich auf eine typologische Ebene. Die Abhängigkeiten innerhalb des Quartiers spielen dabei eine größere Rolle, als die Abhängigkeiten zwischen den Quartiergrenzen und der angrenzenden Umgebung.

Die geometrischen Festlegungen dürfen nicht zu eng formuliert sein und sollen Spielraum für individuelle architektonische Lösungen lassen. Typologisch einfache Grundformen erlauben, anhand von Erfahrungswerten schnell die Möglichkeiten der Grundrissgestaltung zu antizipieren und sind daher in frühen Planungsphasen vorteilhaft.

PLANUNGSFRAGEN

- Wie schneiden bewährte städtebauliche Figuren (Solitär, Zeile, Blockrand...) bei gleicher Baumasse / Dichte im Vergleich bei der Tageslichteffizienz ab?
- Wie stark und inwiefern beeinflussen sich die unterschiedlichen Baukörper gegenseitig? (Eigenverschattung / Fremdverschattung)
- Wie können die Maße bewährter Gebäudetypen bei einer vorgegebenen Zieldichte mit Blick auf die Tageslichteffizienz optimiert werden
- Wie weit kann ein Quartier verdichtet werden, ohne bei der Tageslichtqualität unzumutbare Abstriche zu machen?
- Welchen Einfluss haben Parameter wie Gebäudehöhe, Gebäudetiefe, Abstände, Orientierung auf die Tageslichtausbeute im Innenraum?

SZENARIO 2: GEBÄUDE

Im architektonischen Maßstab ist der Planer an den Beziehungen einzelner Elemente zueinander interessiert. (Gebäude, Bauteile, gegenüberliegende Fassaden).

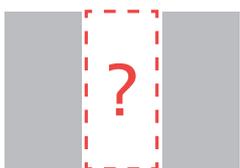
Sinnvolle Parameter sind Höhe, Abstand, Orientierung, Neigung (Dach)

Die typologische Betrachtung ist hier schon abgeschlossen. Es ist ein Modell erforderlich, das unabhängig von der städtebaulichen Großfigur Aussagen zum Tageslicht ermöglicht.

PLANUNGSFRAGEN

- Wie können durch die Anpassung eines Gebäudeteils die Tageslichtbedingungen für einen anderen Gebäudeteil verbessert werden?
- Welche Rolle spielen dabei Parameter wie Höhe, Tiefe, Abstand, Orientierung?
- Kann die negative Auswirkung eines Parameters durch die Verbesserung eines anderen aufgewogen werden?
- Wo liegen die Grenzen des Verbesserungspotentials? z.B. ab welchem Gebäudeabstand wird die Belichtung nicht mehr besser? oder ab welcher Gebäudetiefe ist eine sinnvolle Belichtung grundsätzlich unmöglich?

ARCHITEKTUR



MODELLTYP 1: REPETITIVE ANORDNUNG

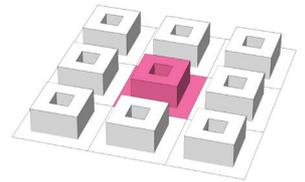
Der untersuchte Baukörper wird umlaufend von ‚Klonen‘, also von gleichen Baukörpern umgeben.

Die Geometrien folgen bewährten typologischen Mustern, die eine sinnvolle Grundrissanordnung erwarten lassen.

Die Grenzwerte der untersuchten Parameter richten sich nach Werten aus der Baupraxis, unter Berücksichtigung baurechtlicher Rahmenbedingungen.

- **Vergleich der Tageslichteffizienz bekannter und gebräuchlicher Gebäudetypen**
- **Ablesbarkeit der Zusammenhänge und Einflüsse zwischen einzelnen Parametern (Höhe Breite, Tiefe...)**
- **Intuitives Verständnis der Leistungsfähigkeit typischer städtebaulicher Anordnungen.**

- Praxisnahe Ergebnisse, die untersuchten Geometrien ermöglichen sinnvolle Grundrisse.
- Geometrien und deren Abhängigkeiten werden mit einer überschaubaren Anzahl von Parametern beschrieben.
- Die Veränderung der Tageslichtperformance in Abhängigkeit von der Geometrie kann in Zahlen und grafisch ablesbar gemacht werden.



- Geringe typologische Varianz - Beschränkung auf bekannte Gebäudetypen
- Daten bilden nur die Beziehungen jeweils gleicher Baukörper zueinander ab.

MODELLTYP 2: STRASSENSCHLUCHT

Das Modell bildet eine ‚Straßenschlucht‘, also einen Straßenquerschnitt mit den angrenzenden Gebäudefassaden.

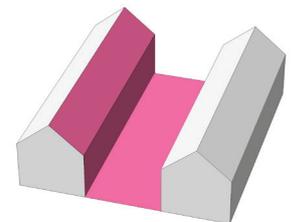
Betrachtet wird die in der Straßenschlucht verfügbare Lichtmenge, und in einem weiteren Schritt deren Potential im Innenraum, in mehreren Tiefen-Abstufungen.

Die Betrachtung erfolgt in einer zweidimensionalen Ebene (Schnitt), dadurch sind die Ergebnisse auf beliebige Gebäudetypen anwendbar. Auch unterschiedliche Gebäudehöhen innerhalb einer Betrachtung sind möglich.

Dichte kommt nur in der Beziehung der zwei Fassaden zueinander (Abstand) zum Ausdruck. Geschossflächen spielen keine Rolle.

- **Direkter Zusammenhang zwischen einzelnen Parametern**
- **Auswertung lokaler Wechselwirkungen unabhängig von der Typologie**

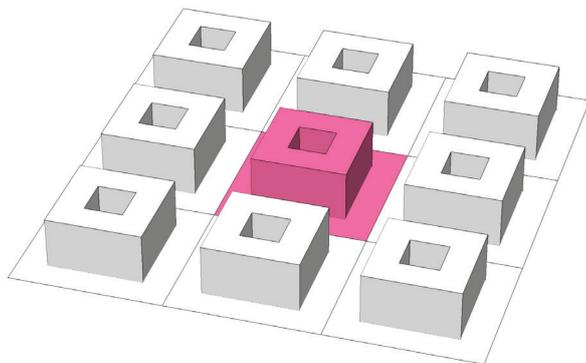
- Kein typologischen Beschränkungen
- Zusätzliche Information zum Verschattungspotential von Pflanzen zwischen den Gebäuden.
- Daten auf eine sehr große Zahl möglicher Fälle anwendbar.
- Berücksichtigung von Beziehungen zwischen unterschiedlich ausgeformten Gebäuden



- Keine Aussage zur Typologie
- Interpretation der Ergebnisse für den Nutzer aufwändiger
- Keine großmaßstäblichen, quartiersübergreifenden Aussagen möglich.

Abbildungen:
eigene Darstellung

3.4 Modell Typ 1: Repetitive Anordnung



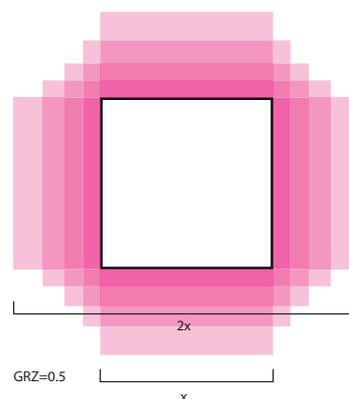
Das Modell deckt eine Vielzahl an möglichen Ausformulierungen innerhalb gängiger Gebäudetypen ab. Die Geometrie des Baukörpers ist anhand weniger Parameter beschrieben, die leicht miteinander in Zusammenhang zu setzen sind.

Die umliegenden Felder werden mit jeweils identischen Baukörpern besetzt. Dadurch wird nicht nur die Performance des gegebenen Typs in sich, sondern auch dessen Auswirkung auf die Nachbarschaft bei der Beurteilung der Lichtverhältnisse berücksichtigt.

Der Baukörper entsteht durch die Eingabe grundlegender Parameter wie Gebäudehöhe, -tiefe, Orientierung.

Die Größe des Grundstücks ist durch eine festgelegte Dichte definiert. Dabei werden in mehreren Schritten alle möglichen Seitenverhältnisse durchgetestet - Von dem Fall, dass das Gebäude das Grundstück in x-Richtung ausfüllt, bis hin zu dem Fall, dass das Gebäude das Grundstück in y-Richtung ausfüllt.

Die Höchst- und Mindestwerte der Parameter richten sich nach Erfahrungswerten für den Wohnungsbau, wie zuvor beschrieben.



Geometrie-Erzeugung des Baufelds

Das erste Modell ist auf die Blockrand-Situation beschränkt. Dies reduziert die Zahl der möglichen Varianten auf ein bewältigbares Maß und ermöglicht die Geometrie-Erzeugung anhand einfacher Grundparameter.

Die daraus abgeleiteten Erkenntnisse in Bezug auf die Abhängigkeiten zwischen einzelnen Parametern können so auch auf andere Gebäudetypen übertragen werden.

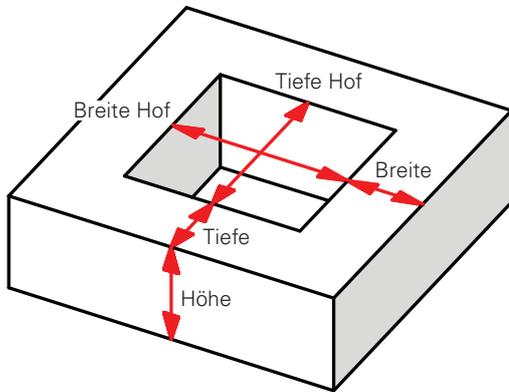
Die Zweite Versuchsreihe ermöglicht eine Katalogisierung fast aller gängiger Gebäudetypen.

Die Geometrieerzeugung ist hier aber schon komplexer, sodass hier nicht die vergleichende Beurteilung einzelner Parameter sondern eine Gegenüberstellung der verschiedenen Typen im Vordergrund steht.

Model 1: Blockrand

Parameter	Einheit	von	bis	Intervall	Schritte
Höhe	m	9	24	3	6
Tiefe	m	9	18	3	4
Breite	m	9	18	3	4
Tiefe Hof	m	9	30	6	4
Breite Hof	m	9	30	6	4
Orientierung	°	0	45	22,5	3
Dichte	GFZ	0,6	3,0	0,6	5
S.Verhältnis		min	max		6

138.240 mögliche Kombinationen



Parameter Gebäudegeometrie - Modell 1

Das zweite Modell ermöglicht in einem gewissen Rahmen eine höhere typologische Varianz.

Die Kontrolle des Baufeldmaßes erfolgt wie zuvor beschrieben. Der Baukörper wird als Abwicklung entlang eines Rechtecks erzeugt. Das Rechteck ist durch seine zweidimensionale Ausdehnung auf x-Achse und y-Achse beschrieben.

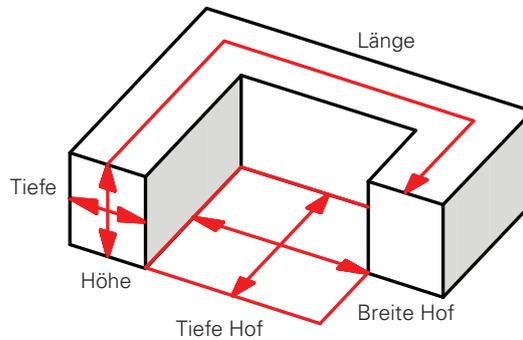
Das Volumen entsteht durch die Länge der Abwicklung entlang des Rechtecks und ein rechteckiges Profil, das durch (Gebäude-) Breite und Höhe definiert ist. Zusätzlich ist der Startpunkt der Abwicklung auf dem Rechteck steuerbar.

So können innerhalb eines Modells mit nur wenigen Parametern die meisten im Wohnungsbau gängigen Gebäudetypen abgedeckt werden.

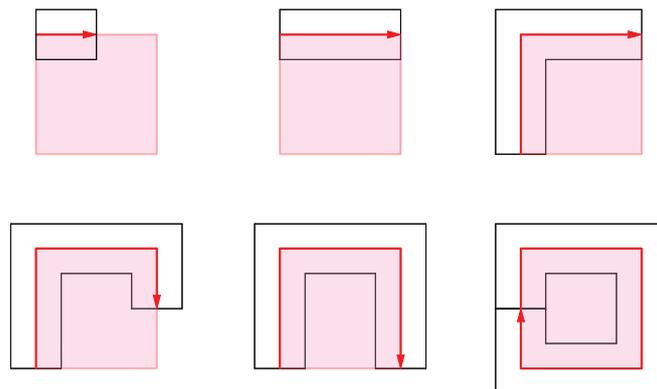
Je nach Aggregatzustand des parametrischen Modells entstehen Punkte, Zeilen, L-Formen, offene U-förmige Blöcke, Kammstrukturen, oder klassische geschlossene Blockrandstrukturen.

Die Beschreibung unmittelbarer Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern ist hier nicht ohne weiteres möglich, da z.B. die Volumina nicht mehr beidseitig gleichwertige Nachbarschaften und Abstände aufweisen.

Die Praxisrelevanz des so entstehenden Lösungskatalogs wird hingegen durch die Vielzahl der typologisch unterschiedlichen Strukturen erheblich erhöht.



Parameter Gebäudegeometrie - Modell 2



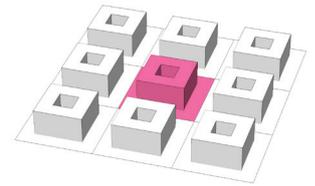
Parameter Gebäudegeometrie - Modell 2

Modell 2: Strang-prinzip

Parameter	Einheit	von	bis	Intervall	Schritte
Höhe	m	9	24	3	6
Tiefe	m	9	18	3	4
Typ	m	1	5	1	5
Tiefe Hof	x(h)	0,5h	3h		4
Breite Hof	x(h)	0,5h	3h		4
Orientierung	°	0	270	90	4
Dichte	GFZ	1,2	3,0	0,6	4
S.Verhältnis		min	max		6

184.320 mögliche Kombinationen

Abbildungen:
eigene Darstellung



3.4.1 Auswertung der Simulationsergebnisse

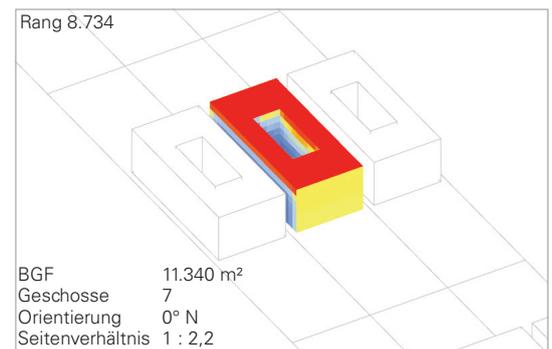
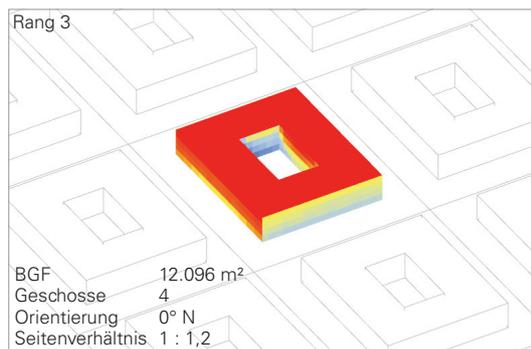
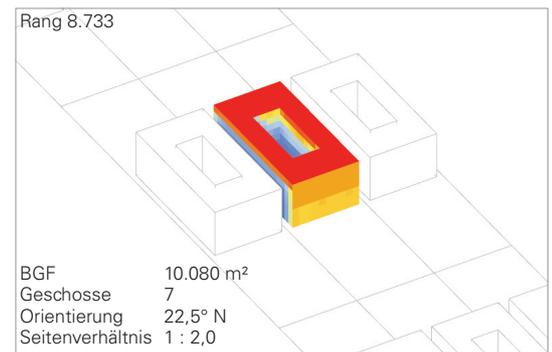
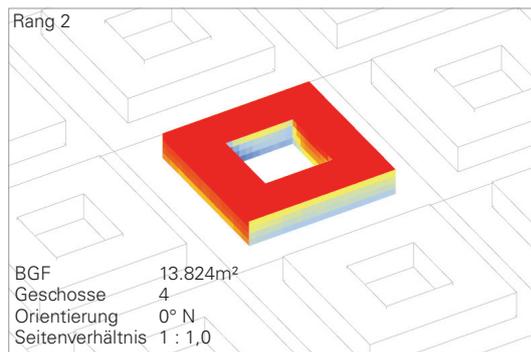
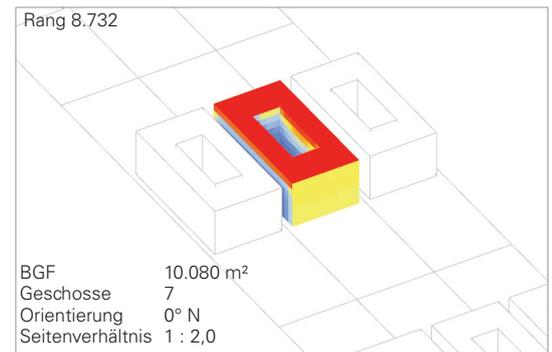
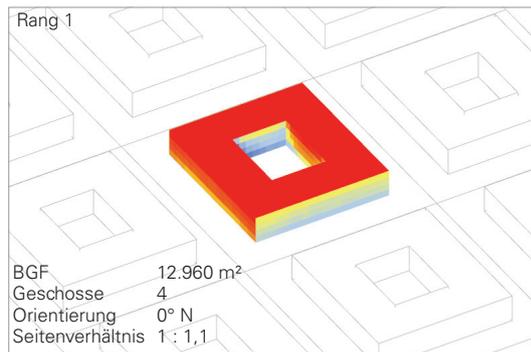
Parameter	Einheit	von	bis	Intervall	Schritte
Höhe	m	12	21	3	4
Tiefe	m	9	18	3	4
Breite	m	9	18	3	4
Tiefe Hof	m	12	30	6	4
Breite Hof	m	12	30	6	4
Orientierung	°	0	45	22,5	3
Dichte	GFZ	1,8	1,8		1
S.Verhältnis		min	max		4

Die einzelnen Bestandteile des Versuchsaufbaus sind hergestellt und erprobt. Die Verbindung der Komponenten in ein durchlaufendes System zur Erstellung einer gemeinsamen Datenbank wurde zunächst anhand eines vereinfachten Systems erprobt und untersucht.

Die erste dokumentierte Versuchsreihe basiert auf einem Blockrand-Modell mit einer konstanten GFZ von 1.8 und den in der Tabelle links beschriebenen Parametern.

Die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse geben in erster Linie die Methodik der Untersuchung sowie Art und Umfang der gewonnenen Daten wieder. Für konkrete Rückschlüsse muss zunächst noch den „Sichtfaktor Verfahren“ in den Simulationsprozess eingebunden werden.

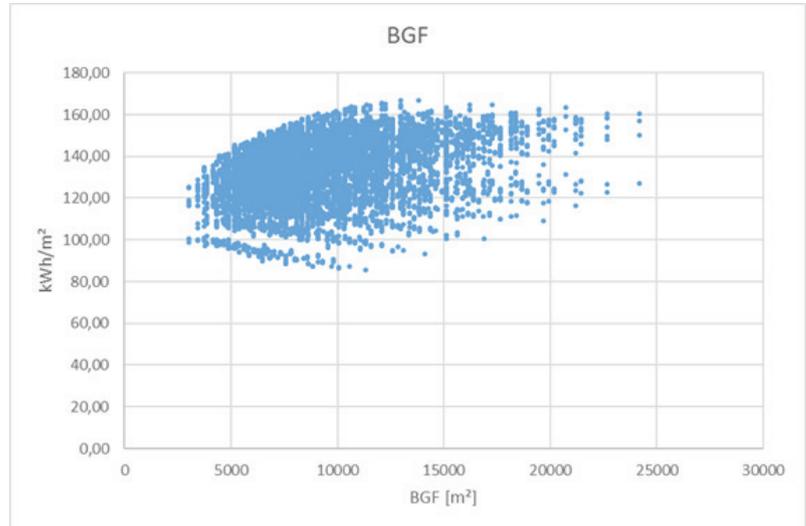
8.734 untersuchte Iterationen



Es gilt zu bedenken, dass die vorliegende Versuchsreihe lediglich die Sonneneinstrahlung auf die Fassade berücksichtigt. Aussagen zur Lichtmenge im Innenraum bleiben noch unbeachtet.

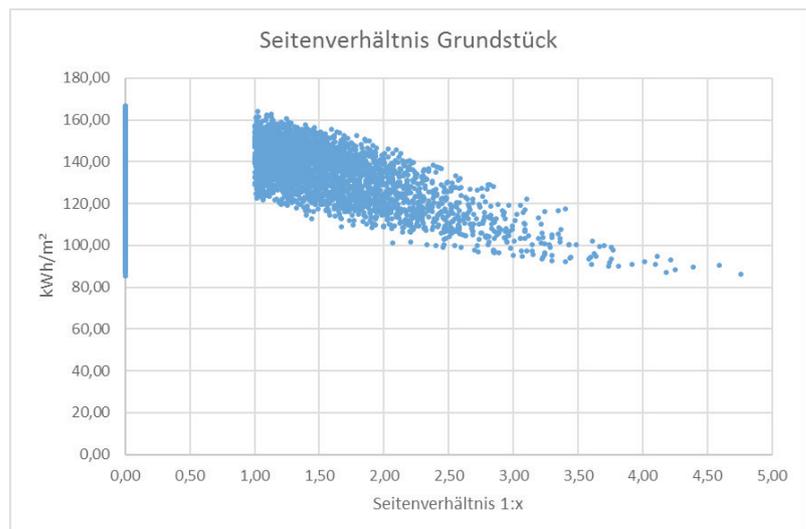
Stellt man die Bruttogeschossfläche der Varianten der Strahlungsleistung je m² gegenüber, so ist eine Tendenz zu höheren Einstrahlungswerten bei höherer BGF erkennbar. Das Maximum liegt aber in der Mitte des Spektrums bei ca. 12.000 m²

Deutlich zu sehen sind die linienartigen Gruppierungen der Ergebnisse. Diese deuten auf die ausschlaggebende Relevanz eines anderen Parameters hin.



Bei der Betrachtung des Seitenverhältnisses des Grundstücks (1:x) zeichnet sich ein sehr deutlicher Trend ab. Die Varianz der Ergebnisse bleibt relativ hoch, da noch viele andere Parameter das Ergebnis beeinflussen. Jedoch bewegen sich alle Ergebnisse des oberen Viertels in einem Seitenverhältnis von nicht mehr als 1:2.

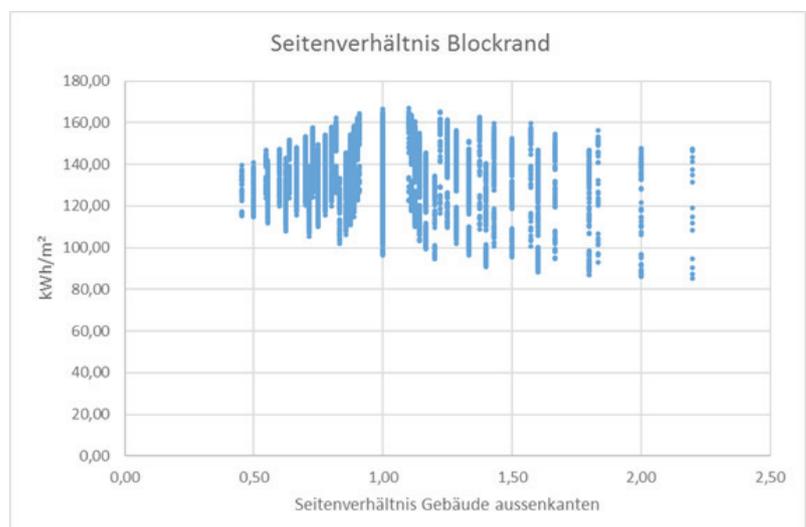
Ab einem Seitenverhältnis von 1:3 liegen die besten erreichbaren Ergebnisse unter den schlechtesten Ergebnissen der Varianten mit einem Verhältnis von 1:1 bis 1:25.



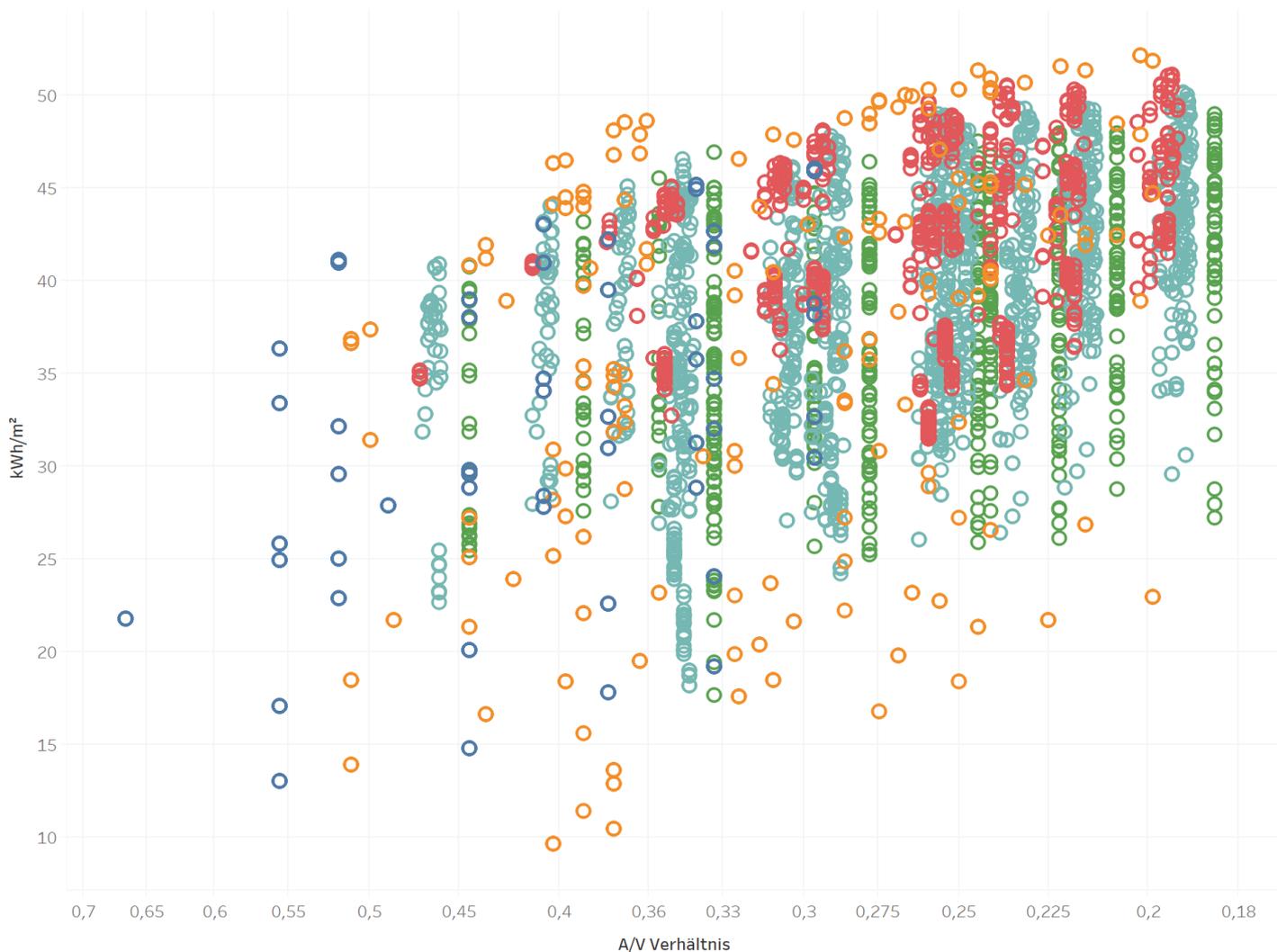
Auch die Untersuchung der Block-Außenkanten zeigt deutlich, dass die besten Ergebnisse um ein Seitenverhältnis von 1:1 herum erreichbar ist. Der beste Wert unserer Versuchsreihe lag bei einem Seitenverhältnis von 1:1,1

Es zeichnen sich bereits bei der ersten Versuchsreihe deutliche Trends ab, die allgemeine Rückschlüsse auf Regeln zur Optimierung der Geometrie bzw. des städtischen Layouts zulassen. Die gespeicherten Parameter und Werte erlauben eine Vielzahl weiterer Gegenüberstellungen.

Zur Verbesserung der Aussagekraft wird das Simulationsmodell im nächsten Schritt um weitere typologische Varianten erweitert.



Abbildungen:
eigene Darstellung



- Typologie**
- Solitär
 - Zeile
 - L-Form
 - U-Form
 - Blockrand

Abb. 3.4-1: Übersicht der Simulationsergebnisse

Die Ergebnisse der zuvor beschriebenen Simulationsreihe wurden in eine Datenbank eingespeist, welche alle geometrischen Parameter sowie die Ergebnisse der Solareinstrahlung, nach Himmelsrichtungen getrennt, enthält.

Nach Ausfilterung sich überschneidender oder überlappender Geometrien verbleiben ca. 90.000 untersuchte Varianten in der Datenbank. Auf Grundlage dieser umfangreichen Erhebungsgröße kann eine Reihe belastbarer Auswertungen erzeugt werden. Die wesentlichen Zusammenhänge zwischen Gebäudetypen, geometrischen Parametern und der erzielbaren Sonneneinstrahlung sind auf den folgenden Seiten zusammengefasst.

Da das größte Potential für Solaregewinne im Frühling und Herbst liegt, wird März als repräsentativer Zeitraum ausgewählt. (Siehe Kapitel: 1.3.10 Sonnestunden und Solareinstrahlung)

Die Abbildung 3.4-1 zeigt das gesamte Variantenspektrum bewertet nach durchschnittlicher Sonneneinstrahlung (kWh/m^2) und A/V-Verhältnis. Der höchste erreichbare durchschnittliche monatliche Sonneneinstrahlung beträgt etwas über 50kWh/m^2 .

Je höher der Energieeintrag auf der Fassade, und je niedriger das A/V-Verhältnis, desto besser ist die Variante energetisch und im Bezug auf das Tageslicht zu bewerten.

Durchschnittliche Sonneneinstrahlung nach Typologie

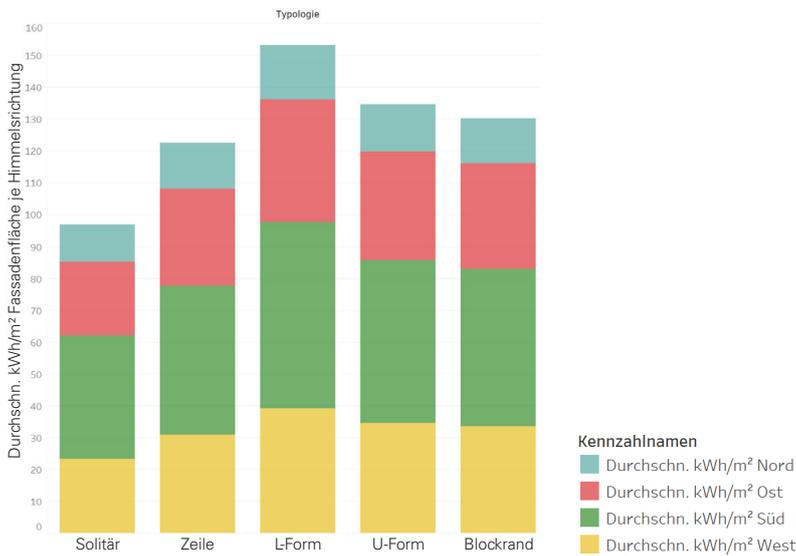


Abb. 3.4-2

Bei einer reinen Betrachtung der Hüllfläche ergänzen sich diese Werte, da ein besseres AV-Verhältnis bei gleicher Dichte größere Gebäudeabstände ermöglicht. Die Abbildung 3.4-2 stellt die Verteilung der mittleren Sonneneinstrahlung auf die vier Himmelsrichtungen, unterschieden nach untersuchter Gebäudeform dar. Im Mittel ist ein deutlicher Vorteil der offenen (L-Form oder U-Form) oder geschlossenen Blockrandstrukturen gegenüber Solitären und Zeilenbebauungen zu erkennen.

In dieser Darstellung ist der Vergleich der unterschiedlichen baulichen Dichten noch nicht berücksichtigt.

Die Abbildung 3.4-3 zeigt die Verteilung der Simulationsergebnisse nach baulicher Dichte. Erwartungsgemäß zeigt sich, dass die Sonneneinstrahlungswerte mit zunehmender Dichte abnehmen. Auffällig ist der signifikante Abfall des durchschnittlichen Energieeintrags pro m² ab einer Dichte von 2,4.

Es stellt sich die Frage, ob die Typologie sich in Abhängigkeit von der Dichte unterschiedlich auf das Simulationsergebnis auswirkt.

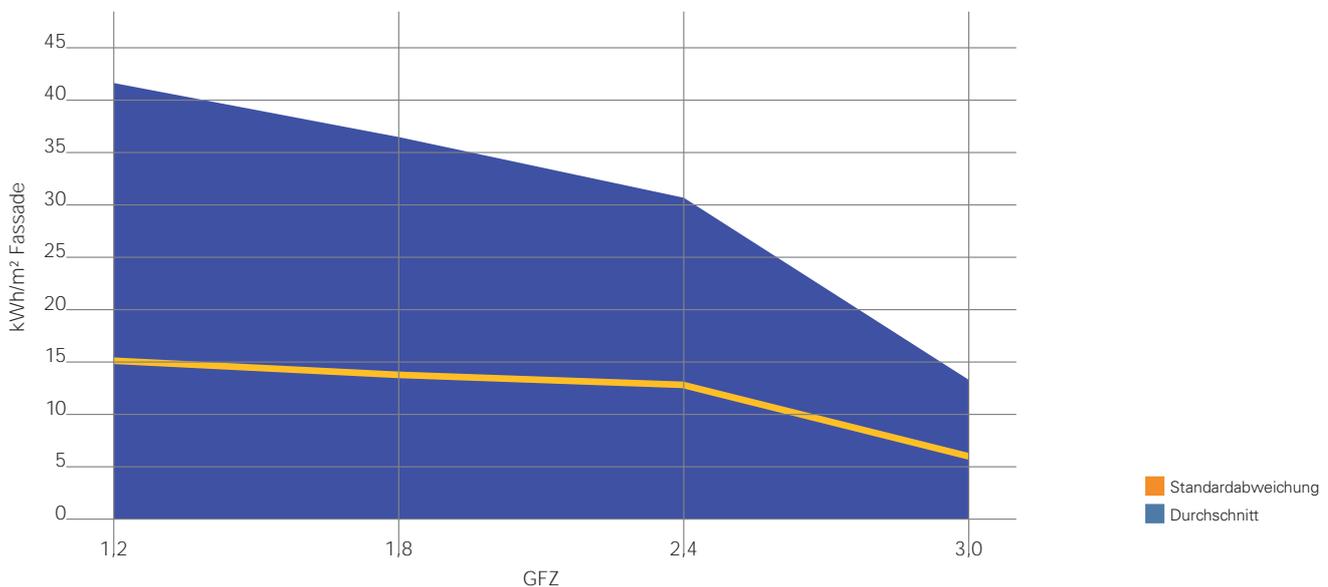
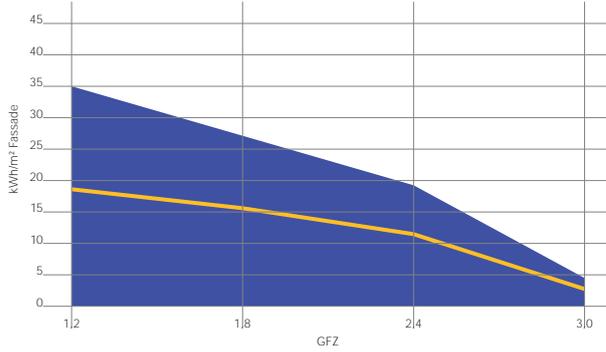


Abb. 3.4-3 Durchschnittliche Sonneneinstrahlung nach Dichte

Abb. 3.4-4 Durchschnittliche Sonneneinstrahlung nach Dichte (**Solitär**)



Durchschnittliche Sonneneinstrahlung nach Dichte (**Solitär**) - beste 10%

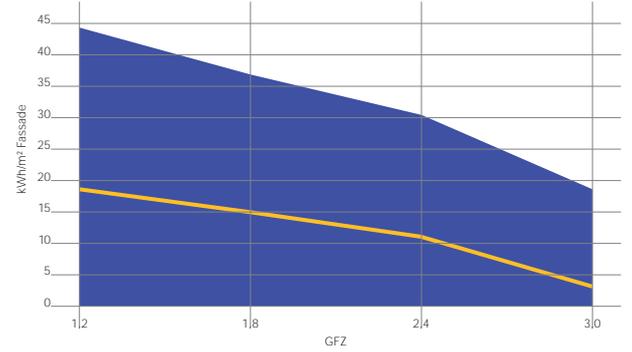
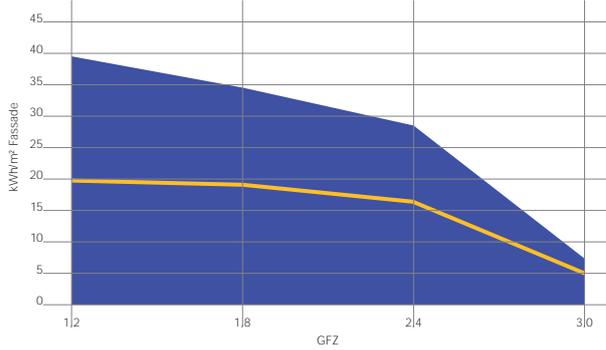


Abb. 3.4-5 Durchschnittliche Sonneneinstrahlung nach Dichte (**Zeile**)



Durchschnittliche Sonneneinstrahlung nach Dichte (**Zeile**) - beste 10%

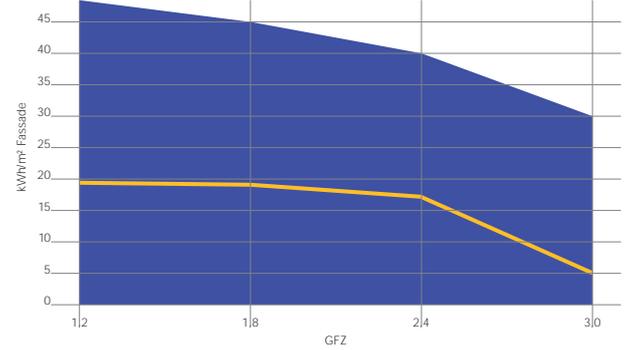
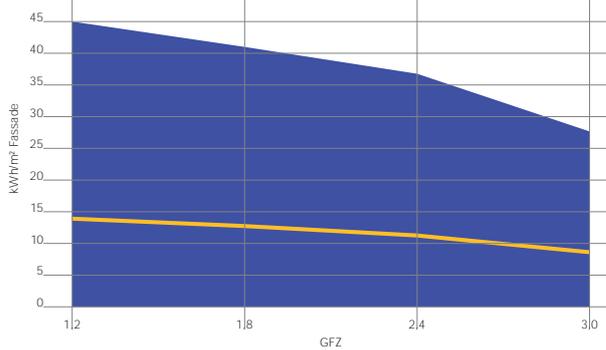


Abb. 3.4-6 Durchschnittliche Sonneneinstrahlung nach Dichte (**L-Form**)



Durchschnittliche Sonneneinstrahlung nach Dichte (**L-Form**) - beste 10%

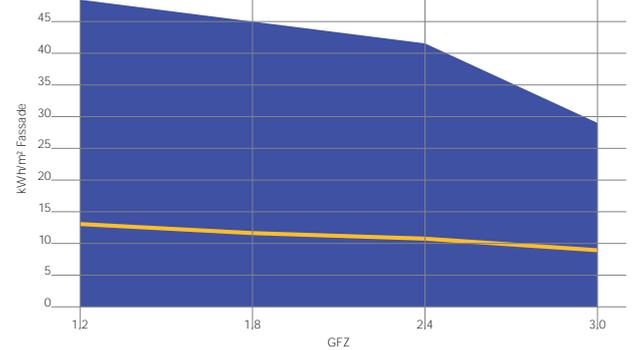
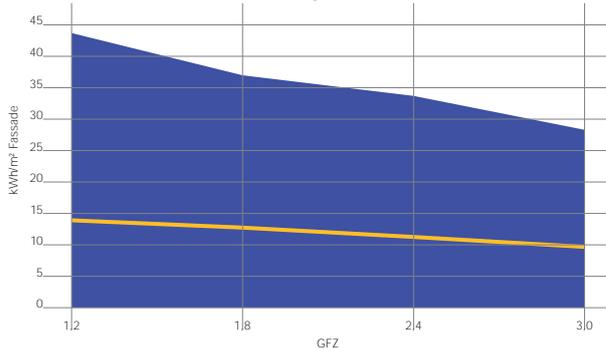


Abb. 3.4-7 Durchschnittliche Sonneneinstrahlung nach Dichte (**U-Form**)



Durchschnittliche Sonneneinstrahlung nach Dichte (**U-Form**) - beste 10%

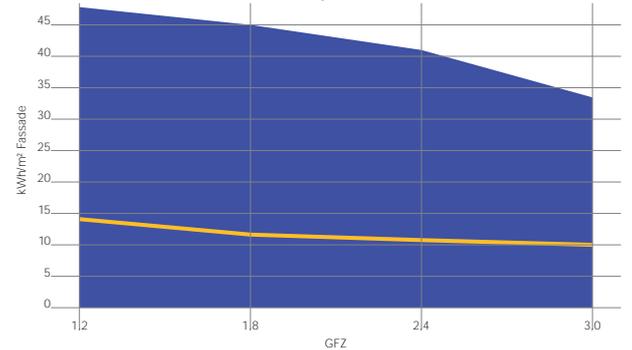
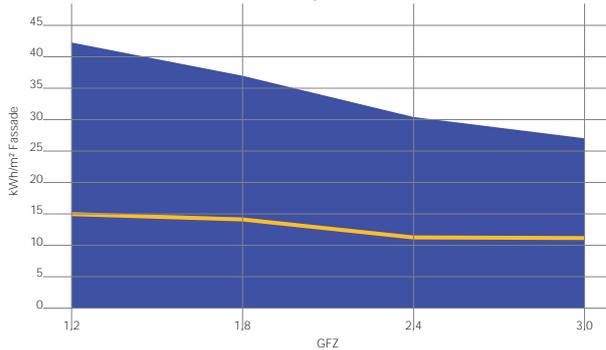
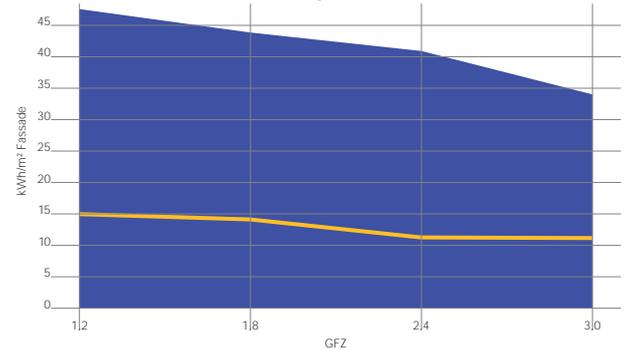


Abb. 3.4-8 Durchschnittliche Sonneneinstrahlung nach Dichte (**Blockrand**)



Durchschnittliche Sonneneinstrahlung nach Dichte (**Blockrand**) - beste 10%



Standardabweichung
Durchschnitt

mittlere Sonneneinstrahlung (kWh/m²) nach Typologie bei GFZ >2,4

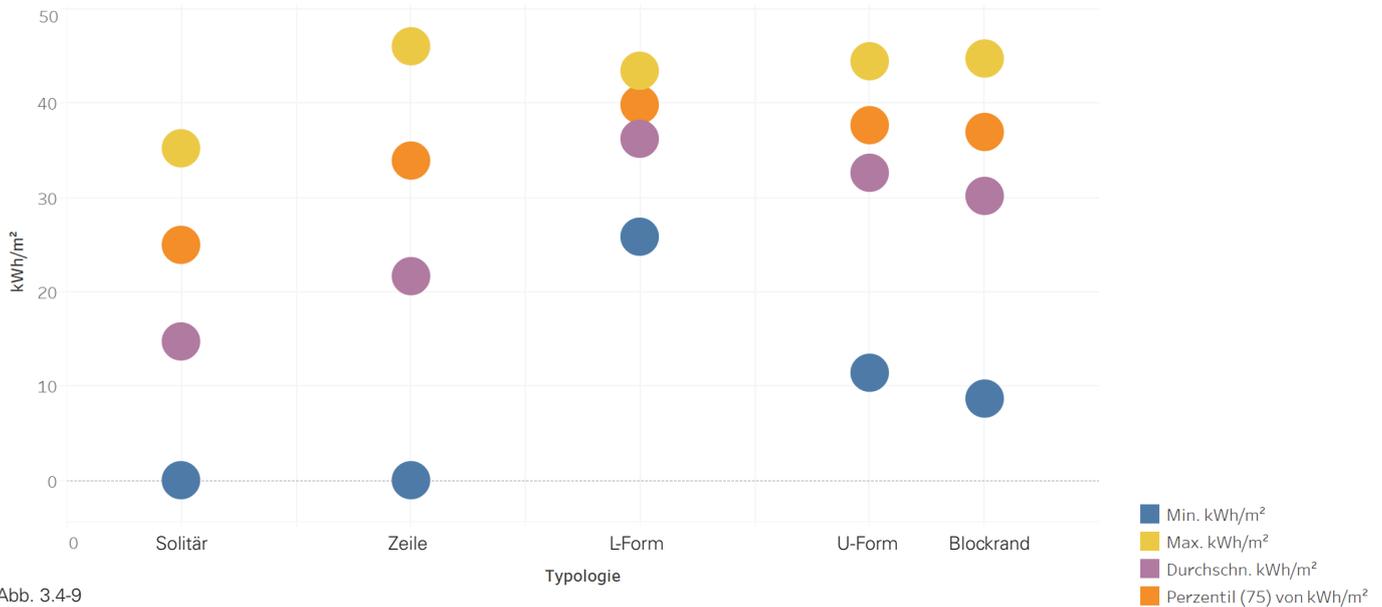


Abb. 3.4-9

Die Aufschlüsselung der Durchschnittswerte je Dichtestufe nach Gebäudetypen verdeutlicht die Unterschiede in der Leistungsfähigkeit bei hohen Dichten.

Während die Solarerträge bei Solitären und Zeilen mit steigender Dichte rapide abnimmt, verläuft die Kurve bei L-Formen, U-Formen und geschlossenen Blockrandtypen deutlich flacher. Besonders bei den Solitärkörpern ist der absolute Mittelwert bereits bei geringen Dichten deutlich geringer, als bei den übrigen Gebäudetypen.

Auffällig ist, dass der Abfall des Sonnenlichtertrags bei L- und U-Typen nicht, wie im Gesamtdurchschnitt, ab der Dichte von 2,4 signifikant zunimmt.

Im Fall der geschlossenen Blockrandbebauung ist ein fast linearer Abfall mit zunehmender Dichte zu sehen. Man kann also annehmen, dass dieser Typ für hohe bauliche Dichten besonders geeignet ist.

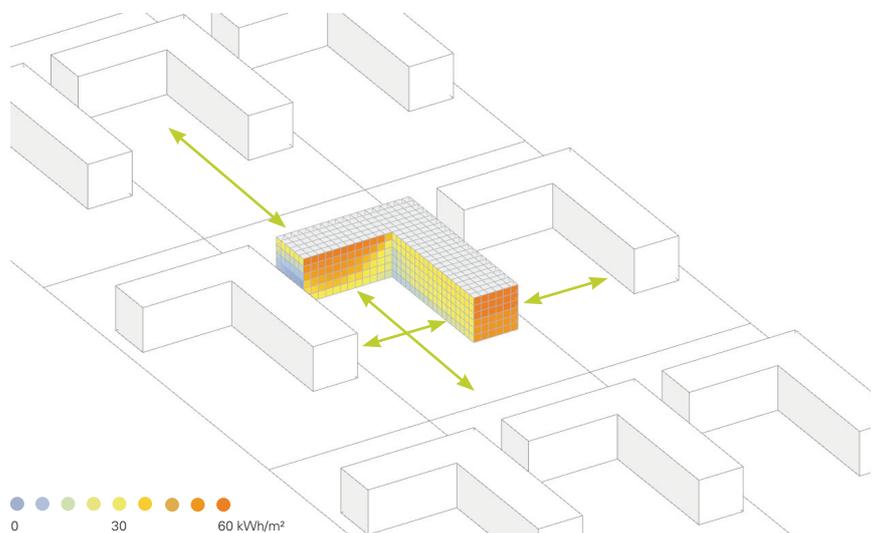
Bei Betrachtung nur der besten 10% der Ergebnisse je Gebäudetyp, wird der typologiespezifische Effekt spürbar reduziert. Das lässt darauf schließen, dass die Varianz in der Lichtausbeute bei den Hoftypen geringer ist als bei Punkt- und Zeilenbebauung. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Höfe auch bei geringen Baufeldabständen noch die gute Belichtung großer Fassadenanteile ermöglichen. Es bestärkt daher den Rückschluss, dass Hoftypen für hohe bauliche Dichten besser geeignet sind.

Abb. 3.4-9 verdeutlicht die Auswirkung des Gebäudetyps auf die Tageslichtausbeute bei hohen Dichten. Der Vorteil von Innenhöfen für die Belichtung ist hier deutlich ablesbar.

Bei Dichten ab GFZ 2,4 ist mit Punktkörpern eine durchschnittliche Einstrahlung von 40 kWh/m² nicht mehr zu erreichen, während diese noch 10% der L-Form-Geometrien leisten.

Die sehr geringe Varianz bei den Ergebnissen der L-förmigen Geometrien belegt die Bedeutung der Höfe: Die Ergebnisse werden durch geringe Abstände zwischen den Baufeldern nicht beeinträchtigt, da auch die straßenseitigen Fassaden von den Höfen der Nachbarn profitieren.

Abb. 3.4-10 Darstellung einer Anordnung von L-förmigen Baukörpern und Auswirkung auf Belichtungsflächen



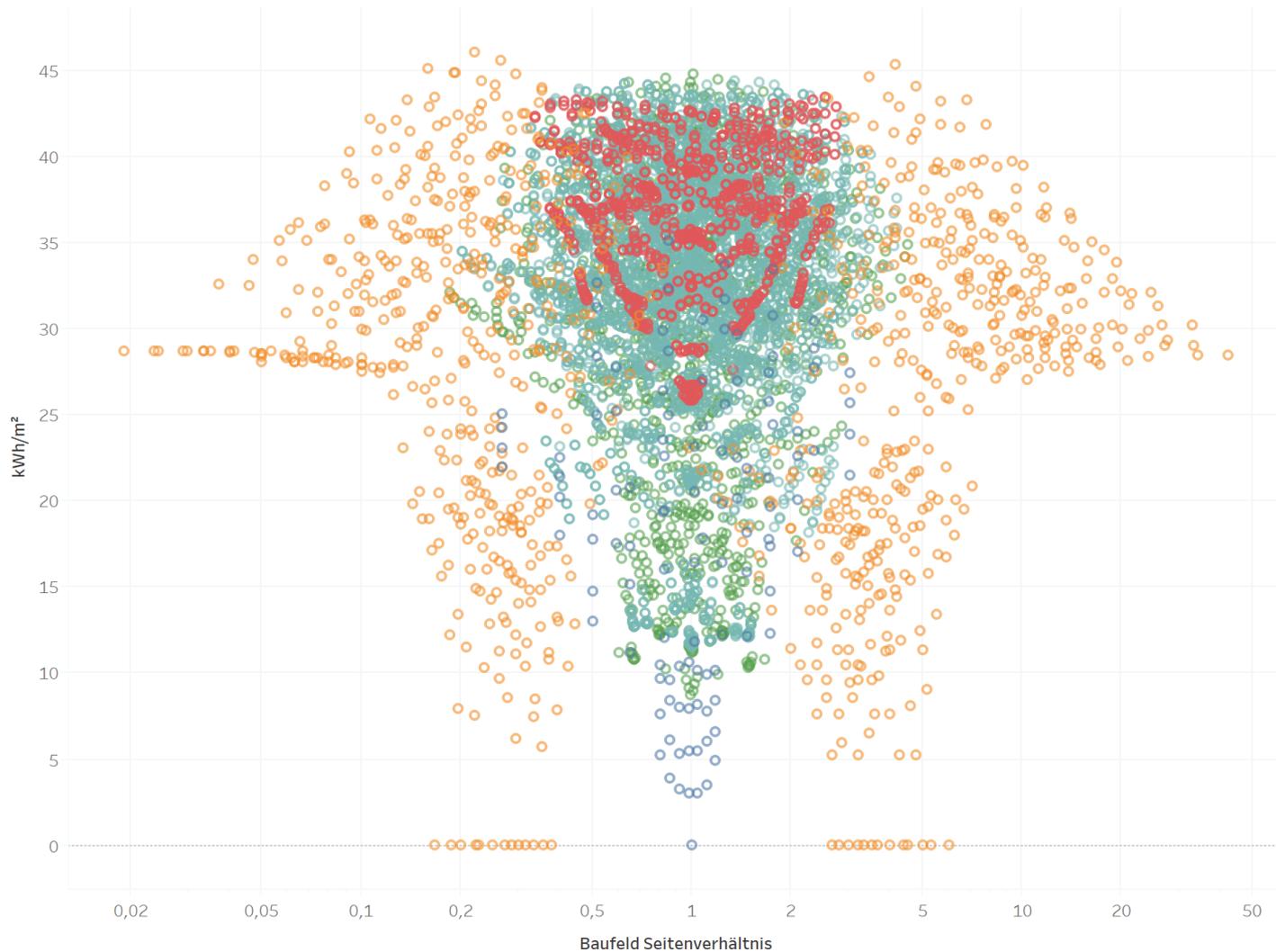


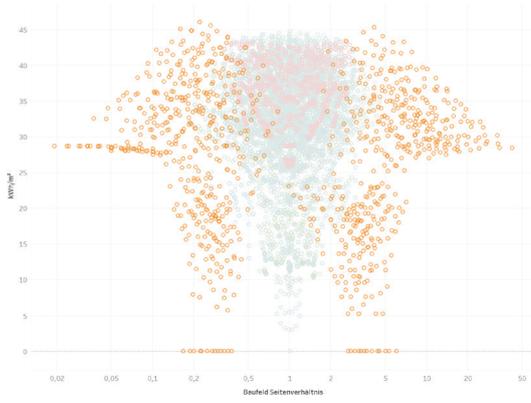
Abb. 3.4-10
Verteilung der mittleren Sonneneinstrahlung nach Typologie und Seitenverhältnis des Baufelds

Die Abbildung 3.4-10 zeigt die Verteilung der Sonnenlichteinstrahlung in Abhängigkeit von den Seitenverhältnissen des Baufelds.

Für schmale Baufelder weisen nur Zeilen gute Ergebnisse auf.

L-förmige Baukörper erreichen die höchsten Werte bei Seitenverhältnissen von ca. 1:2

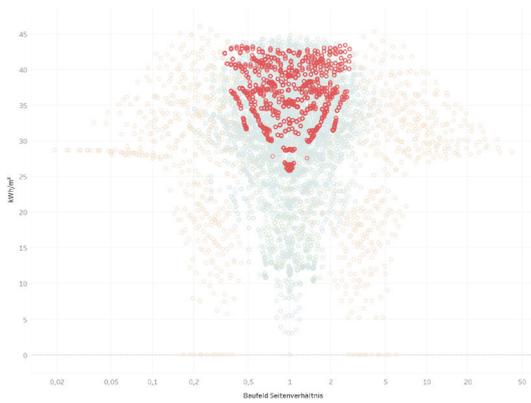
Alle übrigen Gebäudeformen haben erreichen ihre Höchstwerte bei annähernd quadratischen Baufeldproportionen, wobei auch bei Seitenverhältnissen von 1:5 noch ca. 50% der maximal erreichbaren Einstrahlung möglich sind.



Zeile



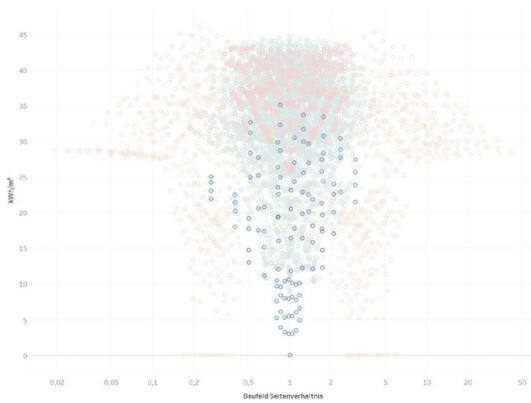
U-Form



L-Form

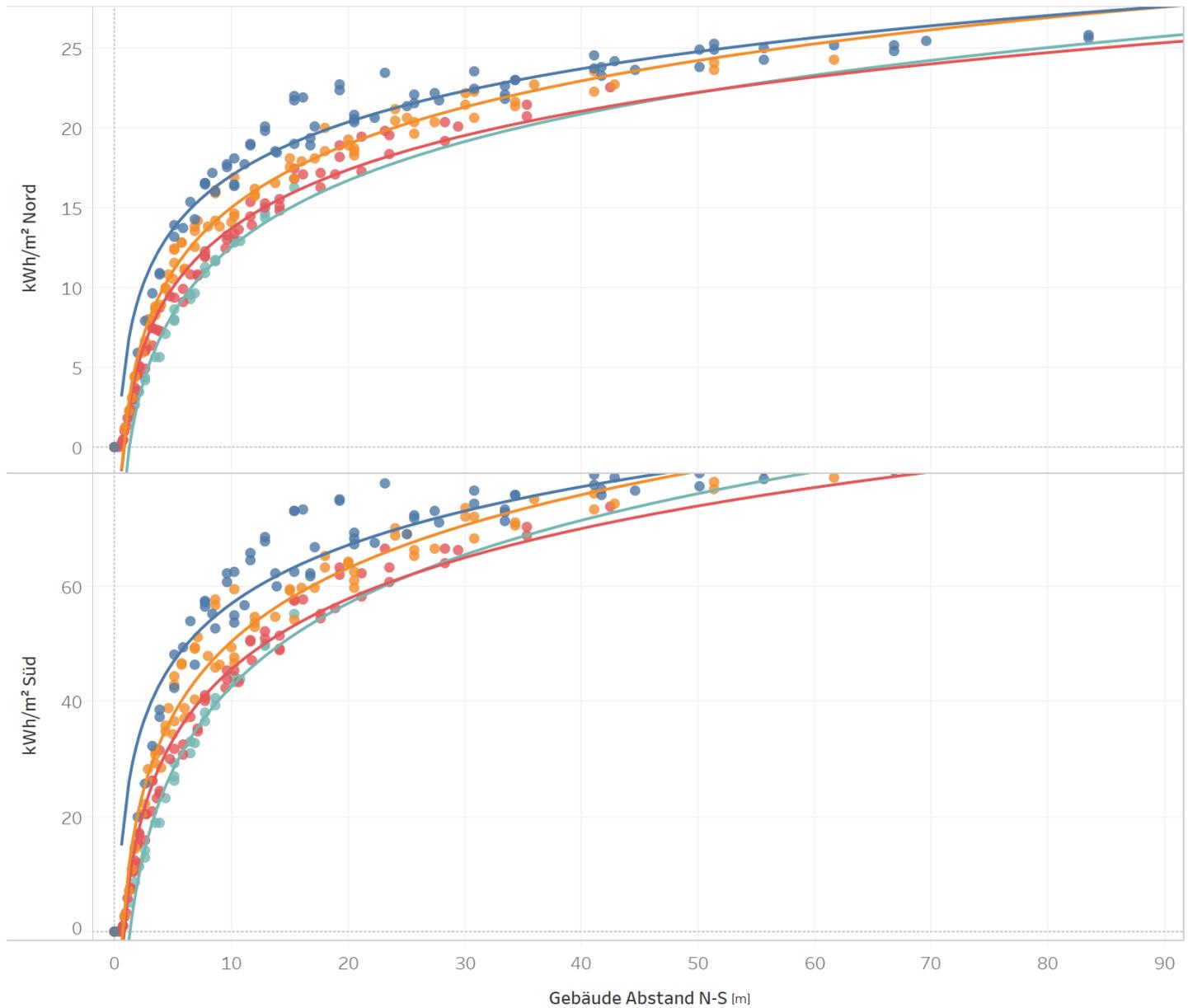


Blockrand



Solitär

- Solitär
- Zeile
- L-Form
- U-Form
- Blockrand



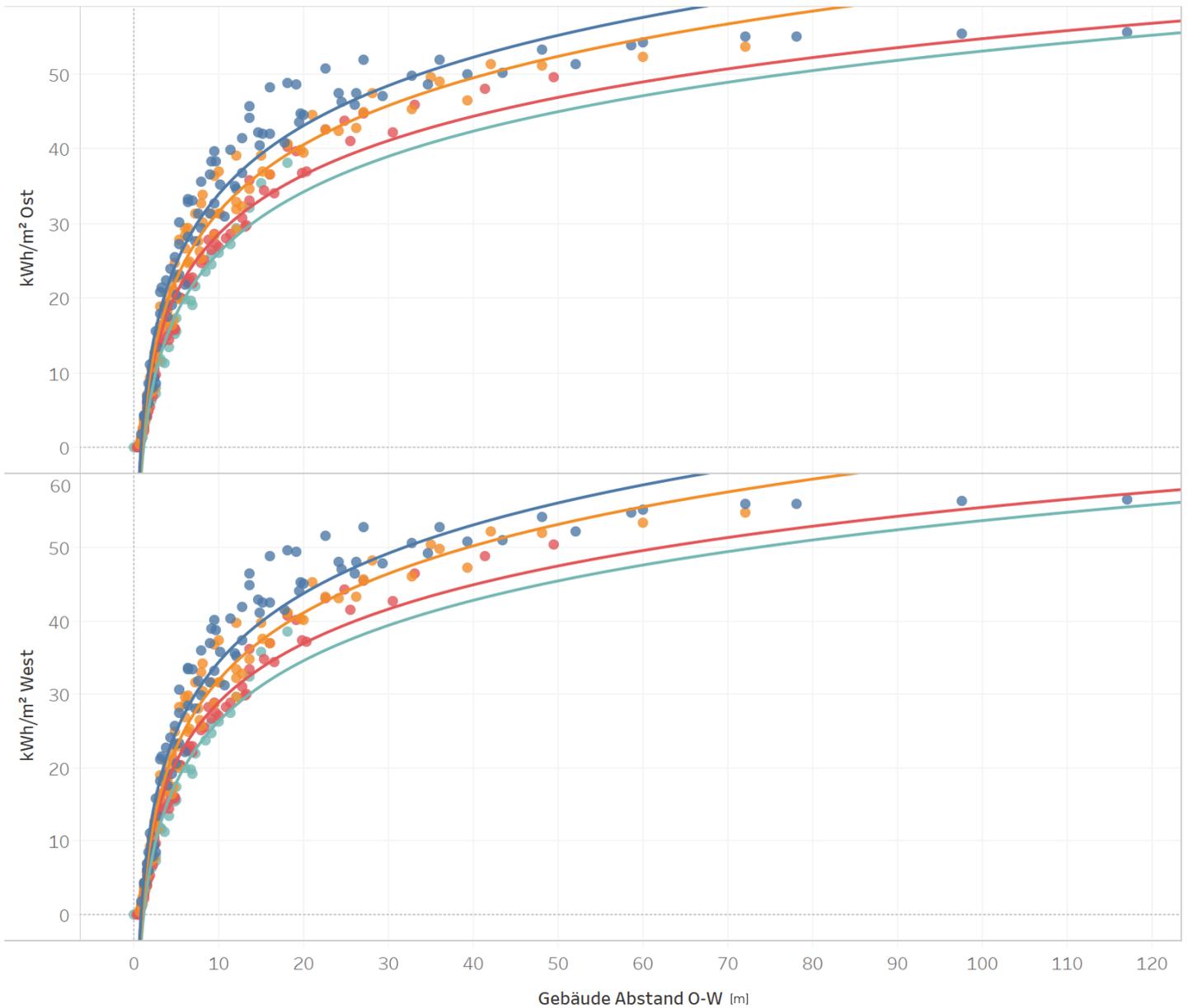
GFZ

- 1,2
- 1,8
- 2,4
- 3

N ↑

Die Gegenüberstellung von Sonneneinstrahlung und Gebäudeabstand zeigt unabhängig von der Himmelsrichtung logarithmische Leitkurven. Die Zunahme an Einstrahlung verhält sich mit zunehmendem Gebäudeabstand annähernd proportional zum Abfall der Leuchtdichte im Innenraum mit zunehmender Raumtiefe.

Bei geringeren Dichten kommen bereits bei ca. 5 Metern Abstand zwischen den Gebäuden ca. 50% des verfügbaren Lichts an der Fassade an. Bei sehr hohen Dichten ist dieser Wert bei ca. 8 m (Nord/Süd) bzw. 12 m (Ost/West) erreicht.



Ab einem Abstand von ca. 20-25 m steigt die Sonneneinstrahlung nur noch geringfügig an. Die höchste in dieser Studie untersuchte Gebäudehöhe beträgt 27m.

Das Verhältnis der Einstrahlung zum Gebäudeabstand hat dabei unabhängig von Himmelsrichtung und baulicher Dichte einen auffällig ähnlichen Verlauf.

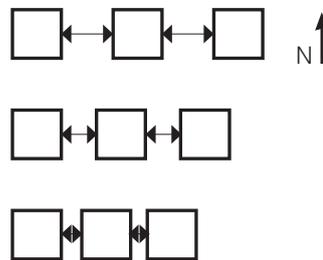


Abb. 3.4-11
Einfluss des Gebäudeabstands nach Himmelsrichtung und Dichte

3.4.2 Fallstudien

Die dieser Untersuchung zugrundeliegende Datenbank ist grafisch anschaulich online verfügbar unter <http://lux.jpakula.de> (vorläufige Adresse).

Anhand der Schieberegler und Filter lassen sich auf ein konkretes Vorhaben zugeschnittene, tageslichteffiziente städtebauliche Figuren ermitteln. Auf den folgenden Seiten wird das Verfahren beispielhaft veranschaulicht.

FALL 1: KLEINE BAUKÖRPER

Rahmenbedingungen:

Baufeldgröße (incl. Erschließung)

bis 25 x 25 m

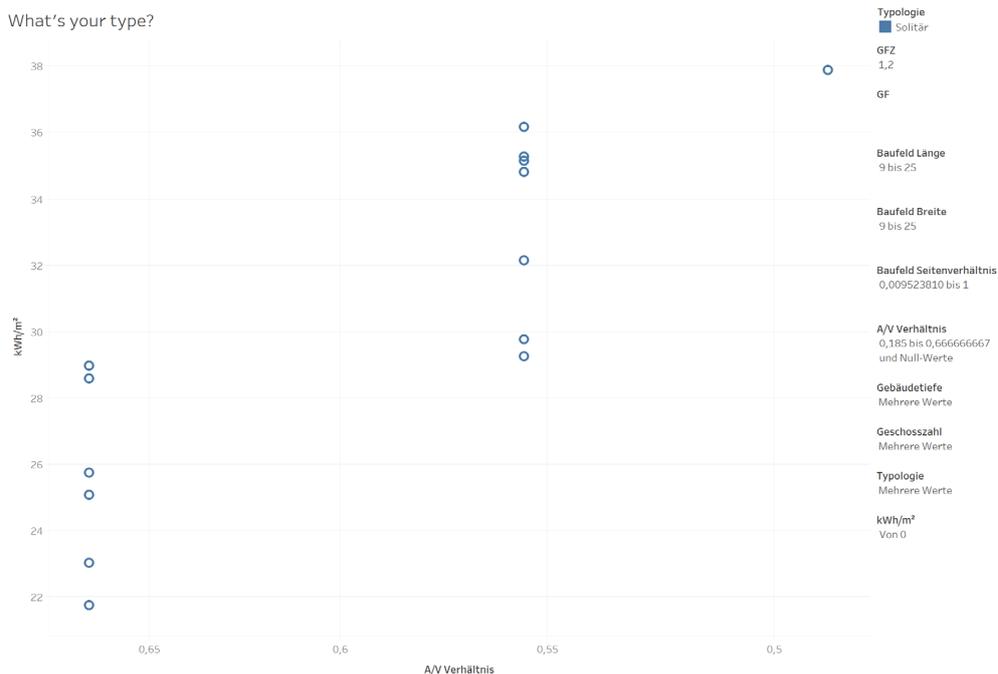
Geschosshöhe

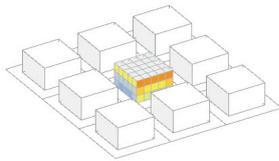
bis 3 Vollgeschosse

GFZ

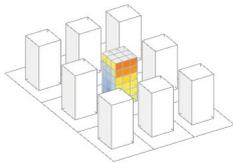
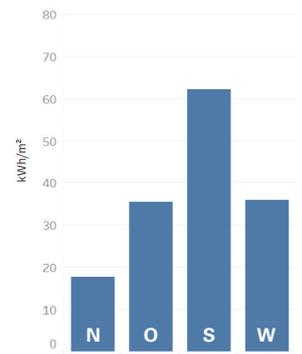
1,2

Die Datenbank enthält 120 Geometrien mit diesen Rahmenbedingungen. Eine Geometrie sticht deutlich heraus. Vier weitere haben ein gutes Verhältnis von A/V zu Sonneneinstrahlung.

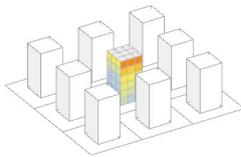
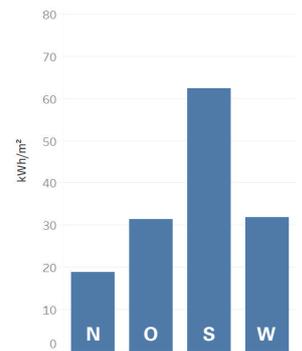




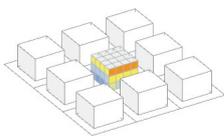
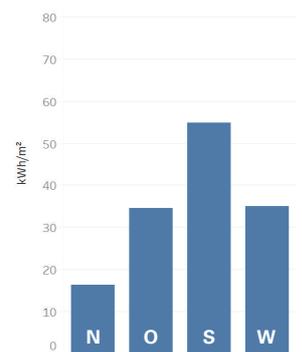
Variante Nr. 340
 Typologie Solitär
 Geschosse 3
 Geschossfläche 675 m²
 Gebäudetiefe 15 m
 A/V Verhältnis 0,49
 Durchschn. kWh/m² 37,87
 Baufeld Fläche 562 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 0,93



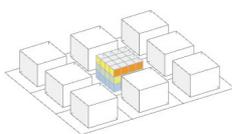
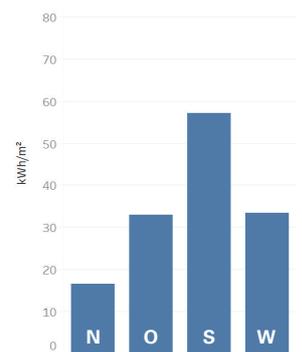
Variante Nr. 9020
 Typologie Solitär
 Geschosse 6
 Geschossfläche 486 m²
 Gebäudetiefe 9 m
 A/V Verhältnis 0,56
 Durchschn. kWh/m² 36,17
 Baufeld Fläche 405 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 0,68



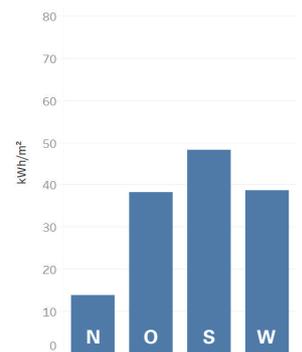
Variante Nr. 9020
 Typologie Solitär
 Geschosse 6
 Geschossfläche 486 m²
 Gebäudetiefe 9 m
 A/V Verhältnis 0,56
 Durchschn. kWh/m² 35,3
 Baufeld Fläche 405 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 1,09



Variante Nr. 200
 Typologie Solitär
 Geschosse 3
 Geschossfläche 432 m²
 Gebäudetiefe 12 m
 A/V Verhältnis 0,49
 Durchschn. kWh/m² 35,1
 Baufeld Fläche 360 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 0,93



Variante Nr. 180
 Typologie Solitär
 Geschosse 3
 Geschossfläche 432 m²
 Gebäudetiefe 12 m
 A/V Verhältnis 0,49
 Durchschn. kWh/m² 34,8
 Baufeld Fläche 360 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 1,23



FALL 2: GROSSFORM

Rahmenbedingungen:

Baufeldgröße (incl. Erschließung)

beliebig

Geschossfläche

ab 2.000 m²

Geschosshöhe

ab 6 Vollgeschosse

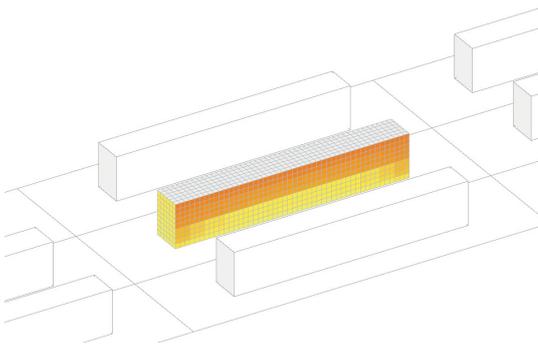
GFZ

1,8 - 2,4

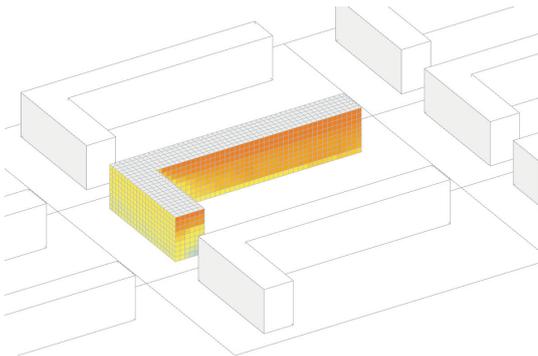
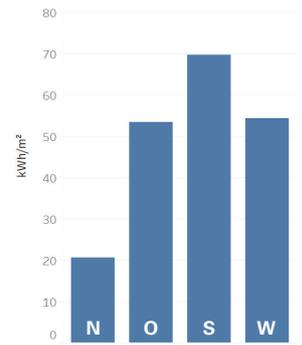
Die Datenbank enthält 15.878 Geometrien mit diesen Rahmenbedingungen. Im Bereich der besten Werte finden sich Varianten aus 4 Gebäudetypen. Der Blockrand weist dabei das beste A/V Verhältnis auf. der jeweils beste Wert jedes Typs wird herausgefiltert.

What's your type?

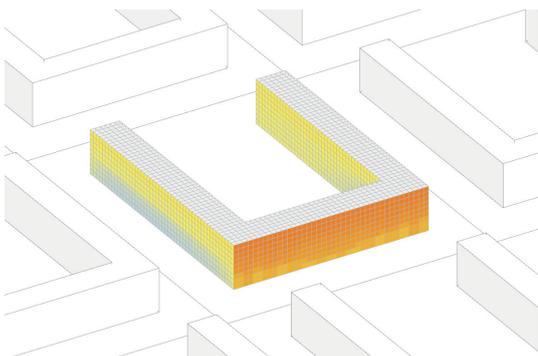
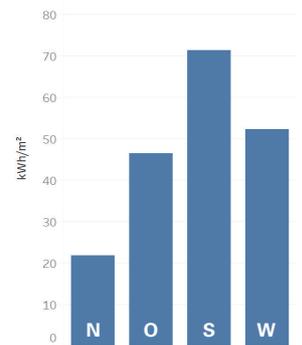




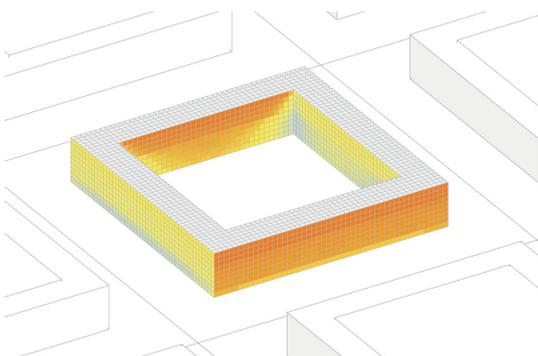
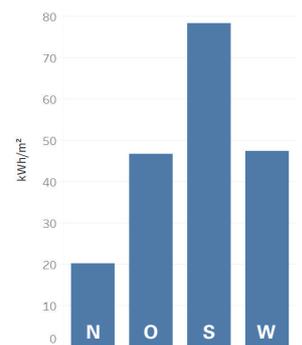
Variante Nr. 46986
 Typologie Zeile
 Geschosse 9
 Geschossfläche 23.328 m²
 Gebäudetiefe 18 m
 A/V Verhältnis 0,2
 Durchschn. kWh/m² 49,58
 Baufeld Fläche 12.960 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 3,71



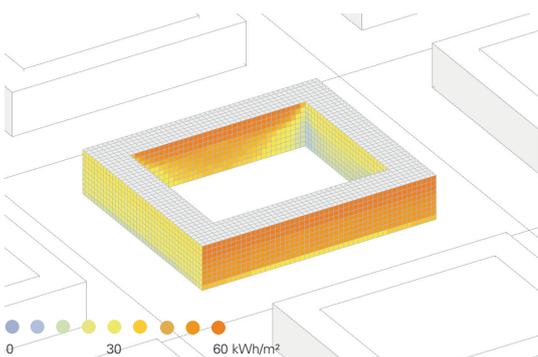
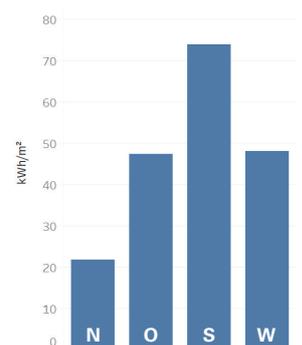
Variante Nr. 46977
 Typologie L-Form
 Geschosse 9
 Geschossfläche 31.104 m²
 Gebäudetiefe 18 m
 A/V Verhältnis 0,2
 Durchschn. kWh/m² 47,97
 Baufeld Fläche 17.280 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 2,17



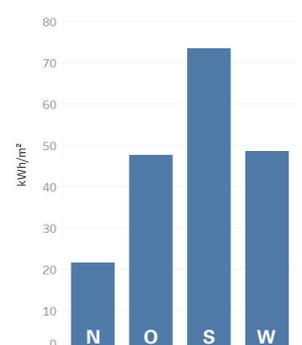
Variante Nr. 51443
 Typologie U-Form
 Geschosse 9
 Geschossfläche 60.264 m²
 Gebäudetiefe 18 m
 A/V Verhältnis 0,2
 Durchschn. kWh/m² 48,16
 Baufeld Fläche 33.480 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 0,91



Variante Nr. 53684
 Typologie Blockrand
 Geschosse 9
 Geschossfläche 81.648 m²
 Gebäudetiefe 18 m
 A/V Verhältnis 0,19
 Durchschn. kWh/m² 47,86
 Baufeld Fläche 45.360 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 0,96



Variante Nr. 53124
 Typologie Blockrand
 Geschosse 9
 Geschossfläche 73.872 m²
 Gebäudetiefe 18 m
 A/V Verhältnis 0,19
 Durchschn. kWh/m² 47,82
 Baufeld Fläche 41.040 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 1,13



FALL 3: EXTREME DICHTE

Rahmenbedingungen:

Baufeldgröße (incl. Erschließung)

beliebig

Geschossfläche

beliebig

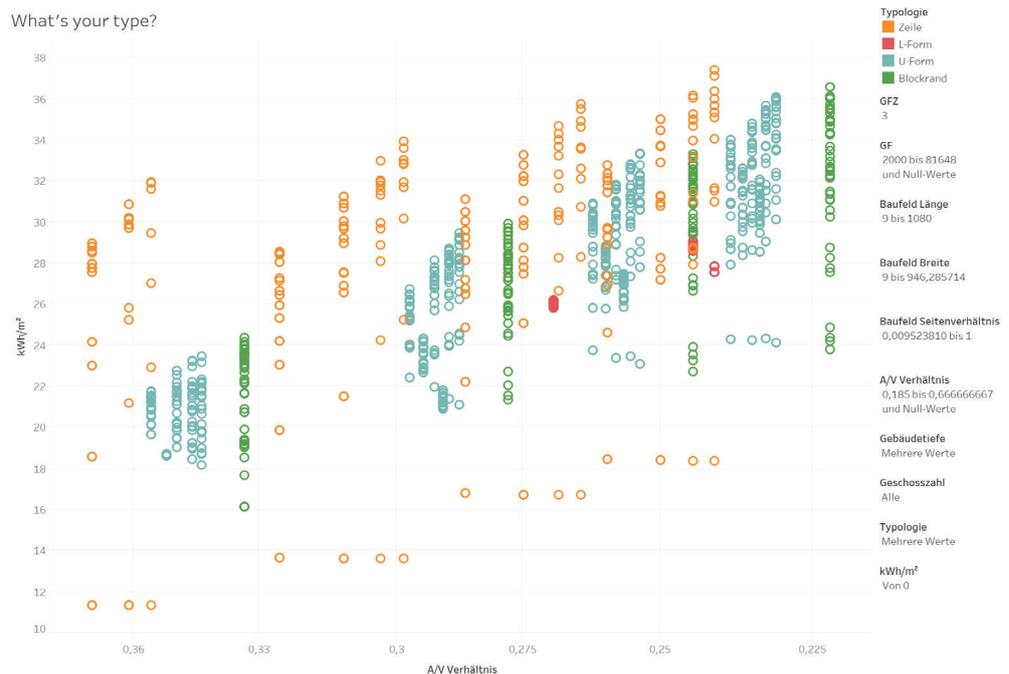
Geschosshöhe

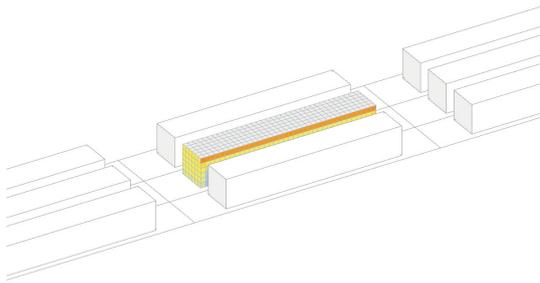
beliebig

GFZ

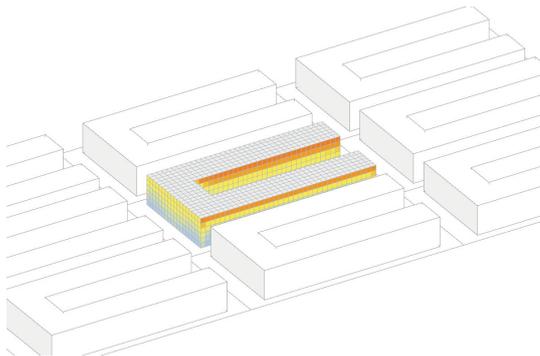
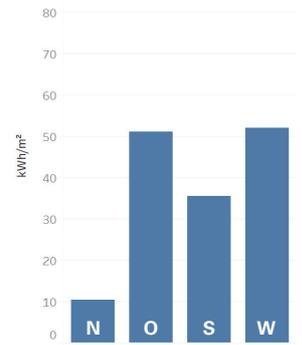
3,0

Die Datenbank enthält 1.218 Geometrien mit diesen Rahmenbedingungen. Die höchste durchschnittliche Sonneneinstrahlung weist eine Zeilenbebauung auf. U- und Blockrand-Varianten liegen geringfügig niedriger, haben aber ein besseres A/V Verhältnis.

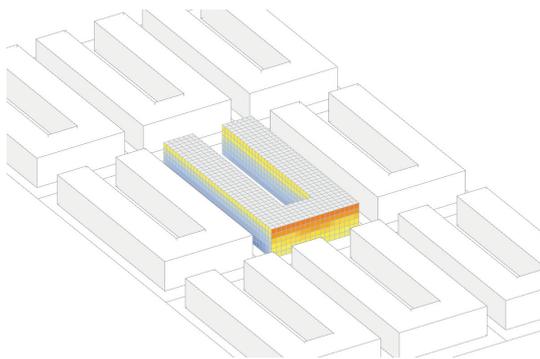
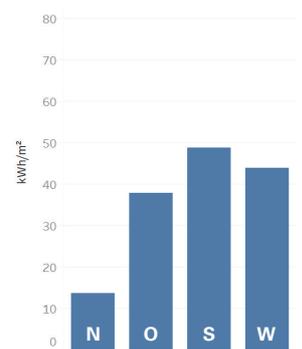




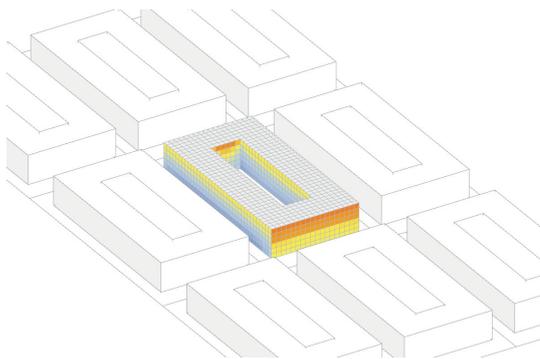
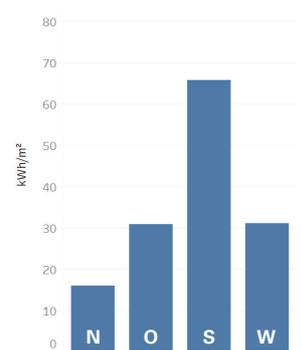
Variante Nr. 91766
 Typologie Zeile
 Geschosse 6
 Geschossfläche 11.664 m²
 Gebäudetiefe 18 m
 A/V Verhältnis 0,24
 Durchschn. kWh/m² 37,37
 Baufeld Fläche 3.888 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 5,88



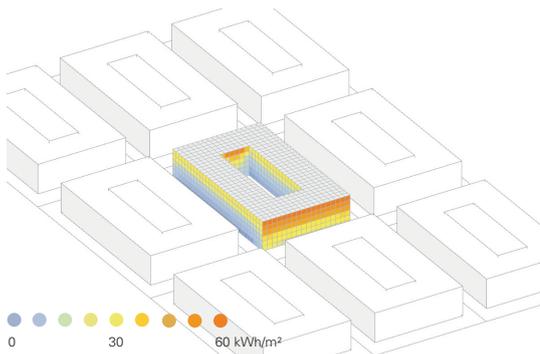
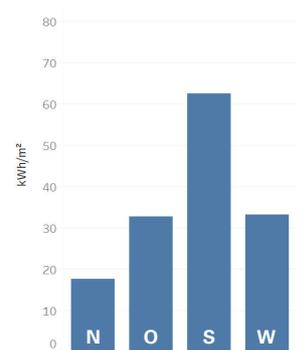
Variante Nr. 91778
 Typologie U-Form
 Geschosse 6
 Geschossfläche 25.272 m²
 Gebäudetiefe 18 m
 A/V Verhältnis 0,23
 Durchschn. kWh/m² 36,07
 Baufeld Fläche 8.424 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 2,04



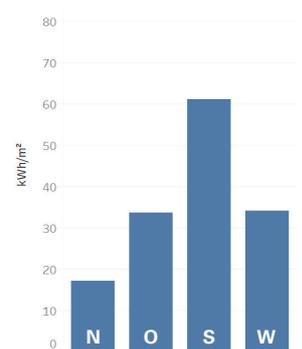
Variante Nr. 91763
 Typologie U-Form
 Geschosse 6
 Geschossfläche 25.272 m²
 Gebäudetiefe 18 m
 A/V Verhältnis 0,23
 Durchschn. kWh/m² 36,07
 Baufeld Fläche 8.424 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 0,51



Variante Nr. 91764
 Typologie Blockrand
 Geschosse 6
 Geschossfläche 27.216 m²
 Gebäudetiefe 18 m
 A/V Verhältnis 0,22
 Durchschn. kWh/m² 36,58
 Baufeld Fläche 9.074 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 0,51



Variante Nr. 91204
 Typologie Blockrand
 Geschosse 6
 Geschossfläche 23.328 m²
 Gebäudetiefe 18 m
 A/V Verhältnis 0,22
 Durchschn. kWh/m² 36,58
 Baufeld Fläche 7.774 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 0,61



FALL 4: GESCHLOSSENE BEBAUUNG

Rahmenbedingungen:

Typologie:

U-Form oder Blockrand

Baufeldgröße (incl. Erschließung)

min. 50 x 50 m

Geschossfläche

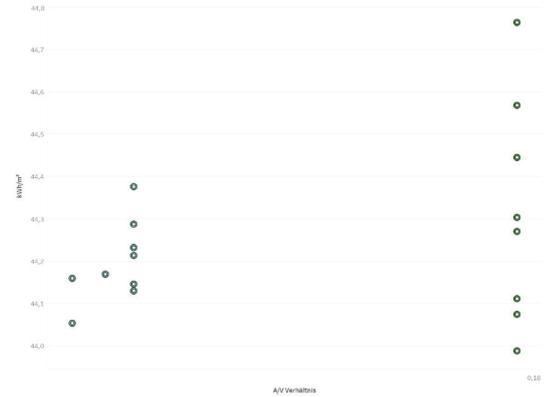
beliebig

Geschosshöhe

beliebig

GFZ

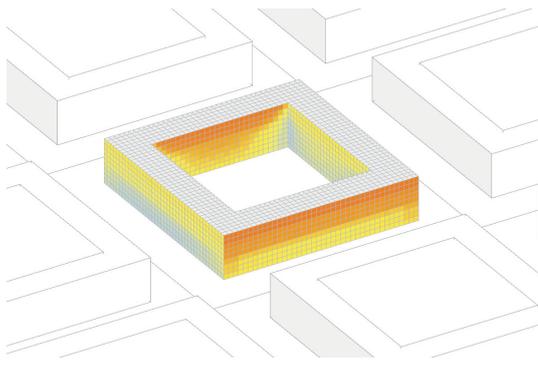
2,4



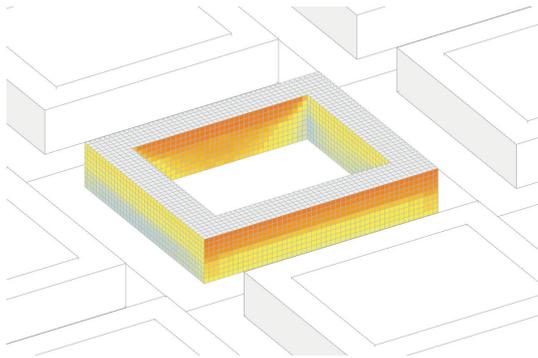
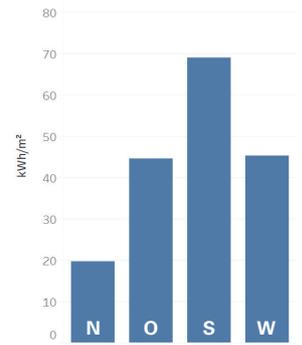
Die Datenbank enthält 3.070 Geometrien mit diesen Rahmenbedingungen. Ein Zoom in die Spitzengruppe zeigt, dass mehrere Blockrand-Varianten die höchsten kWh/m²-Werte bei bestem A/V Verhältnis aufweisen. Das viertbeste Sonneneinstrahlungsergebnis erreicht eine U-Form. Zum Vergleich wird auch die zweitbeste U-Form betrachtet.

What's your type?

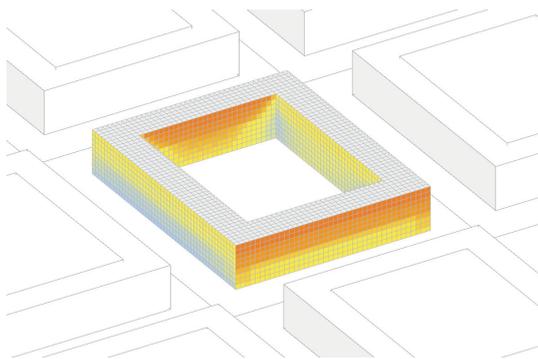
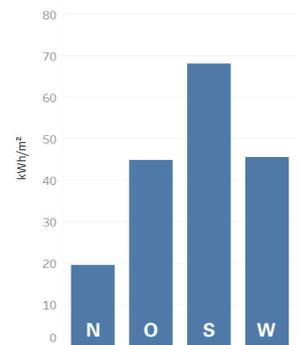




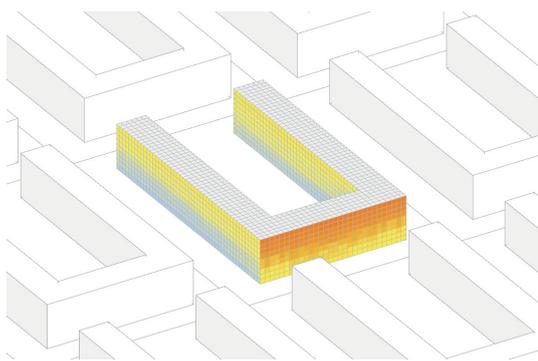
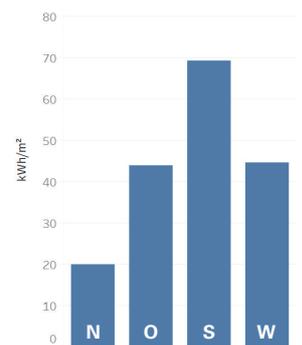
Variante Nr. 77764
 Typologie Blockrand
 Geschosse 3
 Geschossfläche 675 m²
 Gebäudetiefe 15 m
 A/V Verhältnis 0,19
 Durchschn. kWh/m² 44,76
 Baufeld Fläche 562 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 0,93



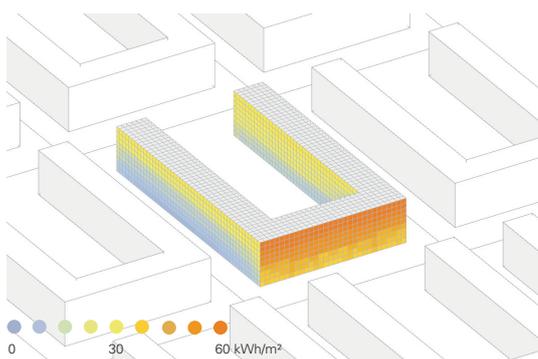
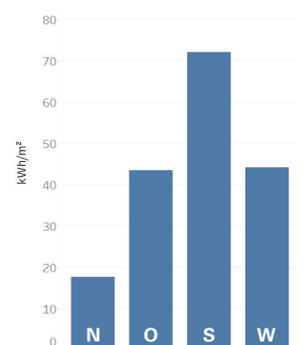
Variante Nr. 80004
 Typologie Blockrand
 Geschosse 6
 Geschossfläche 486 m²
 Gebäudetiefe 9 m
 A/V Verhältnis 0,19
 Durchschn. kWh/m² 44,56
 Baufeld Fläche 405 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 0,68



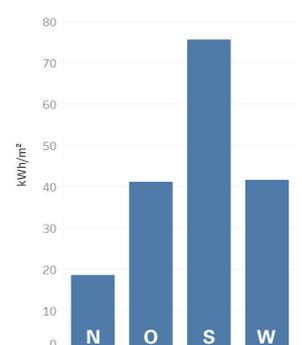
Variante Nr. 78324
 Typologie Blockrand
 Geschosse 6
 Geschossfläche 486 m²
 Gebäudetiefe 9 m
 A/V Verhältnis 0,19
 Durchschn. kWh/m² 44,44
 Baufeld Fläche 405 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 1,09



Variante Nr. 76063
 Typologie U-Form
 Geschosse 3
 Geschossfläche 432 m²
 Gebäudetiefe 12 m
 A/V Verhältnis 0,19
 Durchschn. kWh/m² 44,38
 Baufeld Fläche 360 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 0,93



Variante Nr. 76083
 Typologie U-Form
 Geschosse 3
 Geschossfläche 432 m²
 Gebäudetiefe 12 m
 A/V Verhältnis 0,19
 Durchschn. kWh/m² 44,29
 Baufeld Fläche 360 m²
 Seitenverhältnis Baufeld 1,23



3.4.3 Berücksichtigung der Raumtiefe

Jakub Pakula

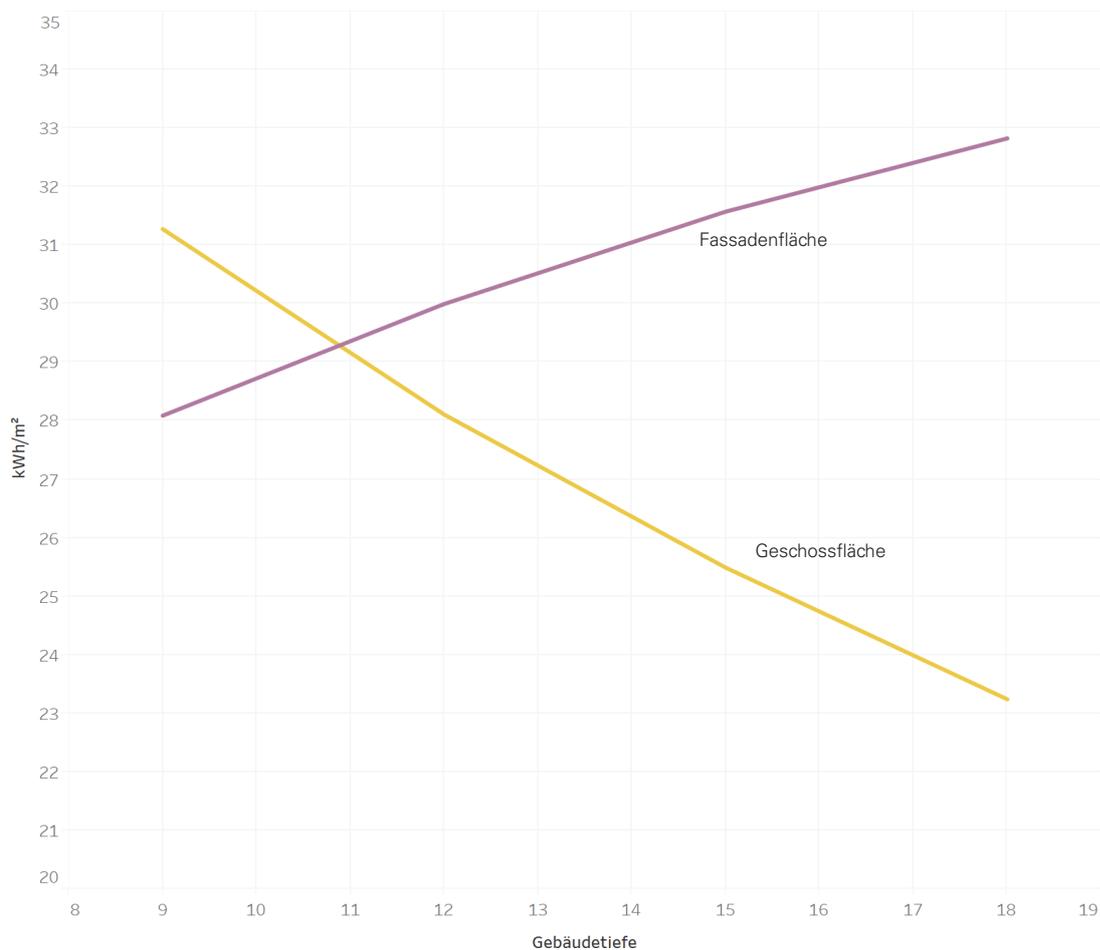
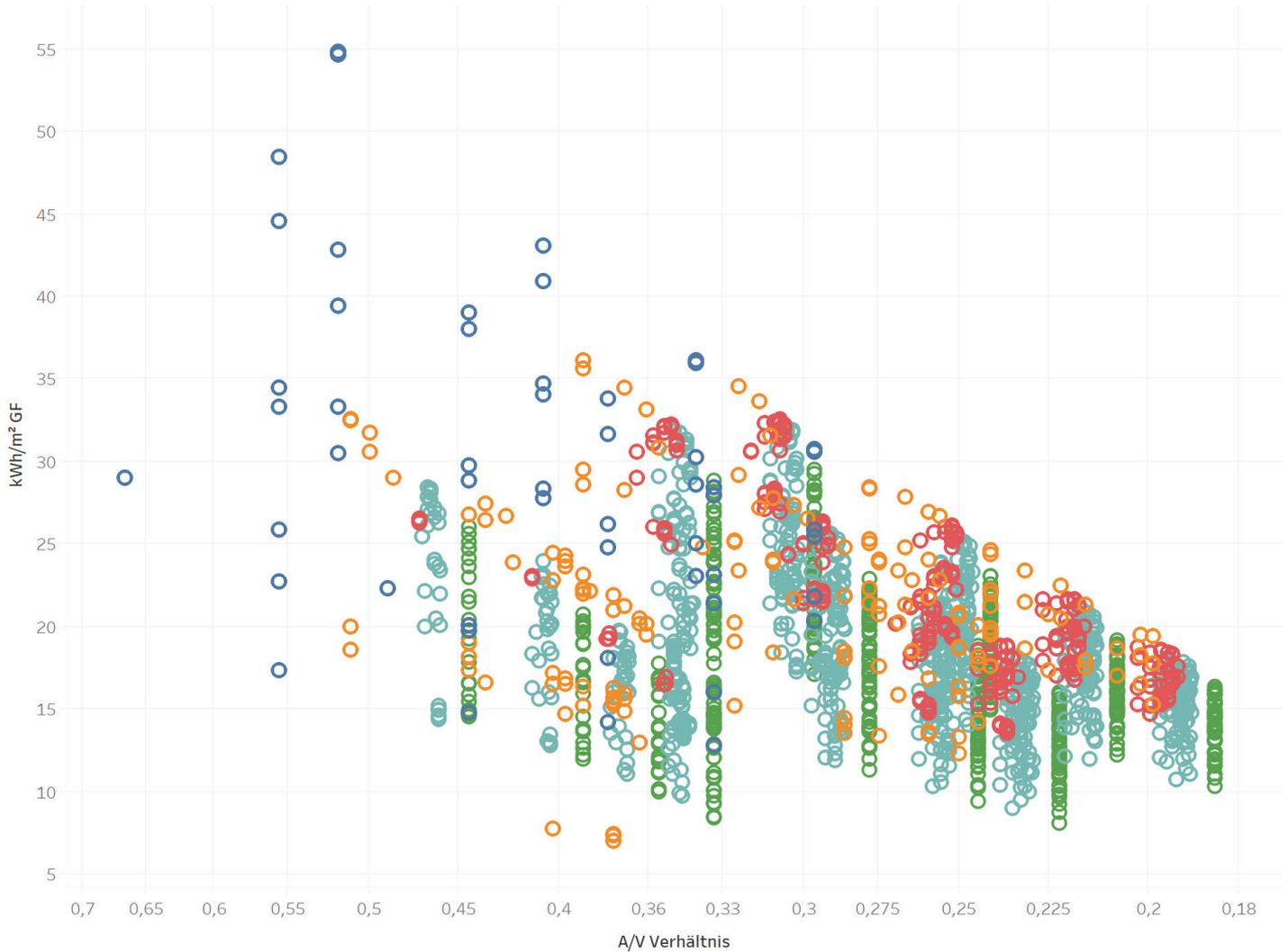


Abb. 3.4.3-1
Gegenüberstellung:
Durchschnittliche
Sonneneinstrahlung je m² Fassade
und je m² Geschossfläche je nach
Gebäudetiefe

Die bisherigen Auswertungen zeigten die Einflüsse der geometrischen Parameter auf die verfügbare Sonnenenergie (Tageslicht) auf der Fassade. Wie verhält sich hierzu aber die Qualität der Innenraumausleuchtung?

Die Qualität des Lichts im Innenraum wird im Detail durch das LUX Tool veranschaulicht und mit einfachen Mitteln überprüfbar gemacht.

Für die Auswertung der Datenbanksimulation wird eine vereinfachte Methode herangezogen, um eine Tendenz für die Lichtausbeute im Innenraum für einen sehr großen Datensatz abbilden zu können.



Um die Gebäudetiefe, und damit den Abfall des verfügbaren Tageslichts im Innern, zu berücksichtigen, wird im folgenden Schritt die Sonneneinstrahlung je untersuchtem Baukörper auf dessen Geschossfläche umgelegt.

Abb. 3.4.3-2 zeigt den gegenläufigen Verlauf der durchschnittlichen Sonneneinstrahlung je m² Fassade und je m² Geschossfläche. Die Geschossflächen-Kurve weist einen ähnlichen Verlauf auf, wie die Kurve des Tageslichtquotienten. Tatsächlich fällt der Tageslichtquotient exponentiell ab, während der Kennwert kWh/m² GF einen flacheren Verlauf hat.

Die vorgeschlagene Methode dient einer ersten Einordnung des Potentials im städtebaulichen Maßstab. Eine Aussage zu Fensteranteilen, Verglasungen, der genauen Lage von Räumen etc. soll hier nicht getroffen werden.

Die Belastbarkeit dieser vereinfachten Methode müsste in einer separaten Studie überprüft werden.

Für eine vertiefende Betrachtung der Lichtverhältnisse im Innenraum steht im Rahmen des Forschungsprojekts LUX das Straßenschlucht Modell zur Verfügung.

Abb. 3.4.3-2
Gegenüberstellung:
Durchschnittliche
Sonneneinstrahlung je m² GF in
Abhängigkeit vom A/V Verhältnis

- Solitär
- Zeile
- L-Form
- U-Form
- Blockrand

Verteilung nach GFZ und Typologie: kWh/m² Fassade

Die Aufgliederung der Simulationsergebnisse nach GFZ und Typologie veranschaulicht die Unterschiede in der Effizienz der unterschiedlichen Geometrien.

Auf die Hüllfläche bezogen erweist sich, wie zuvor beschrieben, die L-Form als überdurchschnittlich effizient. Lediglich bei der höchsten Dichte von 3.0 weisen andere Gebäudetypen höhere Werte auf.

Der Solitär erscheint in dieser Betrachtung als ungünstigste Gebäudeform.

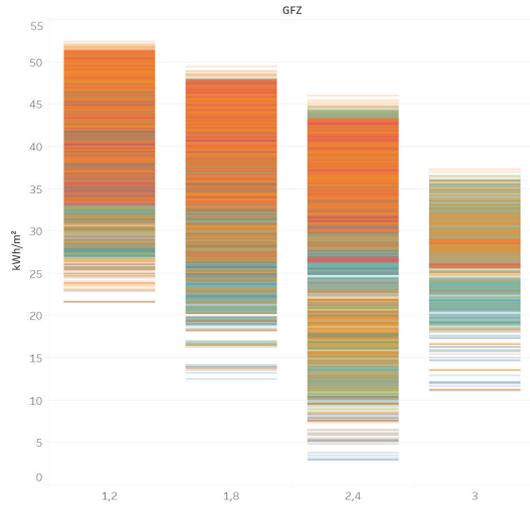


Abb. 3.4.3-3: Gesamt

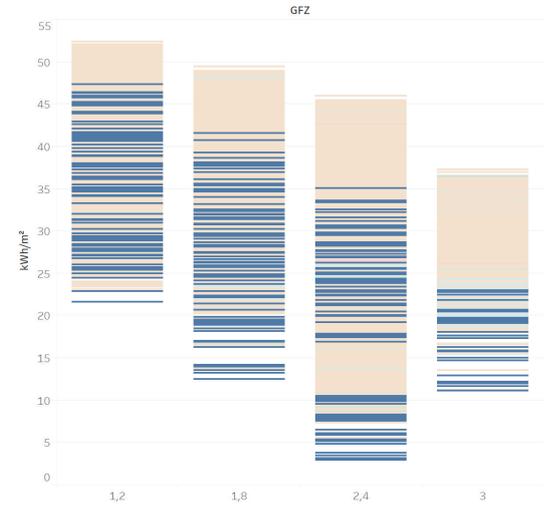


Abb. 3.4.3-4: Solitär

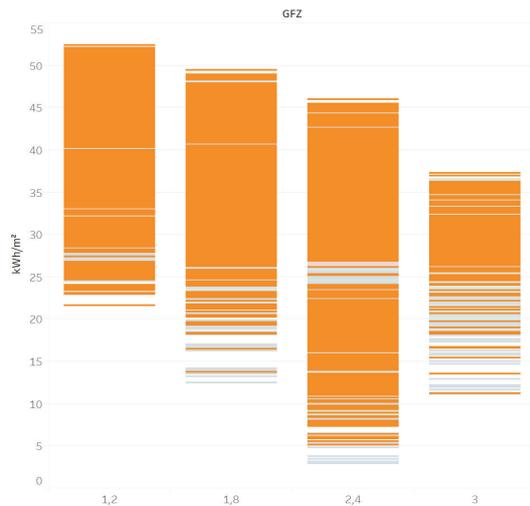


Abb. 3.4.3-5: Zeile

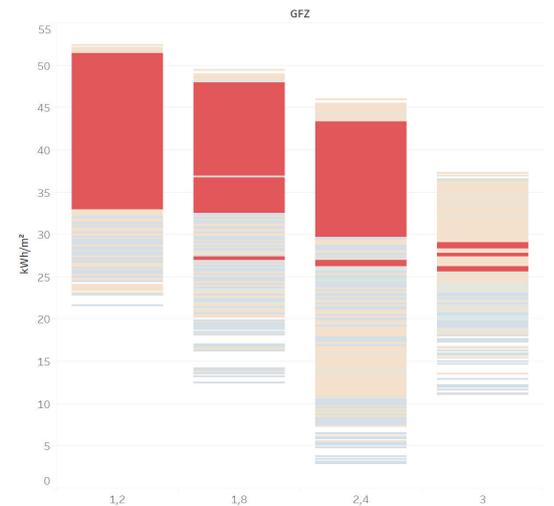


Abb. 3.4.3-6: L-Form



Abb. 3.4.3-7: U-Form

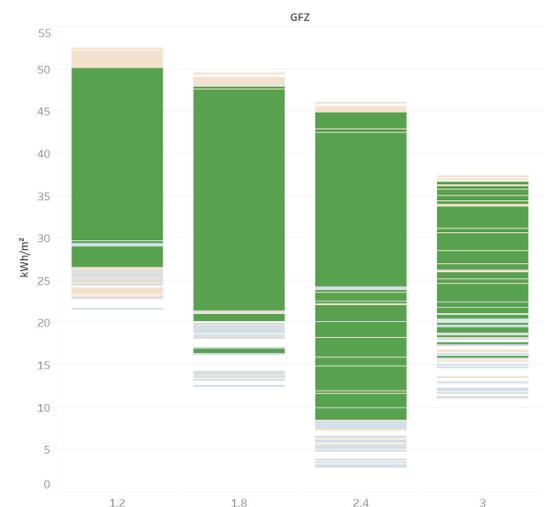


Abb. 3.4.3-8: Blockrand

Verteilung nach GFZ und Typologie: kWh/m² Geschossfläche

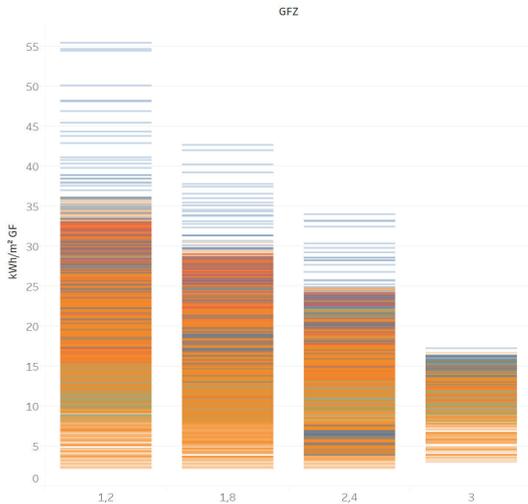


Abb. 3.4.3-9: Gesamt

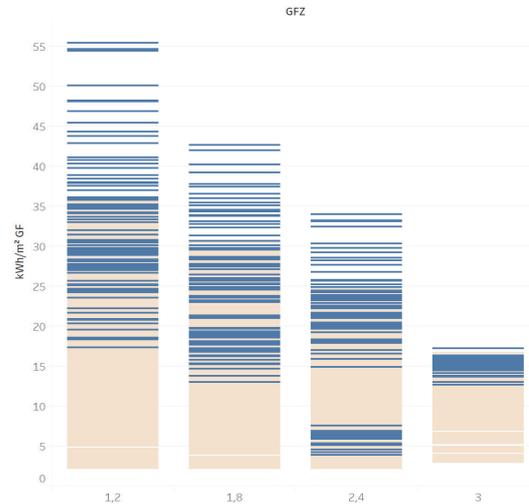


Abb. 3.4.3-10: Solitär

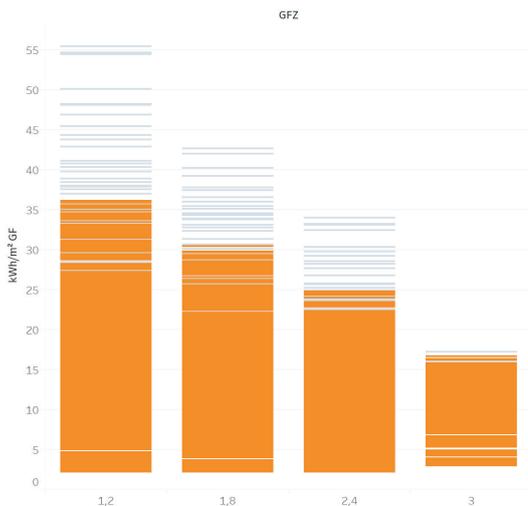


Abb. 3.4.3-11: Zeile

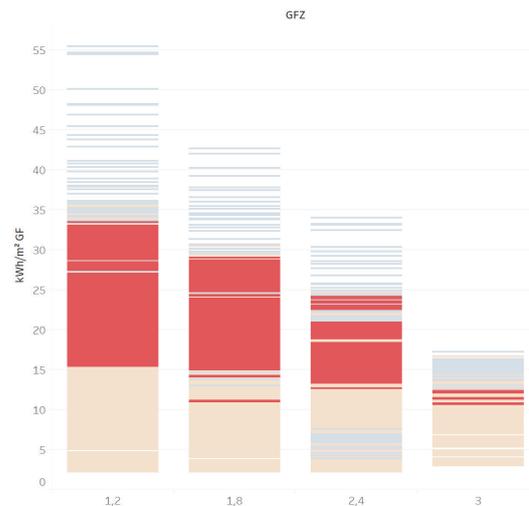


Abb. 3.4.3-12: LForm



Abb. 3.4.3-13: U-Form

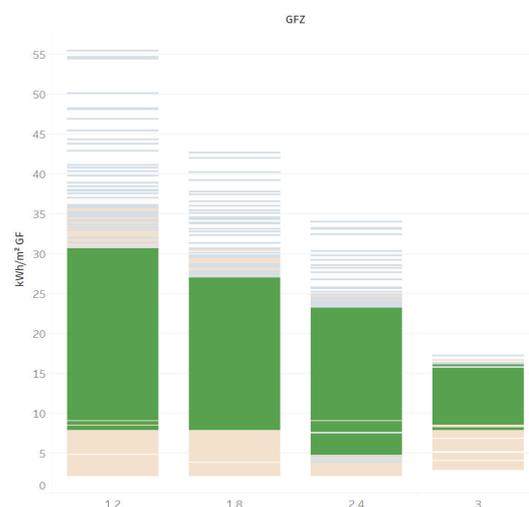


Abb. 3.4.3-14: Blockrand

Die Betrachtung der Einstrahlungsverteilung je m² Geschossfläche zeigt ein ganz anderes Bild.

Auffällig ist, dass in allen Dichtestufen sehr schlechte Ergebnisse vorkommen, was belegt, dass eine geringere bauliche Dichte nicht automatisch zu besseren Belichtungsverhältnissen führt.

Die Maximalwerte sinken linear proportional zur steigenden Dichte, wobei die Besten Verhältnisse von Einstrahlung zu Geschossfläche bei Solitären festzustellen ist. Hierbei handelt es sich vor allem um schlanke und hohe Gebäude, die ihre Nachbarn nicht dauerhaft verschatten.

Auch hier zeigen die L-Typen die geringste Varianz, und als einziger Geometrietyp durchweg Ergebnisse über 15 kWh/m² GF. Lediglich bei der sehr hohen Dichte von 3,0 sind L-förmige Geometrien nicht im oberen Wertebereich angesiedelt.

Auch bei einer GFZ von 3,0 werden die höchsten Durchschnittswerte bei Solitären erzielt, der größere Teil der Spitzengruppe verteilt sich aber auf U-förmige Gebäude und geschlossene Blockrandstrukturen.

3.4.4 Verifizierung der Ergebnisse

Das Ziel der folgenden Studie ist es, die Sonnenscheindauer in Abhängigkeit der Bebauungsdichte in bestehenden Stadtgebieten zu untersuchen. Dafür wird die Studie ‚Dichte Atmosphäre‘ um die Simulationen der Sonneneinstrahlungsdauern erweitert.

Gemeinsam mit Studenten der Universität Stuttgart werden anhand der vorliegenden Daten Massenmodelle von insgesamt zwölf Stadtvierteln in vier unterschiedlichen Städten erstellt:

München, Berlin, Zürich und Wien.

Dabei wurden drei Dichtekategorien berücksichtigt. Diese sind vergleichbar mit den Dichteklassifizierungen fünf, sieben und neun der Referenzliteratur.

Das generische Simulationsmodell basiert auf der Ausrichtung der Bauwerke bezüglich der Himmelsrichtungen und geographischen Lage der Gebäude im jeweiligen Stadtgebiet. Die Bauweise der Gebäude, der Fensteranteil, das Baujahr und das Nutzerverhalten sind hierfür nicht bekannt und gingen damit nicht in die Studie ein.

Simulation und Analyse gliedern sich in zwei Teile auf. Der erste beschäftigt sich mit der Sonnenstundenberechnung in der Heizperiode von Oktober bis April. Der zweite mit der Verschattung der bestrahlten Wandbereiche.

Die Ergebnisse der Sonnenstundenberechnung sind in Balkengraphiken dargestellt.

Die horizontale Achse zeigt die Sonnenstunden von 0 bis 1200 auf. Die vertikale die bestrahlte Fläche. Für die Heizperiode ist viel bestrahlte Fläche wünschenswert.

Die Kuchendiagramme stellen die Verschattung der Gebäude der betrachteten Bauteile dar. Diese kann entweder durch die Bebauung in der Umgebung oder anschließende Bauteile entstehen. Ein voller, hellgelber Kreis würde keine Verschattung darstellen, dies ist in dieser Studie jedoch nicht der Fall.

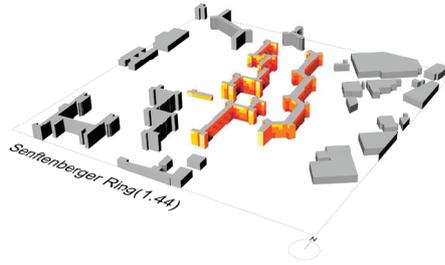
Die Simulationsergebnisse zeigen erwartungsgemäß, dass zunehmende Bebauung zu weniger Besonnung führt. Die Orientierung zu den Himmelsrichtungen hat hierbei einen starken Einfluss.

Dies zeigt zum Beispiel die Kategorie 9 in Zürich, die einen höheren Sonnenstundenanteil hat als die weniger dicht bebaute Kategorie 7 in derselben Stadt.

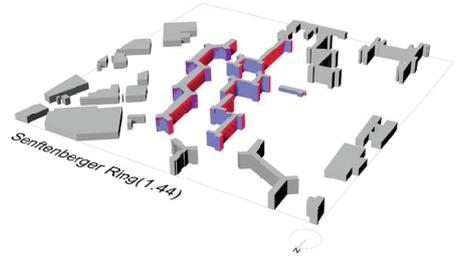
BERLIN



Dichtekategorie 5 Senftenberger RIng(1.44)

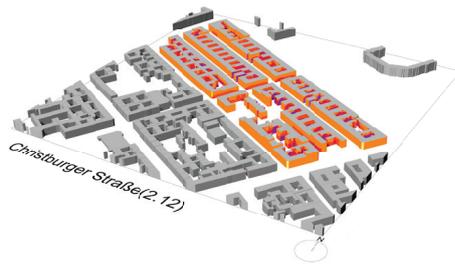


Perspektive Süd

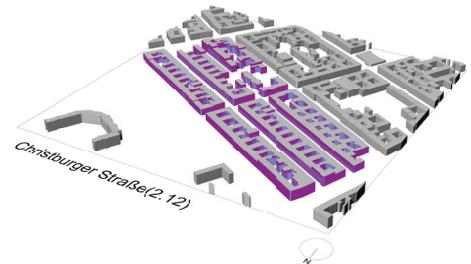


Perspektive Nord

Dichtekategorie 7 Christburger Straße(2.12)

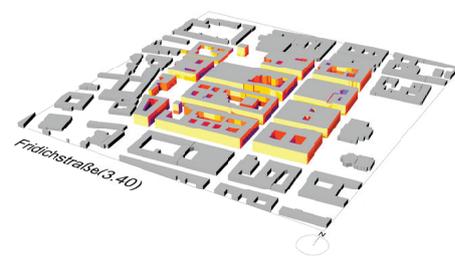


Perspektive Süd

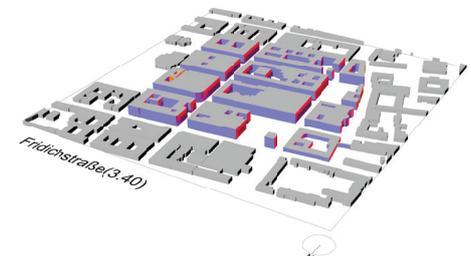


Perspektive Nord

Dichtekategorie 9 Fridichstraße(3.40)



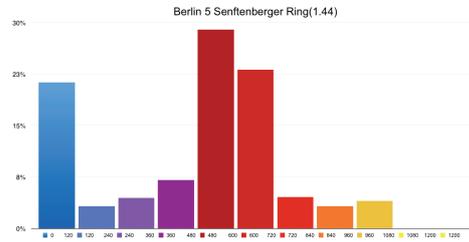
Perspektive Süd



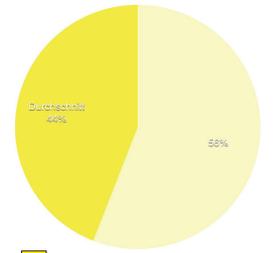
Perspektive Nord

Berlin5

Orientierung: Ost und West
 Durchschnittliche Gebäudehöhe: 36m
 Durchschnittliche Straßbreite: 30m
 Durchschnittliche Hofbreite: kein Hof
 Durchschnittliche Gebäudetiefe: 13m



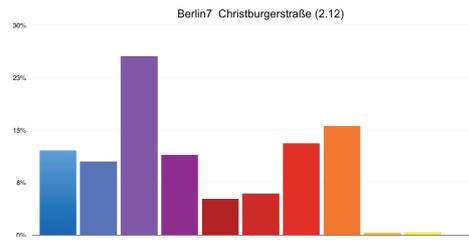
Sonnenscheindauer



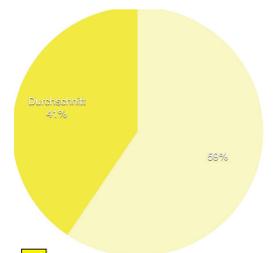
Empfangene Sonnenstunden/m²

Berlin7

Orientierung: 60 grad Nordwest
 Durchschnittliche Gebäudehöhe: 15m
 Durchschnittliche Straßbreite: 24m
 Durchschnittliche Hofbreite: 18m
 Durchschnittliche Gebäudetiefe: 12m



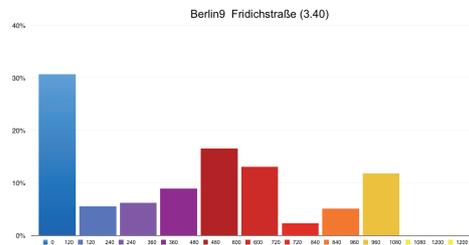
Sonnenscheindauer



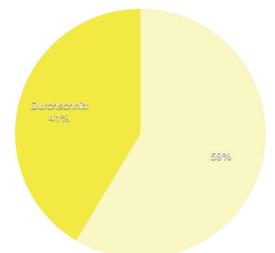
Empfangene Sonnenstunden/m²

Berlin9

Orientierung: Süd und Nord
 Durchschnittliche Gebäudehöhe: 22m
 Durchschnittliche Straßbreite: 18m
 Durchschnittliche Hofbreite: 24m
 Durchschnittliche Gebäudetiefe: 16m



Sonnenscheindauer



Empfangene Sonnenstunden/m²

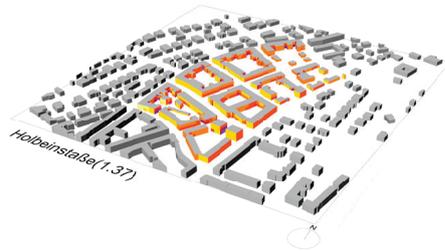
Abbildungen:
eigene Darstellung

MÜNCHEN

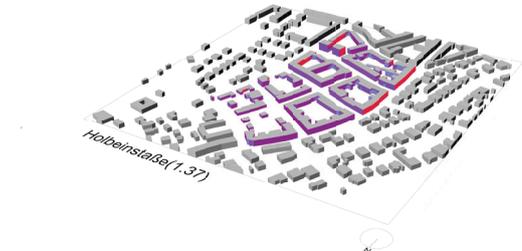


Dichtekategorie 5

Holbeinstraße(1.31)



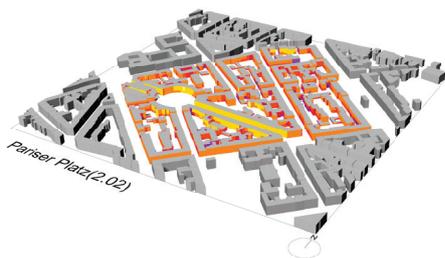
Perspektive Süd



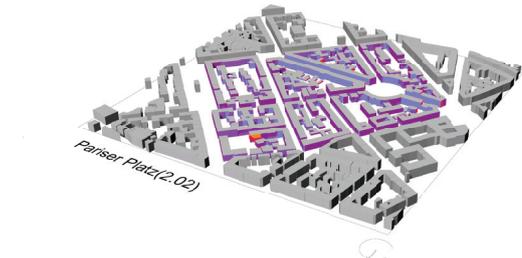
Perspektive Nord

Dichtekategorie 7

Christburger Straße(2.12)



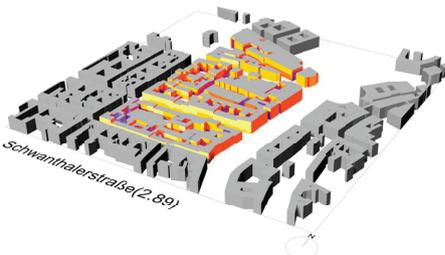
Perspektive Süd



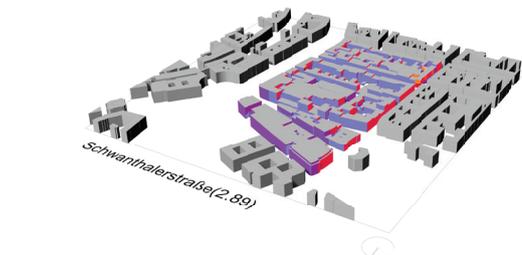
Perspektive Nord

Dichtekategorie 9

Fridichstraße(3.40)



Perspektive Süd



Perspektive Nord

München 5

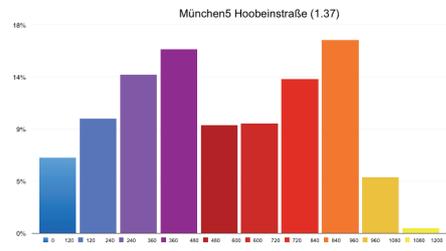
Orientierung: von 15 grad Nordost bis Süd und Nord

Durchschnittliche Gebäudehöhe: 12m

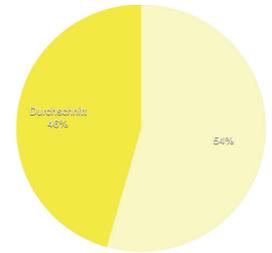
Durchschnittliche StraÙebreite: 20m

Durchschnittliche Hofbreite: 44m

Durchschnittliche Gebäudetiefe: 15m



Sonnenscheindauer



Verfügbaren Sonnenstunden/m²

Empfangene Sonnenstunden/m²

München 7

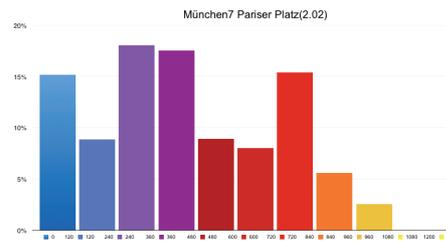
Orientierung: 60 grad Nordwest

Durchschnittliche Gebäudehöhe: 15m

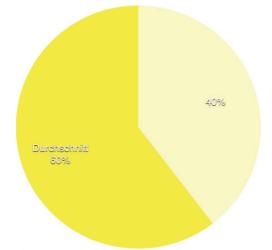
Durchschnittliche StraÙebreite: 15m

Durchschnittliche Hofbreite: 18m

Durchschnittliche Gebäudetiefe: 12m



Sonnenscheindauer



Verfügbaren Sonnenstunden/m²

Empfangene Sonnenstunden/m²

München 9

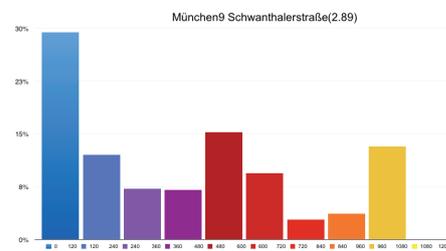
Orientierung: Süd und Nord

Durchschnittliche Gebäudehöhe: 20m

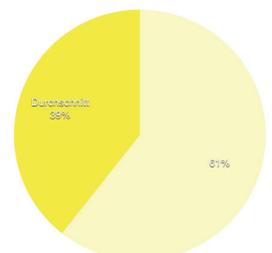
Durchschnittliche StraÙebreite: 18m

Durchschnittliche Hofbreite: 20m

Durchschnittliche Gebäudetiefe: 13m



Sonnenscheindauer



Verfügbaren Sonnenstunden/m²

Empfangene Sonnenstunden/m²

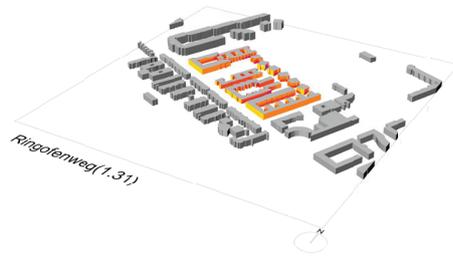
Abbildungen:
eigene Darstellung

WIEN

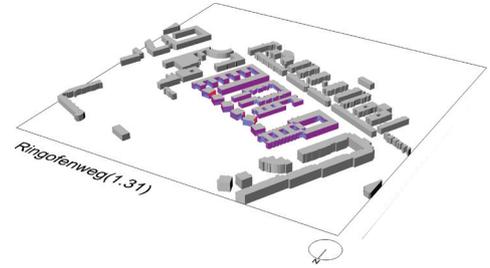


Dichtekategorie 5

Ringofenweg(1.31)



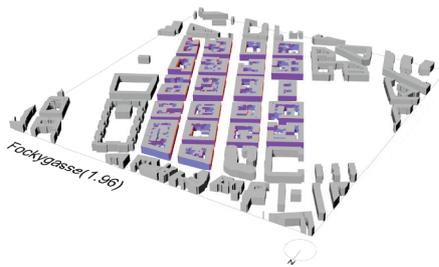
Perspektive Süd



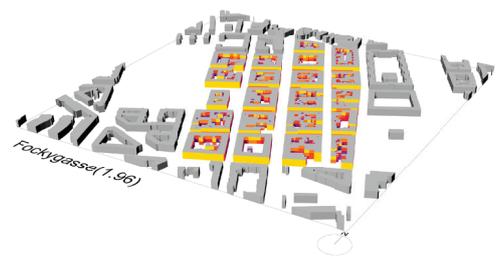
Perspektive Nord

Dichtekategorie 7

Fockzgasse(1.96)



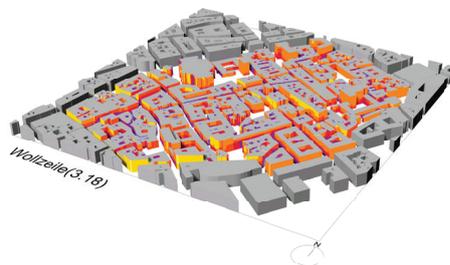
Perspektive Süd



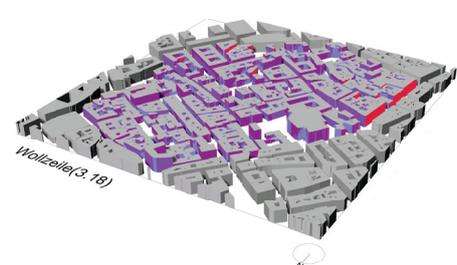
Perspektive Nord

Dichtekategorie 9

Fridichstraße(3.40)



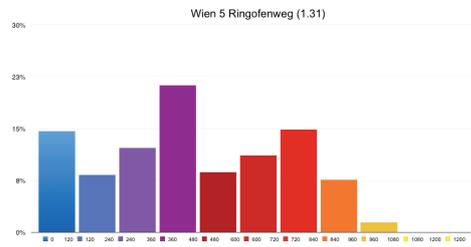
Perspektive Süd



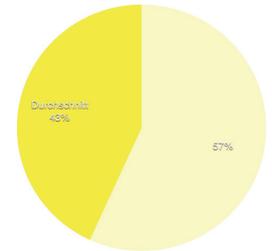
Perspektive Nord

Wien 5

Orientierung: 30 grad Nordost
 Durchschnittliche Gebäudehöhe: 11m
 Durchschnittliche StraÙebreite: 25m
 Durchschnittliche Hofbreite: 27m
 Durchschnittliche Gebäudetiefe: 15m



Sonnenscheindauer

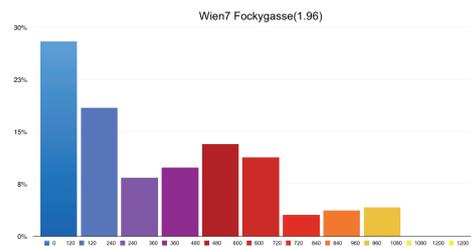


Verfügbaren Sonnenstunden/m²

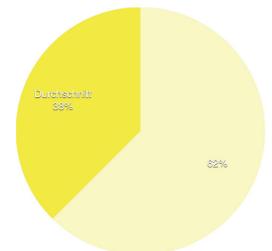
Empfangene Sonnenstunden/m²

Wien 7

Orientierung: 30 grad Nordwest
 Durchschnittliche Gebäudehöhe: 15m
 Durchschnittliche StraÙebreite: 18m
 Durchschnittliche Hofbreite: 25m
 Durchschnittliche Gebäudetiefe: 12m



Sonnenscheindauer

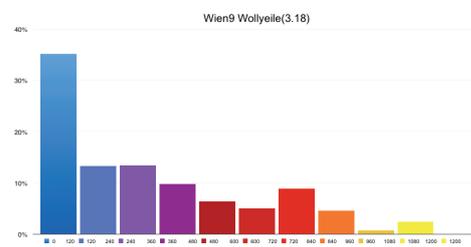


Verfügbaren Sonnenstunden/m²

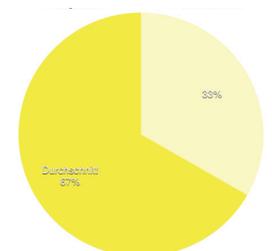
Empfangene Sonnenstunden/m²

Wien 9

Orientierung: 30 grad Nordost
 Durchschnittliche Gebäudehöhe: 20m
 Durchschnittliche StraÙebreite: 12m
 Durchschnittliche Hofbreite: 14m
 Durchschnittliche Gebäudetiefe: 13m



Sonnenscheindauer



Verfügbaren Sonnenstunden/m²

Empfangene Sonnenstunden/m²

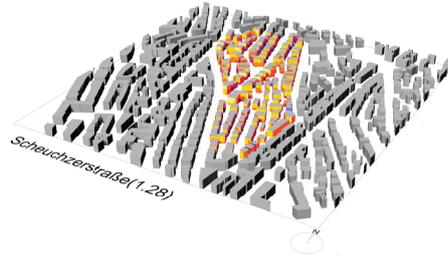
Abbildungen:
eigene Darstellung

ZÜRICH

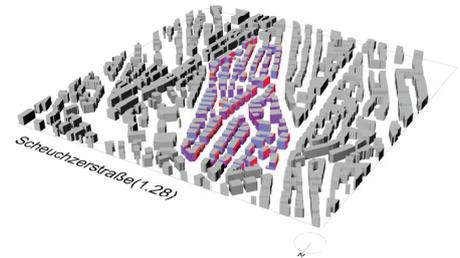


Dichtekategorie 5

Scheuchyerstraße(1.31)



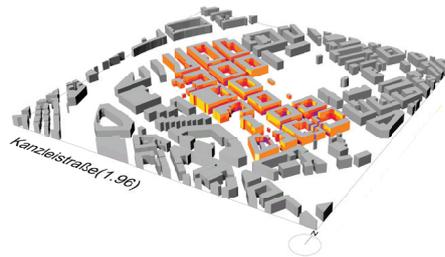
Perspektive Süd



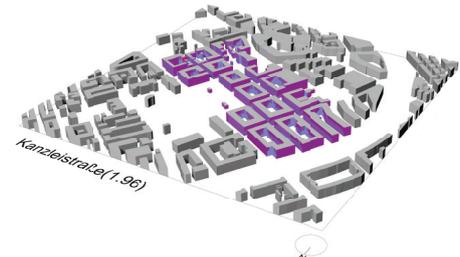
Perspektive Nord

Dichtekategorie 7

Christburger Straße(2.12)



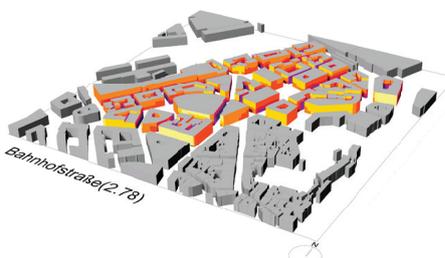
Perspektive Süd



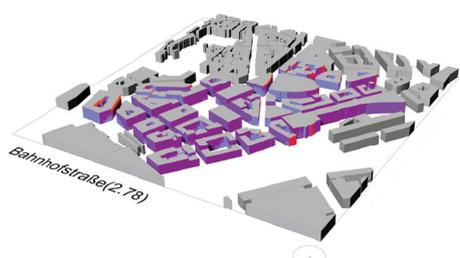
Perspektive Nord

Dichtekategorie 9

Fridichstraße(3.40)



Perspektive Süd



Perspektive Nord

Zürich 5

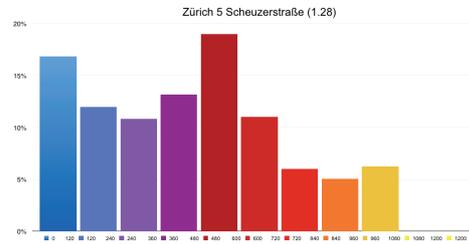
Orientierung: 30 grad Nordwest & Süd und Nord

Durchschnittliche Gebäudehöhe: 18m

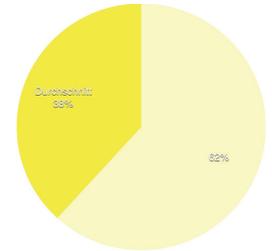
Durchschnittliche StraÙebreite: 18m

Durchschnittliche Hofbreite: kein Hof

Durchschnittliche Gebäudetiefe: 11m



Sonnenscheindauer



Verfügbaren Sonnenstunden/m²

Empfangene Sonnenstunden/m²

Zürich 7

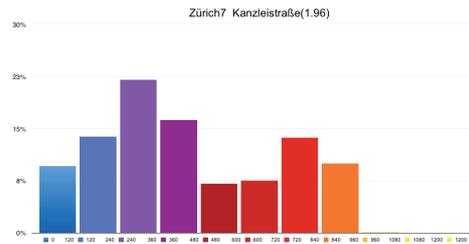
Orientierung: 75 grad Nordwest

Durchschnittliche Gebäudehöhe: 19m

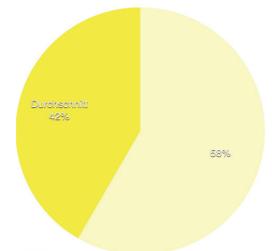
Durchschnittliche StraÙebreite: 15m

Durchschnittliche Hofbreite: 22m

Durchschnittliche Gebäudetiefe: 11m



Sonnenscheindauer



Verfügbaren Sonnenstunden/m²

Empfangene Sonnenstunden/m²

Zürich 9

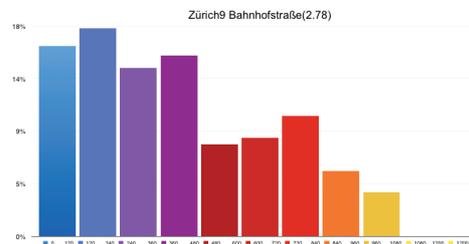
Orientierung: 30 grad Nordost

Durchschnittliche Gebäudehöhe: 22m

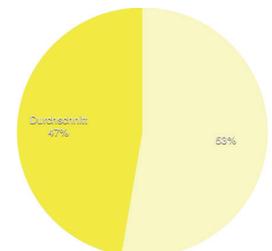
Durchschnittliche StraÙebreite: 18m

Durchschnittliche Hofbreite: 12m

Durchschnittliche Gebäudetiefe: 12m



Sonnenscheindauer



Verfügbaren Sonnenstunden/m²

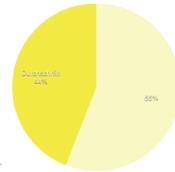
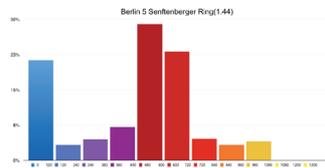
Empfangene Sonnenstunden/m²

Abbildungen:
eigene Darstellung

BERLIN

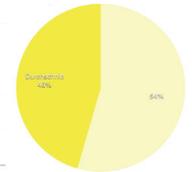
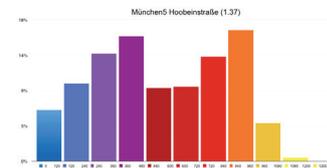
MÜNCHEN

Dichtekategorie 5



Verfügbaren Sonnenstunden/m²

Sonnenscheindauer

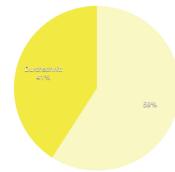
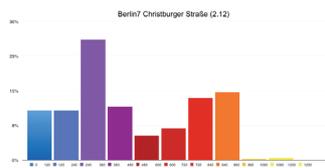


Verfügbaren Sonnenstunden/m²

Sonnenscheindauer

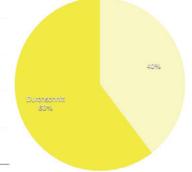
Empfangene Sonnenstunden/m²

Dichtekategorie 7



Verfügbaren Sonnenstunden/m²

Sonnenscheindauer

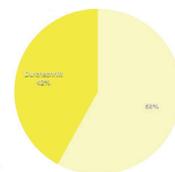
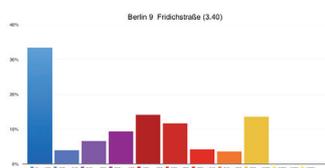


Verfügbaren Sonnenstunden/m²

Sonnenscheindauer

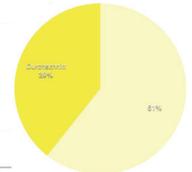
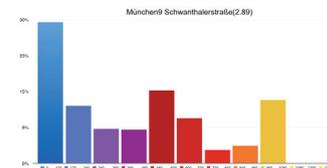
Empfangene Sonnenstunden/m²

Dichtekategorie 9



Verfügbaren Sonnenstunden/m²

Sonnenscheindauer



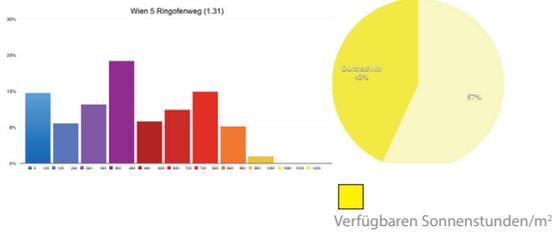
Verfügbaren Sonnenstunden/m²

Sonnenscheindauer

Empfangene Sonnenstunden/m²

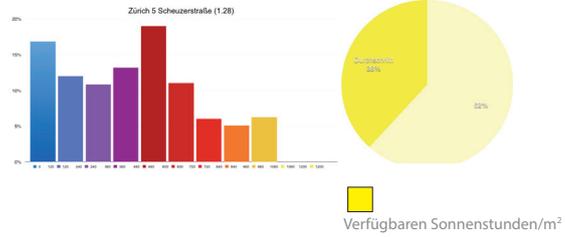
WIEN

ZÜRICH



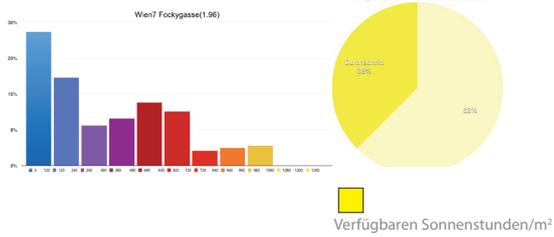
Sonnenscheindauer

Empfangene Sonnenstunden/m²



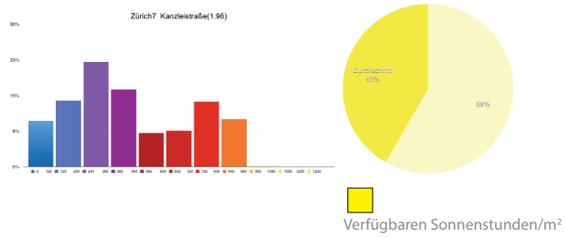
Sonnenscheindauer

Empfangene Sonnenstunden/m²



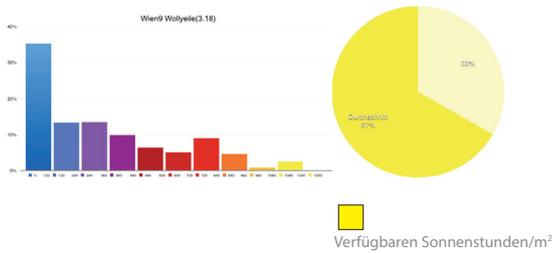
Sonnenscheindauer

Empfangene Sonnenstunden/m²



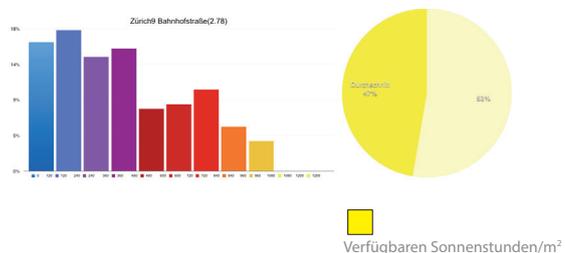
Sonnenscheindauer

Empfangene Sonnenstunden/m²



Sonnenscheindauer

Empfangene Sonnenstunden/m²

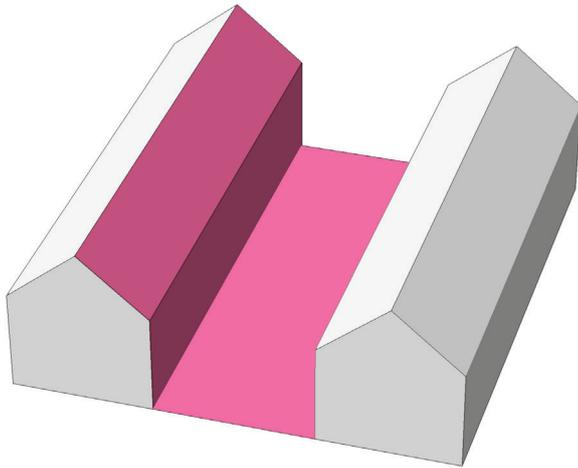


Sonnenscheindauer

Empfangene Sonnenstunden/m²

Abbildungen:
eigene Darstellung

3.5 Modell Typ 2: Straßenschlucht - Modell



Grundlage des Modells ist die Untersuchung der Lichtmenge (Sonneneinstrahlung) im Luftraum vor einer verschattenden Fassade. Die Abminderung durch den Verschatter kann in einem gerasterten Diagramm als Prozentsatz bzw. Faktor berechnet werden. Die Simulation erfolgt einzeln für jede mögliche Höhe und Orientierung des Verschatters.

Betrachtet wird der Schnitt durch eine gedachte Straßenschlucht, also die Freifläche zwischen zwei ideell unendlichen Fassaden.

Die ermittelten Faktoren werden mit der unverschattet verfügbaren Energiemenge multipliziert um den Wert für jede mögliche Fassadenposition innerhalb der Straßenschlucht zu ermitteln. Die so berechneten Werte bilden wiederum die Grundlage für die zuvor beschriebene View Factor Berechnung im Innenraum.

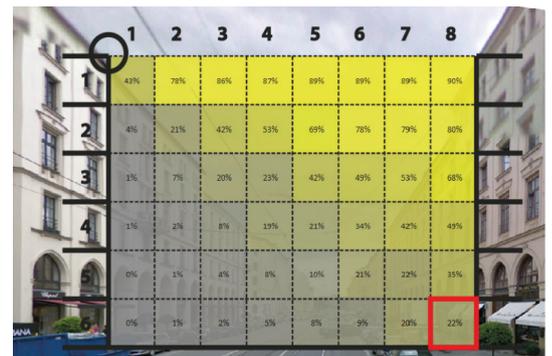
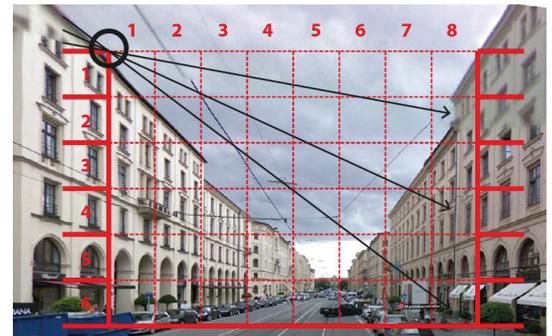
Die aus dieser Methode abgeleiteten Werte innerhalb eines angenommenen maximalen Gebäudeabstandes können auf alle in diesem Spektrum denkbaren Abstände und Höhen des Gegenübers übertragen werden. Das bedeutet, dass eine einzige Simulation relevante Ergebnisse für eine Vielzahl von Varianten wiedergibt und deren Visualisierung ermöglicht. Es ist damit möglich, mit der Vorberechnung einiger vergleichsweise wenigen Szenarien, im direkten Vergleich nahezu alle denkbaren Konstellationen abzubilden.

Die Simulationsergebnisse können leicht graphisch katalogisiert und für den Alltagsgebrauch des ‚Laien‘ zur Verfügung gestellt werden.

Dieser Modelltyp macht sich gänzlich frei von typologischen Überlegungen und fokussiert die direkte Beziehung zweier gegenüberstehender Fassaden.

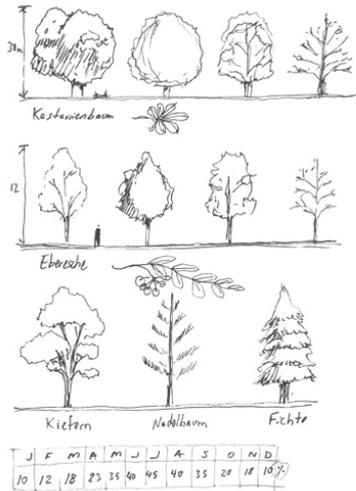
Das Modell betrachtet streng genommen nicht die Gebäude sondern den Zwischenraum und die darin vorhandene Lichtmenge, um daraus die mögliche Tageslichtversorgung im Gebäudeinnern abzuleiten.

Dieses Modell ist darauf ausgelegt, als selbständiges Werkzeug mit einfacher Benutzer-Oberfläche zu funktionieren, und wertvolle Informationen für eine Vielzahl von Entwurfsszenarien in unterschiedlichen Maßstäben und Planungsschritten zu bieten.

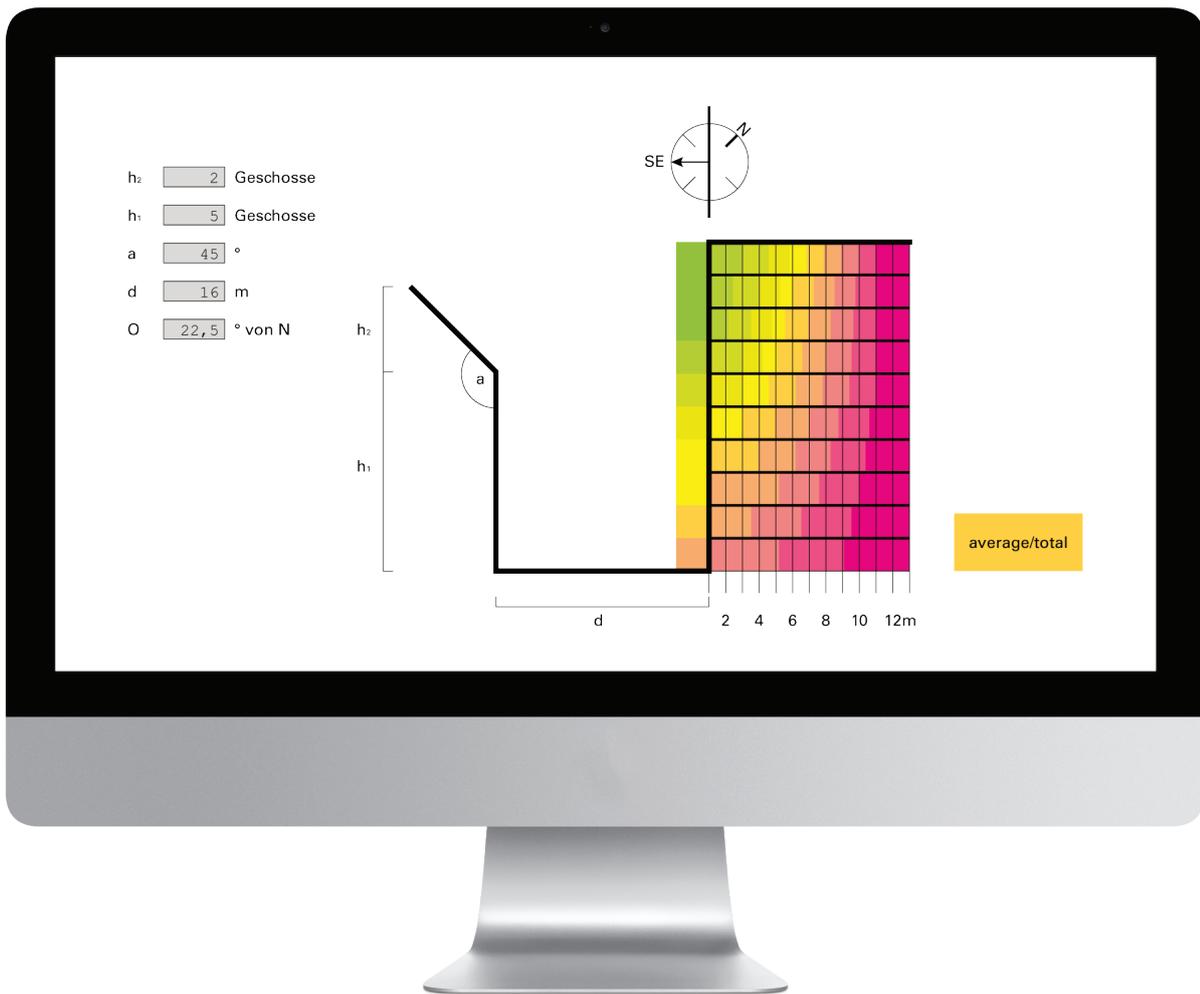


Die Umsetzung soll in Form eines im Idealfall web-basierten Tools erfolgen. Eine einfache Eingabemaske mit wenigen Parametern steht der intuitiven Darstellung der Tageslichtverhältnisse gegenüber. Es ist zu erwarten, dass diese Ergebnisse nah an die Ergebnisse aufwändigerer Simulationen herankommen.

So ist es ohne vertiefte Fachkenntnisse möglich, die Performance eines räumlichen Gefüges schnell zu beurteilen.



Das Straßenschlucht Tool berücksichtigt auch den Einfluss der Bäume im Straßenraum auf die Belichtung der Fassaden und Innenräume. Hierzu ist ein Baum-Modul eingefügt, das in Lage und Lichtdurchlässigkeit steuerbar ist. Die tatsächlichen Transparenzwerte einzelner Baumarten in Abhängigkeit von der Jahreszeit sind dabei separat zu ermitteln. Die Einbindung hinterlegter Baumdaten würde das Tool unnötig verkomplizieren, und zudem durch eine Selektivität in seiner vielseitigen Nutzbarkeit einschränken.



Abbildungen:
eigene Darstellung

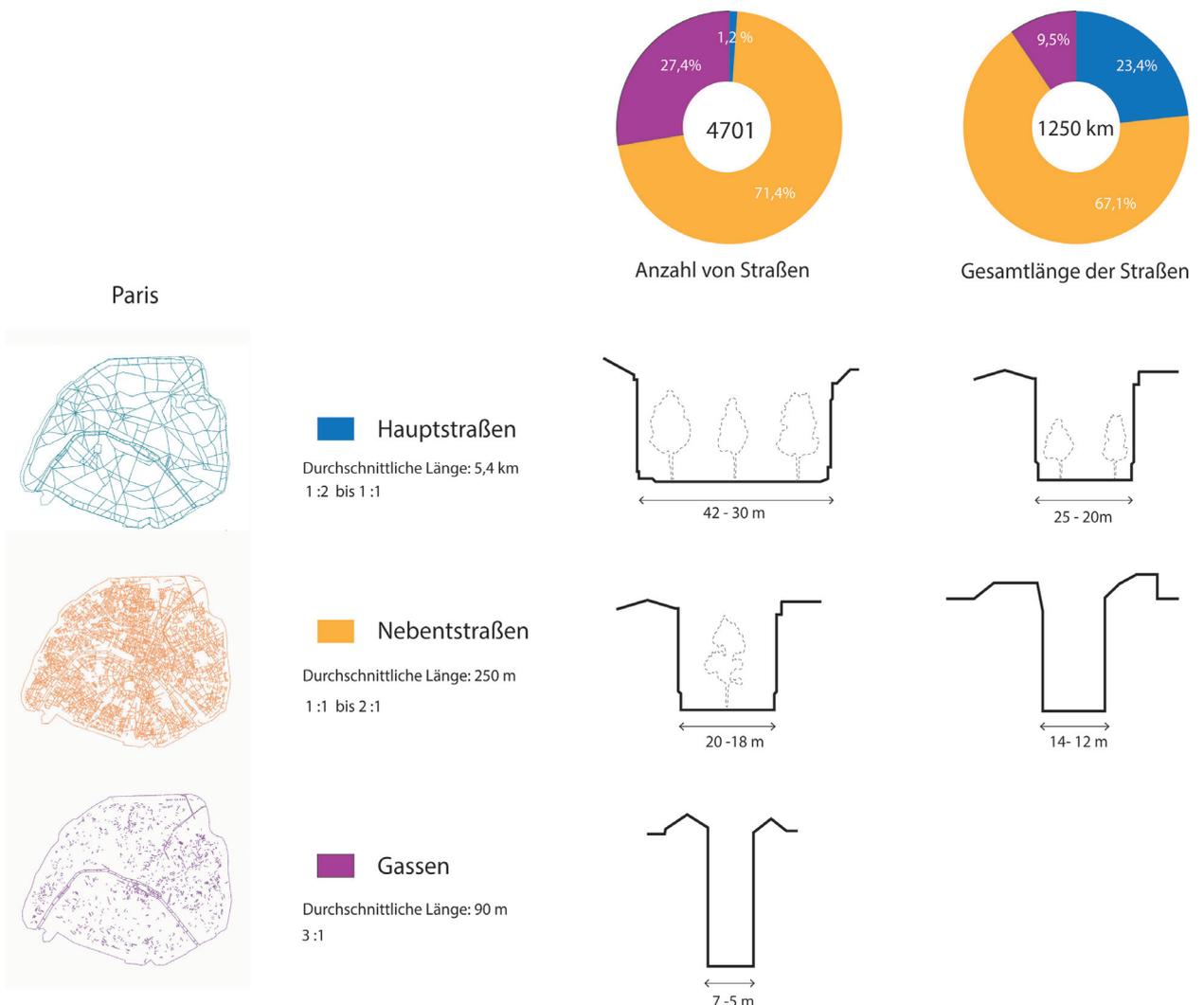
3.5.1 Modell Typ 3: Bestehende Städte

Das Straßenschluchtmodell repräsentiert auf abstrahierte Art und Weise bestehende Stadtgebiete. Die häufigsten Höhe zu Breite Verhältnisse mitteleuropäischer Straßenschluchten liegt zwischen 1:2 und 2:1.

Aus der Abbildung 3.5.1-1 sind die Hauptstraßen, Nebenstraßen und Gassen von Paris visualisiert. Im Bereich von Hauptstraßen sind Bäume und öffentliche Verkehrsmittel oft vorhanden, die durchschnittliche Länge solcher einer Straße liegt bei 5,4 km. 67,1% des gesamten Straßennetzes von Paris sind Nebenstraßen. Die Ausrichtung entlang der Himmelsrichtungen variiert stark wie in der folgenden Graphik zu erkennen ist. Um die Intensität der Besonnung zu analysieren wird ein generisches Modell einer Straßenschlucht

mit einem ähnlichen Höhe zu Breite Verhältnis und der entsprechenden geographische Position sowie der dazugehörigen Orientierung entlang der Himmelsrichtungen erzeugt. Aus dem Ergebnis der Simulation geht die Intensität der Bestrahlungsstärke auf die Fassaden und Straße für die verschiedenen Jahreszeiten hervor. Diese Information ist in den folgenden Bildern zusammengefasst als Tabelle. Die Abbildung auf der rechten Seite zeigt den Lichteinfall im Innenraum bei bedecktem Himmel für Fensteranteile von 30%, 50% und 70%. Die zusammengefassten Informationen können auch von den Nutzern des LUX-Tools erzeugt werden.

Abb. 3.5.1-1
Straßenschluchten von Paris
Eigene Zusammenstellung nach
Paris Hausmann: Modèle de ville.
LAN, 2017



3.5.2 Modell Typ 3: Simulationsergebnisse

Mit dem Ziel, die Planung von Stadtgebieten zu erleichtern, wurde ein Tool entwickelt. Verschiedene Planungsansätze überlassen die Aufgabe der Tageslicht- und Solarwärmegewinnung für die Endphasen des Planungsprozesses. Dies wird in der Regel nach baurechtlichen Vorschriften überprüft und Anpassungen am Entwurf werden durchgeführt, diese Vorgehensweise ist zeitaufwendig und ineffizient.

Wenn man jedoch das Potenzial der Solarenergie bezüglich der Gebäudehülle und Kubatur eines Hauses von Anfang an berücksichtigt, werden die so gewonnenen Erkenntnisse zu einer höheren Qualität der Wohnräume führen. Ohne spezielle Software oder 3D-Modellierung kann das Lux Tool zuverlässige Ergebnisse für verschiedene Arten

von urbanen Formen bereitstellen.

Die Höhe der Gebäude sowie die Qualität der Gebäudehülle können in Echtzeit nachvollzogen werden. Das Modell ist generisch aufgebaut, d.h. es kann nur eine begrenzte Anzahl von Parametern geändert werden. Die ausgewählten Parameter: Urbane Form, Standort und Ausrichtung, Anzahl der Stockwerke, Abstand zwischen benachbarten Gebäuden, Größe der Fenster und Qualität der Verglasung sind in der frühen Phase des Entwurfsprozesses am wichtigsten. Nachdem das Ziel einer guten Tageslicht- und Wärmegewinnleistung vereinbart wurde, kann der Einfluss der Parameter bewertet und das Konzept optimiert werden.

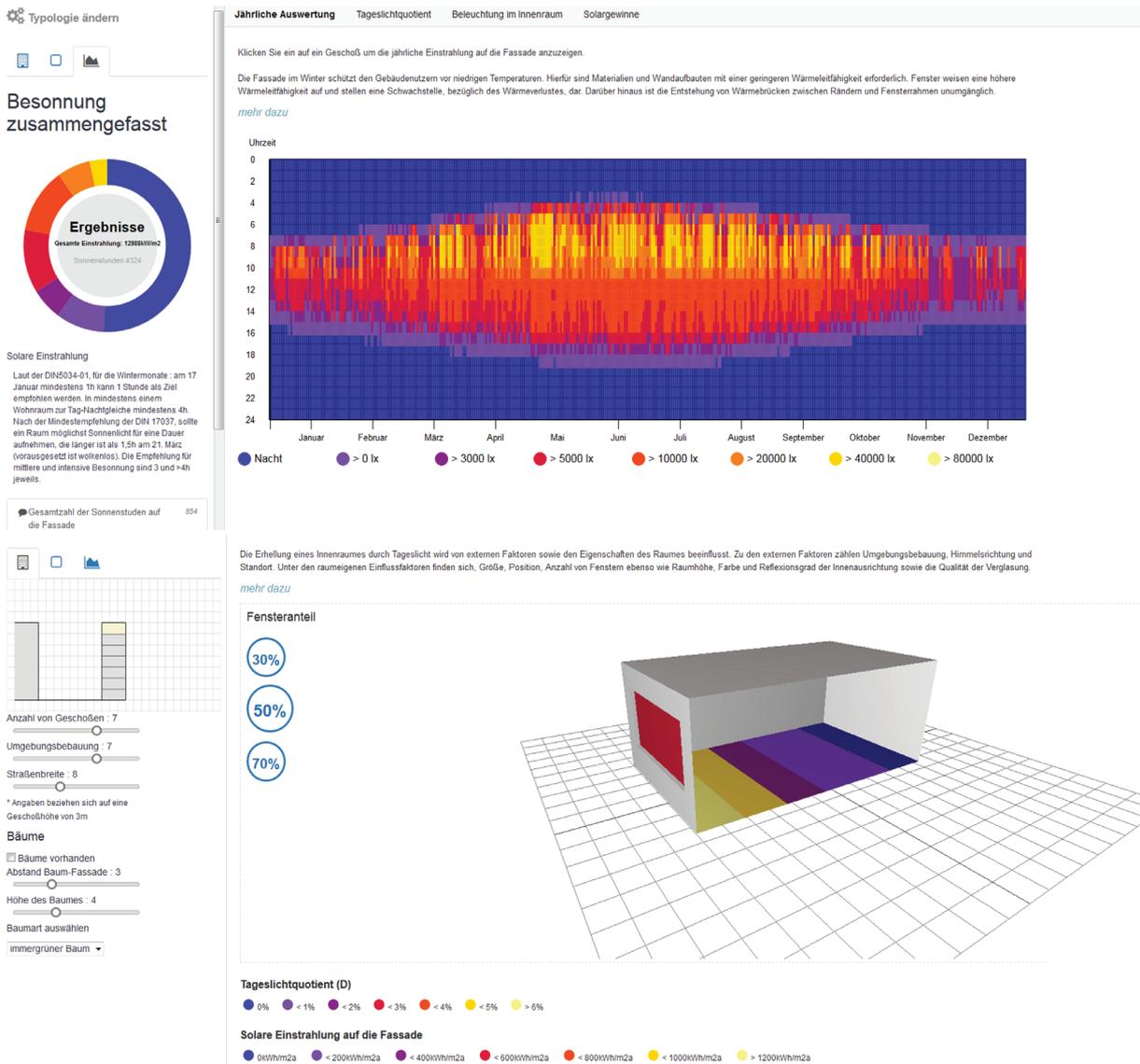


Abb. 3.5.2-1
Jährliche Auswertung
Quelle: LUX Tool

Abb. 3.5.1-2
Licht im Innenraum
Quelle: LUX Tool

3.5.2 Modell Typ 3: Licht im Innenraum

Da die Einstrahlung der Sonne in den oberen Ebenen eines Gebäudes immer höher ist, kann eine Fassadengestaltung entsprechend konzipiert werden, nämlich mit einer Variation der Öffnungsgröße oder der Verschattungseinrichtung. Übermäßige solare Gewinne können durch Vegetation reduziert werden. Die Vegetation im Winter kann je nach Baumart angepasst werden.

Der zweite Schritt ist auf Einzelräume fokussiert. So kann beispielsweise die oberste Etage untersucht und der Fensteranteil sowie die Qualität der Verglasung verändert werden. Das Tageslicht-Ziel hängt von der Nutzung des Gebäudes ab, jedoch wird, wie im Kapitel Grundlagen erwähnt, ein Mindestwert zwischen 0,7 und 0,9% und mindestens 50% des Raumes mit mehr als

3% empfohlen. Diese Empfehlungen können für jede Ebene überprüft werden. Die Analyse verwendet einen mittleren bedeckten Himmel, was in Deutschland sehr häufig vorkommt, jedoch können die Lichtverhältnisse im Innenraum auch für jede Stunde des Jahres simuliert werden. Die Position, Höhe und Breite der Fenster kann zur Verbesserung der Lichtverhältnisse angepasst werden.

Der Einfall des Lichtes im Innenraum wurde mit der Lambertschen Oberflächenmethode berechnet. Bei diesem Verfahren wird die Lichtquelle als diffuser Strahler betrachtet. Die Lichtstärke variiert je nach Abstand und Intensität der Lichtquelle.

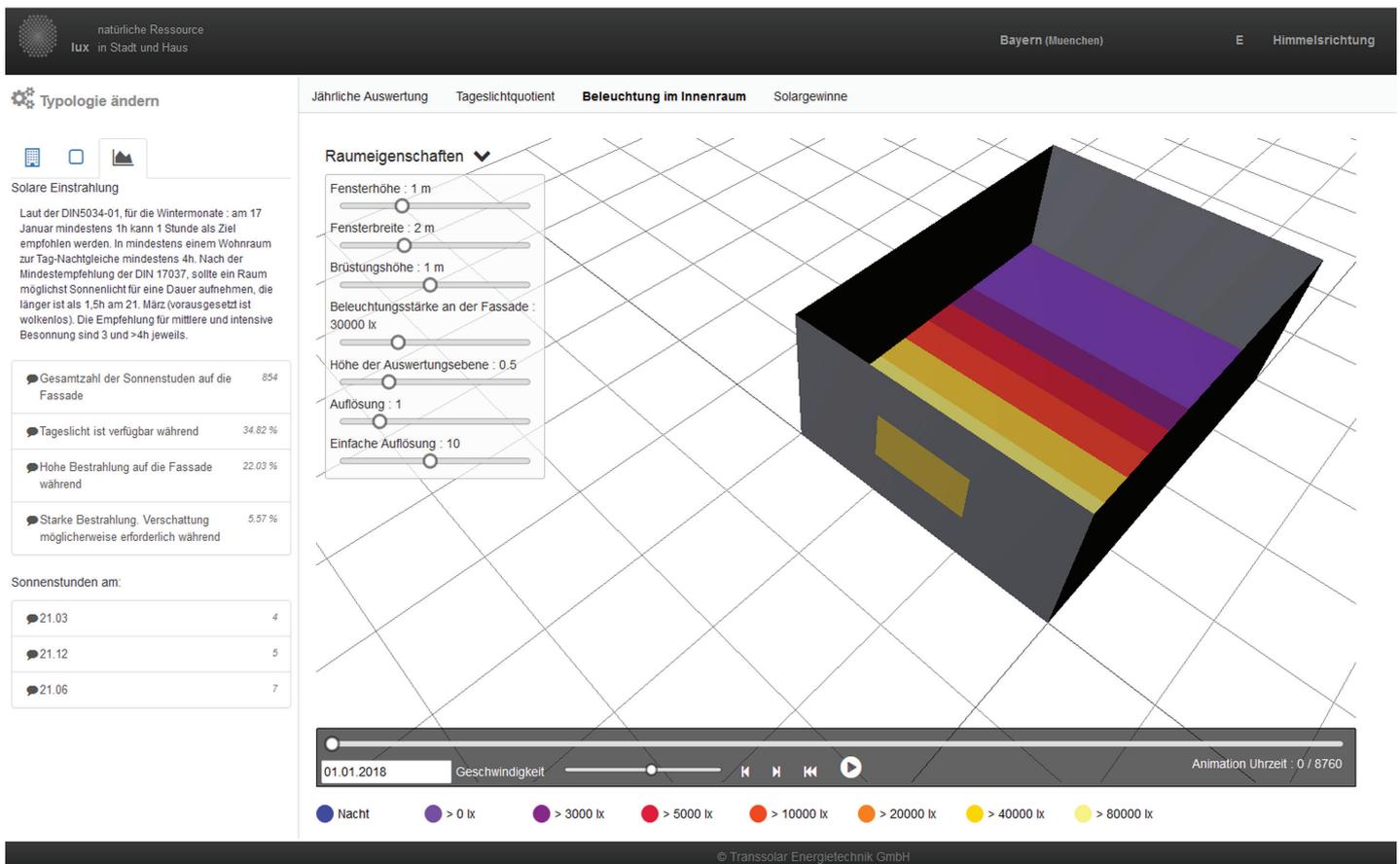
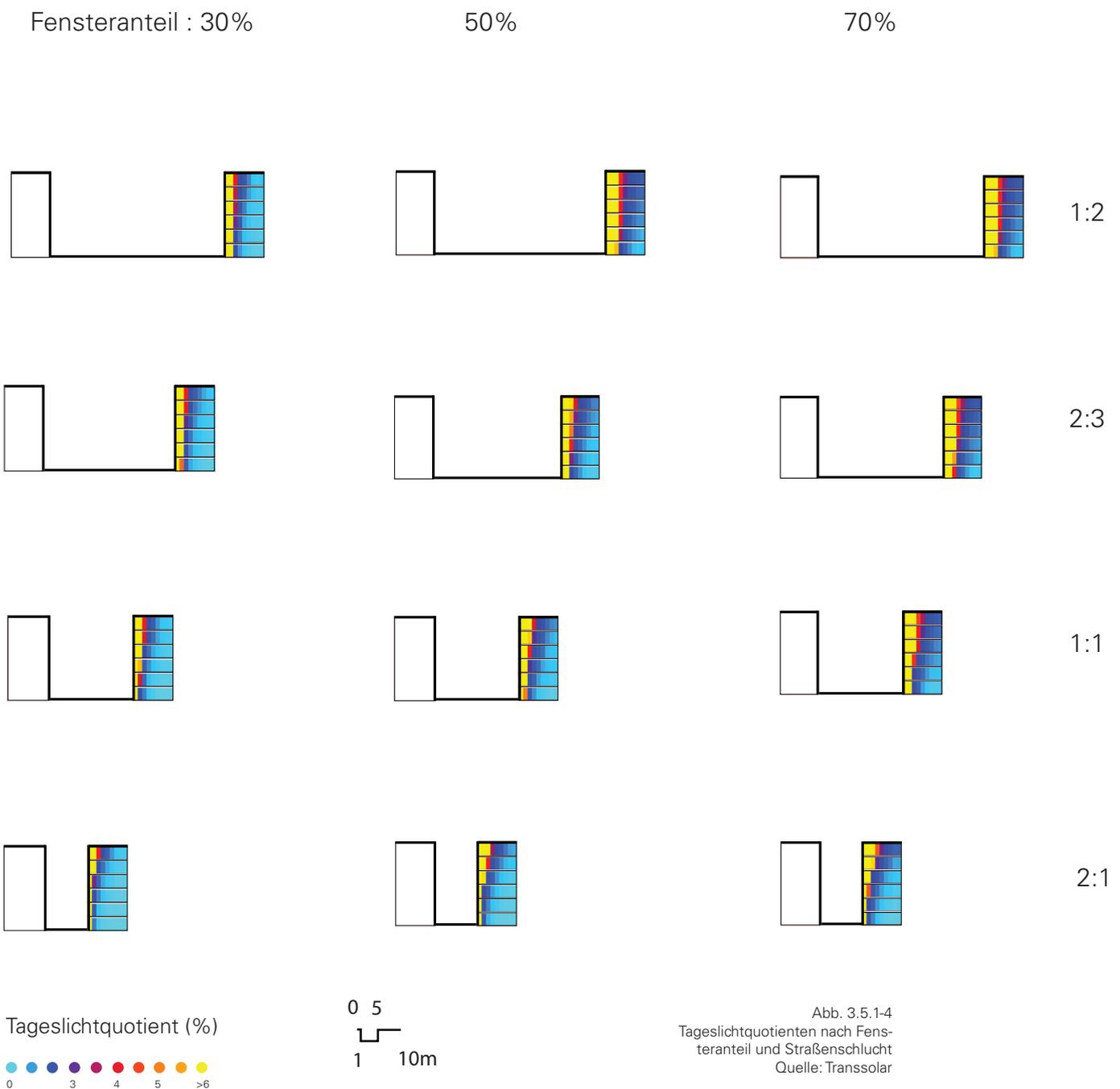


Abb. 3.5.1-3
Lichteinfall nach Fensterposition
Quelle: LUX Tool

3.5.2 Modell Typ 3: Schraßenschluchten und Tageslichtquotienten

Die dargestellten Ergebnisse für einen Raum und ein Straßenschlucht-Verhältnis können interpoliert werden, um die Ergebnisse verschiedener Straßenschluchten anzuzeigen, abhängig vom Fensteranteil, zum Beispiel 30, 50 oder 70%. Dies macht deutlich, dass höhere Lichtverhältnisse entweder durch Vergrößerung der Schlucht oder durch Vergrößerung des Fensteranteiles

erreicht werden können. Welche dieser beiden Optimierungsarten die effizienteste ist, lässt sich definieren, wenn man die Ausrichtung und die Wärmegewinnung berücksichtigt. Das Lux Tool deckt ebenfalls diese Problemstellung ab.



3.5.2 Modell Typ 3: Wärmebilanz eines Fensters

Zum Schluss wird eine Wärmebilanz eines Fensters dargestellt. Die Fassade ist die Schnittstelle zwischen Außen und Innen, hier findet der größte Energieaustausch statt. Die Sonneneinstrahlung tritt durch Öffnungen in das Gebäude ein, die Verglasung wirkt wie ein Filter, der die einfallende Strahlung senkt, dieser Effekt gilt für die visuelle und die Infrarotstrahlung.

Die Verglasung stellt den größten Wärmeverlust während der Wintermonate der Gebäudehülle dar. Das Lux-Tool rechnet die Wärmegewinne und -verluste aus. Es können verschiedene Arten von Verglasungen ausgewählt werden, die aus thermischer und visueller Sicht bewertet werden können. Die solaren Gewinne nehmen im Sommer zu. Die Wärmeverluste werden monatlich nach der

VDI-Richtlinie 2067 / DIN 4108 T6 berechnet, die Innentemperatur bei 20 ° C und die Heizgrenze bei 15 ° C angenommen. Die Außentemperatur basiert auf den vom DWD ermittelten jährlichen Werten.

Heizgradtage sind typische Indikatoren für den Energieverbrauch der Haushalte bei der Raumheizung. Die Grafik mit den monatlichen solaren Gewinnen (gelb) wird mit dem Wärmeverlust (blau) verglichen. Die Höhe der Wärmeverluste, die durch den monatlichen solaren Wärmegewinn gedeckt werden können, ist auf dieser Seite zusammengefasst.



Abb. 3.5.1-5
Wärmebilanz eines Fensters
Quelle: LUX Tool

3.5.2 Modell Typ 3: Straßenschlucht Modelle

Das Proportionsprinzip von Straßenschluchten kann angewendet werden, um die Sonneneinstrahlung auf zwei vertikale Flächen darzustellen, die Fassaden und eine horizontale, nämlich die Straße. Der Einfluss der Auslegungsparameter kann unabhängig voneinander untersucht werden. Die folgende Grafik zeigt vier Proportionen einer Straßenschlucht, die vier grundlegenden Straßenausrichtungen, die acht entsprechende Himmelsrichtungen darstellen.

Und die Sonneneinstrahlung für Juni, die den Sommer repräsentiert. Werte über 90 kWh/m² können als sehr besonnt angesehen werden, weshalb die Zuordnung von Wasserflächen, Gehwegen, Beschattungsschirmen und Vegetation zur Vermeidung von Wärmeinseln mit diesem

Ansatz ausgelegt werden kann.

März und Dezember stellen die Schulterperiode und den Winter dar. Die optimalen Plätze für Wintergärten, Balkone und Terrassen könnten durch diesen Ansatz bestimmt werden. Für die Fassaden zu SE, S und SW können Werte von 50 bis 60 kWh/m² während der Monate erreicht werden. Insbesondere im oberen Drittel eines Hauses. Diese Wirkung wird auch bei Eckgebäuden und Plätzen verstärkt.

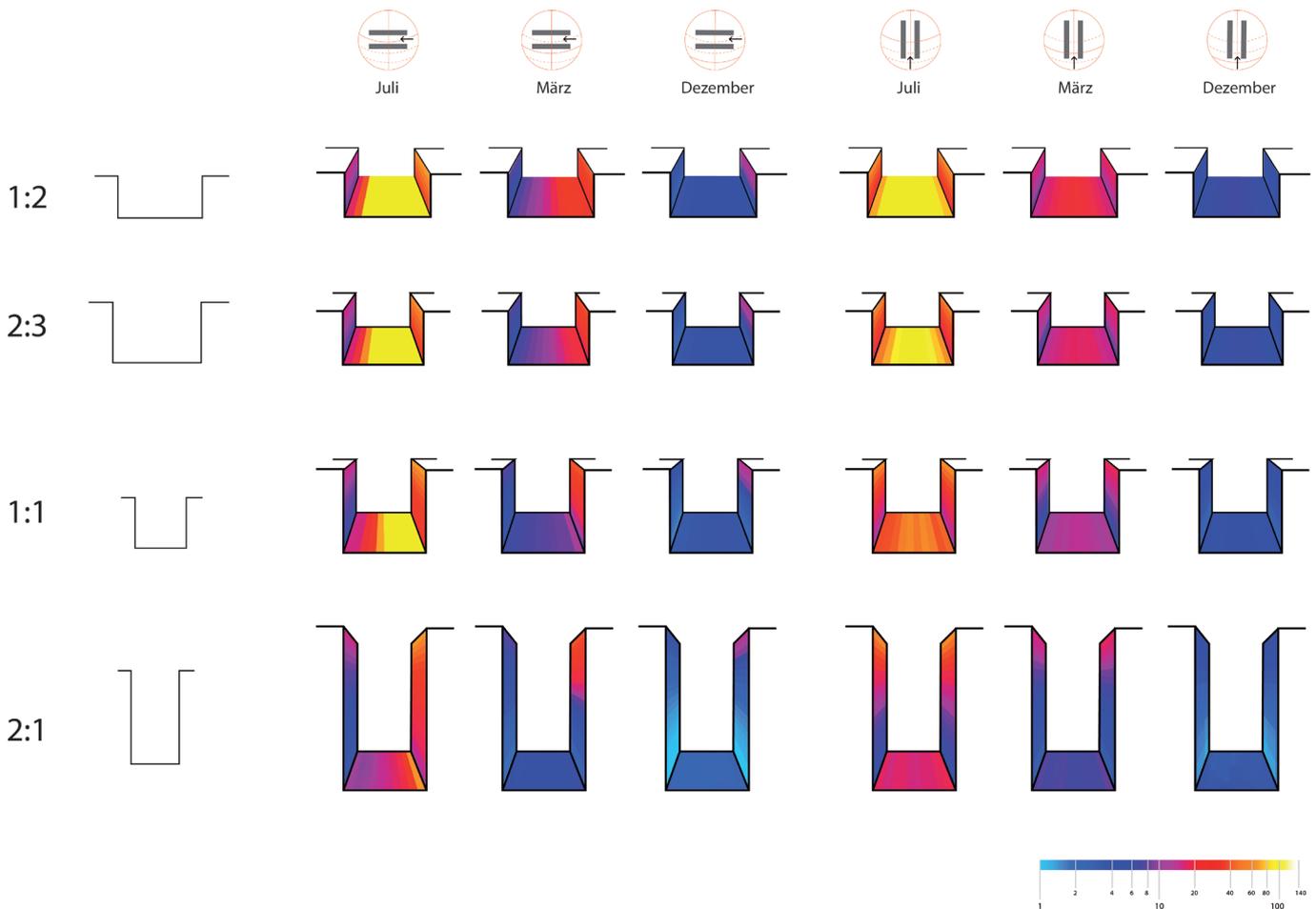


Abb. 3.5.1-6
Einstrahlung auf eine Straßenschlucht
Himmelsrichtung: N-S und O-W
Quelle: Transsolar

Anhang A: Expertengespräche

Der praktische Nutzen im Planungsprozess S. 116
ein Gespräch mit Prof. Markus Nepl (Karlsruhe Institute of Technology)

Die Bedeutung des Tageslichts für den Körper S. 122
ein Gespräch mit Prof. Herbert Plischke

Eine Annäherung an die Bewertung von Lichtqualität S. 128
ein Gespräch mit Prof. Martin Schmidt

Der praktische Nutzen im Planungsprozess

ein Gespräch mit Prof. Markus Neppi (Karlsruhe Institute of Technology)

Markus Neppi: Ich kann das gut nachvollziehen was ihr hier macht oder machen wollt.

In der Tat spielt die Frage der Belichtung nur dann eine Rolle, wenn man sagt „ich will in größere Dichten.“ Denn wenn man relativ wenig dicht baut, dann ist das relativ einfach. Dann sagt man, „ich hab eine gewisse Baukörpertiefe“, da spielt das eine Rolle. Das Problem, das wir heute tatsächlich haben ist, dass wir durch die energetischen Hintergründe gezwungen sind, das A/V-Verhältnis immer weiter nach oben zu treiben, weil es heute wirklich nicht mehr einfach ist, den Wärmeschutznachweis zu erfüllen, oder sogar in Plus-Bereiche zu kommen.

Das hat enormen Einfluss auf die Fassaden, aber auch auf die Baukörperform. Es gibt eine einfache und oft angewandte Lösung: Ich kapituliere und klatsch alles voll Thermohaut, halte den Öffnungsanteil sehr niedrig und treibe das A/V Verhältnis ganz hoch. Dann entstehen fast identische Baukörper, auch wenn es verschiedene Architekten machen. Es gibt Bautypen, die sich gerade im gehobenen Bereich etabliert haben. Man will nicht mehr nur den Blockrand, man will den Stadtvillentyp, man versucht den aber möglichst kompakt anzuordnen.

Der reine Blockrand ist vom AV-Verhältnis immer noch ganz vernünftig. Aber je tiefer die Blockränder werden, desto mehr Probleme bekommen sie. Insbesondere in den Eckbereichen, aber auch in den Regelzonen.

Deswegen passiert es sehr oft, dass man versucht mehr Masse in einen Körper zu packen, um das AV Verhältnis zu erhöhen und zugleich auch seitliche Belichtung zu ermöglichen. Dadurch werden die Baukörper immer tiefer, nach der Prämisse ‚je kompakter desto besser‘. Und umso mehr kann man sich Freiheiten in der Fassadengestaltung erspielen. Da besteht ein sehr enger Zusammenhang.

Das führt aber dazu, dass zunehmend mehr Bereiche unbelichtet bleiben. Bei Raumtiefen jenseits 5m wird es bereits mit der Belichtung schwierig. Wir sind aber heute schon bei Tiefen von 14m im Blockrand bis 16-18m. Ich war gerade in der Jury eines Wettbewerbs in Köln für eine Baugenossenschaft, bei dem diese Parameter sehr weit ausgereizt werden mussten. Die sind bei sehr tiefen Baukörpern gelandet. Dadurch entstehen aber die nächsten Probleme. Die Wohnungen können nicht unendlich groß sein. Man produziert dadurch fast automatisch innenliegende Bäder und Küchen, oder sogar innenliegende Erschließungen.

Man produziert dann theoretisch energetisch sinnvolle Baukörper, muss im Gegenzug aber große Bereiche künstlich belichten. Im Wärmeschutznachweis spielen beispielsweise die Energiekosten für Belichtung keine Rolle. Das ist bei der energetischen Betrachtung eines Gebäudes ein Fehler. Es hört nicht bei der Heizenergie auf, sondern man müsste auch Lüftungsenergie und

Belichtungsenergie berücksichtigen. Das ist heute vielleicht nicht mehr so viel wie früher, aber es ist auch eine Prinzip-frage. Das spielt dann eine Rolle, wenn immer höhere Dichten und immer bessere Flächeneffizienz gefordert werden, gleichzeitig aber auch Ansprüche an die Wohnungsgrundrisse bestehen.

In Berlin wird mittlerweile nicht mehr unter einer GFZ von 2,0 gebaut. In Hamburg wurden wir für ein Gebiet angefragt, da geht die Zielvorgabe an die 3,0 – und das ist nicht einmal Innenstadt. Auch in Berlin war ich neulich in einer Jury, wo bei einem schwierig zu bebauenden Grundstück die GFZ kurz unter 3 lag. Da ist die Frage nach der Belichtung schon gerechtfertigt, denn das führt zwangsläufig zu sehr voluminösen Baukörpern.

Ein Planungswerkzeug, das in den Bereich der Simulation geht, ist beim Entwerfen keine Hilfe. Man muss da Sachen entwerfen, welche dann simuliert werden, und dann kann man die Ergebnisse beurteilen. Das Ziel müsste sein, bei relativ einfach nachvollziehbaren Grundregeln anzukommen. Wir haben bei vielen Projekten, zum Beispiel in der Hafencity Hamburg, ein Prinzip angewandt, bei dem wir uns gefragt haben, wie wir relativ hohe Dichten erzielen, gleichzeitig aber ab einem gewissen Horizont die Gebäudeform drastisch verändern können. Eigentlich geht das nur, wenn man eine Hochhaustypologie mit einer Blockrandtypologie kreuzt. Die entscheidende Frage, die dann genau betrachtet werden muss, ist: Wie kann man so einen Hochpunkt an der

richtigen Stelle platzieren? Das ist noch eine relativ einfache Frage.

Wenn es noch dreidimensionaler wird, wird die Frage noch spannender. Bei hohen Dichten werden z.B. die Erdgeschosszonen sehr schnell problematisch. Ich fände es gut, wenn im Ergebnis eurer Forschung einige relativ einfache volumetrische Grundformen herauskämen, die sich eindeutig auf hohe Dichten beschränken. Unter einer GFZ von 2,0 ist die Fragestellung nicht interessant.

Wenn man einen Blick auf Megacities wie Tokio wirft, wo sehr hohe Dichten produziert werden, scheint die These zu gelten: wir brauchen immer mehr Dichte, das führt unweigerlich zu weniger Licht, und das ist eben so. Die Frage ist, ob das für unsere Breitengrade funktioniert.

Ich finde aber zunehmend noch eine andere Frage wichtig. Wenn wir vom Wohnungsbau einmal weggehen: Ein immer größeres Thema ist auch der Sonnenschutz. Im Bürobau kehrt sich das Thema um. Durch die Bedeutung der Bildschirmarbeitsplätze entsteht genau das umgekehrte Problem. Das hat man früher nicht wirklich beachtet. Bei den üblichen vollflächigen Glasfassaden war das Ziel immer, möglichst viel Licht ins Haus zu bringen. Ich kenne aber viele Bürogebäude, bei denen das ein großes Problem ist, weil sie die Sonne nicht mehr aus dem Haus herausbekommen. Dort hat man sehr mit Blendung, aber auch mit Überhitzung im Sommer

zu kämpfen. Das ist aber auch ein anderes Thema, das dann interessant wäre, wenn man gemischte Strukturen betrachten würde.

Jakub Pakula: *In unserer Studie geht es zunächst einmal nur um Wohnen. Unser Ansatz ist ein relativ Einfaches Geometriespiel bei dem es darum geht, wie man die Baumasse und die Tageslichtausbeute gleichzeitig maximieren kann. Dabei gehen wir davon aus, dass mehr Licht grundsätzlich besser ist. Über die Ausbildung der Fassade kann man den Licht- und Energieeintrag ins Gebäude gut steuern. Wenn der Städtebau aber schon verhindert, dass das Tageslicht die Gebäudehülle erreicht, wird es problematisch.*

MN: Ich bin mir nicht mehr ganz so sicher, ob das stimmt. Wir nehmen in der Praxis vermehrt wahr, dass auch die Nutzer das anders sehen. Da ist es heute ein wichtiges Anliegen, die Hitze im Sommer aus den Häusern herauszuhalten. Die banale Lösung, die schnell gefordert wird, ist selbst in Wohngebäuden eine Teilklimatisierung vorzusehen. Das ist energetisch natürlich nicht klug, und es erfordert einen hohen technischen Aufwand – aber wir sind mit solchen Forderungen konfrontiert.

JP: *Das heißt, flapsig formuliert, die Leute wollen Klimatisierung, weil sie keine Lust haben, im Sommer den Rolladen herunterzufahren. Ist es denn besser, wenn man von vornherein – schon auf der städtebaulichen Ebene - verhindert, dass das Licht ankommen kann?*

MN: Nein. Aber wenn man im Sommer in Karlsruhe durch die Innenstadt läuft, sieht man etliche Wohnungen, bei denen das Abluftrohr einer mobilen Klimaanlage aus dem geöffneten Fenster heraushängt. Das ist ganz großer Unfug und eine energetische Katastrophe.

Barcelona hat den größten Energieverbrauch im Hochsommer, weil enorm viel elektrische Energie benötigt wird, um die unzähligen Klimaanlagen zu versorgen, die dann dauerhaft in den meisten Wohnungen in Betrieb sind. Das ist für die Stadt mittlerweile ein richtiges Problem. Und der Energieverbrauch wächst weiter rapide an.

Ich glaube, man muss das Thema differenzieren. Es

ist unstrittig, dass man in der Wohnung möglichst viel Licht haben will. Aber Licht und Sonne sind nicht dasselbe. Direkte Sonneneinstrahlung kann auch ein echtes Problem sein.

JP: *Ein wichtiges Ziel unserer Arbeit ist, dass das Ergebnis einen praktischen Nutzen für die Arbeit des entwerfenden Architekten oder Stadtplaners haben soll. Und zwar in den frühen Planungsphasen, bevor man den Rat von Experten einholt, die ja erst das bereits Entworfenen bewerten können. Wir wollen den Planer in die Position versetzen, sich der Folgen seiner Handlungen im Bezug auf Tageslicht bewusst zu sein. Du bist selbst Planer, sowohl Architekt als auch Stadtplaner. Wie bewertest Du den Bedarf?*

MN: Die erste Frage wäre, für welche Art von Planung das nützlich sein soll. Geht es um den Quartiersmaßstab oder um einzelne Gebäudeprojekte?

JP: *In erster Linie geht es uns um den Quartiersmaßstab. Geometrisch bewegen wir uns auf einem sehr einfachen Niveau. Wir berücksichtigen keine Auskragungen, Nischen, Details der Fassadengestaltung sondern ganze Baukörper im Verhältnis zueinander.*

MN: Dann ist die Überlegung wichtig, was für die Planung im Quartiersmaßstab relevant ist. Wir bewegen uns hier nicht im Baurecht sondern im Planungsrecht. Nach welchen Parametern wird ein städtebaulicher Entwurf umgesetzt?

Im Bereich Energie sind die über die Zeit entstandenen Forschungsergebnisse eingeflossen in die Baugenehmigung. Es begann mit Grundlagenforschung vor über 20 Jahren. Andreas Wagner und andere haben begonnen, sich Gedanken zu machen, wie man ein Gebäude energetisch verbessern kann. Dann kam irgendwann der Passivhausstandard (Hegger), und letztendlich ist die ganze Forschung in eine Normung eingeflossen, die wir heute erfüllen müssen – allen voran EnEV. Das hat nicht mehr nur mit dem Projekt zu tun, sondern man muss gewisse Werte schlicht nachweisen, sonst bekommt man keine Baugenehmigung. Das ist sehr stark bezogen auf das einzelne Gebäude. So wie man einen Statiknachweis oder einen

Stellplatznachweis führen muss, muss man eben auch einen Energienachweis führen.

Meiner Ansicht und meines Wissens nach gibt es dieses ganze energetische Thema auf der Quartiersebene nicht. Man kann zwar ein Energie- und Versorgungskonzept für ein Quartier erstellen, aber das endet immer an der Parzellengrenze. Die einzelnen Nutzer oder Eigentümer zur Einhaltung des Konzepts zu zwingen, ist selten möglich.

Die Frage, wo man eine solche Forschung ansiedelt, ist die nach dem Anwender. Im Quartiersmaßstab wäre die logische Konsequenz: Das muss im Planungsrecht in die Gutachtenphase. z.B.: „jedes Wohnprojekt muss eine Belichtungssimulation nachweisen“. Das müsste ins Planungsrecht – nicht in die Baugenehmigung. Das ist schon zu spät, da ist das städtebauliche Volumen längst geklärt, und jeder versucht, es auszunutzen. Der Architekt sagt dann: „Da kann ja kein Licht hin kommen. Der Block ist so ausgerichtet, da kommt nie Licht hin. Dafür kann ich nichts, aber ich muss da irgendwie Wohnungen unterbringen.“

Es müsste also neben existierenden Verfahren wie Schallgutachten, Grünausgleich etc. eben auch ein Belichtungsgutachten gefordert werden. Man braucht dafür ein belastbares System, das in der Lage ist, einen städtebaulichen Entwurf schnell auseinanderzunehmen. Und man braucht Standards, z.B. für Mindestbelichtungen in bestimmten Situationen. So dass man im Ergebnis feststellen kann, dass es in einem Entwurf Bereiche gibt, die unter diesen Standard fallen. Als reines Entwurfshilfetooll fehlt dem Ganzen noch die Relevanz. Ein kluger Entwerfer kann sich dessen bedienen, aber er muss es nicht.

Dafür muss zunächst die Bedeutung und Wichtigkeit des Ganzen gut begründet sein. Wenn es bald Leuchtmittelhersteller gibt, die in der Lage sind, das Tageslicht perfekt zu imitieren, könnte man ja auf die Idee kommen, dass die natürliche Belichtung keine Rolle mehr spielt.

Denn es gibt auch gewichtige gegenläufige Interessen, vor allem das Interesse an einer hohen ökonomischen Flächenausnutzung. Die ist politisch legitimiert durch den Druck auf dem Wohnungsmarkt und dem Ruf nach der kompakten

Stadt. Das ist die Argumentation auf der politisch-gesellschaftlichen Seite.

An der Stelle muss man ansetzen und sagen: Ohne Licht geht es nicht. Es muss aber schlüssig nachgewiesen sein, dass das natürliche Tageslicht wirklich notwendig ist, z.B. auch biologisch.

Das gesamte Thema ist ein Aspekt, der zurzeit im Planungsrecht keine Rolle spielt. Im Baurecht sind gewisse Belichtungsnachweise zu führen, aber die setzen im Grunde zu spät an.

JP: *Genau hier setzen wir an. Die baurechtliche Anforderung beschränkt sich auf die Vorgabe der DIN 5034-1: „Ein Wohnraum gilt als ausreichend besonnt, wenn seine Besonnungsdauer am 17. Januar mindestens 1 h beträgt.“ Die Wahl dieses Datums erscheint etwas beliebig. Dem gegenüber stehen baurechtliche Regelungen zu Abstandsflächen, bei denen die Himmelsrichtungen keine Rolle spielen.*

MN: Das ist ein Aspekt, den man sofort versteht. Man muss aber wissen, dass die Abstandsflächen historisch aus dem Brandschutz entstanden sind. Insbesondere bei hohen Dichten hatten sie ursprünglich nichts mit Besonnung zu tun.

Ich glaube, es ist ein guter Ansatz, die bestehenden Abstandsregelungen in Frage zu stellen und aufgrund verschiedener gut belegbarer Kriterien neue Abstandsregelungen zu generieren, die sich aus den relevanten Faktoren speist – insbesondere für das Wohnen.

Es kann ja durchaus sein, dass im Ergebnis bei hohen Dichten Bereiche nachgewiesen werden, in denen dann keine Wohnnutzung möglich ist. Dort können aber andere Nutzungen untergebracht werden. Zum Beispiel Gewerbe oder Büroflächen. Die Betrachtung der Tageslichtausbeute könnte also auch ein Motor für die Verteilung von Nutzungen im Quartier sein, und so durch eine intelligente Verteilung höhere Dichten ermöglichen. Das wäre dann auch planungsrechtlich interessant – wenn es einen sinnvollen Mindestbelichtungsnachweis gäbe, und in Bereichen, in denen das nicht gelingt, nur andere als Wohnnutzungen möglich wären.

Was ich nicht gut fände, wäre ein Tool, das

Geometrien vorgibt – und aussagt, gewisse Ecken oder Ausrichtungen ‚gingen nicht‘. Man darf ja nicht vergessen, dass auch die Belichtung nur ein Parameter unter vielen ist, die städtebaulich eine Rolle spielen.

Die jüngere Entwicklung zeigt beispielsweise zunehmend Bauvorhaben mit Flurerschließung. Das soll die Anzahl der Aufzüge minimieren, führt aber z.B. zu reinen Nordwohnungen. Das ist schon bedenklich. Noch vor wenigen Jahren war das undenkbar. Mittlerweile sind bei Wettbewerben mit hohen Dichten und komplexeren Programmen teils mehr als die Hälfte der Beiträge mit Fluren erschlossen.

Das LUX-Tool wird dann interessant, wenn es sehr früh im Planungsprozess ermöglicht, die Belichtungssituation im Quartiersmaßstab konkret zu bewerten – noch bevor die Baukörper und Volumen feststehen. Das wäre dann für Städte bei der Erstellung von Bebauungsplänen und für Entwerfer gleichermaßen nützlich.

Wichtig ist für die Praxistauglichkeit auch die Komplexität. Je mehr Beteiligte eine Fragestellung bearbeiten, umso unübersichtlicher wird sie. In vielen Bereichen, z.B. bei Klimagutachten ist der Planer auf Fachleute angewiesen, und kann das Ergebnis der Expertise inhaltlich kaum konkret nachvollziehen.

Eine Anforderung an ein solches Tool wäre daher, dass sie die Komplexität des Themas auf ein einfaches Maß herunterbricht und dabei für den Anwender einfach und zuverlässig funktioniert.

Wir haben mit dem LUX-Projekt nicht den Anspruch, eine eigenständige, komplexe Software zu entwickeln. Der Fokus liegt auf dem Verstehen der geometrischen Zusammenhänge. Wir erzeugen eine große Datenbank und das LUX-Tool soll in erster Linie einen intuitiven Zugang zu den darin enthaltenen Daten ermöglichen. Es geht darum, die Zusammenhänge zwischen Sonneneinstrahlung und Gebäudegeometrie im Quartiersmaßstab verständlich und zugänglich zu machen.

Der Begriff des Quartiers ist zurzeit, auch in der Nachhaltigkeitsdebatte, in aller Munde.

Auch die DGNB ist damit beschäftigt, für den Quartiersmaßstab Bewertungsmodelle zu entwickeln.

Im Quartiersmaßstab hat man mit ganz anderen Parametern zu tun, als bei der Betrachtung von Einzelgebäuden. Das wird oft nicht verstanden. Die Annahme, ein Quartier sei nur die Summe seiner Gebäude, ist falsch. Im Quartiersmaßstab gibt es Besitzgrenzen und eine klare Abgrenzung von öffentlich und privat. In dem Moment spielt ein ganz anderer Hintergrund eine Rolle. Letztendlich ist immer die Frage: wie groß ist die Einheit, mit der man sich beschäftigt, und dabei ist die Besitzgrenze ganz entscheidend. Wenn ein ganzer Block einen einzigen Besitzer hat, z.B. eine Genossenschaft, kann man damit alles machen. Hat man die gleiche Größenordnung in einem parzellierten Block, ist man sehr viel eingeschränkter. Deshalb kommt es wieder darauf zurück: wenn die Ergebnisse der LUX-Forschung über die reine Wissensgenerierung hinaus eine Rolle spielen sollen, dann müssen sie perspektivisch ins Planungsrecht einfließen. Es gibt viele gescheiterte Bemühungen, solche energetischen und bauphysikalischen Themen auf dieser Ebene zu etablieren.

Das Planungsrecht stößt aber auch an seine natürlichen Grenzen. Zum Beispiel ist es fast unmöglich, darüber Einfluss auf den Bestand zu nehmen. Wenn ein Altbau energetisch eine Katastrophe ist, dann wird das so bleiben. Es gibt auch wirtschaftliche Kriterien, die gewisse Grenzen aufwerfen, und das muss man berücksichtigen. Das Planungsrecht darf auch nicht überreglementieren, weil das Bauen dadurch irgendwann zu sehr erschwert wird. Die Frage, was man über das Planungsrecht regeln kann, und was nicht, ist nicht trivial.

Trotzdem kann ich mir vorstellen, dass man die These aufstellt: Analog zum ökologischen Nachweis kann auch die Belichtungssituation auf einem einfachen Niveau bereits zu diesem frühen Zeitpunkt geregelt werden. Dazu wäre auch eine bewertende Betrachtung bereits erzeugter Geometrien interessant – zum Beispiel die Betrachtung bestehender Bebauungspläne. Zu welchen Ergebnissen kommt man dort bei Anwendung der gleichen Kriterien, wie bei der

parametrischen Geometrieerzeugung?

JP: *Das ist auch Teil unseres Vorhabens: wir betrachten gemeinsam mit Studenten die verschiedenen Wettbewerbsbeiträge zum Olgaareal in Stuttgart, und vergleichen diese miteinander.*

MN: Das ist ein interessanter Ansatz. Es wäre auch spannend zu sehen, wie die Studenten mit den von euch vorgegebenen Kriterien eigene Vorschläge ausarbeiten könnten, die auf demselben Gelände evtl. besser funktionieren. Das interessante daran ist – festzustellen, welchen Einfluss die Erkenntnisse in der Praxis auf den Entwurfsprozess haben können.

Wir machen derzeit eine Studie in Hannover. Die Stadt möchte einen gewissen Anteil an Passivhäusern im Quartier vorgeben. Typologisch funktioniert das mit einem Stadthautyp besser, als im klassischen Geschosswohnungsbau. Die Frage ist also: wie und nach welchen Kriterien kann man den geforderten Anteil sinnvoll im Quartier verorten? Das ist etwas, was einen sehr großen Einfluss auf den dreidimensionalen Entwurf hat. Das hat mit Straßenquerschnitten und gewissen stadträumlichen Kriterien zu tun. Die Belichtung wäre ein zusätzliches Kriterium, das eine derartige Entscheidung belastbarer machen könnte.

Eine Grundlagenforschung, wie hier, ist zunächst wichtig. Es macht aber früh Sinn, sich Gedanken über die spätere Anwendung zu machen. Die energetische Bewertung von Quartieren wäre aus meiner Sicht so ein potentielles Anwendungsgebiet, weil sie derzeit sehr problematisch ist.

Am konkreten Bauvorhaben lassen sich solche Quartiersüberlegungen nur im großen Maßstab, z.B. mit großen Wohnungsbaugesellschaften umsetzen. Spannender finde ich die Frage, wie man parzellierte Quartiere beeinflussen kann, die schwierige Besitzverhältnisse haben.

Ein großes Thema ist dabei die Innenentwicklung und die Nachverdichtung. Sobald man über eine Erhöhung der Dichte spricht, ist die betroffene Öffentlichkeit meist ängstlich und negativ eingestellt. Die Belichtung ist dabei meist ein

zentrales – oft auch berechtigtes - Gegenargument. Eine These wäre: Wenn wir uns früher und klüger mit dem Thema beschäftigen, dann können wir es auch besser lösen.

Es steckt schon einiges in der Fragestellung des LUX-Projekts, was hohe städtebauliche Relevanz hat. Wichtig ist dabei, dass es nachvollziehbar und verständlich wird, damit es die notwendige Relevanz auf Planungsebene entfalten kann.

JP: *Vielen Dank für das Gespräch.*

Die Bedeutung des Tageslichts für den Körper

ein Gespräch mit Prof. Herbert Plischke

Thomas Jocher: *Sehr geehrter Herr Plischke, Vielen Dank, dass Sie sich zu diesem Gespräch bereit erklärt haben. Uns liegt bei unserer Forschung sehr viel daran, auch den Blickwinkel und die Kompetenz anderer Disziplinen einzubinden. Das Forschungsprojekt LUX ist ohnehin ein interdisziplinäres Projekt. Wir haben es auch schon bei vergangenen Forschungen, z.B. ‚ready‘, so gehalten, dass wir den Austausch mit unterschiedlich spezialisierten Fachleuten suchten. Ich denke, dieser Austausch ist für alle Seiten bereichernd und fördert die Wissensschöpfung ungemein.*

Herbert Plischke: Ich freue mich sehr über den Austausch, und über die Gelegenheit, auch die Forschungsthemen anderer Fakultäten mitzubekommen. Am Ende geht es ja immer um das Gleiche: Wir wollen die Lebensqualität der Menschen verbessern. Neben vielen anderen architektonischen, ästhetischen und städtebaulichen Kriterien soll der Lebensraum für Menschen gut, sein, gesund sein und es soll energieeffizient sein und es soll auch gewisse Qualitätskriterien halten.

Das ist das Ziel, und um es zu erreichen, müssen verschiedene Disziplinen involviert sein. Ich komme von der baubiologischen Seite. Herr Prof. Schmidt, den Sie auch eingeladen haben, kommt von der lichttechnischen Architekturseite und Sie kommen von der städtebaulichen Architekturseite.

Jakub Pakula: *Herr Plischke, Die grundlegenden Anätze und Ziele unserer Forschung kennen Sie nun bereits.*

Eine der wichtigsten Fragen, die wir uns stellen, spielt direkt in Ihr Fachgebiet hinein: die Frage nach dem Qualitätskriterium in der Bemessung des Tageslichts. Wir gehen davon aus, dass im Wohnungsbau nicht der Nachweis einer konstanten Luxzahl auf Schreibtischhöhe das entscheidende Kriterium sein kann - auch nicht ausschließlich und vorrangig der energetische Aspekt mit Wärmeeintrag und Wärmeverlust. Die Frage ist, wie können wir Lichtqualität für einen Lebensraum beschreiben und quantifizieren, um sie als Bewertungskriterium auf unser Modell anwenden zu können. Welche Parameter, Größen und Kategorien spielen dabei eine Rolle?

HP: Der baubiologische Aspekt ist dabei wichtig, weil der Mensch sich seit jeher nach dem Sonnenlicht orientiert. Das ist das, was da war seit ewigen Zeiten. Als der Mensch noch in der Höhle gewohnt hat, hat er es in der Nacht dunkel gehabt, am Tag war er draußen. Tageslicht - Sonnenlicht - ist das, was unseren Körper steuert. Wenn wir genügend Tageslicht haben, haben wir eine der wichtigen Voraussetzungen erfüllt, um gesund zu sein. Das Licht ist immens wichtig, weil es die Hormone steuert.

Die gesundheitlichen Folgen von Tageslichtmangel wurden in den so genannten Andechser Experimenten erforscht. Dabei wurde eine Gruppe

junger Menschen in geschlossenen Räumen, nur mit Kunstlicht untergebracht. Sie konnten frei darüber entscheiden, wann sie wach sind und wann sie schlafen. Die „externe“ Zeit spielte dabei keine Rolle. Man stellte fest, dass die innere Uhr des Menschen anders taktet. Ein Tageszyklus dauert da im Mittel 25 Stunden. bei manchen sind es 30, bei manchen sogar 36 Stunden. Wir haben also einen endogenen Rhythmus. Andere haben Zyklen von nur 15-20 Stunden. Sie werden viel früher wach und gehen um 5 Uhr wieder ins Bett. Unter natürlichen Bedingungen ist dann der eine am Tag ständig müde und nicht leistungsfähig während der andere vielleicht leistungsfähiger ist, weil er gerade seinen Hochpunkt hat.

Das erleben wir heute, wenn wir weit weg fliegen, zum Beispiel nach Kalifornien. Da haben wir einen Jetlag, sind die ersten Tage völlig durcheinander, weil wir nicht in der lokalen Zeit sind. Während um uns alle wach sind, schlafen wir eigentlich innerlich. Dann brauchen wir eine gewisse Zeit in der Sonne um uns zu akklimatisieren.

TJ: *Die Konsequenz wäre, dass man unter gesundheitlichen Gesichtspunkten nur nach Norden oder Süden reisen sollte?*

HP: Dann hätten wir das Jetlag-problem nicht, Statt dessen ist man weit im Norden und weit im Süden über lange Zeiträume der Dunkelheit ausgesetzt. Aus chronobiologischer Sicht ist der Äquator besonders zu empfehlen.

Das ist schon Teil Ihrer Frage: woran orientieren wir uns prinzipiell? Der aktuelle Stand der Wissenschaft ist der: Wenn wir über Lichtqualität sprechen, dann müssen wir uns immer an dem natürlichen Tageslicht orientieren, genauer gesagt am Tageslichtverlauf.

Schauen wir uns den Bereich des Kunstlichts einmal an:

Man geht in einen Raum hinein, schaltet einen Schalter an und das Licht ist immer das gleiche Licht. Im Falle des Arbeitsplatzes sind es forschrittmäßig konstant 500 LUX. Das ist entweder zu viel Licht - am Abend stört es die Hormone - oder es ist zu wenig Licht - am Vormittag wird der Biorhythmus nicht aktiviert. Es ist also immer zu viel oder zu wenig. Deswegen geht man dazu über, dynamische Systeme einzuführen, die sich nach den Biorhythmen der Natur orientieren. Man spricht auch vom „Human Centric Light“. Dabei spielt neben dem visuellen Teil des Lichts (was brauche ich, um lesen oder arbeiten zu können) auch der nichtvisuelle Teil eine Rolle, weil der den Hormonhaushalt steuert. Damit der Mensch in der Nacht schlafen kann, und er am Tage fit ist. Auch dauerhaftes Kunstlicht kann einen Jetlag verursachen, weil die Synchronisation zwischen astronomischem und persönlichem Tageszyklus nicht funktioniert. Das betrifft beispielsweise sehr oft Schichtarbeiter. Die haben dadurch ganz reale und enorme Probleme mit der Gesundheit: Abfall der Leistungsfähigkeit, Diabetes und Herz-Kreislauf-Erkrankungen

könne die Folge sein. Chronodisposition ist der Fachausdruck für diese Rhythmusstörung der inneren Uhr.

Was wir also in unserer Umgebung brauchen, ist eine möglichst gute hell-dunkel Amplitude. Das bedeutet: Dunkelheit in der Nacht. Kein Licht in der Nacht wäre optimal. Tageslicht am Tag wäre auch optimal.

Nun muss man das in Einklang bringen in unserem modernen Leben. Oft steht man im Dunkeln auf. Dann fährt man U-Bahn, wo man sehr starkem Licht ausgesetzt ist. Anschließend kommt man ins Büro - das ist wunderbar verglast, aber thermisch isoliert. Es kommt kein Blauanteil mehr durch das Glas. Wenn man ein verglastes Gebäude hat, stellt sich die Frage, ob da überhaupt noch Tageslicht oder natürliches Licht ankommt.

JP: *Wie lang ist denn Tageslicht noch Tageslicht?*

HP: Das ist ein wichtiger Punkt: Welcher Anteil der biologisch wirksamen Bestandteile des Lichts kommt noch durch die Isolierverglasung? Visuell lassen moderne Gläser sehr viel durch, aber biologisch wird das meiste herausgefiltert.

Bei hohen Gebäudetiefen ist das Problem noch größer, da kommt man um die künstliche Beleuchtung ohnehin nicht herum.

Hier kommt das natürliche Prinzip zum Tragen. Die Schwierigkeit ist die, dass der Schichtbetrieb in der Natur nicht vorkommt. Die wichtigen biologisch wirksamen Bestandteile des Tageslichts wollen wir nun in das Gebäude hineinbringen - ins künstliche Licht. Das geht durch die Steuerung und Imitation von Farbtemperaturverläufen und Lichtintensitäten. Morgens wird die Lichtstärke gedrosselt, über den Tag hinweg wird es heller, und abends wieder weniger. Gleichzeitig werden Abends wärmere Lichttöne eingesetzt. Dabei orientiert man sich an der Natur. Der aktuelle Stand der Wissenschaft in der Chronobiologie ist der: Wir haben nicht das ideale Know-How um die ideale Lichtumgebung zu planen, aber wenn wir uns an der Natur orientieren, machen wir nichts falsch.

TJ: *Im Planen und Bauen ist man aber immer auch mit Normen und Vorschriften konfrontiert. Das macht die Sache komplizierter. Über die Vorgabe der 500 LUX am Arbeitsplatz haben wir schon gesprochen. Es gibt aber auch die DIN 5034, die unter anderem den Nachweis einer Sonnenstunde in jedem Wohnraum am 17. Januar fordert. Wieso ist das eigentlich der 17. Januar?*

HP: Die Din 5034 verlangt auch einen Tageslichtquotienten von 0,9 in halber Raumtiefe. Der Wert gilt ja für Arbeitsstätten, aber er kommt aus einer Untersuchung von Wohnräumen. Deshalb heißt es in der Norm, er gilt für wohnraumähnliche Arbeitsräume. Grundlage der Festlegung war eine Befragung von Bewohnern mit der Frage, ab wann ein Raum subjektiv zu dunkel sei. Gleichzeitig hat man die Tageslichtquotienten für die untersuchten Räume ermittelt. So kam man auf den Wert von 0,9 in halber Raumtiefe. Es ist durchaus berechtigt, solche Festlegungen auf wissenschaftlicher Ebene zu hinterfragen.

Das beschäftigt auch mich in meiner Arbeit. Zu den ganz klassischen Vorgaben für Beleuchtung und Lichttechnik kommt jetzt ein Thema, das ganz neu ist, eigentlich aus der Biologie und Medizin. Die Bemühungen, das normativ abzubilden sind schwierig. Es gibt ja noch viele Aspekte, die man nicht exakt beschreiben kann. Wir haben nur die Möglichkeit spektral was zu ändern. Beim Kunstlicht sind es die Farbtemperaturen, in denen sich das zeigt. In den Fenstern und Verglasungen ist es die Transmission, die man beeinflussen kann. Das haben wir uns auch angeschaut. Gleiche Gläser, die ganz normale G-Werte für Gebäude haben, weisen eine gleiche Transmission im sichtbaren Bereich auf. Die gleichen Gläser weisen aber Unterschiede von 10-15 % in dem Bereich der biologisch wirksam ist, also um die 490nm. Das hat einen ganz großen Einfluss. Die Glashersteller wissen sehr genau, wie ihre Gläser aufgebaut sind, und kennen die Werte exakt. Es fehlt aber noch das Bewusstsein, worauf es dabei ankommt.

Wichtig für den biologischen Effekt ist das Licht am Auge, d.h. die Lichtmenge, die die Rezeptoren am Auge erreicht, und so die Hormonsteuerung aktiviert. Dabei geht es eher um ein allgemeines Helligkeitsniveau. Dabei hat

das Tageslicht einen entscheidenden Vorteil: Wenn man von der Dämmerung mal absieht, ist das Tageslichtspektrum unabhängig von der Witterung relativ konstant. Eine LUX Beleuchtungsstärke im visuellen Bereich entspricht einem LUX der für die biologischen Lichtwirkungen relevanten Luxvarianten.

Man muss aber eine bestimmte Helligkeitsschwelle erreichen, um überhaupt einen biologischen Effekt zu erzielen. Die DIN 5031-100 beschreibt die unterschiedlichen biologischen Lichtwirkungen. Insbesondere hervorzuheben ist die Melatonin-suppression. Hierzu legt sich die DIN auf mindestens 250 LUX biologisch wirksamer Lichtstärke am Auge fest, um einen Effekt zu erzielen. Diese Lichtstärke muss natürlich über einen gewissen Zeitraum hinweg auf das Auge einwirken, um eine Chronodisruption zu verhindern. Die Aussage ist: wenn man 250 Lux mit dem biologisch bewerteten Auge über mehrere Stunden, z.B. einen Vormittag empfängt, dann ist der Mensch genug aktiviert und ausreichend synchronisiert, dass er nicht aus seinem biologischen Rhythmus kommt.

Man braucht eine Beleuchtungsstärke, die annähernd dem Tageslicht äquivalent ist, damit die innere Uhr auf 24 Stunden getaktet wird. Das Licht sagt dem Körper: „Es ist jetzt wieder Morgen.“ Das Melatonin wird durch das blaue Licht unterdrückt, und dann bin ich am Abend relativ zur richtigen Zeit müde. Da kann die Melatonin-ausschüttung wieder ansteigen. Dann bin ich synchronisiert.

TJ: *Sie haben eine mindestens erforderliche Einwirkungsdauer angesprochen. Kann man die konkretisieren?*

HP: Es gibt Studien aus der Psychiatrie und aus der Lichttherapie. Diese besagen, 10.000 Lux über eine halbe Stunde sind wirksam bei der Behandlung von endogenen Depressionen oder saisonalen Depressionen. Das wird als 5000 Luxstunden beschrieben. Bei den zuvor genannten 250 LUX bräuchte man 10 Stunden, um auf diesen Wert zu kommen. Man kann auch mit anderen Lichtstärken arbeiten, das hängt davon ab, wie das Spektrum aussieht. Entscheidend ist, ob im Blaubereich genügend Strahlungsleistung vorhanden ist.

TJ: *Was heißt das übertragen auf das Tageslicht?*

HP: Ein trüber Sommertag hat bis zu 10.000 LUX. Wenn der Raum künstlich ausreichend ausgeleuchtet ist, dann kommen etwa 150 bis 200 Lux am Auge an. Bei einer indirekten Beleuchtung kommt man auf ca. 150 Lux am Auge. Beim Tageslicht kommt natürlich schnell mehr zusammen. Die 250 Lux werden an einem normal hellen Tag sehr schnell überschritten.

TJ: *Wie lässt sich das in ein quantifizierbares Mindestkriterium für Wohnräume übertragen?*

HP: Die Fokussierung auf den Wohnbereich ist wichtig für das Bewertungskriterium. Für eine Arbeitsstätte ist die Sache einfacher. Da wird bezogen auf einen Arbeitsplatz eine halbzyklische Beleuchtungsstärke ermittelt, weil man davon ausgeht, der Arbeitende hat einen Halbraum vor sich, den er ständig besieht. Meist gibt es feste Arbeitszeiten und damit verbundene klare chronobiologische Ziele: Wenn jemand vormittags arbeitet, soll er aktiviert werden und nachmittags soll er normal arbeiten können, so dass er abends gut schläft und für den nächsten Tag wieder fit ist. Für Wohnungsbau, der ja ganz anders genutzt wird, stellt sich die Sache schwieriger dar. Man hat eine Nutzung am Morgen und eine Nutzung abends und den Teil der Freizeit dazwischen.

Wir haben den Vorteil, dass wir hier über Tageslicht reden. Man kann vereinfacht sagen, das Tageslicht ist immer da, wenn es benötigt wird. (Nur im Winter steht tendenziell zu wenig Tageslicht zur Verfügung). D.h. zunächst ist mehr gleich besser.

Ein möglicher Ansatz wäre eine Anlehnung an die Betrachtung der Tageslichtautonomie. Die Frage müsste lauten: Welchen Teil der Zeit, in der ich mich zuhause aufhalte, ist die ideal wirksame Beleuchtung rein durch Tageslicht gewährleistet, und wann muss ich mit Kunstlicht unterstützen? Diesen Wert kann man dann optimieren. Allerdings fehlt bei der Methode ein absolutes Kriterium, also eine Mindestschwelle. Man könnte z.B. fragen: wie oft im Jahr erreiche ich 250 Lux vertikal am Auge? Idealerweise ist das über Zeiträume, und nicht über Momentaufnahmen ausgedrückt.

JP: Ein absolutes Kriterium könnte die notwendige Einwirkungsdauer für den gesundheitlichen Effekt sein. Sie sprachen zuvor von 5.000 Luxstunden. Dazu kommt die Frage nach relevanten Zeiträumen im Tagesverlauf.

HP: Der wichtigste Zeitraum ist der Vormittag. Sinnvoll wäre eine Betrachtung in Relation zum Außenraum. D.h., wenn das Kriterium im Freien erfüllt ist, ist es im Innenraum ebenfalls erfüllt? Geht man von den 250 Lux aus, und einem Zielwert von 5 Stunden, ist das allerdings im Grunde schon die gesamte 1. Tageshälfte. das bedeutet, solange die Sonne scheint, müsste man als Ziel im Innenraum die 250 Lux immer erreichen.

Chronobiologisch ist - neben dem Morgen - auch der Abend entscheidend. Es gibt Fröhlypten, die normalerweise morgens um 3 Uhr wach und fit sind, und dann mit der Arbeit beginnen. Da ist es noch dunkel. Diese Menschen sind dann um 18 Uhr schon müde und gehen ins Bett. Für sie wäre am Abend ein Blauanteil gut, weil das die innere Uhr verschieben würde, damit sie länger durchhalten und am nächsten Tag später aufstehen, um 4 oder 5 Uhr. Die Sonne würde das von selbst regeln, wenn wir im Alltag genug Sonne abbekämen.

JP: Aber das Sonnenlicht hat doch abends auch weniger Blauanteil.

HP: Im Sommer hat es genügend Blauanteil bis ca. 21/22 Uhr.

JP: *Wir verfolgen, in Übereinstimmung mit dem zuvor gesagten, den Ansatz, dass grundsätzlich mehr Tageslicht besser ist. Überschüsse lassen sich Fassadentechnisch ausblenden. Es kann aber gerade in den kritischen Wintermonaten nur in die Raumtiefe eindringen, was auch die Fassade erreicht. Dabei gehen wir auf die Fassade nicht detailliert ein, gehen aber von einem gängigen Öffnungsanteil von 30-50% aus. Dabei erfolgt die Bewertung zunächst quantitativ vergleichend. Entscheidend wäre für uns ein qualitatives Kriterium, also doch die Einführung einer Mindestschwelle, bei der man für einen losgelösten Einzelfall sagen kann: Das ist ein gutes Belichtungsergebnis.*

HP: Mardaljevic hat den Useful Daylight Index eingeführt, in dem er sagt, dass Beleuchtungsstärken sowohl unter als auch über gewissen Grenzwerten nicht nützlich sind¹. Die Spanne geht dabei von 100 bis 2000 Lux. Um in den Vorgaben der baurechtlichen Bestimmungen und den chronobiologisch interessanten Werten zu bleiben, kann man die Spanne auf 500 bis 2000 Lux einschränken. Es gibt auch Untersuchungen von Christoph Reinhart, ähnlich auf Quartierebene oder sogar noch größer, bei denen es auch um eine übergeordnete Bewertung ging. Die untersuchten Volumina wurden nach verschiedenen Kriterien, bauphysikalisch, thermisch und auch im Hinblick auf Tageslicht untersucht und bewertet. Aber ich habe bisher noch nicht von solchen Studien gehört, bei denen es um cerebral wirksame Aspekte geht.

Das fände ich ganz wichtig für solch eine Studie, die sich mit so einem frühen Stadium der Architektur befasst. Da geht es ja um konzeptionelle Dinge, um Bauleitplanungen und ähnliches. Wenn man auf dieser frühen Ebene den biologischen Aspekt mit einbezieht, das wäre sehr wertvoll.

Das würde zu einem Bewusstsein im ganz frühen Planungsprozess beitragen, dass es wichtig ist, sich damit auseinanderzusetzen. Je mehr schon an städtebaulicher Stelle dazu beigetragen wird, desto weniger technische Hilfslösungen werden nachher benötigt.

Modernes Kunstlicht muss auch in der Lage sein, die biologischen Anforderungen zu erfüllen. Es kann das Tageslicht aber nicht ersetzen, deswegen sind tageslichtoptimierte Planungen nicht nur energetisch, sondern auch gesundheitlich sinnvoll und wichtig.

Zurück zur eigentlichen Frage: Das perfekte Maß gibt es meiner Meinung nach nicht. Denn was wäre das Perfekte? ist es der Sonnentag? Es gibt nun mal auch regnerische Tage und die sind auch wichtig für uns und die Natur. Ich glaube, es wird immer eine relative Betrachtung sein müssen: wie gut kann ich das was ich außen vorfinde, im Innern herstellen. Dabei wird das Maximum nie erreicht, aber es gibt einen Punkt, unter den man nicht kommen darf oder sollte.

¹ vgl. Nabil A, Mardaljevic J. (2005a) und (2005b)

JP: *Genau diesen Punkt suchen wir. Der Versuch, diesen Punkt über ein subjektives Qualitätskriterium zu beschreiben, ist (jedenfalls für unsere Zwecke) zum Scheitern verurteilt, weil man dieses nicht in Zahlen ausdrücken kann.*

HP: Bei quantitativen Kriterien geht es oft um Gleichmäßigkeit und die haben wir beim Tageslicht nicht. Die möchte man beim Tageslicht auch nicht haben. Man bin es gewohnt, dass man am Fenster viel Licht hat und hinten ganz wenig. Das weiß man ganz instinktiv, und es fühlt sich richtig an. Beim Kunstlicht geht das noch eher, aber das Tageslicht ändert sich ständig, es kann ganz suppig sein und überhaupt nicht spannend und es kann extrem differenziert sein und schattig. Also qualitativ eine Aussage treffen, ist das jetzt ansprechend gutes Licht....

JP: *...das funktioniert nicht. Das ist uns auch bewusst. Wir hoffen, dass das aus der medizinischen-biologischen Warte eher machbar ist. Aus unserem Gespräch gewinne ich den Eindruck, dass man durchaus einen Mindestwert benennen kann, der erreicht werden muss, um eine chronobiologische Wirkung zu erreichen. Das wäre aus meiner Sicht ein sinnvolles Kriterium, das eine qualitative Aussage zulässt: Raum X ist ein schlechter Wohnraum, wenn nicht über einen Mindestzeitraum im Jahr eine chronobiologische Wirksamkeit zustande kommt.*

TJ: Vielen Dank, auch dass Sie sich Zeit für uns genommen haben. Alles was wir von außen erfahren ist, so ist es immer bei jeder Forschung, immer sehr hilfreich.

HP: Es war eine sehr gute Diskussion, ich finde den Fokus Ihres Projekts sehr wichtig. Ich freue mich auch über das Zustandekommen des Austauschs.. Gerade die Architekten sind eine so wichtige Berufsgruppe, die man einfach auf dieses Thema sensibilisieren muss.

Eine Annäherung an die Bewertung von Lichtqualität

ein Gespräch mit Prof. Martin Schmidt

Thomas Jocher: Herr Schmidt, wir möchten uns mit Ihnen über die Bewertung von Lichtqualität im Innenraum unterhalten. Das zentrale Thema unserer Forschungsarbeit ist die Entwicklung einer Bewertungsmethode für Wohngebäude im städtebaulichen Maßstab. Ich bin selbst in der Praxis - sowohl in Jurys als auch im eigenen Büro in Wettbewerben - mit dem Thema konfrontiert. Dabei ist bei uns ein generelles Thema, die Gebäude so zu formen, dass möglichst viel Sonnenstrahlung zur Hüllfläche kommt, weil über die Hüllfläche die Energie verwertet werden kann, ob als Tageslicht für den Innenraum, oder als Wärme- oder Stromquelle. Wie man das volumetrisch am besten anstellt, ist noch nie systematisch untersucht worden. Das wird vor allem interessant bei hohen Dichten, also bei einer GFZ von 1 oder mehr.

Wir fragen uns, mit welchen Gebäudetypen man die besten Ergebnisse erzielt. Sind es Zeilen, oder Blöcke, oder vielleicht Hochhäuser?

Es gibt vielleicht aber auch eine sinnvolle Grenze, wieviel Licht man überhaupt verwerten kann. Wir suchen also nach einem Bewertungskriterium, wieviel Licht man an der Fassade optimalerweise sammeln müsste, um sagen zu können: Im Innern des Gebäudes herrschen angemessene, gute Lichtverhältnisse. Das hängt sicher von der Tiefe und von der Höhe der Räume ab. Aber auch die Nutzung spielt eine Rolle. Die Anforderungen an Wohngebäude sind sicher andere, als an Arbeitstätten.

Martin Schmidt: Es gibt eine Industrieuntersuchung von der Firma Philips. Man hat einen Arbeitsraum hergestellt, in dem Arbeitnehmer im Alter von 20 bis 50/55 Jahren gearbeitet haben. Sie konnten sich die Kunstlichtverhältnisse so einstellen, wie sie es wollten. Das Ergebnis war, dass es jeder anders eingestellt hat, sowohl von der Helligkeit als auch von der Farbtemperatur. Es gab kein einheitliches Bild. Es hat sich gezeigt, dass die Menschen völlig unterschiedlich auf die Lichtmenge und -farbe reagieren und das auch unterschiedlich einstellen, und zwar in einer sehr großen Spanne von 100 Lux bis zu 2000 Lux, von 2700 Kelvin (ganz warmes Licht) bis zu 6000 Kelvin (Tageslichtweiß).

Was uns die Normen vorgeben, sowohl die DIN EN 12464 für die Innenraumbeleuchtung, als auch die DIN 5034 für Tageslicht, ist stark darauf ausgelegt, dass es einfach nachzuweisende Werte sind. Ich glaube, dass wir die Frage anders aufstellen müssten und fragen: Was brauchen die Menschen eigentlich? Was ist eigentlich gut. In südeuropäischen verdichteten Innenstädten herrschen zum Teil miserabelste Tageslichtverhältnisse, aber die haben trotzdem eine Wohnqualität, die entsteht beispielsweise über Innen- und Hinterhöfe oder ähnliches, und die Menschen wohnen dort sehr gerne.

TJ: In diesen Breitengraden ist aber ohnehin oft der Rolladen unten und das Licht an, um den Wärmeeintrag zu vermeiden.

MS: Das kann natürlich auch sein, aber das ist ja letztlich die Wahl des Nutzers, wie er sich wohlfühlt. Es ist eine individuelle Entscheidung. In der Hinsicht werden wir von Normen und Baurecht stark eingeschränkt. Das kann man ruhig hinterfragen.

TJ: Was auch Hintergrund ist dieser Forschung ist der Versuch zu sagen, wie tief ein Wohngebäude eigentlich sein darf. Die Häuser die wir planen, werden immer tiefer und haben folglich immer größere unbelichtete Zonen in der Mitte. Ein Erfahrungswert für maximale Raumtiefen liegt bei 7m. Das kommt aus dem Schulbau, bei 3m Deckenhöhe. Die Frage ist, ob das für den Wohnbau auch ein sinnvoller Grenzwert ist. Wohnräume sind in der Regel aus Gründen des Wohnungszuschnitts nicht viel tiefer als 4-5m.

MS: In dieser Tiefe ist es sicher möglich, angemessene Lichtverhältnisse zu schaffen. Lassen Sie mich aber einen anderen Aspekt hineinbringen: Ich glaube, dass man die Dynamik, die ja durch die Bewegung der Nutzer im Raum entsteht vielleicht auch mal betrachten müsste. Wenn ich nur ein 1-Zimmer-Appartement habe, dann muss das anders belichtet sein als eine Mehr-Zimmer-Wohnung. Da kann es unterschiedliche Bereiche geben, in denen die Lichtmenge nach innen abnimmt.

Jakub Pakula: Wir konzentrieren uns bei diesem Projekt stark auf den städtebaulichen Maßstab. Wir betrachten nicht im Detail, wie die

Raumkonfigurationen innerhalb des Gebäudes aussehen, sondern es geht um das Stadtlayout für eine gewisse bauliche Dichte. In der Phase des Versuchsaufbaus, in der wir uns gerade befinden, ist die entscheidende Frage die nach dem Bewertungskriterium. Ist es die Lichtstärke, die Sonnenstunden oder der Energieeintrag - bzw. in welchem Verhältnis stehen diese Werte zueinander? Eine arbeitsrechtliche Vorgabe von 500 Lux auf den Tisch, möglichst gleichmäßig im Raum verteilt von 9-18 Uhr ist leichter zu untersuchen. Wir machen uns aber auch Gedanken darüber, welche spezifischen Anforderungen der Wohnungsbau an die Belichtung stellt. Es geht vor allem auch darum, eine Vergleichbarkeit herzustellen.

In diesem Zusammenhang interessiert uns auch die visuelle Qualität von Licht und die subjektive Wahrnehmung, was im Wohnen eine große Rolle spielt - vielleicht sogar eine größere, als eine nachweisbare Luxzahl auf bestimmten Oberflächen.

Die Frage ist, ob und wie man das quantifizieren kann um es in einer wissenschaftlichen Auswertung, in einem Wert ausdrücken zu können. Wie definiert man ein Minimum? Wo würden Sie ansetzen?

MS: Sie können sich in einem Raum mit ganz wenig Licht schon zurechtfinden. Das Auge kann sich sehr weit an die Lichtverhältnisse adaptieren.

Man muss hier unterscheiden zwischen tatsächlicher Beleuchtungsstärke und Tageslichtquotient. Im Grunde ist es die Helligkeit das entscheidende Kriterium, also die Leuchtdichte die ich auf einer Oberfläche habe, aber die hängt wieder von unserem Adaptionszustand ab.

Wenn man das untersuchen würde, glaube ich, dass ähnlich wie bei der Philips-Studie kein klares Bild entstünde. Dann werden Sie in der ganzen Bandbreite Ergebnisse bekommen, weil die Menschen in seinem subjektiven Lichtbedürfnis sehr unterschiedlich sind. Bei gleicher Leuchtdichte werden die einen sagen, das reicht. Andere werden sagen, es ist zu dunkel.

JP: *Im Bürobau ist das Maß der Dinge die Tageslichtautonomie. Die ist aber wohl nur bedingt auf den Wohnungsbau übertragbar. Zum einen ist die Anforderung an die Lichtmenge eine andere, weil man nicht konstant konzentriert arbeitet sondern auch isst, ein Buch liest, oder vor dem Fernseher sitzt. Es gibt sicher Tätigkeiten und Zeiten, für die man viel Licht braucht, aber nicht so konstant wie am Arbeitsplatz. Das macht es schwieriger, das ‚Soll‘ in einer Zahl oder einem fixen Wert auszudrücken.*

MS: Ich glaube, dass es ein wichtiges Qualitätsmerkmal des Wohnens ist, wenn unterschiedliche Lichtzustände durch die Veränderung im Raum schaffen kann, dadurch dass man sich innerhalb der Wohnung bewegt. Räume zu haben, die eher dunkel sind und Räume zu haben, die heller sind. Was oft übersehen wird, ist die Qualität, die das Tageslicht in seiner Dynamik hat.

Wenn Sie heute mit großen Leuchtenherstellern sprechen, dann sagen die: 500 Lux am Arbeitsplatz, das ist das A und O. Und wir können heute diese 500 Lux dauerhaft und konstant erzeugen, weil wir dann tageslichtabhängig nachregulieren können.

Meine Erfahrung ist, konstantes Licht ermüdend ist. Eine Lichtdynamik die das Tageslicht mitbringt bei der sich die Lichtintensität wetter- und tageszeitbedingt ändert, macht eher wach, weil es ein Reiz ist, der auf der Netzhaut ankommt. Man weiß mittlerweile auch, dass am Auge spezielle Blaulichtrezeptoren sind, welche die

Hormonausschüttung steuern. Tageslicht hat einen hohen Blauanteil und wenn man die Menge des blauen Lichtes, das herein kommt erhöht, dann wirkt das aktivierend. Das ist ein wichtiges Thema.

JP: *Das bedeutet, eine hohe Lichtdynamik ist grundsätzlich positiv zu bewerten, und konstante Lichtverhältnisse in einer Wohnung wären negativ?*

MS: Absolut. Allerdings hat das auch seine Grenzen. Sie kennen den Effekt, wenn Sie gegen die Sonne unter noch unbelaubten Bäumen Autofahren. Dann haben Sie einen Strotoskopeffekt. Das ist ein großer Stress für das Auge. Sie haben einen sehr schnellen Wechsel von hell zu dunkel. Strotoskoplicht kann im Extremfall bei manchen einen epileptischen Anfall auslösen. Das ist eine Dynamiksituation, die negativ ist, aber man sieht daran, dass das veränderte Licht unterbewusst das Gehirn stark anregt. Auch wenn man dazu nicht so viel Forschungen findet.

JP: *Neben der wetterbedingten Dynamik verändert sich das Licht auch im Tagesverlauf. Das hat einen wichtigen Einfluss auf den Biorhythmus des Menschen. Sie haben die Hormonsteuerung zuvor schon angesprochen.*

MS: Ganz richtig. Dabei geht es um den Wach-Schlaf-Zyklus. Es gibt aber unterschiedliche Typen. Ich bin z.B. Typ Eule - mir fällt es schwer, früh aufzustehen. Es gibt auch Leute, die wachen um 6 Uhr morgens oder früher auf, und sind fit. Es gibt unterschiedliche Schlaftypen.

Genau so gibt es lichtempfindliche Leute und weniger lichtempfindliche Menschen. Ich bin wenig lichtempfindlich. Ich kann auch bei Licht noch gut schlafen während andere aufwachen. Dagegen brauche ich auch nicht so viel Licht zum Arbeiten oder Wohlfühlen. Wenn Sie untersuchen würden, wann bei Einbruch der Dämmerung die Menschen das Licht einschalten, würden Sie große individuelle Unterschiede feststellen. Auch das ist also subjektiv.

JP: *Interessanterweise wird ein großer Teil der Forschung zur biologischen Wirkung von Tageslicht oder Licht im Allgemeinen von Leuchtmittelherstellern angetrieben. Und die*

Produktentwicklung geht auch in die Richtung, dass das Kunstlicht immer besser das Tageslicht imitieren kann, auch in seiner Dynamik. Wird die Auseinandersetzung mit Tageslicht dann bald obsolet?

MS: Das glaube ich nicht. Es macht absolut Sinn, dass wir tagesbelichtete Räume haben. Aber der tagesbelichtete Raum, es muss nicht alles perfekt tagesbelichtet sein. Das ist genau das, was Sie untersuchen: Wo liegt die Grenze, was funktioniert noch? Ich glaube, entscheidend ist, dass man sich innerhalb der Wohnung zum Tageslicht hinbewegen oder an eine dunklere Stelle zurückziehen kann.

JP: *Nun sind wir darauf angewiesen, diese unterschiedlichen Qualitäten an konkreten Werten festzumachen. Auch wenn man davon ausgeht, dass nicht die gesamte Wohneinheit gut mit Tageslicht versorgt sein muss, sollte man doch eine Aussage zu einer sinnvollen Verteilung treffen können.*

MS: Um das zu beschreiben, kann man den Tageslichtquotienten heranziehen, indem man die Innenraumflächen danach zoniert. Sinnvolle Stufen wären 0 (also kein Tageslicht), 0,1 - 0,3 - 0,75. Diese Werte sind durch die DIN belegt. Damit könnte man theoretisch in einen verdichteten Wohnungsbau parametrisch Modelle erzeugen, die relativ verdichtet sind. Aber wenn Sie z.B. die Innenstadt Stuttgart betrachten, dann werden Sie feststellen, dass sehr viele Räume gerade im verdichteten Innenstädten eigentlich nicht tagesbelichtet sind. Die Werte, die die DIN vorgibt, werden einfach nicht erreicht. Allerdings gibt es in der DIN zahlreiche Ausnahmen, die keine Tageslichtanforderungen erfüllen müssen. Das sind, z.B. Räume größer als 50 qm, Räume mit einer Raumhöhe über 3,50m, Räume, die tiefer sind als 7 m. Aber das ist ja nicht das Ziel - das bedeutet ja nicht, dass diese Räume gut belichtet sind.

Andererseits müssen auch nicht alle Räume in einer Wohnung belichtet sein. Man könnte die Tageslichtniveaus programmatischen Zonen zuordnen. Dunkle Zonen sind für Abstellräume, u.ä. geeignet. Schwach Tageslicht-belichtete Räume, die noch einen Helligkeitsbezug haben,

eignen sich für Erschließungsflächen. Dann kann man sagen, tageslichtbelichtete Räume mit Außenbezug aber geringer Ausleuchtung sind für gewisse Nebenräume sinnvoll. Und gut tageslichtbelichtete Flächen bilden die Hauptnutzung, also die eigentlichen Wohnräume. So würde ich das vielleicht aufbauen. Dann kann man noch über Fenstergrößen, Fensteranteile nachdenken. Natürlich spielen am Ende auch Farben und Oberflächen im Innenraum eine Rolle.

JP: *Das könnte man in unserem Modell nur über realitätsnahe pauschale Annahmen abbilden.*

MS: Ich denke, man kann einen grauen Boden mit 30 % Reflektionsanteil und weiße oder helle Wände mit ca. 60% Reflektionsgrad annehmen.

JP: *Auch der Transmissionsgrad der Fassade muss berücksichtigt werden. Wir wollen aber bewusst keine Aussage zur Ausbildung der Fassaden machen.*

MS: Die Aufteilung der Fassadenöffnungen spielt in der Tiefe des Raums eine untergeordnete Rolle. Entscheiden ist der Öffnungsanteil. Das Licht verteilt sich in der Raumtiefe wieder.

Wir haben bereits darüber gesprochen, dass Sie Mitteleuropa betrachten. In unseren Breitengraden ist der Tageslichtquotient ein brauchbares Maß, denn er trifft Aussagen zu diffusem Licht. Wir haben in Deutschland zu 60% der Zeit einen trüben Himmel, wie heute. Wir haben zwar dynamisch unterschiedliche Himmelsleuchtdichten, aber an einem trüben Tag ist das Licht diffus, und verändert sich nur wenig in Abhängigkeit vom Sonnenstand. Das ist Grundlage unserer Normierung. Aber die EU-Norm übernimmt Saudi-Arabien genauso wie das die Norweger machen. In Saudi-Arabien haben Sie allerdings nur wenige trübe Tage im Jahr - bei Sandstürmen, oder wenn es regnet. Ansonsten haben Sie immer Sonne, d.h. da ist eine Tageslichtquotientenbetrachtung völlig unsinnig - aber für Ihre Betrachtung und für unsere Breitengrade erscheint mir die Zonierung des Innenraums über Schwellenwerte des Tageslichtquotienten methodisch sehr vielversprechend.

JP: *Vielen Dank.*

Anhang B: Literatur- und Quellenverzeichnis

- ANDERS S.** (2015): Stadt als System – Methode zur ganzheitlichen Analyse von Planungskonzepten, Verlag Dorothea Rohn, Detmold
- BALKOW D., SCHULER M., SOBEK W.**, (1998): Glasbau Atlas. München.
- BENOIT J.** et al. (2017): Paris Haussmann, Modèle de ville.
- BERGHAUSER PONT, M UND HAUPT P.**, 2007. The Relationship between Urban Form and Density. Urban Morphology 11(1):62-65
- BISCHOFF-FERRARI H., DAWSON HUGHES B., STAEHLIN H.** et al. (2009) Prevention of nonvertebral fractures with oral vitamin D and dose dependency: a meta-analysis of randomized controlled trials. Archives of Internal Medicine 169:551-561.
- BOTT, H.** (2010): Lehrbausteine Städtebau : Basiswissen für Entwurf und Planung / Städtebau-Institut, Fakultät Architektur und Stadtplanung, Universität Stuttgart. 6., grundlegend überarb. Aufl.
- BUNDESINSTITUT FÜR BAU-,STADT- UND RAUMFORSCHUNG.** (2015): Wachsende und schrumpfende Städte und Gemeinden in Deutschland. Bonn.
- FALLER P.**, 2002: Der Wohngrundriss, Wüstenrot Stiftung Deutscher Eigenheimverein e.V., Ludwigsburg und Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart
- GAYLON S.C., NORMAN J.M.** (2012): An introduction to environmental biophysics. Springer
- HALL D.O., RAO K.**, (1999): Photosynthesis. Sixth Edition. Cambridge University Press.
- HEGGER M., DETTMAR J.** (2014): Energetische Stadtraumtypen – Strukturelle und energetische Kennwerte von Stadträumen, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart
- HEWISON M., BURKE F., EVANS KN., LAMMAS DA.** (2007) Extra-renal 25-hydroxyvitamin D3-1alpha-hydroxylase in human health and disease. Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology. 103: 316-321
- HICKIE I.** et al. (2013) Manipulating the sleep-wake cycle and circadian rhythms to improve clinical management of major depression. BMC Medicine 11(1):79.
- HOBDAY R.** (2006) The Light Revolution.
- HÖGER P.** (2017): Kinderdermatologie: Differenzialdiagnostik und Therapie bei Kindern und Jugendlichen; mit 272 Tabellen. Schattauer Verlag.
- INSTITUT FÜR WOHNEN UND UMWELT** (2018) Energie. Berechnungswerkzeuge für EnEV und Energieberatung. Gradtagzahlen in Deutschland.

- JOCHER T., LOCH S** (2010): Raumpilot – Grundlagen, Wüstenrot Stiftung. Ludwigsburg (Hg.) und Karl Krämer Verlag Stuttgart+Zürich
- KALAT J. W.** (2009): Biological Psychology. Wadsworth
- KATALINIC A., KUNZE U., SCHAFERT.,** (2003) Epidemiology of cutaneous melanoma and non-melanoma skin cancer in Schleswig-Holstein, Germany: incidence, clinical subtypes, tumour stages and localization (epidemiology of skin cancer) British Journal of Dermatology.
- KNOWLES, R.,** 1981. Sun Rhythm Form. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- KNOWLES, R.,** 2003. The solar envelope: its meaning for energy and buildings. Energy and Buildings 35, pp 15-25
- LANGFRISTIGE SIEDLUNGSENTWICKLUNG.** Hrsg. Ernst + Basler. Zürich 2013. S. 23. Gutachten Qualifizierte Verdichtung.
- LUCAS R., MCMICHEL T., SMITH W., ARMSTRONG B.** (2006) Global burden of disease from solar ultraviolet radiation. World Health Organization. Public Health and the Environment. Geneva
- MARDALJEVIC, J.** (2006): Examples of Climate-Based Daylighting Modelling. In Paper No. 67. Presented at the CIBSE National Conference 2006: Engineering the Future, Oval Cricket Ground, London, UK: Institute of Energy and Sustainable Development (IESD).
- MCDONALD R., KROEGER T.,**(2016) et al. Planting Healthy Air. A global analysis of the role of urban trees in addressing particulate matter pollution and extreme heat . Nature Conservancy.
- NABIL A, MARDALJEVIC J.** (2005a): Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm to Access Daylight in Buildings. Lighting Research & Technology, 37(1), 41-59.
- NABIL A, MARDALJEVIC J.** (2005b): Useful Daylight Factors. Energy and Buildings, 38(7).
- REINHART, C.,** 2001. Daylight Availability and Manual Lighting Control in Office Buildings – Simulation Studies and Analysis of Measurements. Universität Karlsruhe.
- REINHART, C. F., MARDALJEVIC, J., ROGERS, Z.** (2006). Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. Leukos, 3(1), 7-31.
- REINHART, C., LOVERSO, VRM.,** 2010. A rules of thumb-based design sequence for diffuse daylight. Lighting Res. Technol. 2010; 42 pp 7b31
- REINHART, C.,** 2013. Daylighting Handbook I. Christoph Reinhard.
- SONNTAG D., BEHRENS K.,** Ermittlung der Sonnenscheindauer aus pyranometrisch gemessenen Bestrahlungsstärken der Global- und Himmelsstrahlung. DWD Bericht. Hamburg 1992. S. 9-12
- SIMM, S. UND COLEY, D.,** 2011. The relationship between wall reflectance and daylight factor in real rooms. Architectural Science Review, 54 (4), pp. 329-334.
- TRÖGER E.** (2015): Dichte Atmosphäre – Über die bauliche Dichte und ihre Bedeutung in der mitteleuropäischen Stadt, Birkhäuser Verlag GmbH, Basel
- TUREK FW.** (1985): Annual Review of Physiology. Circadian neural rhythms in mammals.
- UMWELT BUNDESAMT.** Mitteilung vom 23.02.2018; Energieverbrauch privater Haushalte 2018

NORMEN, VORSCHRIFTEN UND GESETZE

EnEV, Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519); letzte Änderung vom 24. Oktober 2014 (BGBl. I S. 1789)

BauNVO, Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke, „Baunutzungsverordnung“ in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. November 2017 (BGBl. I S. 3786)

BauO NRW, Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen (Landesbauordnung – BauO NRW) Vom 15. Dezember 2016

BayBO, Bayerische Bauordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. August 2007 (GVBl. S. 588) BayRS 2132-1-B

LBO BW, Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO) Vom 5. März 2010 (GBl. Nr. 7, S. 358) in Kraft getreten am 1. März 2010

DIN 51034, Tageslicht in Innenräumen, Juli 2011

DIN EN 17037, Tageslicht in Gebäuden.2016. S.22

MBO, Musterbauordnung, Fassung November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 21.09.2012

MHHR, Muster-Richtlinie über den Bau und Betrieb von Hochhäusern (Muster-Hochhaus-Richtlinie - MHHR) Fassung April 2008 zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht vom Februar 2012

Forschungsbeteiligte

Institut Wohnen und Entwerfen
(Universität Stuttgart, Fakultät 1)

Prof. Dr. Thomas Jocher
thomas.jocher@iwe.uni-stuttgart.de
+49 711 685-84200

Dipl.-Ing. Jakob Pakula
jakub.pakula@iwe.uni-stuttgart.de
+49 711 685-84207

Keplerstraße 11
70174 Stuttgart

Institut for Computational Design ICD
(Universität Stuttgart, Fakultät 1)

Prof. Achim Menges, AA Dipl. (Hons.)
mail@icd.uni-stuttgart.de
+49 711 685-81920

Dylan Wood, M.Sc.
dylan.wood@icd.uni-stuttgart.de
+49 711 685-82786

Keplerstraße 11
70174 Stuttgart

Transsolar Energietechnik GmbH

Dipl.-Phys. Stefan Holst
transsolar@transsolar.com
+49 89 590688-41

Dipl.-Ing. Diego Romero
romero@transsolar.com
+49 89 590688-53

Landwehrstraße 60/62
80336 München

Fraunhofer-Informationszentrum Raum
und Bau IRB

Fabian Brodbeck, M.Sc.
fabian.brodbeck@irb.fraunhofer.de
+49 711 970-2624

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Bundesministerium für Bau-, Stadt- und
Raumforschung (BBSR)

Guido Hagel
guido.hagel@bbr.bund.de
+49 228 9401-1482

Referat II3
Deichmanns Aue 31-37
53179 Bonn

B+O Stammhaus GmbH & Co. KG

Dr. Ernst Böhm
e.boehm@bo-wohnungswirtschaft.de
+49 8061 39160-0

Dietrich-Bonhoeffer-Str. 14
83043 Bad Aibling



Universität Stuttgart

Fakultät 1
Architektur und Stadtplanung
Institut
Wohnen und Entwerfen

Direktor: Prof. Dr. Thomas Jocher
Prof. Dr. habil. Christine Hannemann

Forschungsprojekt LUX:
Dipl.-Ing. Jakub Pakula

Lehrstuhl energieeffizientes Planen und Bauen
(Hochschule Augsburg)

Prof. Dipl.-Ing (FH) Michael Schmidt
michael.schmidt@hs-augsburg.de
+49 821 5586-3611

Postfach 11 06 05
86031 Augsburg

Institut Entwerfen von Stadt und Landschaft
Fachgebiet Stadtquartierplanung
(Karlsruher Institut für Technologie)

Prof. Markus Nepl
markus.nepl@kit.edu
+49 721 608-4-6477

Englerstraße 11
70131 Karlsruhe

Hochschule München
Stiftungsprofessur Licht und Gesundheit

Prof.-Dr. Med. Herbert Plischke, Dipl.-Ing.
herbert.plischke@hm.edu
+49 89 1265-1638

A305 – Lothstr. 34
80335 München