

Institut für Entwerfen und Bautechnik
Lehrstuhl für Gebäudetechnologie

Untersuchungen zu mikroklimatischen Eigenschaften
nach oben offener Räume (Atrien)

Stefan Hajek

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Architektur der Technischen
Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor Ingenieurs (Dr. -Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Wolf Koenigs

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. (Univ. Rom) Thomas Herzog
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hausladen

Die Dissertation wurde am 15.10.2004 bei der
Technischen Universität München eingereicht
und durch die Fakultät für Architektur am 24.07.2006 angenommen.

Mein besonderer Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. (Univ. Rom) Thomas Herzog für die Bereitschaft, diese Arbeit zu betreuen und seine Ermunterungen sie zum Abschluß zu bringen.

Meiner Frau Gabriele Klughammer für die unendliche Geduld.

Meinen Eltern und dem Büro Hajek Architekten GbR für Zeit und finanzielle Unterstützung.

Herrn Prof. Simos Yannas für seine moralische Unterstützung.

Herrn Georg Mischler für die Hinweise im Zusammenhang mit Rayfront und Radiance.

Den Firmen Ahlborn, Testo, X-Rite für Leihgeräte, Geräteausstattung und die technische Unterstützung.

Gewidmet meinem Vater.

Inhaltsverzeichnis

Titel	I
Danksagung	II
Inhaltsverzeichnis	III
Zusammenfassung	1
0 Einleitung	1

Teil 1

Grundsätzlich Überlegungen zur baulichen Form **nach oben offener Räume (nooR)**

1.1 Ansätze zur Unterscheidung und Einordnung von nooR	2
1.1.1 Raumkonzepte des nooR und ihre Unterteilung in Typen, Kategorien und Gruppen	3
1.1.2 Einordnung unterschiedlicher nooR nach Typen, Kategorien, Gruppen	8
1.2 Faktoren die den nooR in Form und Gestalt beeinflussen	10
1.2.1 Erläuterungen zum Begriff der Faktoren	10
1.2.2 Zusammenhang zwischen Faktor und Form unter Berücksichtigung des Einflusses von Klimaparametern	11
1.2.3 Mögliche Gründe für unterschiedliche Bauformen von Gebäuden mit nooR innerhalb einer Klimazone	12
1.2.4 Mögliche Entwicklungsregeln für Gebäude mit nooR	13
1.2.5 Klassifizierung von Gebäuden anhand von Faktoren	14
1.3 Morphologie	16
1.3.1 Einleitung und Erläuterung zur Morphologie	16
1.3.2 Vorgehensweise zur Erstellung eines morphologischen Schlüssels	17
1.3.3 Morphologischer Kasten: Klima	17
1.3.4 Morphologischer Kasten: Geographischer, baulicher und wirtschaftlicher Kontext	19
1.3.5 Morphologischer Kasten: Gebäude und ihre Nutzung	19
1.3.6 Morphologischer Kasten: Der nooR und seine Nutzung	23
1.3.7 Weitere Bezeichnungen und Begriffe des nooR	23
1.4 Zusammenfassung	26

Teil 2

Überlegungen zu den mikroklimatischen Eigenschaften nach oben offener Räume	27
2.1 Grundsätzliche Überlegungen zur Bauphysik und Mikroklima von Gebäuden mit nooR	27
2.2 Überlegungen zum bauphysikalischen und klimatischen Anforderungsprofil an einem nooR	31
2.3 Überlegungen zum Komfortverständnis in nooR	33
2.4 Überlegungen zum nooR in unterschiedlichen Klimazonen	37
2.7 Zusammenfassung	39

Teil 3

Durchlüftung und Tageslichtpotential	40
3.1 Strömungsvorgänge im und um den nooR	40
3.1.1 Einleitung	40
3.1.2 Windinduzierte Strömungen in nooR	41
3.1.3 Thermische Strömungsvorgänge in nooR	43
3.1.4 Auswirkung von Strömungsvorgängen auf den nooR	44
3.1.4.1 Auswirkungen auf das Mikroklima	44
3.1.4.2 Auswirkungen auf Lufthygiene, Luftaustausch, Lüftung	46
3.1.4.3 Auswirkungen auf Schadstoffquellen um und im nooR	47
3.1.4.4 Auswirkungen auf den Komfort in nooR	49
3.1.4.5 Auswirkung auf den konvektiven Wärmeübergang, Wärmeverluste angrenzender Gebäude	52
3.1.4.6 Auswirkung auf Nässe und Feuchte im nooR	53
3.1.4.7 Auswirkung auf den Brandschutz	55
3.1.5 Zusammenfassung	56
3.2. Untersuchung zur Tageslichtnutzung im und um den nooR an Hand von Beispielen	57
3.2.1 Einleitung	57
3.2.2 Grundlagen der Belichtung von nooR	57
3.2.3 Beschreibung der Vorgehensweise zur Beurteilung von nooR	60
3.2.4 Olynth	64
3.2.4.1 Das Typenhaus in Olynth	64
3.2.4.2 Vorschlag für einen Beurteilungsmaßstab für die Belichtungsverhältnisse in einem griechischem Haus	64
3.2.4.3 Einzelprobleme bei der Untersuchung der Belichtungsverhältnisse	66
3.2.4.4 Aufstellung eines Webstuhles	67
3.2.4.5 Computersimulation der Belichtungsverhältnisse und Auswertung der Ergebnisse	68

3.2.5	Palazzo Piccolomini	74
3.2.5.1	Der Palazzo Piccolomini in Pienza und das Verständnis der Tageslichtnutzung in der Renaissance	74
3.2.5.2	Visuelle Beurteilung des Palazzo Piccolomini	80
3.2.5.3	Messungen im Palazzo Piccolomini	81
3.2.5.3.1	Messung 1: Beleuchtungsstärken im 72-Fuß-Saal	81
3.2.5.3.2	Messung 2: Beleuchtungsstärken in der Loggia	82
3.2.5.3.3	Messung 3: Beleuchtungsstärken im nooR	82
3.2.5.3.4	Messung 4: Transmission eines Fensters	83
3.2.5.3.5	Messung 5: Spektrale Messung von verschiedenen Oberflächen	83
3.2.5.4	Vergleichende Computersimulation der untersuchten Räume	84
3.2.6	Meyer's Hof	89
3.2.6.1	Meyer's Hof als Beispiel für einen Berliner Hinterhof	89
3.2.6.2	Computersimulation der Belichtungsverhältnisse in ausgewählten Räumen und Bewertung der Ergebnisse	90
3.2.7	Zusammenfassung der Untersuchung zur Tageslichtnutzung	98
4.	Ergebnis der Arbeit	100

Anhang

Anhang	siehe Anhang
--------	-------	--------------

Zusammenfassung

Im ersten Teil der Arbeit wird eine Systematik zur Beschreibung und Differenzierung nach oben offener Räume entwickelt (**nooR**). Der zweite Teil beschäftigt sich mit Überlegungen zum klimatischen Potential und den Wechselwirkungen zwischen solchen Räumen, angrenzenden Gebäuden und der Umwelt. Im dritten Teil werden Belüftungs- und Belichtungsmöglichkeiten untersucht. Die Auswertung vorhandener Literatur ist Basis für Überlegungen zum Lüftungsverhalten und damit verbundener Themenkomplexe. Die spezifische Qualität und Nutzung von Tageslicht in nach oben offenen Räumen wird an Hand von drei Beispielen aus unterschiedlichen Epochen der europäischen Baugeschichte dargelegt, und zwar ein Typenhaus aus Olynth (ca. 432 bis 348 v. Chr.), der Palazzo Piccolomini in Pienza (erbaut 1459 bis 1462) und Meyer's Hof in Berlin (1873 bis 1972).

0 Einleitung

Nach oben offene Räume (nooR) waren bis zur flächendeckenden Versorgung mit Elektrizität (Beleuchtung und klimatische Geräte) die einzige Möglichkeit, ab einer bestimmten Gebäudetiefe, Räume mit ausreichend Licht und Luft

zu versorgen. Erst durch verschiedene technische Entwicklungen im 19. Jahrhundert wurden diese Aufgaben durch die im Verhältnis zum nooR fast „dimensionslose“ Technik von Klimaanlage und elektrischer Beleuchtung übernommen. Der dreidimensionale „Versorgungsraum“ nooR begann zu verschwinden.

Neben den bauphysikalischen Gesichtspunkten, der Erschließungsfunktion und architektonischen Aufgaben war der nach oben offene Raum vor allem im mediterranen und arabischen Raum sozialer Mittelpunkt des Hauses. Heute hat das klassische Bauelement des zentralen nach oben offenen Raumes vielfach nur noch eine Randbedeutung. Allerdings erfreuen sich in Amerika seit den 50er Jahren überglaste Hallen und Höfe im Bereich kommerzieller Bauten steigender Beliebtheit und setzten sich von dort weltweit als eine Art Standardtyp für Kaufhallen, Passagen und Hotelbauten durch.

Daß die Begriffe Innenhof/ überglaster Innenhof oder auch Atrium in der heutigen Zeit keine spezifische Bedeutung mehr besitzen, sondern als Synonyme verwendet werden, obwohl es sich bei diesen Begriffen schon durch ihre Entstehungsgeschichte um unterschiedliche, klar getrennte Bauelemente

handelt, ist ein Indiz für den Verlust an Baukultur und Wissen in diesem Bereich.

So werden überglaste Hallen und Höfe oftmals fälschlicherweise auch in der fachspezifischen Literatur als Atrien bezeichnet, wie zum Beispiel in der „Bauwelt“ mit dem Titel „Über die Höfe“: „Über die Höfe geht es, genauer durch sieben Atrien im neuen Berlin“. In der Einleitung zum Heft wird wieder von „glasgedeckten Innenhöfen... verglaste Innenhöfe“ gesprochen, wobei „in erster Linie (nicht gemeint sind) gedeckte Einkaufspassagen ... sondern mehr oder weniger rundum geschlossene Atrien mit unterschiedlichen Funktionen.“ (BAUWELT 1998-11).

So ist auch zum Teil in Fachzeitschriften kein klares Bild vorhanden, was nun ein Atrium, ein Hof, oder ein Innenhof für ein Raum ist.

Aus diesem Grund ist es für diese Arbeit notwendig eine begriffliche Abgrenzung zwischen den unterschiedlichen Bauformen Hof, Atrium etc. aufzustellen und den Überbegriff des nach oben offenen Raumes (nooR) einzuführen.

Inwieweit ein nach oben offener Raum die an ihn gestellten Aufgaben bezüglich natürlicher Belichtung und Belüftung erfüllen kann, wird in Grundzügen erläutert.

So hat zum Beispiel die künstliche Beleuchtung heute am Energie-

verbrauch eines Gebäudes einen Anteil von bis zu 16% (RANDALL 1996).

Nach oben offene Räume können bei entsprechender Abwägung mit anderen Zielsetzungen durchaus einen Beitrag zur Reduzierung des Energieverbrauches bei tiefen Gebäuden leisten.

Als Ausgangspunkt für die Untersuchungen werden die unterschiedlichen nach oben offenen Räume analysiert. Darauf basierend werden einzelne Gesichtspunkte des mikroklimatischen Verhaltens, insbesondere Belüftungspotential und Belichtungsmöglichkeiten der angrenzenden Räume unter anderem an Hand ausgewählter Beispiele aus der Baugeschichte näher erläutert. Ziel ist ein besseres Verständnis für das mikroklimatische Potential eines nach oben offenen Raumes zu vermitteln.

Teil 1 Grundsätzliche Überlegungen zur baulichen Form nach oben offener Räume (nooR)

Im ersten Kapitel wird die Form, also die bauliche Ausprägung, des nach oben offenen Raumes untersucht. Hierzu wird der nooR durch eine sprachliche Einordnung, Untersuchungen der Bauform an sich, aus den unterschiedlichsten Blickwinkeln auf seine Eigenschaften hin analysiert. Während die Untersuchungen mit Hilfe der Faktoren die sozialen Komponenten unterstreicht, versucht die Morphologie einen systematischen Überblick über die Vielfalt der Bauformen zu geben. Ziel ist, mit Hilfe der dargelegten Konzepte eine problem-spezifische Einordnung der unterschiedlichen nooR zu gewährleisten.

1.1 Ansätze zur Unterscheidung und Einordnung von nooR

Im allgemeinen Sprachgebrauch werden Begriffe wie Atrium, Hof oder Innenhof für nach oben offene Räume unreflektiert verwendet.

Auch im fachspezifischen Gebrauch der Architektur scheinen die Begriffe für unterschiedliche nach oben offene Räume durch den alltäglichen Sprachgebrauch verklärt oder

nicht eindeutig definiert zu sein. Vor allem in der englischsprachigen Literatur wird der Begriff des Atriums als Synonym für den überglasten nooR verwendet, z.B. beim Titel „Atrium Buildings, Development and Design“ von SAXON (1983).

Andererseits findet sich z.B. der Begriff Innenhof nicht als Schlagwort im Register verbreiteter Architekturlexika zur Baukunst wie z.B. dtv-Atlas zur Baukunst (MÜLLER 1989) oder im Lexikon der Weltarchitektur (Pevser et al. 1987).

Seit geraumer Zeit vollzieht sich ein weiterer Bedeutungswandel durch die indifferente Verwendung des Wortes Atrium.

Dieser Bedeutungswandel ist nicht nur in der Umgangssprache festzustellen, sondern auch in Fachzeitschriften und einschlägigen Veröffentlichungen. Atrium wird vielfach als Synonym für einen überglasten Innenhof (BAUWELT 1998 -11) verwendet und beschreibt nicht mehr nur den zentralen offenen Hof eines römischen Wohnhauses, welcher nebst Aufgaben der Belichtung und Belüftung den zentralen Raum eines römischen Wohnhauses bildete.

Es erscheint notwendig, die unterschiedlichen Bau- und Raumformen des sogenannten Atriums oder auch Hofes neu zu definieren und den Überbegriff des nach oben of-

fenen Raumes (nooR) als neutrale Beschreibung einzuführen.

In den verbreiteten Lexika (PEVSNER et al. 1987, MÜLLER et al. 1989) finden sich Begriffe wie Hof, Innenhof, Hinterhof, Lichthof etc. und fremdsprachliche Synonyme z.B. Atrium, Patio, nicht aber eine Beschreibung dieser als ein Raumtyp.

Als Ausgangspunkt der Untersuchung wird das Wort Atrium gewählt. Der Begriff Atrium wird im Lexikon der Weltarchitektur von PEVSNER et al. (1987) wie folgt definiert:

„Atrium, das (lat.: Innenhof). Innerer Wohnhof des röm. Privathauses (...), um den die Kammern und Wohngemächer angeordnet waren. Urspr. der Wohnraum mit dem Herdfeuer (daher auch der Raum für den Ahnenkult), entwickelte es sich zum säulenumstandenen Repräsentationsraum. In der frühchristl. und ma. Baukunst ein der Westseite vorgelagerter, meist viereckiger, von nach innen offenen Säulenhallen umschlossener Hof, auch Paradies genannt, mit einem Brunnen (Kantharos) für die rituellen Waschungen.“

ferner Patio: „Patio, der (span.: Innenhof). In der span. und iberoromanischen Baukunst ein offener Binnenhof.“

Der Begriff „Hof“ wird wie folgt definiert (PEVSNER et al. 1987):

„Hof. Ein ganz oder großenteils umbauter, freier Raum. Ein Innenh. (Atrium), manchmal als Lichtspender, ist von einem einzigen Gebäudekomplex umgeben. Vorh. und Hinterh. liegen vor bzw. hinter dem Gebäude. Bei den Wohnblockbebauungen des 19. Jhs. folgen z.B. mehrere Höfe hintereinander. Das Barockschloß hat einen nach vorne offenen H., den Ehrenhof. Man unterscheidet nach formalen Kriterien den Arkaden- oder Laubenh., den Säulenh., den Gartenh.; der oft nur als Schacht ausgebildete Lichth. kann ein Glasdach haben.“

Greift man auf ein etymologisches Wörterbuch zurück findet man folgende Definition zum Wort Hof (KLUGE et al. 1995):

„**Hof** m. (<9.Jh.) Mhd. *hof*, ahd. *hof*, as. *hof* aus g. **hufa* –m. „Hof, Gehöft“, auch in anord. *hof* n. ae. *hof*, afr. *hof* n. Zu vergleichen sind zunächst 1. *cavum aedium* n. „Hof“ (eigentlich „Höhle des Hauses“) und andererseits gr. *kypai* (Glossenwort) Pl. „Behausungen aus Holz und Umfriedung“. Denkbar ist, daß das Wort zunächst ein Anwesen oder Heiligtum auf einem Hügel bezeichnete und deshalb zu der unter *hobeln* behandelten Sippe gehört. Die spätere Bedeutung

„Fürstenhof“ steht unter dem Einfluß von frz. *cour f.* gleicher Bedeutung. Die Bedeutung „heller Nebelring um Sonne oder Mond“ tritt seit dem 15. Jh. auf und geht wohl von „Umgebung, Umzäunung“ aus. Kollektivum: **Gehöft.**“

Auf Basis dieser Definitionen erscheint es sinnvoll weitere Konzepte zur begrifflichen Eingrenzung zu entwickeln, um die Vielfalt des nooR -explizit wie implizit- klar zu umreißen.

1.1.1 Raumkonzepte des nooR und ihre Unterteilung in Typen, Kategorien und Gruppen

Für die Beschreibung von nach oben offenen Räumen können unterschiedliche Konzepte zur Beurteilung und Einordnung herangezogen werden. In der „Encyclopedia of vernacular architecture of the world“ herausgegeben von OLIVER (1997a) werden die unterschiedlichen Theorien und Prinzipien zur Analyse und Einordnungsmöglichkeiten von Bauwerken ausführlich dargelegt. So kann die Einordnung von Bauwerken u.a. nach kulturellen Aspekten, Konstruktion, Typologien, Nutzung, Umwelt, usw. erfolgen. Für diese Arbeit wurden die im Folgenden beschriebenen Konzepte zur Einordnung und Definition von

nach oben offenen Räumen verwendet. Nach oben offene Räume basieren auf zwei grundlegenden Raumkonzepten, der Umfriedung und dem Oberlichtraum.

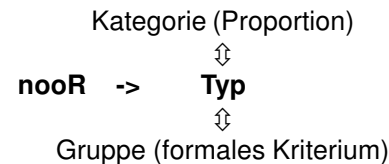
Die Umfriedung, der umbaute Raum:

Wesentlich ist, daß ein Außenraum umbaut wird. Als ursprünglich können Einfriedungen um/ bei landwirtschaftlichen (freistehenden) Gebäuden gesehen werden (z.B. Gehöft in Tell Hassuna 4750 v. Chr. bei MÜLLER et al. 1989a). Die Einfriedung und das Umbauen dieses Freiraumes ermöglichte einen geschlossenen und geschützten Arbeits- und Aufenthaltsraum. Gebäude orientieren sich zu diesem Freiraum und bilden schließlich eine Einheit mit dem nooR. Die Fassaden bilden die Trennlinie zwischen Innen und Außen. Die Gebäude sind auch ohne den entstandenen nooR denkbar. Belichtung und Belüftung kann alternativ durch die nach außen liegenden Fassaden gewährleistet werden.

Der Oberlichtraum:
Der Oberlichtraum ist der meist mitig gelegene (Wohn-)Raum eines Gebäudes (ein nach oben offener Innenraum), welcher das Gebäude (fast) ausschließlich von oben mit Luft und Licht versorgt. Die angrenzenden Räume werden z.T. durch

den Oberlichtraum erschlossen und orientieren sich zu diesem Bereich. Somit sind die Wände zwischen Oberlichtraum und angrenzenden Räumen den Innenwänden zuzuordnen. Der Oberlichtraum ist typisch für städtische Bereiche mit starker Verdichtung. Als ein Vorläufer dieser Bauform könnten die Bauten in Catal Höyük 6000 v.Chr. mit dem Zugang zum Gebäude über Dach (HOEPFNER et al. 1999a) angesehen werden. Die Gebäude schließen sich zur Straße oder auch zu den Nachbargebäuden ab. Somit kann die Straßenseite auf die Funktion Erschließung reduziert werden. Die Versorgung der Gebäude mit Licht und Luft erfolgt über den nooR. Typisch hierfür sind vor allem Gebäude im islamischen Kulturraum sowie im römischen Weltreich.

Zur Beschreibung nach oben offenen Räume (nooR) wird folgendes Schema verwendet:



Der nach oben offener Raum wird einem Typ zugeordnet. Der Typ, als Phänotyp, beschreibt den nooR in seiner Erscheinungsform an sich

(z.B. als Wirtschaftshof, Gartenhof). Der Typ kann sowohl einer Kategorie wie auch einer Gruppe (siehe **Tabelle 1.1.6**) zugeordnet werden. Für die Einteilung in Kategorien ist hauptsächlich die Proportion ausschlaggebend, während die Gruppe Typen vor allem nach formalen Kriterien einteilt wie z.B. Gestalt, aber auch Nutzung. Somit kann eine Gruppe durchaus unterschiedlichen Kategorien- je nach Proportion- zugeordnet werden (vgl. **Tabelle 1.1.3**). Die Angaben zur Proportion beziehen sich auf einen nahezu quadratischen Grundriß. Es wird davon ausgegangen, daß durch die Proportion erste Aussagen über das mikroklimatische Verhalten gemacht werden können, die Gruppe ergänzend die Nutzung bzw. Gestaltung beschreibt. Nach oben offene Räume können so z.B. der Gruppe der Gartenhöfe, Arkadenhöfe etc. zugeteilt werden.

Das Konzept des umbauten nach oben offenen Raumes wird in 7 Kategorien aufgeteilt, wobei eine scharfe Trennung der unterschiedlichen Konzepte auf Grund der Vielfältigkeit der baulichen Anlagen nicht erwartet werden kann, sondern eine gewisse Unschärfe in der Zuordnung hingenommen werden muß. Wesentlich für den „Hofcharakter“ (-auch im Gegensatz zum Zwischenraum) von nach oben offenen Räumen ist, daß bei der

Wahrnehmung folgende Gestaltgesetze involviert sind:

- Prinzip der Prägnanz, sowie Tendenz zur guten Gestalt (Einfachheit, Symmetrie), das heißt wenn Gebäude und Freiraum etc. einen einheitlichen Raum erzeugen,
- Prinzip der Nähe und der Geschlossenheit; das heißt Gebäude, Wände oder Mauern bilden auf Grund ihrer Nähe zueinander einen geschlossen wahrnehmbaren Raum,
- Tendenz zur guten Fortsetzung, wodurch z.B. beim Hof mit unterschiedlich hohen Gebäuden, oder offenen Ecken ein geschlossener Raum wahrgenommen wird.

Neben der Proportion sind die Gestaltgesetze daran beteiligt den Raum zwischen Gebäuden als einheitlichen nach oben offenen Raum (im Gegensatz zum Zwischenraum) wahrzunehmen. Je mehr Gestaltgesetze beteiligt sind, und je prägnanter die Form, desto einfacher kann ein nooR einer Kategorie zugeordnet werden.

Bei der Wahrnehmung eines Raumes oder Zwischenraumes spielen die oben genannten Prinzipien (einzeln oder in Kombination) eine entscheidende Rolle. Zusätzlich muß erfüllt sein, daß

- die seitlichen Grenzen des nach oben offenen Raumes

mindestens der Höhe eines erwachsenen Menschen entsprechen (Mauerhöhe ist mindestens Augenhöhe). Erst durch die Begrenzung des normalen Horizontes durch eine bauliche Anlage wird der Eindruck eines nooR erweckt. Nach oben offene Räume, die diesem Kriterium entsprechen, werden als „hofähnlich“ bezeichnet. Mauern, zum Beispiel, die dieses Kriterium nicht erfüllen, sind Einfriedungen und werden in der Kategorie 7 geführt,

- die Grundrißfläche annähernd quadratisch ist und nicht den Eindruck einer Straße / Schlauch erweckt. Die Grenze zur Straße wird bei einem Verhältnis von Länge zu Breite bei ca. 5:1 bis 3:1 angesetzt (Abgrenzung zur Passage, Galleria),
- die seitlichen Begrenzungen eines nooR eine Sichtbegrenzung in der Horizontalen bedeuten (Abgrenzung zum Glaswürfel, Glasanbauten wie Wintergärten, Grenzfall verglaste Anbau an ein Gebäude mit nach oben offenem Dach > Zuordnung zum nooR),
- bei überglasten Flächen kein Hallencharakter entsteht (Abgrenzung von Oberlichträumen zu Markthallen, Messehallen, Ausstellungshallen mit Glasdächern und Servicezonen im Randbereich, also Hallen im Allgemeinen mit Oberlicht),

Ein Problem dabei ist, den Oberlichtraum von der Halle abzugrenzen. Als Ansatz siehe hier **Tabelle 1.1.1**, in der insbesondere auf die charakteristischen Unterschiede bei der Belichtung und Belüftung eingegangen wird. Bei Hallen und großen Räumen kommt es zu einer Trennung von Belichtung und Belüftung, wobei die Belüftung überwiegend technisch bewerkstelligt wird.

In der gebauten Realität kommt es zum Verschwimmen der Grenzen zwischen Stadtraum, umbautem Raum und Oberlichtraum durch die bauliche Ausformung und Gestaltung. Als Kriterien zu einer ersten Abgrenzung unterschiedlicher Raumtypen wird folgendes Schema vorgeschlagen werden:

- Stadtraum, Freiraum, Landschaft horizontal und vertikal offen, überwiegend öffentlich,
- nooR horizontal begrenzt, vertikal offen halböffentlich bis privat,
- Raum (Innenraum) horizontal und vertikal begrenzt überwiegend privat.

In **Tabelle 1.1.2** und **Abbildung 1.1.1** werden die Kriterien zur Unterscheidung der einzelnen Kategorien angeführt. Ein wesentliches Kriterium zur Unterscheidung der einzelnen Kategorien nach oben offener Räume ist die Proportion (so-

wie Dimension). Dies aus zwei Gründen: Der visuelle Eindruck ist entscheidend für die Zuordnung von Räumen. In einem nooR wird der visuelle Eindruck und damit unsere räumliche Wahrnehmung vor allem durch den Übergang vom Gebäude zum Himmel geprägt, welches durch Proportion und Dimension am besten beschrieben wird. Außerdem beziehen sich Studien (ALVAREZ et al. 1998, HALL et al. 1999) zur Charakterisierung des klimatischen Verhaltens von nach oben offenen Räumen auf das Verhältnis von Höhe zu Weite.

Die von VITRUV benutzte Unterteilung von Atrien anhand ihrer Dachform und Säulenstellung ist unter anderem auf Grund der Vielzahl der möglichen Dachlösungen für eine generelle Kategorisierung nicht sinnvoll, kann aber im Bereich der Typen zur Beschreibung eingesetzt werden. Auch kann das, bei Vitruv, dem Atrium zugeordnete zugewölbte „Atrium“, falls es als nach oben gänzlich überdacht zu verstehen ist, nicht den nach oben offenen Räumen zugeordnet werden, sondern ist nur aus dem spezifisch römischen Kontext als Atrium zu bezeichnen und zu verstehen. Grenzfälle zwischen nooR und ähnlichen Räumen, sowie eine mögliche Zuordnung sind in der **Abbildung 1.1.2** aufgezeigt.

1. Kategorie: Platz

Proportion (Breite zu Höhe):

ca. 5:1 bis 1:1

Der Platz ist ein öffentlicher Raum, der durch Gebäude und Gebäudegruppen gebildet wird. Er ist ein Gestaltungselement in der Stadtbaukunst. Es handelt sich dabei meist um einen repräsentativen öffentlichen Raum (Bedeutung: kommerziell, sozial, kultisch/ religiös, repräsentativ, funktional), der u.a. durch Gebäude mit öffentlicher Bedeutung definiert wird. Es kann zwischen offenen (keine einheitliche und geschlossene Fassadenfront) und geschlossenen Platzanlagen (durch einheitliche Bebauung und geschlossene Fassadenfront, Zufahrt oder Zugang meist durch überbaute Straßen und/ oder Durchgängen) unterschieden werden. Die Ecken des Platzes sind häufig durch Straßen, die den Platz erschließen, definiert. Nur selten sind Plätze durch überbaute Durchfahrten erschlossen (siehe geschlossener Platz).

Ab dem Mittelalter entwickelt sich der Platz immer mehr zum Verkehrsraum (Schnittpunkt von Straßen, Achsen).

2. Kategorie: Hof

Proportion:

ca. 3:1 bis 1:2

Die räumlichen Grenzen werden durch Mauern und/ oder Gebäude gebildet, wobei die Anzahl der Ge-

schosse beliebig ist und sich nach der Funktion der umliegenden Gebäude richtet. Der Begriff des Hofes selbst wird hier für einen unspezifischen nach oben offenen Raum genutzt. Im städtischen Bereich orientieren sich die Räume bis ins Mittelalter zum Hof, später meist zur Straßenseite (Westeuropa). Der Hof dient hauptsächlich der Erschließung, ist teilweise auch Arbeitsraum, später werden ihm repräsentative Aufgaben zugewiesen. Teilweise können kleinere Gebäude (Garagen, Schuppen) in den Hof gebaut sein. Eine Überlagerung von Gebäudeinnenraum und Hofraum findet kaum statt. Im städtischen Bereich kann, beginnend im Mittelalter bis in die Neuzeit, folgende Entwicklung festgestellt werden: Freiräume hinter Gebäuden, oft als Garten zur Selbstversorgung genutzt, werden durch die Zunahme der Bevölkerung nachverdichtet. So entsteht zuerst eine Blockrandbebauung mit Höfen, die durch weitere Nachverdichtung zu Innenhöfen werden. Erst durch das Anwachsen des innerstädtischen Verkehrs und Lärms kommt es zur Orientierung der Räume zum Hof, z.B. in der Blockbebauung. Der Hof hat meist keine spezifische Funktion. Mehrere Nutzungseinheiten orientieren sich zum Hof. Im ländlichen Bereich orientieren sich die Gebäude zum Hof (vgl. Anhang **Tabelle A.1**).

Der Hof (umgangssprachlich) wird oft als Überbegriff für die unterschiedlichen baulichen Ausformungen eines nach oben offenen Raumes gebraucht. Die Bezeichnung einer bestimmten baulichen Gestalt wird durch die Kombination mit weiteren Substantiven erreicht, welche u.a. die Funktion beschreiben, wie zum Beispiel: Gartenhof, Wirtschaftshof, Vierseithof, Ehrenhof, Burghof, Arkadenhof, Hinterhof, Peristylhof, etc.. Hier ist der Hof eine Untergruppe der nooR.

3. Kategorie: Innenhof

Proportion:

ca. 1:1 bis 1:4

Der Innenhof ist ein kompakter, deutlich begrenzter Raum zwischen

Gebäuden mit zum Teil unterschiedlicher Nutzung innerhalb eines funktionalen Gebäudeensembles. Die Fassaden zum Innenhof entsprechen in der Gestaltung Außenfassaden, zum Teil sind Arkaden als Erschließungsgänge vorgeschaltet. Häufig verbindet er hygienische Anforderungen mit sozialen und architektonischen Anforderungen. Kennzeichnend für den Innenhof z.B. in Westeuropa ist, daß er häufig durch Nachverdichtung entstanden ist und später zum Teil durch Laubengänge etc. aufgewertet wurde. Die Raumzonen sind unterschiedlich genutzt, teilweise privat, teilweise öffentlich. Im islamischen Wohnhaus ist der Innenhof zentraler Wohnbereich (für gemeinsame

Tabelle 1.1.1: Belichtungs- und Belüftungsmöglichkeiten von Räumen

Belichtungs- und Belüftungskonzept / nooR Konzept	Gebäude			Räume			
freistehende Gebäude	■						
Einfriedung	■	■	■				
Platz		■	■				
Hof		■	■	○			
Innenhof		■	■	■			
Oberlichtraum			■		■	■	
Schacht			■		■	■	
Halle	■			■			■

Einnahme von Speisen etc.) und bestimmt wesentlich die Gebäudeorganisation.

4. Kategorie: Atrium

Proportion:

ca. 1:1 bis 1:2

Das Atrium ist als Oberlichtraum zentraler Bereich eines Gebäudes oder einer Gebäudegruppe, zu der sich die Räumlichkeiten und Nutzungen hin orientieren. Das „oculus“ ist meist kleiner als die Grundfläche des Atriums. Das Atrium dient als Aufenthaltsbereich und der Klimatisierung der Gebäude (z.B. im römischen Wohnhaus). Zum Atrium ist nur eine Nutzungseinheit (z.B. Familie) orientiert. Meist sind Atrien ein- bis zweigeschossig und werden wie ein Innenraum genutzt. Auch die Gestaltung der Umschließungswände entspricht der Ausführung von Innenwänden. Im römischen Atrium durchdringen sich mehrere horizontale Raumelemente in einer Ebene (Atriumfläche mit Erschließungsachse). Vorkommen: Mittelmeerbereich, vor allem im römischen Einflußbereich, mit Schwerpunkt in Italien.

5. Kategorie: Schacht

Proportion:

ca. 1:3 bis 1:5

Unter den Begriff des Schachtes fällt, neben Lichtschacht, auch der Begriff des Lichthofes. Der Schacht ist durch seine schlanke Proportion,

kleine Grundfläche im Vergleich zur Höhe, definiert. Er hat meist eine klar umrissene Aufgabe, wie die Belichtung von Treppenträumen oder auch die Belichtung und Belüftung von Nebenräumen (wie z.B. Küchen).

Der Schacht zur alleinigen Belüftung und Belichtung von Wohnungen in gemäßigten Klimaten ist meist das Resultat einer hohen Verdichtung (z.B. verursacht durch Bodenspekulation). In warmen und trockenen Klimaten wird der Schacht zur Belichtung und Belüftung bei gleichzeitiger Reduzierung von solaren Gewinnen eingesetzt.

6. Kategorie: Bedingt nach oben offene Räume (überglast)

Die bedingt oder auch selektiv nach oben offenen Räume zeichnen sich dadurch aus, daß durch eine materielle Grenze, wie z.B. Glas oder auch Folien, die Einwirkung bestimmter Klimaelemente, wie Regen oder Wind, reduziert oder gänzlich ausgeschlossen wird. Für die Abgrenzung zu Innenräumen und Hallen mit Oberlicht gelten folgende Kriterien:

- eine Sichtbeziehung nach Außen bleibt erhalten (z.B. nicht der Fall in Museumsräumen mit einer Belichtung durch Milchglasscheiben),
- die Trennung zwischen Innen und Außen ist flächig und durchsichtig

(z.B. nicht der Fall bei einem Sheddach),

- die Glasfläche ist nicht in einzelne Fenster aufgelöst, die Tragstruktur ist untergeordnet,
- es entsteht kein Hallencharakter wie z.B. bei Markt-, Messehallen.

Die erwähnten Kategorien und Typen können auch überglast werden oder sind bereits überglast geplant. Von der Systematik her werden sie den jeweiligen Kategorien zugeordnet, auch wenn der dadurch entstehende Raum ein Innenraum mit Oberlicht wird. Die überglasten nach oben offenen Räume können nach der Lage der Glasebene (oberhalb, unterhalb der Traufe) und dem zu erzielenden oder erzielten Innenraumklima unterschieden werden z.B. Witterungsschutz, Pufferzone, temporärer Aufenthaltsbereich je nach Jahreszeit, Wohnraum und Aufenthaltsraum.

Kategorie 7: Weitere umgrenzte nach oben „offene“ Freiräume (Umfriedungen)

Hierbei handelt es sich um nach oben offene Räume, die nicht in die Kategorien 1-6 fallen und nur im weitesten Sinne „hofähnlich“ sind. Darunter fallen Einfriedungen oder umgangssprachlich als Hof bezeichnete Räume. Bei diesen Räumen fehlt außerdem häufig eine der

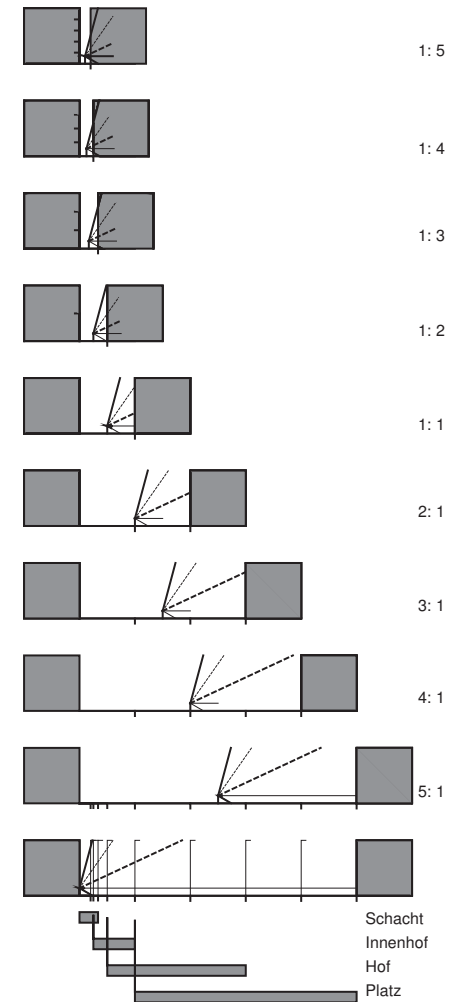


Abbildung 1.1.1: Blickfeld und Proportion zur Unterscheidung zwischen Hof und Einfriedung (Unterteilung Blickfeld nach LANG 1991 von oben nach unten: obere Grenze durch Kopfbewegung erweitertes Blickfeld, obere Grenze maximales Blickfeld, Grenze optimales Blickfeld).

vier seitlichen Umgrenzungen oder ist nur sehr schwach ausgebildet (z.B. durch einen Zaun). Ebenso werden unter diesem Begriff nach oben selektiv offene Räume wie Passagen subsummiert, wenn z.B. alle vier Seiten durch Verglasungen geschlossen sind.

Gruppe der Einfriedungen:

- durch Gebäude und Einfriedungen begrenzte Freiräume, wie Schulhöfe oder auch Friedhöfe,
- durch Mauern begrenzte Räume wie z.B. Pflanzflächen, Labyrinth, Einfriedungen,
- durch Pflanzen begrenzte Räume wie z.B. Lichtungen, Gärten, Einfriedungen,
- durch bewegliche Elemente begrenzte Räume z.B. in Zeltlagern.

Weitere „hofähnliche“ Räume sind: Gruppe der transparent begrenzten Freiräume oder Räume:

- Galeria oder Passage (vgl. BEJAMIN 1983) als überdachter Straßenraum, oftmals mit verglasten Wänden zum Abschluß des Straßenraumes, wenn der durch die Glasbegrenzung erzeugte Raum den Anforderungen von Länge zu Breite entspricht.
- sogenannte „Atrien“ in Hochhäusern die eine direkte oder indirekte Verbindung nach aussen haben, z.B. durch Lichtlenksysteme.

Tabelle 1.1.2: Kriterien und typische Merkmale zur Abgrenzung zwischen den Kategorien 1-5

Kategorie Kriterium	Platz	Hof	Atrium	Innenhof	Schacht
Raumkonzepte (überwiegend)	Umfriedung	Umfriedung	Oberlichtraum	Umfriedung / Oberlichtraum	Umfriedung / Oberlichtraum
Proportion (b/h)	5:1 bis 1:1	3:1 bis 1:2	1:1 bis 1:2	1:1 bis 1:4	1:3 bis 1:5 und höher
Form i.d.R.	geometrische Grundform	unregelmäßig bis regelmäßig	bevorzugt quadratisch	rechteckig	quadratisch
Bauliche Einfassung	Gebäude	Gebäude, Flügelbauten, Mauer	Gebäude, Flügelbauten	Gebäude, Flügelbauten, Mauer	Gebäude, Mauer
Eckausbildung	offen / geschlossen	teilweise offen, überwiegend geschlossen	geschlossen	geschlossen	geschlossen
Anzahl Stockwerke um den nooR	beliebig, häufig 5	beliebig	1 bis 2	1 bis 5	beliebig
Dachbegrenzung	unregelmäßig bis regelmäßig	unregelmäßig bis regelmäßig	regelmäßig, evtl. Dachebene nooR ungleich Dachebene Gebäude	regelmäßig bis unregelmäßig	regelmäßig
Grundfläche nooR zu Gebäude	>	>=<	<=	<	<<
Oculusfläche zu mittlerer Grundfläche	gleich	größer bis kleiner, meist gleich	gleich bis kleiner, meist kleiner	gleich bis kleiner	gleich
Gebäudeeinheit bzw. Wohneinheit zu nooR-Einheit	beliebig	beliebig bis 1:1	1:1	beliebig bis 1:1	1:1
Anzahl der Nutzungseinheiten	unbegrenzt	unbegrenzt	eine	wenige	begrenzt
Orientierung der Haupträume	Platz	beidseitig	Atrium	Straße / Innenhof	Straße
Orientierung der Nebenräume	beliebig	beidseitig	Straße	Innenhof	Schacht
Erschließung	öffentlich	öffentlich / privat	privat	halböffentlich	keine
Zentrum des Gebäudes	nein	nein	ja	nein	nein
Funktion	Erschließung Aufenthalt	Erschließung Aufenthalt	Aufenthalt, Erschließung Licht, Luft	Erschließung, Aufenthalt, Gewerbe	Licht, Luft
Nutzungsart	öffentlich	öffentlich bis privat	privat	halböffentlich bis privat	bauphysikalisch hygienisch
horizontale Verzahnung	gering, z.B. Laubengänge, Balkone	gering bis mittel, z.B. häufig nur im Erdgeschoß	stark	mittel, z.B. Arkadengänge auch in Obergeschoßen	gering, meist nur über Fenster oder Öffnungen
Aufenthalt allgemein	überall, Verkehrsfläche	überall Erschließung	Randbereich	überall	keiner
Einbauten im Erdgeschoß	möglich	möglich	ja zentral	möglich	nein
Durchgängigkeit Dach EG	ja	ja	ja	nicht notwendig	nicht notwendig
Nutzungsbereich überwiegend	zentral / tangential, unterschiedlich Nutzungen möglich	zentral	tangential	zentral/ tangential	tangential
Zonierung nooR	ja	nein	ja	ja	nein
Ausschließliche Quelle für Belichtung / Belüftung	ja / nein	nein / ja bei z.B. Blockbebauung	ja	ja / nein	ja / nein Ergänzung

1.1.2 Einordnung unterschiedlicher nooR nach Typen, Kategorien und Gruppen

Zur Verdeutlichung der Definitionen werden in **Tabelle 1.1.4** unterschiedliche Typen nach oben offener Räume den einzelnen Kategorien zugeordnet. Die Zuordnung von Typen zu unterschiedlichen Kategorien ist notwendig, da z.B. die gleiche Nutzung in klimatisch unterschiedlichen Gegenden durchaus verschiedene nach oben offene Räume hervorbringt.

In **Tabelle A1** (siehe Anhang) wird beispielhaft versucht die unterschiedlichen Typen zu charakterisieren und eine eindeutige Beschreibung zu erreichen.

Allerdings ist nicht immer eine klare Abgrenzung zwischen den Typen auf Grund der unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten und Ambivalenz des nooR im Allgemeinen möglich.

Tabelle a.2 (siehe Anhang) gibt einen Ausschnitt möglicher Zuordnung wieder.

Gruppen der räumlichen Organisation sind (**siehe Abbildung 1.1.3**):

Gruppe 1

(Hinterhofgruppe)

nooR liegt hinter dem Hauptgebäude (Hinterhoftyp), die Rückgebäude sind häufig Wirtschaftsgebäude (Mittelalter bis Neuzeit), später

geringerwertige Wohngebäude, wie z.B. in Berlin im 19. Jahrhundert; Hinterhöfe allgemein, oftmals durch Nachverdichtung entstanden, typisch in der Blockbebauung.

Gruppe 2

(Vorhofgruppe)

nooR liegt vor dem Hauptgebäude (Vorhoftyp); Griechenland im hippodamischen Städtebau, aber jedoch auch im barocken Schloßbau (Ehrenhof) oder beim Schulhof mit zurückgesetztem Hauptgebäude.

Gruppe 3

(Zentralhofgruppe)

nooR als zentraler Raum, vor allem bei einheitlichen Gebäuden um den nooR mit einer gleichartigen Dachgestaltung, durchgehendem Dach und Trauflinie z.B. Atriumhöfe oder Peristylhöfe.

Untergruppe 1

nooR mit einer Zone, wie z.B. Lichthöfe ohne Arkaden, Loggien etc.

Untergruppe 2

nooR mit mehreren Zonen um den nooR, wie z.B. Arkaden, Säulengänge zur Erschließung oder Wohnhöfe mit sich zum Hof öffnenden Räumen im islamischen Kulturkreis (Iwantyp).

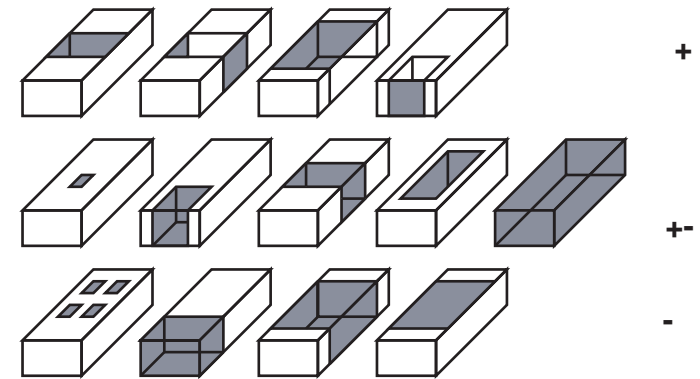


Abbildung 1.1.2 : Mögliche Zuordnung von Gebäuden mit verglasten Flächen zu den nach oben offenen Räumen.

- + = kann einer Kategorie zugeordnet werden,
- + - = kann je nach baulicher Ausführung einer Kategorie zugeordnet werden,
- = kann keiner Kategorie zu geordnet werden.

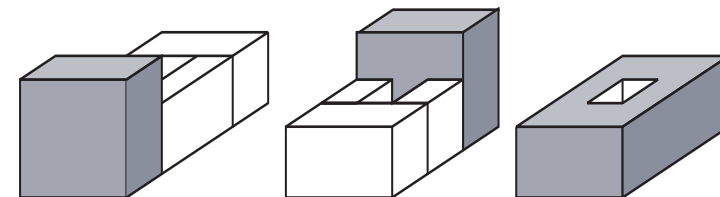


Abbildung 1.1.3:
v.l.n.r.: Hinterhofgruppe, Vorhofgruppe, Zentralhofgruppe

Tabelle 1.1.4: mögliche Zuordnung von nooR zu den Kategorien

Kategorie Typ	Platz	Hof	Innenhof	Atrium	Schacht	bedingt nooR	weitere
Gartenhof							
Burghof							
Gefängnishof							
Hinterhof							
Block							
Wirtschaftshof							
Ehrenhof							
Arkadenhof							
Palasthof							
Schloßhof							
Kreuzgang							
Paradies							
Moscheenhof							
Arbeitshof							
Wohnhof							
Peristyl							
Lichthof							
Lichtschacht							
römisches Atrium							
Pausenhof							
Vierseithof							
Erdwohnung mit Hof							
Stadtplatz							
Schrankenplatz							
Rathausplatz							
Marktplatz							
Dorfplatz							
Agora							
Schloßplatz							
Forum							
Schulhof							
Friedhof							
Einfriedung							
Galerie							
Passage							

1.2 Faktoren, die den nooR in Form und Gestalt beeinflussen

1.2.1 Erläuterung zum Bergiff der Faktoren

Gebäude und nooR sind durch unterschiedlichste Faktoren in ihrer Form und Gestalt geprägt. Dabei handelt es sich nicht nur um einen statischen und einmaligen Prozeß, sondern um einen dynamischen (Rückkopplung) und zeitlich unbegrenzten Vorgang, der den ganzen Lebenszyklus eines Gebäudes bestimmt. Die Gewichtung der Faktoren untereinander oder im Verhältnis zum nooR und Gebäude können erheblich voneinander abweichen.

Ebenso erschwert eine eindeutige Gewichtung der Faktoren, daß sie zum Teil objektiv, bzw. nur subjektiv gewertet werden können.

Anzumerken ist, daß Faktoren (z.B. die angestrebte Nutzung), die ein Gebäude sehr stark prägen, nicht den Umkehrschluß zulassen, daß eine bestimmte Nutzung nur durch eine bestimmte Faktorenkombination möglich ist. Dies liegt u.a. an der Tatsache, daß ein Raum, auch wenn er nur für eine einzige ausschließliche Nutzung entworfen wurde, nutzungsunabhängige Eigenschaften aufweist (z.B. Größe, Raumklima etc.), welche eine andere Nutzung zulassen. So kann durch technische Hilfsmittel oder geringe bauliche Maßnahmen eine

andere Nutzung ermöglicht werden, wie z.B. durch Überglasen eines nooRs

Die Faktoren sind Determinanten, die ein Gebäude oder einen nooR in Form und Gestalt prägen. Faktoren versuchen das „warum etwas so ist“ zu klären und grenzen sich dadurch von der Morphologie ab, die untersucht „wie etwas sich objektiv darstellt“. Faktoren beschreiben also nicht, wie ein Gebäude exakt aussieht, sondern welches die Hauptgründe für Form und Gestalt sind oder sein können.

Gebäude und nooR dienen vor allem dazu, den Bewohner vor Einwirkungen der Natur (Klima und Witterung) zu schützen. Räume dienen für oder ermöglichen bestimmte Tätigkeiten, sind aber auch Ausdruck bestimmter Vorstellungen und Moden. Nach RAPOPORT (1969) ist das Gebäude in Form und Gestalt nicht nur von physischen oder einzelnen kausalen Faktoren, sondern auch von einer Vielzahl kultureller Faktoren bestimmt. Faktoren sind demnach z.B. verfügbare Baustoffe, klimatische Gegebenheiten. FLADE (1993a) bedient sich bei der Wertung der einzelnen Bedürfnisse des hierarchischen Modells von MASLOW (1973) (**Abbildung 1.2.1**) und macht folgende Aufstellung:

“ - physiologische Bedürfnisse nach Wärme; Licht, Ruhe, Erholung und Schlaf,

- das Bedürfnis nach Sicherheit, Beständigkeit, Vertraulichkeit,
- das Bedürfnis nach sozialer Anerkennung, Prestige, Status und Ansehen,
- das Bedürfnis nach Selbstentfaltung.“

Es müssen dabei stets die fundamentalen Bedürfnisse befriedigt werden, bevor höhere Bedürfnisse in Angriff genommen werden können. Allerdings haben empirische Untersuchungen dazu nur wenige Indizien erbracht (WEINERT 1981).

Ein Gebäude oder ein nooR ist damit am besten zum Wohnen oder Arbeiten geeignet, wenn die Erfüllung der unterschiedlichen Bedürfnisse ermöglicht wird.

Entsprechend dem Homöostaseprinzip, nach dem ein Bedürfnis aufhört zu existieren, sobald es erfüllt ist, können auch Faktoren, welche die bauliche Gestalt prägen, beurteilt und gegeneinander abgewogen werden.

Das Homöostaseprinzip kann nach MASLOW (1973) auf alle (Defizit-) Bedürfnisse, außer dem Bedürfnis nach Selbstverwirklichung (Wachstumsbedürfnis), angewendet werden.

Bezogen auf FLADE (1993) und MASLOW (1973) können von ei-

nem nooR die Bedürfnisse entsprechend **Tabelle 1.2.1** erfüllt werden.

Für die Untersuchungen zum mikro-klimatischen Verhalten von nooR erscheint eine verallgemeinernde Übersicht sinnvoll zu sein.

Diese Übersicht ermöglicht eine vereinfachte Abwägung einzelner Faktoren, ohne dem Anspruch gerecht werden zu müssen, eine definitive „Bedürfnisrezeptur“ gefunden zu haben, welche die individuelle Ausprägung eines Gebäudes vollends erklärt.

Grundfaktoren

Hierbei handelt es sich um Faktoren der physischen Umwelt wie:

- topographische Faktoren,
- materielle Faktoren,
- klimatische Faktoren,
- zeitliche Faktoren,

der kulturellen Umwelt wie:

- kulturelle/ gesellschaftliche/ soziale Faktoren,
- religiöse Faktoren,
- funktionale Faktoren,
- wirtschaftliche Faktoren,
- technische Faktoren,
- politische Faktoren,
- normative Faktoren,

der Persönlichkeit wie:

- bioklimatische Faktoren
- psychologische Faktoren.

Diese Grundfaktoren variieren nochmals durch die Möglichkeit einer subjektiven Interpretation objektiver Faktoren. Eine objektive Wohnumwelt und ihr Einfluß auf die gebaute Umwelt mag so subjektiv und/ oder objektiv wahrgenommen und anschließend subjektiv und/ oder objektiv bewertet werden.

Eine Reduzierung dieser „Grundfaktoren“ auf die Faktoren „physische Umwelt“ und „Kultur“ ist möglich, würde aber bei der Beschreibung von Gestalt und Form von Gebäude und nooR keine eindeutige Bestimmung der Faktoren erlauben und einer Bewertung und Gewichtung nicht dienlich sein. Die weitere Unterteilung der Grundfaktoren unterstützt eine genauere Beschreibung und Begriffsdefinition. Die Faktoren versuchen den „Wirkkomplex“ übersichtlich darzustellen und eine Abwägung bei der Beurteilung zu ermöglichen. Folgende Faktoren können zur Beurteilung von nooR in Erwägung gezogen werden (kursiv gedruckt, Faktoren die für nooR von besonderer Bedeutung sind):

Faktoren der physischen Umwelt:

- topographische Faktoren
 - natürliche Faktoren wie geographische Lage, Topographie der Landschaft
 - künstliche (bauliche) Faktoren wie gebaute Umgebung und Dichte

- (Stadt / Land), Grundstückszuschnitt, Begrenzungen (Stadtmauer) etc.
- materielle Faktoren
 - Baumaterialien etc.
- klimatische Faktoren
 - durchschnittliche Temperaturen, mittlere Minima und Maxima der Lufttemperaturen, Niederschlag, solare Einstrahlung, etc.
- zeitliche Faktoren
 - Bauabschnitte (siehe Abbildung 1.2.3 und Tabelle 2.2.2), etc.

Faktoren der kulturellen Umwelt:

- kulturelle / religiöse Faktoren
 - religiöse Kulthandlungen, Kulturräume, Differenzierung der Kultur > primitiv, vorindustriell, industriell, Bildungsniveau, Einstellungen, Vorstellungen, Verhaltensregeln, etc.
- gesellschaftliche Faktoren / soziale Faktoren
 - Familienstruktur, soziale Regulation (Privatheit/ Öffentlichkeit/ Kommunikation/ Identifikation), Verhältnis von Öffentlichkeit und Privatheit, Verhältnis von Individualität und Kollektivität, geschlechtsspezifische Wohnumwelt, Arbeitsteilung, Individualität/ Kollektivität, gesellschaftliche Stellung, Migration/ Wissenstransfer aus anderen Kulturkreisen, Lebensweise (Nomadentum/ Sesshaftigkeit, enge Verbindung von Wohnen und Arbeiten, Trennung von Wohnen und Arbeiten, Einbindung von Vegetation, etc.

- funktionale Faktoren
 - Arbeitsablauf im Gebäude, Arbeits-/ Wohnbedürfnisse, Nutzungsart, Nutzungsschwerpunkt, Raumprogramm, minimale Dichte für eine städtische Ansiedlung, Licht, Luft, etc.

- wirtschaftliche Faktoren
 - Arbeitsteilung, Erwerbstätigkeit, finanzielle Lage, Optimierung der Bodennutzung, Verdichtung, Mehrgeschossigkeit, Selbstversorgung, etc.
- technische Faktoren
 - Bautechnologie, Differenzierung der Bauwirtschaft (Bauträger, Eigenbau), Verarbeitungstechnologie, Materialkunde, konstruktives Wissen, wissenschaftliche Erkenntnis, vorhandene Bausubstanz, etc.
- politische Faktoren
 - Frieden/ Krieg, stabile politische Lage, Staatsform, etc.
- normative Faktoren
 - allgemeine Gesetzgebung, Baugesetze, „Bautradition“, etc.

Faktoren der Persönlichkeit:

- bioklimatische Faktoren
 - Bedürfnis nach Licht, nach Luft, nach thermischem Komfort, etc.
- psychologische Faktoren
 - Repräsentation, Symbolik, Wohnvorstellungen, Sicherheit (allgemein, objektive, existentielle), etc.), Selbstverwirklichung, ästhetische Überlegungen, etc.

1.2.2 Zusammenhang zwischen Faktor und Form unter Berücksichtigung des Einflusses von Klimaparametern

Der Einfluß des Klimas auf die bevorzugte Wohnform -der Begriff der Wohnform wird hier auf Haus und nooR angewendet- ist nach RAPOPORT (1969) um so stärker, je extremer die klimatische Situation ist. Umgekehrt herrscht also in günstigen Klimaten ein größerer Freiheitsgrad bei der Gestaltung von Gebäuden. Darin begründet liegt ein gewisser Zusammenhang zwischen Klima und Wohnform, welcher durch das zur Verfügung stehende Baumaterial, bestimmte (autochthone) Wohnformen als möglich definiert. Diese Wohnformen werden durch weitere Faktoren wie Kultur eingeschränkt oder erweitert.

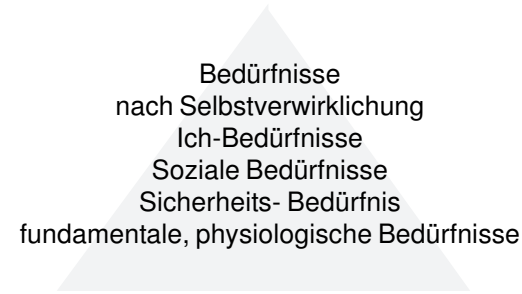


Abbildung 1.2.1: Modell der Bedürfnisse nach MASLOW (1973)

So können für die klimatische Situation geeignete Wohnformen auf Grund anderer Faktoren zu Gunsten ungeeigneter Wohnformen/ Gebäudetypen abgelehnt werden (z.B. ein repräsentatives Steinhaus anstelle eines Holzhauses).

Auf Grund der unterschiedlichen Gewichtung einzelner Faktoren aus objektiven oder subjektiven Gründen kann es zu einer Überschneidung günstiger und ungünstiger Wohnformen in einer Klimazone kommen. RAPOPORT (1969) weist darauf hin, daß ein Haus eben nicht nur das Ergebnis physischer Faktoren oder eines einzelnen kausalen Faktors ist, sondern ein Produkt

unterschiedlicher Faktoren. Für ein Gebäude und mit nooR gilt dieses besonders, da Faktoren jeweils auf Gebäude und nooR angewendet werden müssen (unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten und Klimamodifikationskapazität).

Wesentlich bei der Beurteilung der klimatischen Modifikationskapazität (= Möglichkeit das Klima durch bauliche Maßnahmen in einem definierten Bereich zu modifizieren) von Gebäude und nooR ist das für Gebäude und nooR gemeinsam oder getrennt definierte Maß der Klimabeeinflussung. Eine Beurteilung, inwieweit das Klima nooR und Gebäude geformt hat, ist nur auf einer sehr allgemeinen oder sehr spezifi-

schen Basis möglich, da eventuell nur in klimatisch extremen Situationen eine homogene klimatisch geprägte Bausubstanz auftritt (z.B. Iglu). Somit kann die Bandbreite der Wohnformen in einer Klimazone (intraklimatisch) größer sein als die Unterschiede zu Bauformen in anderen Klimazonen (interklimatisch). Ebenso kann es interkulturell zu geringeren Abweichungen der Standardgebäudeformen kommen wie intrakulturell auf Grund z.B. regionaler Verfügbarkeit von Baustoffen. So ist der Innenhof eines Innstadthauses (z.B. Wasserburg am Inn) einem Innenhof einer mittelalterlichen italienischen Kleinstadt

ähnlicher als einem nooR in einem Vierseithof aus der Umgebung.

Es bedarf weiterer Konzepte zur Beurteilung und Einordnung von Gebäuden mit nooR in einen Gesamtkontext. Erst damit ist gewährleistet, die unterschiedlichen oder sehr ähnlichen Formen in unterschiedlichen Klimazonen und Kulturen zu bewerten und zu vergleichen.

1.2.3 Mögliche Gründe für unterschiedliche Bauformen von Gebäuden mit nooR innerhalb einer Klimazone

Die bauliche Variabilität ist die Variation eines Grundtyps in einer Region oder Klimazone. Ursachen dafür können sein:

- neue Entwicklungen (Baustoffe, Technik etc.) > z.B. Überglasung,
- Wissenstransfer durch Zuwanderung, Migration, Handel und Reisen, Krieg > z.B. Verbreitung des Atrium im römischen Reich,
- neue Kombinationsmöglichkeiten bekannter Elemente (Bruch mit Tradition) > z.B. Atriumhaus mit Peristyl.

Dieser baulichen Variabilität können folgende Faktoren entgegen stehen:

Tabelle 1.2.1: Bedürfnisse und ihre Bezugnahme zu nooR

	Bedürfnis	Bewertung	Grenzen
1	physiologische Bedürfnisse nach Wärme, Licht, Ruhe, Erholung und Schlaf	kann von einem nooR erfüllt werden, durch die Zonierung des nooR und der angrenzenden Gebäude, gute Abgrenzung nach Außen	durch Proportion, Grundstücksgröße, zum nooR angrenzende Räume sind anfällig für Störungen innerhalb des nooR (Lärm, Geruch).
2	nach Privatheit (im Sinne von Zugangskontrollen)	gute Zugangskontrolle in der "horizontalen" Ebene, durch Türen und dem Verzicht auf Fenster zur Straße	Räume zum nooR offen, keine Zugangskontrolle (vertikal) über Dach und nooR
3	nach sozialer Anerkennung, Prestige, Status und Ansehen,	kann durch Fassaden und nooR, oder nur nooR befriedigt werden und mit Ausschluß der Öffentlichkeit	vor allem bei hoher Dichte in Altbaugebieten, Gebäude mit mangelhafter Belüftung und fehlendem Ausblick
4	nach Selbstentfaltung	der nooR kann durch seine Geometrie dem Bedürfnis nach Selbstentfaltung entgegenkommen	durch Mitbewohner, durch geteilten Freiraum nooR im Geschosßwohnungsbau Schall- und Lärmübertragung, sowie ein hohes Maß an sozialer Kontrolle durch Sichtbeziehungen

- kulturelle, soziale Erfordernisse, Baumaterialien
- technische Möglichkeiten zur Klimatisierung des Gebäudes.

Desweiteren kann es durch eine geographische Isolation zu Merkmalunterschieden von Bauformen innerhalb einer Zone kommen. Auch die Topographie kann eine Auswirkung auf einen Grundplan haben. Allgemein hat eine erhöhte Berücksichtigung eines Faktors negative Auswirkungen auf andere Faktoren. So wirkt sich zum Beispiel der Faktor Sicherheit auf die Anzahl der Öffnungen zur Belichtung und Belüftung im Gebäude mit nooR aus. Es werden die Fenster und Öffnungen nach außen reduziert. Das Haus öffnet sich großzügig nach innen (Kompensation).

Für die vergleichende Betrachtung des nooR-Hauses erscheint es sinnvoll, Gruppen mit gemeinsamen Grundbauplänen, abhängig von der Klimazone und kulturellen Zugehörigkeit zu entwickeln. So kann durch den Vergleich systematischer Einheiten eine stufenweise Veränderung baulicher Anlagen verdeutlicht werden.

Zur Unterscheidung gleichartiger Gebäude mit nooR erscheinen die Konzepte der Homologie, Analogie und Konvergenz als geeignet. Mit diesen Konzepten aus der Biologie

lassen sich ähnliche Gebäudeformen und Strukturen in unterschiedlichen Klimazonen oder auch Epochen eindeutig klassifizieren.

Homolog können Gebäude demnach genannt werden, wenn räumliche Strukturen zwar nach Form und Funktion verschieden sind, aber von einer gleichen Grundform abstammen (Progression und Regression).

Drei Kriterien sind dabei maßgebend.

- Homologie der Lage, d.h. gleiche Anzahl und relative Lage von räumlichen Strukturen,
- Homologie der spezifischen Qualität von räumlichen Strukturen,
- Homologie der Stetigkeit, d.h. Zwischenformen.

Als Beispiel einer homologen Entwicklung kann die Entwicklung beim griechischen Hof zum Peristyl gesehen werden.

Räumliche Strukturen sind analog, wenn sie eine gleiche Funktion und/oder Form aufweisen, aber auf verschiedenen Grundbauplänen beruhen. Hier wäre zum Beispiel ein in der Renaissance aufgewertete nooR einer mittelalterlichen Gebäudegruppe mit Vorder- und Hinterhaus im Vergleich zu einem nooR in einem Renaissancepalast anzuführen.

Als konvergent können räumliche Strukturen bezeichnet werden, wenn sie eine ähnliche Gestalt ausbilden auf Grund gleichartiger Funktion oder Nutzungsweise.

Hierbei besteht ein gleichgerichteter oder fehlender Entwicklungsdruck bei verschiedenen Grundbauplänen oder Gebäudetypen. Als Beispiel für eine Konvergenz ist die Form und Gestalt eines Lichtschachtes zu nennen, welcher in allen Kulturen und Klimazonen auf Grund seiner eng umrissenen Funktion gleich gestaltet ist.

Des weiteren darf nicht übersehen werden, daß eine Klimazone sich aus den unterschiedlichsten Meso- und Mikroklimaten zusammensetzt. Die lokale Strahlungsverteilung, Temperaturverlauf und Windcharakteristik können einen nicht unerheblichen Einfluß auf die individuelle bauliche Gestaltung haben (z.B. Tallage, Hanglage).

1.2.4 Mögliche Entwicklungsregeln für Gebäude mit nooR

Für die Entstehung eines nooR könnten folgende Regeln, auch im Sinne einer Grammatik (vgl. u.a. KNIGHT 1999), angewendet werden.

- Große Gebäude brauchen bei kleinzelliger Nutzungsstruktur zur internen Versorgung mit Licht und Luft einen nooR (siehe **Abbildung 1.2.3**).
- Die vollständige Überbauung eines Grundstückes bedarf, ab einer bestimmten Größe, einer zentralen Öffnung für Licht und Luft.
- Mit zunehmender Dichte kann ein privater Außenbereich nur durch einen nooR erreicht werden.
- Eine Zunahme der räumlichen Differenzierung des nooRs führt zur Zunahme seiner Leistungsfähigkeit (Arkaden, Loggia, Iwan, Wasserflächen, Bepflanzung etc.).
- Eine Zunahme der Nutzereinheiten um den nooR führt zu einer Vernachlässigung des nooRs.
- Unterschiedliche Wichtigkeit der das Gebäude umgebenden Straßen führt zu Differenzierung der Gebäude um einen nooR in ein Vordergebäude oder Rückgebäude mit unterschiedlichen Traufhöhen.
- Ein hohes Maß an Privatheit führt zu einer Nutzungsstruktur wie folgt: Vorderhaus als Zone mit Nebennutzungen, Hinterhaus als Wohnhaus zum Hof orientiert (keine durchgehende Axialität); alle Gebäude mit an-

nähernd gleicher Traufhöhe um Einblicke zu vermeiden.

- Repräsentative Gebäude mit einer einheitlichen Nutzungsstruktur tendieren zu gleichartigen / gleich hohen Gebäuden um einen repräsentativen nooR.
- Technische Möglichkeiten zur Belichtung und Belüftung machen den nooR obsolet (black box).
- Je größer ein Gebäudeblock und der daraus resultierende nooR, desto mehr Unterteilungen des entstehenden nooR-Raumes sind möglich.
- Das Optimum der nooR - Größe kann je nach Zielsetzung z.B. ökonomisch, ökologisch unterschiedlich ausfallen.
- Warme und trockene Klimate führen zu einer Abnahme der Dachneigung für die Gebäude um den nooR.
- Gebäude mit unterschiedlichen Nutzungen, die eine (ökonomische, soziale etc.) Einheit bilden, werden häufig zu einem nooR-Komplex arrangiert, wobei die Unterschiede in der Gebäudestruktur sichtbar bleiben.

1.2.5 Klassifizierung von Gebäuden anhand von Faktoren

Auf Grund der angestellten Überlegungen wird ein Schlüssel zur Klassifizierung von Gebäuden vorgeschlagen. Die damit mögliche Klassifizierung soll einer schnellen Einordnung und Unterscheidung von Gebäuden hinsichtlich ihrer prägenden Faktoren dienen. Denn nur so kann eine sinnvolle Basis für eine klimatische Bewertung geschaffen werden, die es ermöglicht, nicht nur den Zustand aus verengter klimatischer Sicht zu bewerten, sondern auch andere „Zwänge“ mit einzubeziehen. Gleiche bauliche Gegebenheiten können so auf Grund unterschiedlicher Faktoren bewertet und durch Analogie- und Homologiekriterien (siehe unten) weiter differenziert werden.

Zu bedenken ist, daß Faktoren keine Auskunft über eine aktuelle Nutzung oder über alternative Nutzungen geben müssen.

Prinzipiell werden folgende Gebäudetypen / nooR-Typen unterschieden:

a) monokausale Typen (M-Typen)

Hier ist Form und Gestalt durch nur „einen“ Faktor oder Faktorenkomplex geprägt, wie z.B. bei Kreuzgängen (Zisterzienserklöster)

b) oligokausale Typen (O-Typen)

Hier ist Form und Gestalt durch wenige und/ oder sehr eng verbundene Faktoren bestimmt (z.B. autochthone Bauformen), wie z.B. Innenhöfe im islamischen Kulturkreis oder auch Haustypen im antiken Griechenland (Olynth)

c) polykausale Typen (P-Typen)

Hier ist Form und Gestalt von unterschiedlichsten, meist gleichgewichtigen

Faktoren geprägt, meist durch Faktorenkomplexe, wie z.B. bei unterschiedlich genutzten Gebäuden mit Wohnen und / oder Arbeiten in städtischer Umgebung oder bei durch Umbauten und wechselnde Nutzungen oder Veränderungen des Raumprogramms geprägten Gebäuden. Hierunter fallen vor allem nooR der Kategorie Hof.

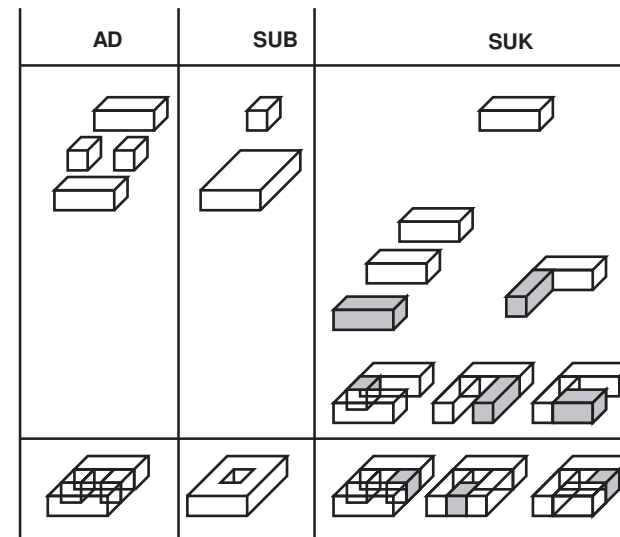


Abbildung 1.2.2: Entstehung von nooR-Gebäuden, zeitlicher Verlauf (vgl. Seite 15).
 Spalte AD (Addition): unterschiedliche Gebäude / -typen durch nooR zu einem Komplex verbunden, meist gleichzeitige Errichtung.
 Spalte SUB (Subtraktion): nooR als integraler Bestandteil eines Gebäudes z.B. bei Wohnbauten in verdichteter Bauweise.
 Spalte SUK (sukzessive Entstehung): meist durch Nachverdichtung von städtischen Grundstücken oder bei Erweiterung von Gebäuden entstandener nooR.

Die Bezeichnungen M-Typ, O-Typ oder P-Typ kann als Schlüssel zur groben Einordnung gewählt werden. Für eine verfeinerte Klassifizierung wird folgender Schlüssel vorgeschlagen.
(Anzumerken ist, daß diese Bauten durchaus sehr unterschiedlich genutzt werden können)

Erster Schlüssel
zeitlicher Faktor bestehend aus Großbuchstaben und Index (siehe **Abbildung 1.2.2**)

AD
Gebäude entstanden durch Addition einzelner Elemente,
SUB
Gebäude entstand durch Subtraktion von Elementen (Atriumgebäude = Gebäude abzüglich Freiraum),
SUK
sukzessive Entstehung des Gebäudes z.B. Hofhaus durch Nachverdichtung.

Zweiter Schlüssel
(vergleiche oben aufgeführte Faktoren)
Der Schlüssel besteht aus maximal drei Großbuchstaben, die jeweils für einen Hauptfaktor stehen. Jeder Faktor kann durch Kleinbuchstaben erweitert werden um Besonderheiten hervorzuheben. Um eine prägnante Beschreibung zu erzielen sind die Faktoren in abnehmender

Wichtigkeit zu sortieren. Sollte dies nicht möglich sein, durch ein tiefgestelltes g (z.B. G_g A_g) für gleichgewichtig zu kennzeichnen.

Dritter Schlüssel
beschreibt, ob die Faktoren hauptsächlich auf das Gebäude g, Hof h, Gebäude und Hof i oder Freiraum f um das Gebäude wirken. Dies wird durch einen hochgestellten Kleinbuchstaben zum Ausdruck gebracht, z.B. A G_s D_f^g.

Vierter und weitere Schlüssel
z. Z. freibleibend.

Für die Einordnung einer baulichen Anlage kann auch folgender Ansatz Verwendung finden:
Die Anteile der Faktoren an einer baulichen Gestalt werden in Prozent ausgedrückt. Ziel ist, zu verdeutlichen, daß klimatische Faktoren nicht allein die bauliche Gestalt bestimmen.

Tabelle 1.2.2: Auswirkung der zeitlichen Entwicklung eines Gebäudes auf den nooR

einheitliches Gebäude	unterschiedliche Gebäude zeitgleich/ zeitversetzt erbaut	
einheitlicher nooR		nooR als Restfläche
nooR als zentraler Raum mit zentraler Funktion, oft symmetrisch, repräsentativ mit einheitlichen/ durchgängigen Fassaden	nooR als verbindendes repräsentatives Element unterschiedlicher Bauten z.B. durch Arkaden etc. als vereinheitlichende Zone, teilweise auch nachträglich gestaltet	nooR als Restfläche, unterschiedlicher oder gleicher Gebäude mit zentralem, nicht zugeordnetem Raum, oft dienend zur Versorgung untergeordneter Räume mit Licht und Luft, undefinierter Funktion

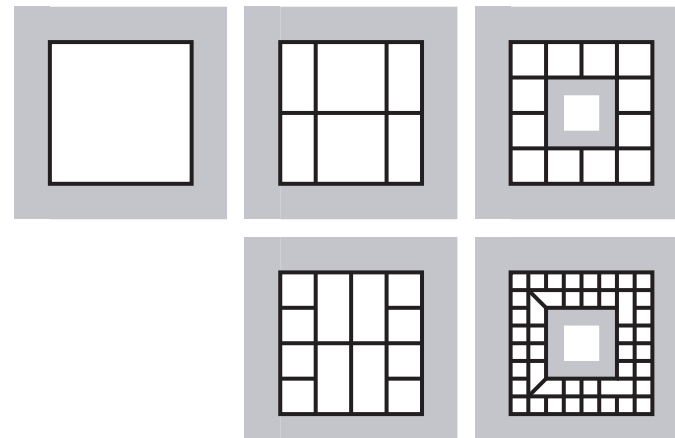


Abbildung 1.2.3: Kleinzellige Strukturen verlangen nach einem nooR; Bedingung ist, daß jede Zelle mindestens einseitig belichtbar und zu lüften sein muß.

1.3 Morphologie

1.3.1 Einleitung und Erläuterung zur Morphologie

Morphologie ist „allg.: Lehre von den Gestalten, Formen und Organisationsprinzipien eines Sach- oder Sinnbereichs, ...“ (MEYERS 1999). Des Weiteren kann unterschieden werden zwischen:

- beschreibender Morphologie,
- vergleichender Morphologie,
- funktioneller Morphologie, (beschreibt die Wechselwirkungen zwischen Strukturen und Funktionen).

Für diese Arbeit ist ebenso von Bedeutung was ZWICKY (1989a) „über die Methode des Morphologischen Kastens“ schreibt:

„Erster Schritt: Genaue Umschreibung oder Definition sowie zweckmäßige Verallgemeinerungen eines vorgegebenen Problems .

Zweiter Schritt: Genaue Bestimmung und Lokalisierung aller Lösungen des vorgegebenen Problems beeinflussender Umstände, das heißt, in anderen Worten, Studium der Bestimmungstücke oder, wissenschaftlich ausgedrückt, der Parameter des Problems.

Dritter Schritt: Aufstellung des Morphologischen Kastens oder des

morphologischen vieldimensionalen Schemas, in dem alle möglichen Lösungen des vorgegebenen Systems ohne Vorurteile eingeordnet werden.

Vierter Schritt: Analyse aller im morphologischen Kasten enthaltenen Lösungen auf Grund bestimmter gewählter Wertnormen.

Fünfter Schritt: Wahl der optimalen Lösungen und Weiterverfolgung derselben bis zur endgültigen Realisierung und Konstruktion.“ .

Beides, Definition der Morphologie und Beschreibung des morphologischen Kastens, fließt in die Arbeit ein. Für die Analyse der Beziehung zwischen nooR und Gebäude zu nooR wird ein von ZWICKY (1989) abweichendes Verfahren gewählt. Ziel ist, durch den morphologischen Kasten möglichst alle Parameter, welche die Beziehung zwischen nooR und Gebäude charakterisieren, zu beschreiben und einen Vorschlag (verbal, Graphik, Zahl etc.) für die Operationalisierung zu machen. Die Parameter der Morphologie werden unterteilt in:

- Klassifikation (Parameter dient zur Einordnung und zum Vergleich, meist ein übergeordneter Begriff wie z.B. Lochfassade)

- Spezifikation (Parameter dient zur detaillierten Beschreibung einzelner Aspekte, Materialien etc., z.B. U-Wert).

Die Morphologie enthält keine konkreten Lösungen zu bestimmten Problemstellungen, sondern ermöglicht die Einordnung von Problemen und unterstützt die Suche nach Lösungen. Die Detailtiefe kann auf Grund der verschiedenen Ebenen, Klassifikationsebene oder Spezifikationsebene, problemorientiert gewählt werden.

Dadurch wird ermöglicht, Probleme, z.B. bauphysikalischer Natur, auf der Ebene der Spezifikation zu untersuchen, den dazu gehörigen kulturellen Kontext der einen geringen Einfluß z.B. durch Nutzerverhalten auf der Ebene der Klassifikation zu eruieren, ohne wesentliche Aspekte zu vernachlässigen.

Die Morphologie kann allerdings nicht alle möglichen Kombinationen und Konfigurationen zwischen nooR und Gebäude detailliert in einer universellen Übersicht darstellen.

Es ist notwendig, die Morphologie für unterschiedliche Aufgabenstellung zu modifizieren und zu skalieren.

Somit kann „wie ein nooR ist“ auf mehreren Ebenen beschrieben und verglichen, bzw. klassifiziert werden. Der morphologische Kasten ermöglicht eine Einordnung der

Untersuchungsergebnisse und gewährleistet die Übertragung auf ähnliche Fälle bzw. definiert Abgrenzungskriterien.

Selbst wenn eine umfassende Beschreibung erwünscht ist, wird je nach Gesichtspunkt die eine oder andere Spezifikation fehlen. Durch die offene Gestaltung der Morphologie kann diese jederzeit ergänzt werden. Bei der Auswahl der unterschiedlichen Klassifikationen wurde vor allem auf Begriffe Wert gelegt, mit denen eine gewisse bauliche Gestalt assoziiert wird, um keinen zu abstrakten Schlüssel zu erzeugen. Somit sollte es auf Grund allgemeiner Topoi möglich sein, eine Vorstellung vom Objekt zu erlangen, ohne auf aufwendige Beschreibungen zurückgreifen zu müssen.

Hinzuzufügen ist, daß das morphologische Prinzip ein Gebäude oder Bauteil „divisiv“ untersucht, indem es ein Gebäude in seine Grundbestandteile und mögliche beeinflussende Parameter zerlegt. Die dabei entstehenden Grundbestandteile eines Gebäudes könnten somit Grundlage für strukturalistische Untersuchungen (siehe OLIVER 1997b) mit Hilfe von sogenannten shape grammars (vgl. KNIGHT 1999) sein, die „shapes“ nach Regeln zusammensetzen (additiv) und eine neue Ebene der Gebäudeanalyse ermöglichen.

Interessant erscheinen hier auch die Analysen zu volkstümlicher Architektur, in Bezug auf verschiedene Gebäudetypen u.a. mit nooR, von HERBERT et al. (1994) über traditionelle afrikanische Gebäude, CHIUIO (1996) über traditionelle taiwanische Gebäude und CAGDAS (1995) über traditionelle türkische Gebäude.

Die Grundlage der Morphologie bildet die Auswertung folgender Literatur: Baker et al. 1998, DIN-VDI-Handbuch 332 1999, DIN-VDI-Handbuch 333 1999, Geist et al. 1980, Goulding et al. 1986, Helbig et al. 1999, Herzog 2003, Lutz et al. 1994, Recknagel et al. 1999, Saxon 1983, Schröder 2000, Zmarsly et al. 1999.

1.3.2 Vorgehensweise zur Erstellung eines morphologischen Schlüssels

Ziel des Schlüssels ist, das Wesentliche eines Gebäudes oder Gebäudetyps zuverlässig und einheitlich zu beschreiben. Zu beachten ist, daß dabei sowohl quantitative und qualitative Aussagen getroffen werden können. Da Parameter, die eine Wertung beinhalten (qualitativ), aus Gründen der Anschaulichkeit nicht ganz ausgeschlossen werden können, werden sie hauptsächlich in der Klassifikation ver-

wendet. Auch Parameter die durch weitere Parameter beschrieben werden, z.B. U-Wert eines Bauteiles, werden in die Morphologie zusätzlich zu ihren Bestandteilen aufgenommen, da so eine eingängliche Beschreibung möglich ist. Für eine detaillierte Untersuchung eines Gebäudes oder den Vergleich zweier Gebäude wird der morphologische Kasten in einer entsprechenden Ausführung gewählt.

Der Schlüssel teilt sich in zwei Hauptbereiche:

Teil 1 Klima und geographischer und baulicher Kontext,

Teil 2 Gebäude, Nutzung, Hof und Nutzung,

Die beiden Bereiche werden durch einen Schrägstrich getrennt.

So besteht Teil 1 z.B. aus folgenden Elementen:

- Klimaklassifikation nach KÖPPEN (1900),

- geographischer Kontext, baulicher Kontext,

- Besonderheiten.

Die Bereiche sind getrennt durch einen Schrägstrich „/“, Bereiche die frei bleiben durch Trennstrich „-“.

Für Klassifikationen wird ein Großbuchstabe verwendet, für Spezifikationen ein klein geschriebener Buchstabe oder hoch / tiefgestellte Buchstaben.

Teil 2 baut sich z.B. wie folgt auf:

- Gebäude und Nutzung Gebäude

- nooR und Nutzung nooR

- Besonderheiten

Die Trennung einzelner Bereiche erfolgt analog zum ersten Teil.

Die Angaben der Werte für einzelne Parameter erfolgt absolut bzw. relativ oder durch eine Graphik.

Bei Angaben von Werten, sowohl absolut wie auch relativ, kann ein zeitlicher Bezugsrahmen oder ein zeitliches Mittel angegeben werden, wie z.B. 1h, 24h, 365d oder ein Nutzungszeitraum.

In den folgenden morphologischen Kästen sind neben quantitativen Angaben häufig nur relative oder qualitative Angaben in der Operationalisierung zu finden.

Gründe hierfür sind u.a., daß die Morphologie in diesem Fall ein auf eine Vielzahl von unterschiedlichen nooR-Typen anwendbares Schema sein soll, und daß je nach Aufgabe oder Gebäudetyp nur ein bestimmter Wertebereich notwendig oder sinnvoll ist. Eine projektabhängige Operationalisierung ist notwendig.

Bei der Auswahl von Zahlenwerten und Einheiten sind die einschlägigen DIN-Normen, Textbücher und sonstigen anerkannten Einheiten zu wählen, wie z.B. Bewölkungsgrad in Achtel, oder Temperatur in °C etc..

1.3.3 Morphologischer Kasten: Klima

Klassifikationen (siehe **Tabelle 1.3.1**):

Dienen zur Beschreibung von Parametern mit einer groben zeitlichen und räumlichen Auflösung, um die wesentlichen jahreszeitlichen und ortsbezogenen Klimaparameter, die auf Hof und Gebäude wirken, zu veranschaulichen.

Das Klima wird entsprechend den Abgrenzungskriterien der Klimaklassifikation nach KÖPPEN (1900) bezeichnet. Soll ein Meso- oder Mikroklima beschrieben werden, wird der Klassifikation mit einem Leerzeichen ein K mit tief gestellten „me“ für Mesoklima oder „mi“ für Mikroklima vorangestellt. Zur Unterteilung in Meso- und Mikroklima siehe u.a. HELBIG et al. (1999a).

Spezifikation (siehe **Tabelle 1.3.1**)

Bei Spezifikationen wird eine hohe zeitliche und örtliche Auflösung angestrebt, um einzelne Parameter und ihre Wirkung auf den Gebäude- Hof- Komplex zu verdeutlichen.

Wesentlich ist der Zeitraum, über welchen die Parameter Auskunft geben sollen. Der Zeitraum, über den ein Mittelwert gebildet wird, wird als hochgestellter Buchstabe oder als Buchstabenkombination angegeben.

Tabelle 1.3.1 : Klimaparameter mit möglicher Operationalisierung, Auszug (Fortsetzung siehe Anhang)

	Klassifikation	
01.	Klimazone	keine kaltes Klima gemäßigtes Klima trockenes Klima warm- feuchtes Klima weitere
02.	Klimatyp nach Köppen	z.B. Csa (C= warmgemäßigt, s= Sommertrockenheit, a= wärmster Monat über 22 °C)
03.	Mesoklima	kein Stadt- Wald- Wiesen - Seengebiet Gebirge weitere
04.	Mikroklima	kein Straße Park weitere
	Spezifikation Klima	
05.	Lufttemperatur °C	>-15 -15 bis -10 -10 bis -5 -5 bis 0 0 bis 5 5bis 10 10 bis 20 20 bis 25 über 25
06.	Erdbodentemperatur (50cm)	z. Zt. freibleibend
07.	Globalstrahlung	<0 0-100 100-200 200-400 400-600 600-700 >700W/m ²
08.	direkte Sonneneinstrahlung (ab 120W/m ² Sonnenschein I)	0 0-120 120-200 200-400 400-600 600-700 >700W/m ²
09.	diffuse Sonnenstrahlung	0 0-120 120-200 200-400 400-600 600-700 >700W/m ²
10.	reflektierte Sonneneinstrahlung	0 0-120 120-200 200-400 400-600 600-700 >700W/m ²
11.	langwellige Ausstrahlung der Erdoberfläche	< -400W -400 bis -300W -300W-200W -200bis -100W -100W -0 >0W/m ²
12.	langwellige Einstrahlung der Erdoberfläche	0 - 100 100- 200 200-300 300 - 400 >400 W/m ²
13.	Sonnenscheindauer	0-1h 1-4h 4-6h 6-8h 8-12h 12-16h >16h
14.	Beleuchtungsstärke / Leuchtdichte direkt, diffus	0-100 1000 5000 20.000 50.000 100.000 lux
15.	Bewölkungsgrad	1/8 2/8 3/8 4/8 5/8 6/8 7/8 8/8 nicht erkennbar

Die Abweichung von z.B. Meso- zu Mikroklima kann durch die Verwendung von Doppelpunkten zum Ausdruck gebracht werden. So bedeutet $K_{mi} LT_{dmax}^{20:24me}$, daß die max. Lufttemperatur vom Mikroklima 20°C ist, die Lufttemperatur des

Mesoklimas 24 °C bezogen auf einen Tag. Verschiebung von Amplituden oder Dämpfung einer Schwingung werden zur Zeit nicht berücksichtigt.

1.3.4 Morphologischer Kasten: Geographischer, baulicher und wirtschaftlicher Kontext

Ziel ist die Umgebung eines Gebäudes zu beschreiben.

Klassifikation (siehe **Tabelle 1.3.2**)

Geographischer Kontext

Koordinaten: G mit hochgestellten Angaben zum Breiten und Längengrad,

Topographie: durch einen Großbuchstaben und maximal einen Kleinbuchstaben als Spezifikation der Lage und eine hochgestellte Zahl für die Angabe über normal Null.

- Baulicher Kontext und Städtebaulicher Kontext

maximal zwei Buchstaben (ein Großbuchstabe und ein Kleinbuchstabe),

- Bauweise und Gebäudekontext, maximal zwei Buchstaben (ein Großbuchstabe und ein Kleinbuchstabe), hochgestellt in Zahlen die Größe des Gebäudekontextes z.B.

Länge und Breite eines Blocks,

- Wirtschaftlicher Kontext ein Großbuchstabe .

Beispiel für einen Schlüssel

$G^{45/3}E^{f400}StBI$

= Geographische Lage ist 45°

Grad. Breitengrad und 3. Längengrad

westlich, in einer Ebene an einem Fluß gelegene Stadt, Höhe über NN 400, mit Blockbebauung und einer industriellen Gesellschaft.

Spezifikation (siehe **Tabelle 1.3.2**) Spezifikationen im baulichen Bereich sind durch hoch - und / oder tiefgestellte Zahlen dem Schlüssel hinzuzufügen (oder als klein geschriebener Buchstabe).

1.3.5 Morphologischer Kasten: Gebäude und ihre Nutzung

Ziel ist, Gebäude oder auch Teile eines Gebäudes, die sich um einen nooR gruppieren, zu beschreiben.

Klassifikation (**Tabelle 1.3.3**)

Die Klassifikation dient dazu, die grobe räumliche Struktur eines Gebäudes zu beschreiben.

Gebäudetyp: zwei Großbuchstaben, Spezifikation durch Anzahl der Stockwerke als tiefgestellte Zahl, die Dimension (= das Bauwerk umhüllender Kubus) etc. als hochgestellte Zahlenkombination. Grundrißtyp: maximal vier Großbuchstaben mit Spezifikation „Grundrißtyp Einbauten Hof“ als hochgestellter Kleinbuchstabe, als weitere Spezifikation wird die Dachform verwendet (Kleinbuchstabe).

Konstruktion: ein Großbuchstabe
Dachtyp : ein Großbuchstabe

Beispiel für einen Schlüssel $GH_4^{40/20/15}GRMHgMa$ = Gebäude mit Hof und 4 Stockwerken Länge 40, Breite 20m, Höhe 15m; das Gebäude gliedert sich in Vordergebäude, Hof und Rückgebäude; das Dach ist ein Grabendach; das Gebäude ist ein Massivbau.

Da die Nutzung im Allgemeinen mit sehr klaren Anforderungen verbunden ist, wird ein kurzer Schlüssel angestrebt.

Klassifikation (**Tabelle 1.3.4**)

Nutzung: maximal zwei Großbuchstaben für die Nutzung Spezifikation

Anzahl der Nutzungseinheiten Zahl als hochgestellter Index Art der Nebennutzung Groß- und Kleinbuchstaben als tiefgestellter Index

Beispiel: WH^2_L = Wohnhaus mit 2 Nutzungseinheiten und Lagerräumen

Tabelle 1.3.2 : Paramter des geographischen, baulichen und wirtschaftlichen Kontextes mit möglicher Operationalisierung, Auszug (komplette Tabelle siehe Anhang)

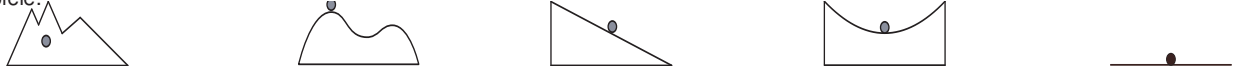

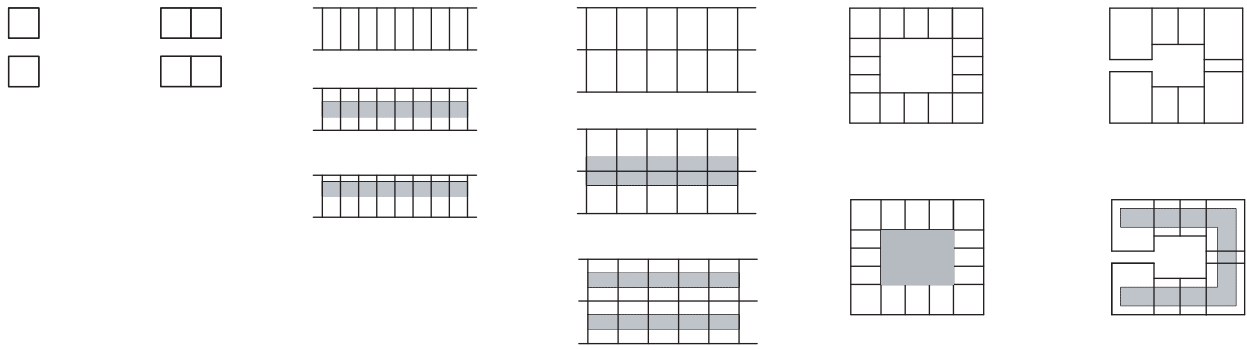

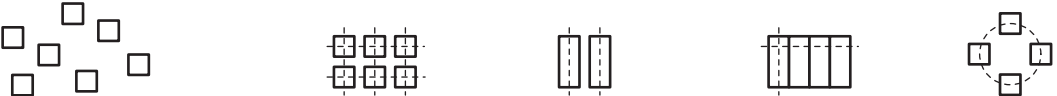
	Klassifikation	
1.	Koordinaten	(Geographie) Breitengrade Längengrade
2.	Höhe über NN	bis 100m bis 200m bis 500m bis 1000m bis 2000m über 2000m weitere
3.	Topographischer Kontext	kein Gebirge Kuppellage Hanglage Tallage Ebene Seelage Meerlage Flußlage weitere Beispiele: 
4.	Städtebaulicher Kontext	kein City Stadt Dorf Siedlung sprawl low rise high density weitere (bzw. Kombinationen, Zwischenlagen) Beispiele: 
5.	Bauweise Gebäudekontext (überwiegende Bauweise und typische Lage von nooR)	keine Einzelhäuser Doppelhäuser Reihenhäuser Hausgruppe Blockbebauung Hochhäuser Insula weitere Beispiele: 
	Spezifikation	
09.	Landnutzung baulich	Sportanlage versiegelte Fläche Industriegebiet Infrastrukturanlage Gewerbegebiet Wohngebiet Versorgungsanlagen Verkehrsflächen Gewinnung von Bodenschätzen Kleinsiedlungsgebiet reines Wohngebiet Mischgebiet allgemeines Wohngebiet Kerngebiet Dorfgebiet weitere
10.	Art der Bebauung in Bezug auf Gebäudegröße / -höhe	keine homogen heterogen weitere Beispiele: 
11.	Gebäudereihung	keine frei Raster Addition (ein-, zwei-, dreidimensional weitere) Substraktion weitere Beispiele: 

Tabelle 1.3.3 : Gebäudeparameter mit möglicher Operationalisierung, Auszug (komplette Tabelle siehe Anhang)

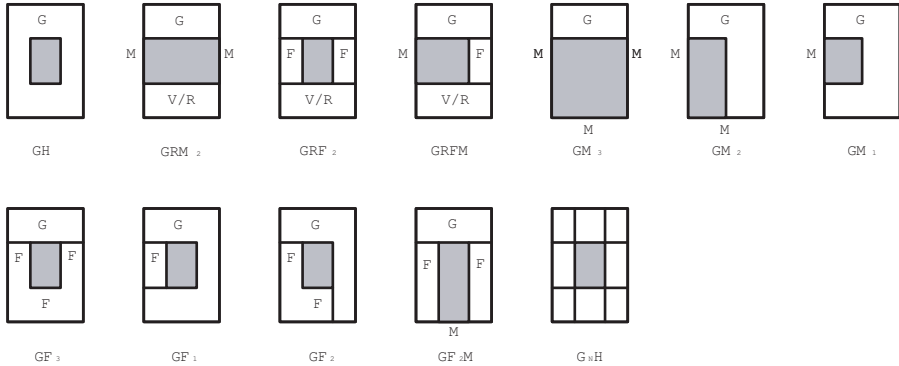
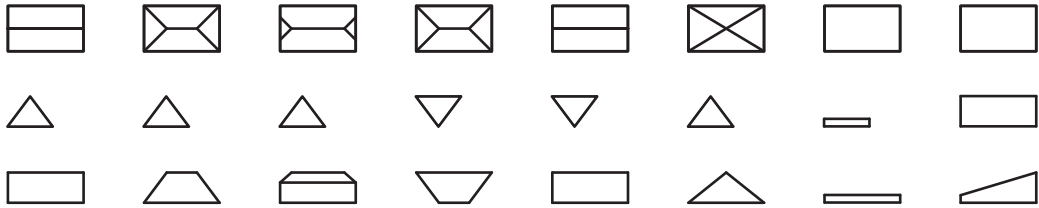

	Klassifikation	
1.	Gebäudetyp I (Hauptgebäude)	kein Block freistehendes Haus Back to Back Reihenhau Tempel Kloster Sakralbau Herrschaftsbau Festungsbau Verwaltungsbau Industrie- und Gewerbebau Mietshaus Laubenganghaus Terrassenhaus weitere
2.	Grundrißtyp	kein GH GRMH GRFH2 GRFH GM3 weitere Beispiele: 
3.	Konstruktion	kein Rahmenbau Skelettbau Massivbau Schottenbau selbsttragend weitere
4.	Dachtyp (Hauptgebäude / überwiegend)	kein Flachdach Pultdach Satteldach Grabendach Walmdach Krüppelwalm weitere Beispiele: 
5.	Lage Gebäude / nooR zu Gelände	keine über Gelände gleiche Ebene unter Gelände weitere Beispiele: 

Tabelle 1.3.4: Parameter Nutzung Gebäude mit möglicher Operationalisierung, Auszug (komplette Tabelle siehe Anhang)

	Klassifikation Nutzung	
1.	Art der Nutzung (Hauptnutzung)/ Funktion	keine Wohnhaus Mixed Use Schulen Büro Warenhaus Fabrik Markthalle Gehöft (landwirtschaftliche Gebäude incl. Wohn-, Wirtschafts-, Lagergebäude) Krankenhaus Museum Moschee Kloster Tempel weitere
2.	Spezifikation Nutzung allgemein	
3.	Anzahl der Nutzungseinheiten	keine 1 2 3 bis 6 bis 20 weitere
4.	Verhältnis Hauptnutzung zu Nebennutzung	kein ¼ ½ ¾ 1 weitere
5.	Nebennutzung	vergleiche Hauptnutzung
6.	Raumarten (überwiegend)	keine Büro- Wohn- Labor- Ausstellungs- Naßräume Lager Aufenthalt gemischt weitere
7.	Spezifikation Nutzungsprofil	
8.	Anwesenheit/ Zeitraum der Nutzung	keine temporär halbtags ganztags 24h weitere
9.	Gleichzeitigkeitsfaktor	kein ¼ ½ ¾ 1 weitere
10.	Anzahl der Nutzer	keine 1-5 5-12 -50 über 50
	Spezifikation Nutzeranforderungen	(allgemein / zum Hof)
11.	Nutzeranforderung (Schwerpunkt)	keine ästhetisch funktional ökonomisch ökologisch bauphysikalisch weitere
12.	ästhetische Anforderungen	z.Zt. freibleibend
13.	funktionale Anforderungen	z.Zt. freibleibend
14.	ökonomische Anforderungen	z.Zt. freibleibend
15.	ökologische Anforderungen	z.Zt. freibleibend
16.	bauphysikalische Anforderungen allgemein	keine gering mittel hoch weitere
17.	visuelle Anforderungen	keine gering mittel hoch weitere
18.	Belichtungsklasse	keine Tageslicht Tageslicht/ Verdunklungsmöglichkeit Dunkelheit weitere
19.	Thermische Anforderungen (Temperaturkonstanz / Toleranz)	keine gering mittel hoch weitere
20.	Lufttemperatur	keine gering mittel hoch weitere
21.	Temperatur umschließender Flächen	keine gering mittel hoch weitere
22.	Luftfeuchte	keine gering mittel hoch weitere
23.	Windgeschwindigkeit	keine gering mittel hoch weitere
24.	Lufthygienischer Komfort	keine gering mittel hoch weitere
25.	Lärm	keine gering mittel hoch weitere

1.3.6 Morphologischer Kasten: Der nooR und seine Nutzung

Klassifikation (siehe **Tabelle 1.3.5**)

Hoftyp

ein Großbuchstabe mit tiefgestelltem Index für die Anzahl der Höfe,

Erweiterung

ein Großbuchstabe, tiefgestellter

Buchstabe Lage in welchen

Geschossen, hochgestellter

Buchstabe für an wie vielen

Fassaden,

Schnitttyp,

ein Großbuchstabe,

Einbauten Hof

ein Großbuchstabe.

Spezifikation (siehe **Tabelle 1.3.5**) durch Kleinbuchstaben z.B. Hoftyp mit Treppe „Hat“, jedoch zur Zeit freibleibend.

Die Spezifikation der Bauweise kann vom Gebäude übernommen werden.

Spezifikation Schnitttyp mit tiefgestelltem Index für die Orientierung

Beispiel ${}^{3,3,12}U_4 {}^3E B=$ Innenhof 3 auf 3 m (mittlere Fläche und einer Höhe von 12m) mit Umgang in 4 Geschossen an 3 Seiten mit Brunnen, Schnitt E-förmig

Die Nutzung des nooR läßt sich wie folgt beschreiben:

Klassifikation (**Tabelle 1.3.6**)

Art der Nutzung maximal zwei Buchstaben.

Spezifikation(Kleinbuchstaben) (siehe **Tabelle 1.3.6**)

Schwerpunkt der Nutzung

ein Buchstabe,

Funktion für das Gebäude

zwei Buchstaben,

sozialer Charakter

ein Buchstabe,

Schwerpunkt der Nutzung

ein Buchstabe,

Orientierung der Haupträumen

ein Buchstabe.

Beispiel Er g k pö s = der Hof wird zur Erschließung des Gebäudes benutzt und hat sonst keine weitere Funktion für das Gebäude, der Hofraum ist halb privat/ öffentlich, die Haupträume orientieren sich zur Straße.

1.3.7 Weitere Bezeichnungen und Begriffe des nooR

Zur Begriffsbestimmung von Flächen und Volumen im nooR siehe **Abbildung 1.3.1**.

Ermittlung der Schlüssel für unterschiedliche Dachformen anhand der Dachmatrix 1 bis 3

Der Schlüssel besteht aus maximal neun Stellen siehe **Abbildung 1.3.2**. Für jede Stelle, beginnend mit 1. wird im Uhrzeigersinn die Dachform bestimmt und mit einem Großbuchstaben gekennzeichnet (F = Flachdach, P = Pultdach, S = Satteldach, W = Walmdach, Z = Zeltdach, G = Grabendach). Ein vor dem Buchstaben hochgestellter Index gibt die Anzahl der Dachpunkte, mit derselben Dachform in Folge an. Z.B. 3S bedeutet drei Satteldächer in Folge.

Die Orientierung und Kombination der Dachform wird durch **Abbildung 1.3.3-4** erläutert. So bedeutet 3S_v , daß über die Fläche 1 bis 3 ein Satteldach gespannt ist.

Durch die **Abbildung 1.3.3-4** kann noch die Orientierung der Dachfläche beschrieben werden.

Ein hochgestellter Index nach dem Buchstaben kann verwendet werden um die Grundrißfläche des Daches oder zusammengehörige Dachflächen zu beschreiben.

Tabelle 1.3.5: Parameter des nooR mit möglicher Operationalisierung, Auszug (komplette Tabelle siehe Anhang)







	Klassifikation Hof	
1.	nooR-Typ	kein Platz Hof Atrium Innenhof Schacht weitere
2.	Erweiterung nooR	keine Umgang Iwan Galerie weitere Beispiele: 
3.	Schnitttyp nooR (Kombinationsmöglichkeiten)	kein U T L E V H weitere Beispiele: 
4.	Bauelemente im nooR	keine Treppe Überdachung Brunnen Garten Zisterne weitere
	Spezifikation allgemein	
5.	nooR-Form, Grundriß	keine rund rechteckig dreieckig polygonal polymorph weitere Beispiele: 
6.	nooR-Form, Schnitt	keine rund rechteckig dreieckig polygonal polymorph weitere Beispiele: 
7.	vertikale Lage nooR	Beispiele: 
8.	nooR-Volumen	kein gering mittel groß weitere
9.	Hauptvolumen	kein gering mittel groß weitere
10.	Nebenvolumen	kein gering mittel groß weitere
11.	Dachlinie / Abwicklung nooR	keine gerade fallend/steigend unregelmäßig weitere Beispiele: 
12.	Oculusfläche	kein gering mittel groß weitere

Tabelle 1.3.6: Parameter Nutzung nooR mit möglicher Operationalisierung, Auszug (komplette Tabelle siehe Anhang)

	Klassifikation Nutzung	
1.	Art der Nutzung (Hauptnutzung) / Funktion	keine Aufenthalt Erschließung Pufferzone Arbeitsraum Versorgung Gebäude (Licht/ Luft) Repräsentation weitere (z.B. Kombinationen)
	Spezifikation Nutzung allg.	
2.	Schwerpunkt der Nutzung	kein Gebäude nooR weitere
3.	Funktion für Gebäude	keine Erschließung Belichtung Belüftung thermischer Puffer weitere
4.	Sozialer Charakter	keiner privat halb privat/öffentlich öffentlich weitere
5.	Orientierung (Haupt-) Räume	keine nooR Straße weitere
6.	Anzahl der Nutzungseinheiten zum Hof orientiert	keine 1 2 3 bis 6 bis 20 weitere
7.	Raumarten (überwiegend) zum Hof orientiert	keine Haupträume Nebenräume Büro- Wohn- Labor- Ausstellungs- Naßräume Lager Aufenthalt weitere
8.	Horizontale / vertikale Erschließungsfunktion	keine gerichtete ungerichtet weitere
	Spezifikation Nutzungsprofil	
9.	Anwesenheit / Zeitraum der Nutzung	keine temporär halbtags ganztags 24h weitere
10.	Gleichzeitigkeitsfaktor	kein ¼ ½ ¾ 1 weitere
11.	Anzahl der Nutzer	keine 1-5 5-12 -50 über 50
	Spezifikation Nutzeranforderungen	(allgemein / zum Hof)
12.	Nutzeranforderung (Schwerpunkt)	keine ästhetisch funktional ökonomisch ökologisch bauphysikalisch
13.	ästhetische Anforderungen	z.Zt. freibleibend
14.	funktionale Anforderungen	z.Zt. freibleibend
15.	ökonomische Anforderungen	z.Zt. freibleibend
16.	ökologische Anforderungen	z.Zt. freibleibend
17.	bauphysikalische Anforderungen	keine gering mittel hoch weitere
18.	visuelle Anforderungen	keine gering mittel hoch weitere
19.	Belichtungsklasse	keine Tageslicht Tageslicht/ Verdunklungsmöglichkeit Dunkelheit weitere
20.	Thermische Anforderungen (Temperaturkonstanz /Toleranz)	kein gering mittel hoch weitere

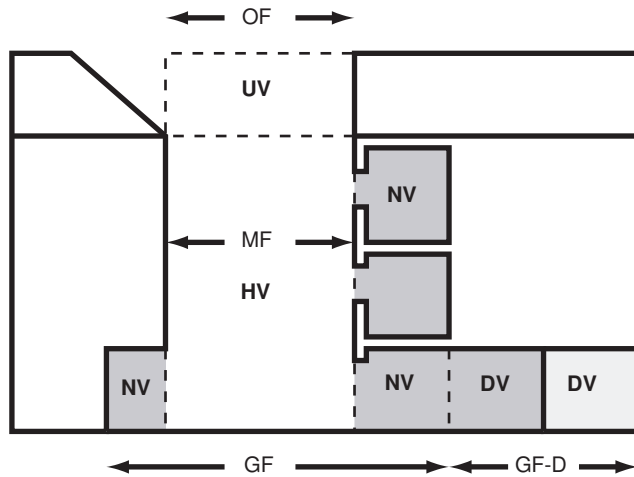


Abbildung 1.3.1: Begriffe und nooR, OF= Oculusfläche, MF= mittlere Fläche, GF= Grundfläche, GF-D= Grundfläche Durchgang, UV=Übergangsvolumen, HV= Hauptvolumen, NV= Nebenvolumen, DV= Volumen Durchgang (nur zur Hälfte anrechenbar).

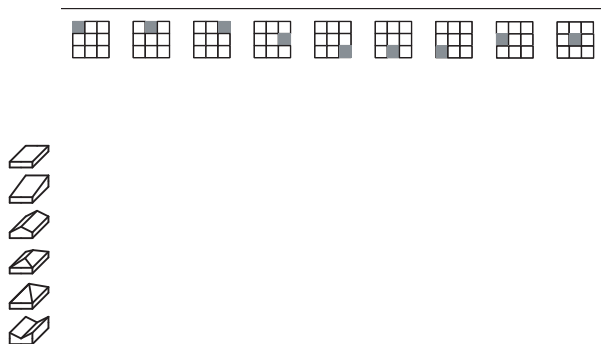


Abbildung 1.3.2: Dachmatrix 1

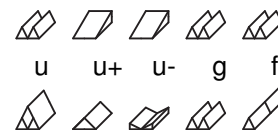


Abbildung 1.3.3: Dachmatrix 2

1.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wird versucht, die bauliche Gestalt des nooR aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu analysieren und Werkzeuge zur Einordnung und Beschreibung zu entwickeln. Es hat sich dabei herausgestellt, daß je nach Fragestellung unterschiedliche Beschreibungssysteme herangezogen werden können um möglichst viele der relevanten Parameter zu erfassen und zu operationalisieren.

Insofern kann die hier geleistete Untersuchung nur Grundlage für eine objekt- oder fragespezifische Beschreibung sein. Besonders deutlich wird dies, wenn man sich der Gebäude mit nooR in den unterschiedlichen Veröffentlichungen bewußt wird (vgl. z.B. Bianca 1991, Blaser 1985, 1995, Givoni 1998, Gangler 1993, Reynolds 2002, Wirth 2001).

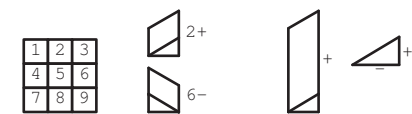


Abbildung 1.3.4: Dachmatrix 3 gibt die Richtung der Dachneigung an.

Teil 2 Überlegungen zu den mikroklimatischen Eigenschaften nach oben offener Räume

Während im ersten Kapitel die mögliche bauliche Ausformung und Einordnung des nooR besprochen wurde, lenkt das zweite Kapitel das Augenmerk auf die bauphysikalischen und mikroklimatischen Besonderheiten eines nooR. Es wird versucht das spezifische Potential des nooR im Unterschied zum Gebäude und sonstigen Außenräumen zu klären und Ansätze für eine Bewertung zu liefern.

2.1 Grundsätzliche Überlegungen zur Bauphysik und Mikroklima von Gebäuden mit nooR

Von der Weltorganisation für Meteorologie wird das Stadtklima wie folgt definiert (WMO 1983):

„Das Stadtklima ist das durch die Wechselwirkung mit der Bebauung und deren Auswirkungen (einschließlich Abwärme und Emission von luftverunreinigenden Stoffen) modifizierte Klima.“
Analog dazu lässt sich das Mikroklima eines nooR wie folgt definieren:

Das Mikroklima eines nooR ist das durch die Wechselwirkung mit der begrenzenden Bebauung und deren Auswirkungen (einschließlich Abwärme und Emission von luftverunreinigenden Stoffen) modifizierte Klima.

Um das mikroklimatische Potential eines nach oben offenen Raumes zu erschließen, bedarf es der systematischen Einordnung und Differenzierung der Parameter in Bezug auf nooR und Gebäude. Wesentlich dabei ist, zwischen den möglicherweise verschiedenen Zielsetzungen (nooR/Gebäude) zu unterscheiden und darauf basierende Lösungsstrategien zu entwickeln.

Im Folgenden werden bauphysikalische, klimatische Probleme und der human-meteorologische Wirkungskomplex in Bezug auf das Gebäude mit nooR besprochen. Dabei wird kurz auf ein für die Strahlungsbilanz wesentliches Parameter, den sogenannten „sky view factor“ (OKE 1987a), näher eingegangen.

Während bei einem Gebäude die begrenzenden Aussenflächen als Austauschfläche für die Klimatisierung des Gebäudes maßgebend sind, ist es beim nooR neben den begrenzenden Wandflächen (vertikal), eine variable Grenzfläche im

Dachbereich (vgl. **Abbildung 2.1**). Die das Gebäude einhüllenden Wand- und Dachflächen ermöglichen die direkte Manipulation des Innenklimas durch Öffnungen (Fenster).

Auf Grund der direkten und großflächigen Verbindung von nooR zum Außenklima, unterscheidet sich der nooR wesentlich von einem Gebäudeinnenraum normaler Raumhöhe. Gründe hierfür sind die dadurch entstehenden hohen Luftwechselraten und der ungehinderte Strahlungsaustausch mit der Umgebung, sowie die daraus resultierenden Mechanismen zur Selbstregulierung des nooR-Klimas. Im nooR kann das Klima hauptsächlich durch passive bauliche Maßnahmen reguliert werden. In einem Gebäude kann zusätzlich durch aktive (z.B. Heizung oder automatischer Sonnenschutz), bzw. dynamische Maßnahmen (z.B. von Hand verstellbarer Sonnenschutz, Öffnen und Schließen von Fenstern) das (Innenraum-) Klima modifiziert werden. Wesentlich ist dabei, daß bauliche/ passive Maßnahmen im Allgemeinen -abhängig von der Materialisierung- relativ träge, z.B. auf Witterungsumschwünge reagieren, technische Systeme (aktiv/dynamisch) dagegen schnell. So ist das mikroklimatische Verhalten eines nooR stark von den Schwankungen der Witterung abhängig und

nur bedingt davon (und vom Gebäude) zu entkoppeln.

Hieraus ergeben sich folgende Überlegungen für einen nooR: Beim Einsatz fossiler Energie und bei konstanten Anforderungen an die Raumluft (bzw. Raumtemperatur) ist die Differenz zwischen erforderlicher Raumluft- und Außentemperatur für die Nachhaltigkeit maßgebend, bzw. die Dauer der Intervention (z.B. für Veranstaltungen).

In einem nooR besteht die Möglichkeit die Dynamik des Außenklimas zu nutzen. Möglichkeiten hierbei sind:

- die Nutzung von Speichervorgängen
- die Nutzung von Verdunstungsvorgängen
- das Öffnen von Fenstern, Durchgängen oder das manuelle Verstellen eines Sonnenschutzes im Dach- oder Aufenthaltsbereich.

Aus der **Abbildung 2.1** ergibt sich außerdem für ein Gebäude, daß die Schnittpunkte Klima außen/ innen gleich der Lage der Kontrollpunkte zur Modifikation des (Außen-) Klimas sind, bzw. Bereich für die Schaffung eines günstigen gebäudenahen Mikroklimas. Für den nooR bedeutet dies, daß die Schnittpunkte Klima außen/ innen im Dachbereich ungleich der

Lage der Kontrollpunkte zur Modifikation des Klimas sind.

Von Bedeutung ist dies, da die Schnittstelle Wand im nooR zum einen das Klima im dahinterliegenden Gebäudeinneren bestimmt, zum anderen aber wesentlich für das Mikroklima im nooR ist; d.h. die Wand muß unterschiedliche Zielsetzungen mit den gleichen konstruktiven (statischen) Möglichkeiten erreichen können.

Die „einhüllende Fläche“ im Dachbereich bildet zwar für den nooR einen geometrischen Abschluß, ist aber in bauphysikalischer oder klimatischer Hinsicht keine „statische“ Trennung zwischen Außenklima und nooR-Klima. Durch die Lage dieser in gewissen Grenzen frei wählbaren Trennlinie, ergibt sich ein Volumen, welches ein für den nooR mehr oder weniger charakteristisches Mikroklima beschreibt. So können diesem Volumen bauphysikalische Eigenschaften zugeschrieben und die obere abschließende Fläche für die Bilanzierung als Grenzfläche des nooR herangezogen werden. Dabei kommt der Wahl dieses Volumens für die Aussagekraft von Mess- oder Berechnungsergebnissen eine besondere Bedeutung zu, da die Stärke der Grenzschicht zwischen Außenklima und nooR-Klima im Dachbereich zeitlich und räumlich schwankt und der Übergang zwi-

schen Außenklima und nooR Klima fließend ist.

Für die Beschreibung des Mikroklimas im nooR können die Ansätze aus der Stadtklimatologie herangezogen werden.

In Analogie kann basierend auf den bei MAZTARAKIS (2001a) beschriebenen erweiterten Ansatz von LOWRY (1997) über Meteorologie der Stadt für den nooR folgender Ansatz für das nooR-Klima gemacht werden:

$$M_{i,t,x} = C_{i,t,x} + L_{i,t,x} + U_{i,t,x} + N_{i,t,x}$$

$M_{i,t,x}$: Meßwert oder berechneter Wert einer meteorologischen oder luft-hygienischen Größe bei der Wetterlage i zur Zeit t am Ort x im nooR

$C_{i,t,x}$: Regionalklima-Anteil großräumiges Wetter, Witterung, Klima und lufthygienische Hintergrundbelastung bei der Wetterlage i zur Zeit t am Ort x in der Stadt

$L_{i,t,x}$: Lokalklima-Anteil Einflüsse durch die natürliche, d.h. nicht urbane, Bodenbedeckung und durch die topographischen Einflüsse bei der Wetterlage i zur Zeit t am Ort x in der Stadt

$U_{i,t,x}$: Stadtklima-Anteil Einflüsse durch die eigentliche Urbanisierung bei der Wetterlage i zur Zeit t am Ort x in der Stadt

$N_{i,t,x}$: nooR-Anteil Einfluß durch den nooR und umgebenden Gebäude bei der Wetterlage i zur Zeit t am Ort x in der Stadt

Ursachen für das Mikroklima eines nooR sind externe und interne Wechselwirkungen des Systems nooR mit seiner Umgebung. Diese Wechselwirkungen können wie in der Stadtklimatologie durch entsprechende Stoff- und Energiebilanzen beschrieben werden. So werden z.B. bei HELBIG et al. (1999a) und OKE (1987b) folgende Bilanzen, zur Beschreibung für das Stadtklima angeführt.

Energiebilanz für das offene System der urbanen Grenzschicht nach Helbig et al. (1999b):

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + Q_G + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

was auch geschrieben werden kann als:

$$(I+D)(1-\alpha) + L\downarrow - L\uparrow + Q_F = Q_H + Q_E + Q_G + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

mit
 Q^* = Strahlungsbilanz
 $(I+D)(1-\alpha)$ = Strahlungsterm kurzwellig
 I = direkte Strahlung an der Erdoberfläche
 D = diffuse kurzwellige Strahlung
 α = Albedo
 $L\downarrow - L\uparrow$ = Strahlungsterm langwellig
 $L\uparrow$ = die vom Boden abgegebene langwellige Strahlung
 $L\downarrow$ = langwellige Gegenstrahlung von Wasser und Aerosolen
 Q_F = antropogener Energiestrom
 Q_H = sensible Wärme
 Q_E = latente Wärme
 Q_G = Bodenwärmestrom
 ΔQ_S = Änderung Wärmespeicherung in einer Luftschicht / Baumaterial
 ΔQ_A = horizontale Advektion von fühlbarer und latenter Wärme

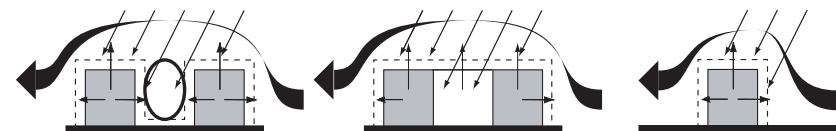


Abbildung 2.1: Grenzen zwischen Außen-, nooR- und Innenraumklima und Lage der möglichen Kontrollpunkte (gestrichelt).

Die bauliche Situation verändert und beeinflusst die entsprechenden Stoff- und Energiebilanzen.

Folgende in **Tabelle 2.1** zusammengestellte Hypothesen aus der Stadtklimatologie können in Analogie für die Erklärung der Differenz zwischen nooR -Klima und Umgebung (vgl. OKE 1982, MAYER 1986) herangezogen werden.

Betrachtet man den latenten Wärmestrom gibt es in einer Stadt (HELBIG et al. 1999c) sowohl Q_E -erhöhende wie auch erniedrigende Faktoren. Je nach baulicher Umgebung eines nooR bestehen diese Differenzen zwischen einem nooR und der direkten Umgebung. Sie können zu einem unterschiedlichen Klima führen.

Q_E - Quellen sind

- Verbrennung,
- Trink- und Brauchwasser,
- vergrößerter turbulenter Transport,
- erhöhter Niederschlag.

Q_E Senken sind

- Reduktion der Versickerung und Speicherung,
- schneller Abfluß von Niederschlagswasser,
- Reduktion der Verdunstungsfläche,
- verringerter Tauanfall durch Wärmeinseln.

Unterschiede zwischen nooR- Klima und Umgebung beruhen, wie in der Stadtklimatologie in der Modifikation der Energiebilanzen, insbesondere der Strahlungsbilanz. Analog zur Differenz zwischen langwelliger Strahlungsbilanz Stadt zu Umland (HELBIG et al. 1999d), kann die Strahlungsbilanz zwischen Stadt (ist gleich Umgebung nooR) (S) und nooR (H) wie folgt beschrieben werden.

$$\Delta L_{H-S}^* = \Delta L_{\downarrow H-S} - (\epsilon_H \sigma T_H^4 - \epsilon_S \sigma T_S^4)$$

Bedingung $\epsilon \sim 1$

ansonsten

$$L_{\uparrow} = \epsilon \sigma T^4 + L_{\downarrow} (1-\epsilon)$$

$\epsilon \sigma T^4$ = terrestrische Ausstrahlung

$L_{\downarrow} (1-\epsilon)$ = reflektierte atmosphärische Temperaturstrahlung

mit

L_{\uparrow} = langwellige Ausstrahlung

einer Oberfläche

L_{\downarrow} = langwellige Gegenstrahlung

ϵ = Emissionsvermögen einer Oberfläche

σ = Stefan-Boltzmann-Konstante

T = Temperatur

Betrachtet man einen nooR, sind vor allem die Mehrfachreflexionen, Verschattung und die damit verbundene Veränderung des Albedo von Bedeutung, da hier ein maßgeblicher Einfluß auf die Energiebilanz ausgeübt wird. Die Arbeit von TRENKLE (1988) gibt z.B. für einen

nooR in Mitteleuropa folgende Werte an:

- 12 Uhr Sommersonnenwende 55,8 % der eingestrahlten Energie wird absorbiert,
- 12 Uhr Wintersonnenwende 36% der eingestrahlten Energie wird absorbiert.

Ein Wert, welcher sich relativ einfach bestimmen läßt und in Analogie zur Stadtklimatologie für einen Einfluß auf die Beurteilung eines nooR haben dürfte, ist der sky view factor. Für Städte wird der sky view factor als ein wesentlicher Einflußfaktor für die Wärmeinselintensität (OKE 1981, 1982) betrachtet. Da die bauliche Situation eines nooR wesentlich durch den sky view factor bestimmt ist, darf - wie bei OKE (1987) angedeutet - ein erheblicher Einfluß auf das mikroklimatische Verhalten erwartet werden. Bei MATZARAKIS (2001b) ist basierend auf OKE et al. (1991) die Abhängigkeit der Bodentemperatur vom sky view factor dargestellt, sowie die Auswirkung auf die langwellige Strahlungsbilanz. Wesentlich dabei ist die Modifizierung der langwelligen Strahlungsbilanz durch den sky view factor (svf). MATZARAKIS (2001c) schreibt dabei über die Abhängigkeit der Wärmeinselintensität: „Die Ergebnisse zeigen, daß unter den gemachten Annahmen allein die geometrischen Ver-

hältnisse einer Straßenschlucht, die sich im sky view factor widerspiegeln, zu einer urbanen Wärmeinsel von höchstens ca. 5°C führen können. Dabei nimmt der Betrag der urbanen Wärmeinsel mit ansteigenden SVF ab.“

Unter anderem wird bei MATZARAKIS (2001d) über Analysen von urbanen Wärmeinseln mit dem Energiebilanzmodell SHIM von OKE et al. (1991) folgendes wiedergegeben:

„... Die Strahlungsrelevanten Auswirkungen der geometrischen Verhältnisse von Straßenschluchten allein reichen aus, um eine urbane Wärmeinsel bzw. ein urbanes Wärmearchipel zu erzeugen.“

Zur Berechnung von Strahlungsvorgängen in großen Räumen siehe u.a. HEISELBERG et al. (1998) und im Allgemein z.B. SIEGEL et al. (1992) oder DUFFIE et al. (1991). Dort findet sich auch eine kurze Bewertung der unterschiedlichen Methoden wie z.B. Monte Carlo - Methode oder Radiosity- Methode. Zur Berechnung des sky view factor siehe unter anderem SIEGEL et al. (1992), STEYN (1980), JOHNSON et al. (1984), CLARK et al. (1988), WATSON et al. (1987), HOLMER (1992), BLENNOW (1995), GRIMMOND et al. (2001) und MATZARAKIS (2001e).

In **Abbildung 2.2** ist der Öffnungswinkel in Abhängigkeit von der Proportion dargestellt.

In **Abbildung 2.3** sind - neben einer Maske, die den Blick vom Boden eines entsprechenden nooR nachbildet - die sky view factors für verschiedene Proportionen angegeben.

Betrachtet man den Energiebedarf angrenzender Gebäude muß Folgendes bedacht werden. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen dem Energiebedarf des nooR, um eine gewisse Temperaturdifferenz zum Außenklima aufrecht zu erhalten und dem Energiebedarf eines angrenzenden Gebäudes.

Der Energiebedarf eines nooR wird durch das aufrechtzuerhaltende

Mikroklima bestimmt. Energiequellen sind unter anderem:

- solare Einstrahlung und Verteilung im nooR,
- Wärmeverluste der angrenzenden Gebäude,
- Advektion von Luftmassen,
- langwellige Strahlungsgewinne,
- interne Wärmegewinne von Personen, Abwärme von Geräten, Beleuchtung.

Energiesenken können sein:

- Konvektive Verluste,
- Strahlungsverluste,
- Wärmeströme zu angrenzenden Gebäuden, Begrenzungsflächen (Boden).

Außerdem kann angenommen werden, daß die Differenz zwischen

nooR- Klima und Außenklima begrenzt ist, da, je größer die Temperaturdifferenz zwischen nooR und Umgebung ist,

- die Verluste durch Konvektion / Thermikeffekte zunehmen (z.B. nooR ist wärmer als die Umgebung; Aufsteigen warmer Luft und Nachströmen kalter Außenluft),
- genauso wie die Strahlungsverluste (Gesetz von Stefan-Boltzmann).

Bei Innenräumen überwiegen nach KELLER (1997a) die Strahlungsübergänge gegenüber den konvektiven Übergängen, in Außenräumen sind beide miteinander vergleichbar. Dies bedeutet für einen nooR, daß je nach Strömungssituation die Strahlungsübergänge oder konvek-

tiven Übergänge das Mikroklima bestimmen.

Da im allgemeinen im nooR von geringeren Windgeschwindigkeiten ausgegangen werden kann als im Außenraum, dürften auch hier die global wirksamen Strahlungsaustauschmechanismen das nooR-Klima bestimmen. Durch das Strömungsverhalten kann der Strahlungsaustausch in seiner Auswirkung beeinflusst werden.

Somit kann der nooR den Energiebedarf eines angrenzenden Gebäudes u.a. reduzieren, durch

- Reduzierung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste durch eine im Vergleich zum Außenklima erhöhte Temperatur,

bzw. den Energiebedarf eines Gebäudes erhöhen u.a

- durch niedrigere Temperaturen im Vergleich zum Außenklima, vor allem in Zeiten erhöhten Energiebedarfs z.B. am Morgen.

Tabelle 2.1: Hypothesen für Differenz zwischen nooR-Klima und Umgebung nach OKE 1987 und MAYER 1986.

veränderter Faktor der Energiebilanz der zu einer Temperaturanomalie führt	bauliches Merkmal welches zu einer Veränderung der Energiebilanz führt
Erhöhung der Absorption kurzwelliger Strahlung	nooR Geometrie ändern, Vergrößerung der Oberfläche, Mehrfachreflexionen, dunkler Anstrich
verminderte Verluste langwelliger Strahlung zum Himmel	nooR Geometrie Reduzierung des sky view factors
Wärmeabgabe	Gebäudenutzung, bauliche Dichte, Baukonstruktion
erhöhte Speicherfähigkeit	Baumaterialien
herabgesetzte Evapotranspiration	Baumaterialien, verringerte Wasseraufnahme, beschleunigte Wasserabfuhr
herabgesetzter turbulenter Wärmetransport	nooR Geometrie, reduzierte Windgeschwindigkeit, effekte räumlicher Inhomogenität

2.2 Überlegungen zum bau-physikalischen und klimatischen Anforderungsprofil an einem nooR

Die klimatischen Anforderungen an nooR und Gebäude ergeben sich im wesentlichen aus der angestrebten Nutzung der beiden Bereiche und dem räumlichen Schwerpunkt der Nutzung.

- Liegt der Schwerpunkt der Nutzung:
- im Gebäude, sind die Anforderungen an den nooR von geringer Bedeutung,
 - im nooR, sind die Anforderungen an das Gebäude von geringer Bedeutung,
 - in nooR und Gebäude, sind die Anforderungen gleichrangig.

Diese Unterscheidung ist wesentlich für die Beurteilung von nooR-Gebäuden in Bezug auf ihr mikroklimatisches Potential, da nooR und Gebäude teilweise unterschiedlichen Nutzungen und Zielsetzungen unterliegen.

So ist für den nooR und seine Bewertung von Bedeutung,

- um welche Art der Nutzung es sich handelt, hieraus ergibt sich das mikroklimatische Anforderungsprofil,
- ob in dem Zeitraum, in dem eine bestimmte Anforderung gestellt wird der nooR das Klima entsprechend modifizieren kann oder das Klima bereits den Anforderungen entspricht.

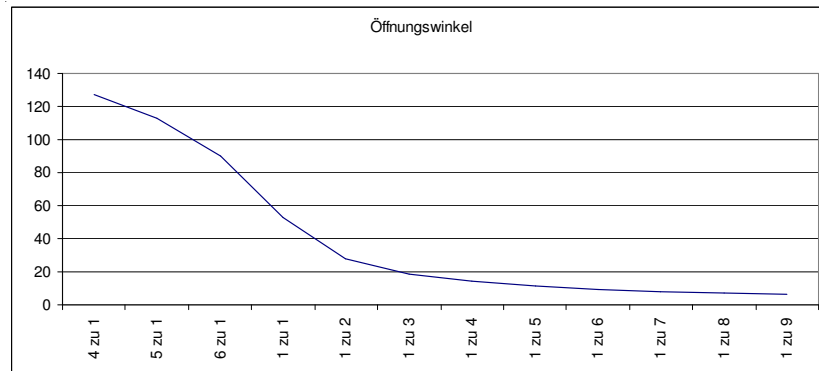


Abbildung 2.2: Öffnungswinkel nooR in Abhängigkeit von der Proportion (Höhe zu Breite)

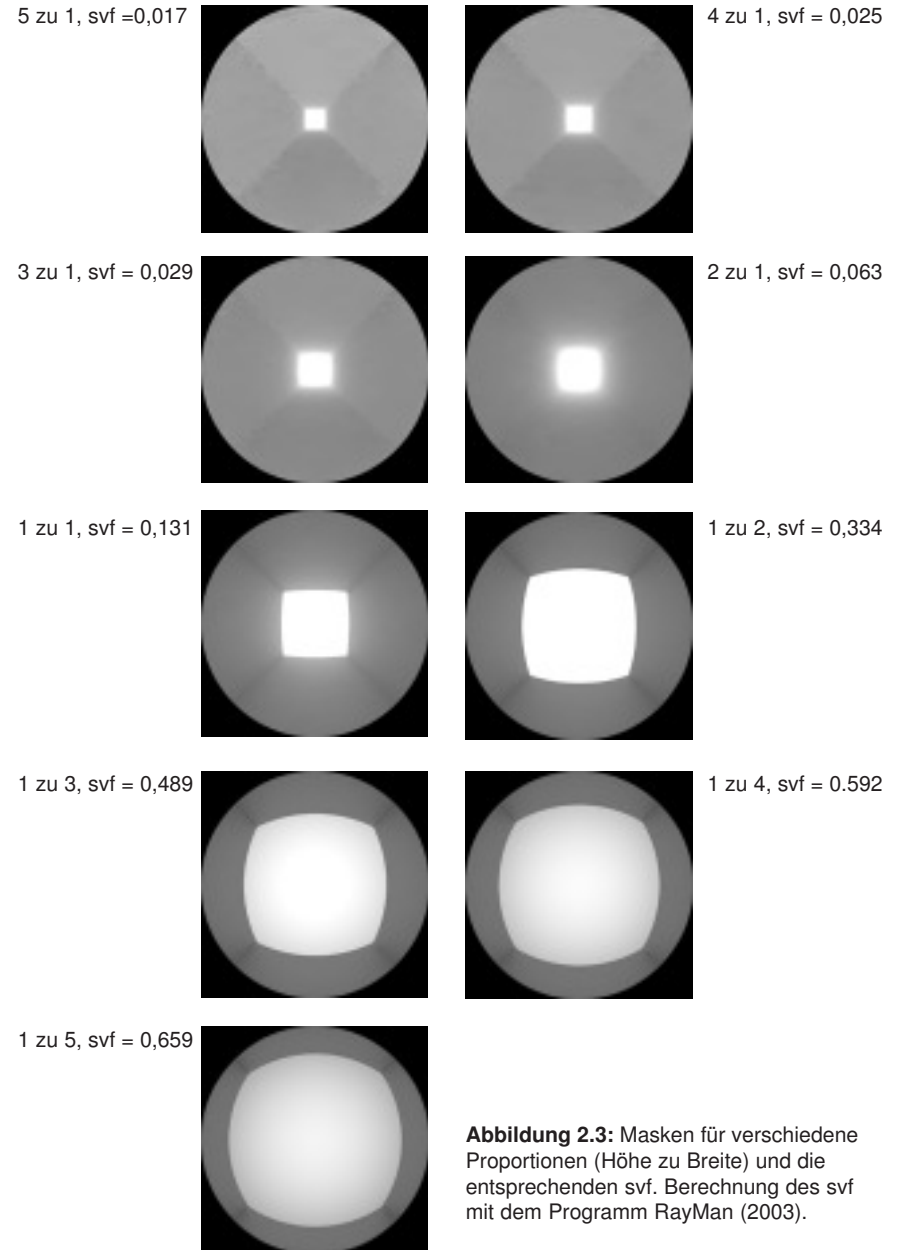


Abbildung 2.3: Masken für verschiedene Proportionen (Höhe zu Breite) und die entsprechenden svf. Berechnung des svf mit dem Programm RayMan (2003).

Da jeder Nutzung ein bestimmtes Anforderungsprofil zugeordnet werden kann, können Nutzungen entsprechend bewertet werden. Anforderungsprofile können bestimmte Kriterien enthalten wie z.B. mikroklimatische, bauphysikalische, funktionale oder auch ökonomische Kriterien. Typische Verteilungen der Nutzung sind:

- wohnen im Gebäude, arbeiten (körperlich) im nooR
- wohnen im Gebäude und nooR
- lagern im Gebäude (EG) und wohnen im nooR
- lagern/ arbeiten im Gebäude (EG) und Arbeiten im nooR

Betrachtet man den möglichen Temperaturverlauf zwischen nooR und Außenraum können grundsätzlich folgende Fälle entsprechend **Abbildung 2.4** für einen Tagesgang unterschieden werden. Diesen Fälle können die in **Tabelle 2.3** angeführten Ursachen zu Grunde liegen. Basierend auf den geschilderten Ansätzen und den Überlegungen von SAXON (1983) über unterschiedliche Typen überglaster Räume können für den nooR folgende Zuordnungen erfolgen.

- Komforttyp:
Typ I begrenzter Außenraum, Komfort abhängig vom Außenklima,
Typ II Pufferraum,

(Typ II s =Pufferraum saisonal), Komfort abhängig vom Außenklima, teilweise entkoppelt, abhängig von der Funktion des nooR für das Gebäude,
Typ III voller Komfort,
(Typ III s =Aufenthalt saisonal).

- Lüftungstyp
Typ I Reduzierung des Luftwechsels (Nutzung von Stratifikationseffekten), Reduzierung der Luftgeschwindigkeit,
Typ II Modulierung des Luftwechsels, Modulierung der Luftgeschwindigkeit,
Typ III Erhöhung des Luftwechsels, Erhöhung der Luftgeschwindigkeit.

- Belichtungstyp
Typ I Belichtung nooR,
Typ II Belichtung Gebäude,
Typ III Verschattung von nooR und Gebäude.

Teilt man den nooR entsprechend seiner energetischen Eigenschaften in Bezug auf ein Gebäude und Klima ein, ergibt sich **Tabelle 2.2**.

Abbildung 2.4: Außentemperatur und Temperatur im nooR im Vergleich (ausgewählte Beispiele)

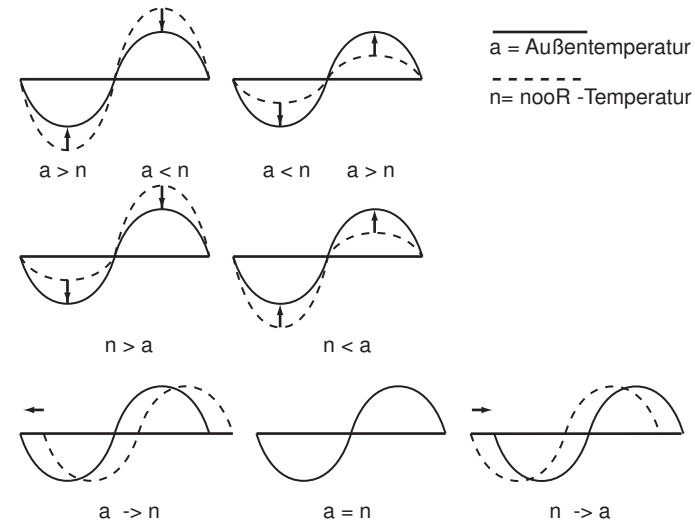


Tabelle 2.2: Energietyp und Klima

Klimate	Aufgabe des nooR für Gebäude	Energietyp / Komforttyp	Lüftungstyp	Belichtungstyp
kalte Klimate	wärmt im Winter und im Sommer	wärmender nooR w-Typ / Typ I - II	Typ I	Typ I / II
gemäßigte Klimate	wärmt im Winter kühlt im Sommer	variabler nooR v-Typ / Typ III	Typ II	Typ I / II / III
warme Klimate	kühlt im Sommer	kühlender nooRk-Typ / Typ III	Typ III	Typ III

2.3 Überlegungen zum Komfortverständnis in nooR

Die Beurteilung eines nooR-Gebäudes ist vor allem vom Beurteilungsmaßstab abhängig. Kriterien dabei können sein:

- thermischer Komfort,
- visueller Komfort,
- lufthygienischer Komfort,
- funktionale Ansprüche,
- ästhetische Ansprüche ,
- etc..

Für den human-biometeorologischen Wirkungskomplex, basierend auf VDI 3787 Blatt 2, sind folgende Größen von Bedeutung:

- a) Größen, die auf den Wärmehaushalt eines Systems Auswirkungen haben (z.B. Strahlung, Temperatur, Feuchte, Wind),
- b) Größen, die auf die Lufthygiene einen Einfluß haben (z.B. natürliche Belüftung),
- c) Größen des aktinischen Wirkungskomplexes (z.B. sichtbares Licht).

In der Literatur finden sich eine Vielzahl von Untersuchungen zum Thema biometeorologischen Wirkungskomplex, wie z.B. FANGER (1972), HÖPPE (1984, 1993) und JENDRITZKY (1992).

Untersucht man den human-biometeorologischen Wirkungskomplex auf seine Beziehungen zum

Klima, Gebäude, nooR und Technik ergibt sich **Tabelle 2.4**.

Wie die **Tabellen 2.4** und **2.5** zeigen, ist ein Gebäude weit weniger abhängig von Klima und Witterung als ein nooR bei der Schaffung eines bestimmten Innenraumklimas. Es sind nur wenige technische Maßnahmen (z.B. Klimaanlage) in einem Gebäude nötig, um auf eine Streßsituation entsprechend reagieren zu können. Im Gegensatz dazu

bedürfen Gebäude und nooR ohne technische Hilfsmittel einer Vielzahl unterschiedlicher Mittel, um den gewünschten Komfort zu erzielen. Die Maßnahmen sind teilweise ähnlich, können sich aber in der Wirkungsweise und Effizienz stark unterscheiden. Dem Gebäude stehen durch die geschlossene Gebäudehülle mehr und wirksamere Möglichkeiten für die Modifikation des Klimas zur Verfügung als dem nooR.

Auf Grund der gezeigten Zusammenhänge zwischen Klima, nooR, Gebäude und Komfort kann gefolgert werden, daß

- Komfort im nooR durch bauliche Maßnahmen beeinflusst werden kann,
- Komfort „tätigkeitsabhängig“ ist, also von der metabolischen Rate abhängt mit der Folge, daß ein nooR je nach Klima unterschiedlich genutzt werden kann/ muß und

Tabelle 2.3: Ursachen für Temperaturunterschiede zwischen nooR und Umgebung.

	Fall	(mögliche) Ursache, vgl. auch Tabelle 2.6
1	Außentemperatur < nooR-Temperatur	optimale Nutzung der eingestrahnten Energie; hohe Wärmeverluste von Gebäuden zum nooR; nooR mit geringen Verlusten zum Außenklima; Trägheit des nooR bei Temperaturwechsel
2	Außentemperatur > nooR-Temperatur	geringe solare Ausnutzung; große Speichermassen > Trägheit des nooR bei Temperaturwechsel
3	Nacht: Außentemp. < nooR-Temp. Tag : Außentemp. >nooR-Temp.	nooR dämpft die Temperaturschwankung; geringe solare Gewinne bei Tag, geringe Strahlungsverluste bei Nacht
4	Nacht: Außentemp. > nooR-Temp. Tag: Außentemp. < nooR Temp.	große Strahlungsverluste bei Nacht, große Strahlungsgewinne bei Tag, und reduzierte Wärmeverluste
5	nooR-Temp. folgt der Außentemp. (Phasenverschiebung)	Temperaturveränderung; eingeschwungener Zustand bei großen Speichermassen
6	nooR-Temperatur gleich Außentemperatur	keine oder sehr geringe Speichermassen
7	nooR-Temp. eilt Außentemperatur voraus (Phasenverschiebung)	bei Temperaturwechsel geringere Trägheit als Außenklima (optimale Ausnutzung solarer Einstrahlung am Morgen, schnelles Abkühlen am Abend durch Verschattung und Reduzierung der solaren Gewinne), Wärmeverluste von Gebäuden, Anlaufen von Heizungsanlagen

- die Adaption an das vorherrschende Klima (Habituation) für das Komfortempfinden von Bedeutung ist.

Streß durch atmosphärische Umwelteinflüsse oder Diskomfort läßt sich folglich durch bauliche oder technische Interventionen vermeiden oder reduzieren. Die dafür in Frage kommenden Maßnahmen sind in **Tabelle 2.6** dargestellt. Zusammenfassend ist zu sagen, daß dem nooR keine oder nur sehr wenige vom Gebäude unabhängige und das Klima im Gebäude nicht beeinflussende Maßnahmen zur Verfügung stehen. Allerdings können die Möglichkeiten des nooR stärker genutzt werden, wenn sich das Gebäude maximal von der Dynamik des Außenklimas z.B. durch entsprechenden Wärmeschutz und Winddichtheit abkoppelt. Grundsätzlich können folgende Fälle im Verhältnis von Klima -Außenklima, Innenraumklima oder auch nooR-Klima zu Komfortband unterschieden werden:

- a) die Bandbreite der Ist- Wertemenge des Klimas (z.B. durchschnittliche Temperatur innerhalb eines definierten Zeitraumes) liegt unterhalb der Soll- Wertemenge (z.B. die als angenehm empfundene Temperatur innerhalb dieses Zeitraumes) des Komfortbandes,

- b) die Bandbreite der Ist- Wertemenge des Klimas liegt unterhalb und innerhalb der Soll- Wertemenge des Komfortbandes,
- c) die Bandbreite der Ist- Wertemenge ist größer als die Soll- Wertemenge des Komfortbandes,
- d) die Bandbreite der Ist- Wertemenge ist kleiner als die Soll- Wertemenge des Komfortbandes,
- e) die Bandbreite der Ist- Wertemenge liegt innerhalb und ober-

- halb der Soll- Wertemenge des Komfortbandes,
- f) die Bandbreite der Ist- Wertemenge des Klimas liegt oberhalb der Soll- Wertemenge des Komfortbandes.

Während es sich bei der Ist-Wertemenge um eine Menge von z.B. Temperaturwerten handeln kann (siehe oben), die sich auf einen gewissen Zeitraum beziehen, handelt es sich bei der Soll-Wertemenge um Komfortwerte, die sich auf eine gewisse körperliche Konstitution,

Tätigkeit, Habituation etc. beziehen (vgl. FANGER 1972, JENDRITZKY et al. 1990, JENDRITZKY 1992). Die Unter- oder Überschreitung der Soll- Wertemenge des Komfortbandes kann nach relativ kurzer Zeit zum Diskomfort führen und zu entsprechenden Versuchen (z.B. Anpassung der Kleidung), den erwünschten Komfort wieder herzustellen. Es ist von Bedeutung, auf welchen zeitlichen Bereich sich die Ist- Wertemenge bezieht und durch welche Maßnahmen, z.B. baulicher

Tabelle 2.4: Human -biometeorologischer Wirkungskomplex in Abhängigkeit von Klima, Gebäude, nooR und Gebäudetechnik (Wirkungskomplexe in Anlehnung an VDI 3787, Blatt 2)

	abhängig vom Klima	beeinflußbar durch Gebäude	beeinflußbar durch nooR	beeinflußbar durch Technik im Innenraum
Thermischer Wirkungskomplex				
Lufttemperatur	ja	ja	beschränkt	ja / Heizung
Luftfeuchte	ja	beschränkt	beschränkt	ja / Klimaanlage
Windgeschwindigkeit	ja	ja	ja, beschränkt	ja / bauliche Ausführung
solare Strahlung (kurz und langwellig)	ja	ja	ja, beschränkt	ja
Lufthygienischer Wirkungskomplex				
Schadstoffgehalt (Außenluft)	bedingt (Inversionslage)	ja	nein	ja / Klimaanlage
Lüftungsvolumen (Grundlüftung)	bedingt (Temperaturdifferenz)	ja	beschränkt	ja / Lüftungsanlage
Aktinischer Wirkungskomplex				
Sehen	ja	ja	ja	ja / Beleuchtungstechnik
Sonstiges				
Niederschlag	ja	ja	nein	nein
Geruch (Außenluft)	nein	bedingt	nein	ja / Klimaanlage
Lärm (Umgebung)	nein	ja	beschränkt	ja

Tabelle 2.5: Möglichkeiten der Klimamodifikation von Gebäude und nooR (ohne überglasten nooR), Wirkungskomplex in Anlehnung an VDI 3787, Blatt 2

	Gebäude			nooR		
	bauliche Maßnahme	technische Maßnahme	Nutzerverhalten	bauliche Maßnahme Veränderung	technische Maßnahme	Nutzerverhalten
Thermischer Wirkungskomplex						
Lufttemperatur	U-Wert, Speichereffekte Verhältnis Oberfläche zu Volumen	Heizung / Kühlung	z.B. Lüften oder Schließen von Fenster (-läden)	Speichereffekte, Stratifikation, Verdunstung von Wasserflächen	Heizung partiell und temporär (Strahlung)	Abdecken des Oculus, Anpassen der Kleidung, und / oder Tätigkeit
Feuchte	Verdunstung von Wasserflächen (Zimmerbrunnen), Pflanzen	Heizung Klimaanlage	z.B. Lüften	Verdunstung von Wasserflächen, Pflanzen (Bäume, Topfpflanzen)		
Wind	Winddichtigkeit	Ventilatoren, Klimaanlage	z.B. Öffnen und Schließen von Fenstern	Bepflanzung, Größe und Orientierung Oculus, Dachform, nooR-Proportion, Umgebung (Bebauung)		Abdecken des Oculus, Anpassen der Kleidung und / oder Tätigkeit
solare Einstrahlung	Größe, Orientierung von Öffnungen (Fenster), feste Verschattung	bewegliche Verschattung Heizung / Klimaanlage (Abführen der Wärme)	bewegliche Verschattung schließen	Größe, Orientierung Oculus und Oberflächen, Dachform, nooR-Proportion, Umgebung (Bebauung), Verschattung durch Zonierung (Arkaden, Bepflanzung), Absorptionsgrad von Flächen	bewegliche Verschattung	Aufsuchen von Schatten / Sonne, Anpassen der Kleidung und oder Tätigkeit
Wärmestrahlung	wie solare Einstrahlung, Verglasungsmaterial, Verhältnis Oberfläche zu Volumen	Heizung Klimaanlage		Proportion (Strahlungsfalle), Verhältnis von Oberfläche zu Volumen		Anpassen der Kleidung und oder Tätigkeit
Lufthygienischer Wirkungskomplex						
Lufthygiene	Luftdichtigkeit	Klimaanlage	z.B. Lüften	Größe und Orientierung Oculus, Lage von Durchgängen		Schließen von Durchgängen
Lüftungsvolumen (Grundlüftung)	Luftdichtigkeit	Lüftungsanlage	z.B. Lüften	nooR-Proportion, Größe und Orientierung Oculus, Lage von Durchgängen		Schließen von Durchgängen
Aktinischer Wirkungskomplex						
Sehen (solare Einstrahlung)	siehe oben	siehe oben	siehe oben	siehe oben	siehe oben	siehe oben
Sonstiges						
Niederschlag	Dach, Abdichtung		Fenster schließen	überdachte Bereich z.B. Arkaden	temporäre Überdachung	Aufsuchen geschützter Bereich, Anpassen der Kleidung und oder Tätigkeit
Geruch siehe Lufthygiene	siehe oben	siehe oben	siehe oben	siehe oben	siehe oben	siehe oben
Lärm in der Umgebung	Gebäudemasse, Trennung von Bauteilen etc.		Schließen von Öffnungen	Proportion, schallabsorbierende Maßnahmen		

Tabelle 2.6: Ursachen von Umweltstreß und mögliche bauliche Gegenmaßnahmen (+ bedeutet erhöhen, - reduzieren)

Streßfaktor	Ursache	Maßnahme biometeorologischer Wirkungskomplex	bauliche Maßnahmen Gebäude	bauliche Maßnahme nooR	technische Maßnahme Gebäude / nooR
Wärmebelastung	hohe Lufttemperatur	Verdunstung (Schwitzen) *+, Zufuhr kühler Luft, Windgeschw. +, Strahlungsverluste +, metabolische Rate - (sitzen)	direkt Windgeschw. + durch öffnen von Fenstern, indirekt Speichereffekte +, Öffnungen -	direkt Kühlung der Luft durch Verdunstung, Windgeschw. + indirekt Speichereffekte +	Kühlen durch Kühlflächen, kalte Luft, Erhöhung der Windgeschw. durch Ventilatoren
	hohe Luftfeuchte	Zufuhr kühler Luft, Strahlungsverluste +, Windgeschw. +, metabolische Rate - (sitzen)	direkt Windgeschw. + (Öffnen von Fenstern) indirekt Speichereffekte +	direkt Windgeschw. + (Proportion, Windfänger) indirekt Speichereffekte +	zusätzliche Entfeuchtung
	solare Einstrahlung	Verschattung, Zufuhr kühler Luft, Verdunstung +, Strahlungsverluste +, Windgeschw. +, metabolische Rate - (Sitzen)	direkt Windgeschw. +, (Fenster öffnen), Verschattung von Öffnungen, indirekt Speichereffekte +, Öffnungen -, Oberfläche -	direkt Verdunstung + (Bepflanzung, Wasserflächen), Windgeschw. +, Verschattung + (Arkaden, Sonnensegel, Bepflanzung), indirekt nooR Größe -, Oberfläche -, Speichereffekte +	beweglicher Sonnenschutz, Kühlen durch Kühlflächen, kalte Luft, Erhöhung der Windgeschw. durch Ventilatoren
	langwellige Strahlung	Verdunstung +, Windgeschw. +, metabolische Rate - (Sitzen)	direkt Öffnungen -, Windgeschw. + (Fenster öffnen) indirekt Speichereffekte, U Wert +	direkt Verdunstung + (Bepflanzung, Wasserflächen), Windgeschw. +, Verschattung - (Arkaden, Sonnensegel, Bepflanzung) indirekt Hofgröße -, Oberfläche -, Speichereffekten +	Kühlen durch Kühlflächen, kalte Luft,
	Kleidung	Anpassen der Bekleidung			intelligente Kleidung
Kältestreß	Lufttemperatur	Strahlung langwellig + Strahlung kurzwellig + durch Ortswechsel, metabolische Rate + (Arbeit, Bewegung)	direkt U Wert +, kurzw. Strahlung + (Öffnungen), Lüftungsverluste -, Windgeschw. - indirekt Speichereffekte +	direkt kurzwellige Strahlung + (Proportion), Windgeschw. - indirekt Speichereffekte +	Heizen mit warmen Flächen, warmer Luft
	Strahlungsverluste langwellig	Lufttemperatur +, solare Einstrahlung +, durch Ortswechsel, metabolische Rate + (Arbeit, Bewegung)	direkt U Wert +, kurzw. Strahlung + (Öffnungen), Lüftungsverluste -, Windgeschw. - indirekt Speichereffekte +	direkt kurzw. Strahlung + (Proportion), langw. Strahlungsverluste - (Proportion) indirekt Speichereffekte +, Windgeschw. -	Heizen mit warmen Flächen, warmer Luft
	geringe solare Einstrahlung		direkt U Wert +, kurzw. Strahlung + (Öffnungen), Lüftungsverluste -, Strahlungsverlust + indirekt Speichereffekte +	direkt kurzw. Strahlung + (Proportion), langw. Strahlungsverluste - (Proportion), Windgeschw. -, indirekt Speichereffekte + Windgeschw. -,	Heizen mit warmen Flächen, warmer Luft
	hohe Windgeschwindigkeit	Lufttemperatur +, langw. und kurzw. Strahlung +	direkt U Wert +, kurzw. Strahlung + (Öffnungen), Lüftungsverluste -, Strahlungsverlust + indirekt Speichereffekte +	direkt kurzw. Strahlung + (Proportion), langw. Strahlungsverluste - (Proportion), Windgeschw. - (Arkaden, Bepflanzung), indirekt nooR-Größe -, Speichereffekte +	Heizen mit warmen Flächen, warmer Luft
	Kleidung	anpassen der Bekleidung			

* Verdunstung von der Hautoberfläche, aber auch die Verdunstung von Wasserflächen und die Erhöhung der Windgeschwindigkeit hängen eng zusammen und sind z.B. in warm feuchten Klimaten nicht zu trennen. In gemäßigten Klimaten kann allein Schwitzen bei konstanter Windgeschwindigkeit ausreichen, um einen komfortablen Zustand wiederherzustellen, genauso wie eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit bei konstanter Schweißproduktion.

Art, darauf reagiert werden kann. Der Begriff der Menge wurde hier eingeführt, da oft nicht das einmalige kurzzeitige Unterschreiten z.B. von Temperaturwerten eine thermisch unkomfortable Situation auslöst, sondern eine über einen gewissen Zeitraum gemittelte Temperatur. Außerdem erlaubt der Begriff der Menge folgende, für das thermische Empfinden des Menschen und auch thermische Verhalten von Gebäuden und nooR, wichtige Zeitabschnitte zu erfassen.

Es ist entscheidend wie lange ein Zustand oder eine Veränderung desselben als annähernd komfortabel angesehen wird und/ oder bis wann ein Regelmechanismus zur Kompensation der Veränderung oder des Zustandes einsetzt oder diese Veränderungen kompensieren kann.

2.4 Überlegungen zum nooR in unterschiedlichen Klimazonen

Klima, Gebäude und Nutzeranforderungen sind, wie beschrieben, die wesentlichen Parameter für das Funktionieren eines nooR. Jeder dieser Parameter kann für sich stehen und einzeln analysiert werden. Zusammenfassend ist Folgendes festzustellen:

Das Klima bestimmt durch die Außen-temperatur das Raumklima,

welches sich bei freier Klimatisierung in Gebäude und nooR einstellt. Zusammen mit den Nutzeranforderungen wird festgelegt, wie ein Gebäude und/ oder nooR reagieren muß (z.B. Heiz-, Kühlbedarf). nooR und Gebäude können/ müssen je nach Nutzung unterschiedlich reagieren.

Klimacharakteristika, die für eine bauliche Gestaltung ausschlaggebend sind:

- ausgeprägter Jahresgang > Gebäude und nooR müssen in extremen klimatischen Situationen Anforderungen gleich gut erfüllen; gemäßigtes Klima mit heißen Sommern und kalten Wintern, im Sommer kleiner nooR zur Minimierung der Sonneneinstrahlung, im Winter Maximierung der Sonneneinstrahlung zur Nutzung von Wärme- gewinnen und Beleuchtung von Innenräumen.
- ausgeprägter Tagesgang > Gebäude und nooR müssen kurzfristig extreme Situationen ausgleichen, wie z.B. in Wüstenklimata in denen Speichermasse von Vorteil ist, um extreme Temperaturschwankungen zu reduzieren,
- weder ein ausgeprägter Tagesgang noch Jahresgang > Gebäude und nooR müssen kontinuierlich bestimmte Anforderungen erfüllen, wie z.B. im tropischen Klima,
- hohe Niederschlagsmengen oder hohe Luftfeuchtigkeit > beides er-

fordert einen besonderen konstruktiven Aufwand, welcher für die Formgebung wesentlich ist, wie z.B. große Dachüberstände oder eine offene Bauweise, ebenso hohe Windgeschwindigkeiten.

Gebäude mit nooR haben auf Grund ihrer baulichen Gestalt die Möglichkeit, das Klima zu modifizieren (**Abbildung 2.5**) und ein eigenes Mikroklima zu schaffen (Modifikationskapazität). Da die Nutzung von nooR und Gebäude variieren können, muß der nooR nicht die gleiche Modifikationskapazität haben wie ein Gebäude. In der folgenden **Tabelle 2.7** werden dabei mögliche Probleme aufgezeigt.

Gebäude mit nooR lassen sich fast in jeder Klimazone nachweisen. Allerdings fällt auf, daß nooR vor allem in gemäßigten Klimaten, wie z.B. dem mediterranen Bereich, sowie heißen trockenen Klimaten auftreten. Mit dem Abweichen der Klimata von diesen klimatischen „Idealbedingungen“ ändert sich vor allem die Nutzung des nooR vom Aufenthaltsbereich zum geschützten Außenbereich mit geringen gestalterischen Ansprüchen.

Nach DIN 50019 wird das Klima für technische Fragestellungen unterteilt in:

kalte Klimate,
gemäßigte Klimate,
trocken oder aride,
warmfeucht oder humid,
Meeresklima.

Geeignet für den nooR als Aufenthaltsraum sind Klimate, die

- einen deutlichen Tagesgang der Temperatur aufweisen, da durch Speichermassen eine entsprechende Phasenverschiebung erreicht werden kann,
- trockene Klimate, da Verdunstungskühlung im nooR und angrenzenden Räumen genutzt werden kann,
- warme Klimate.

Nicht geeignet erscheinen:

- kalte Klimate mit geringen monatlichen Durchschnittstemperaturen, da die Temperatur im nooR nur unwesentlich über der Außentemperatur liegt, der nooR den Anteil der Außenflächen an einem Gebäude erhöht.

Bedingt geeignet sind

- feucht-heiße Klimate, da ein nooR zu zusätzlichen solaren Gewinnen führen kann, Verdunstungskühlung nicht möglich ist, Kondensationsvorgänge durch Speichermassen gefördert werden können,
- heiße Klimate mit hohem Sonnenstand, da durch den nooR die

Gebäudeoberfläche vergrößert wird.

So läßt sich eine Häufung von Gebäuden mit nach oben offenem Raum, der auch Aufenthaltsraum ist, vor allem in warmen und trockenen Klimaten beobachten. Der nach oben offene Raum, der hauptsächlich auf Grund von Sicherheitsüberlegungen oder zur Verrichtung von Arbeiten (hauptsächlich landwirtschaftlichen) angelegt wird, ist dagegen in fast allen Klimaten zu beobachten.

Für ein klimagerechtes Bauen sind Lufttemperatur und Luftfeuchte primäre Merkmale, da durch sie Heizungs- und Lüftungsbedarf definiert werden. Die anderen Klimaelemente, wie Wind und solare Einstrahlung sind vor allem im Zusammenhang mit der Lufttemperatur von Bedeutung, da sie u.a. den thermischen Komfort im Außenbereich stark beeinflussen. Somit kann ein nooR zum klimagerechten Bauen beitragen.

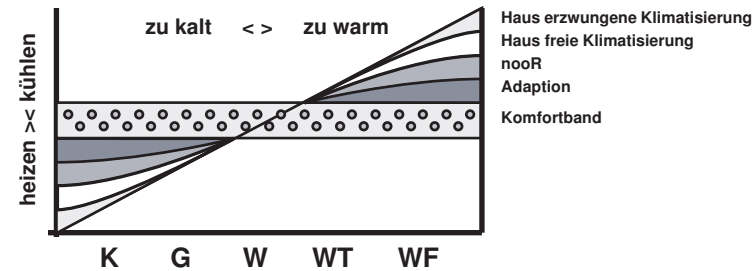


Abbildung 2.5: Diagramm (Hypothese) Verhältnis vom nooR-Klima zum Gebäudeklima und zum Komfortband (K= kaltes Klima, G = gemäßigtes Klima, W= warmes Klima, WT= warm -trockenes Klima, WF= warm-feuchtes Klima)

Tabelle 2.7: Grenzen der Nutzung eines nooR

	gleiche Nutzung von nooR und Gebäude	ungleiche Nutzung von nooR und Gebäude
unproblematisch kann sein	Klima entspricht Nutzeranforderungen (NA)	Klima entspricht Nutzeranforderungen (NA)
	Modifikationskapazität des nooR ist groß genug um NA zu erfüllen	Modifikationskapazität ist groß genug um NA zu erfüllen
	unterschiedliche Anforderungen an nooR und Gebäudeklima, auf Grund größerer Toleranz zum Aussenklima	geringe Anforderungen an nooR Luft hohe NA die durch den nooR auf Grund seiner Charakteristik nicht erfüllt werden kann (Licht, Luft)
problematisch kann sein	Klima entspricht nicht NA und die Modifikationskapazität ist zu gering	Klima entspricht nicht NA und die Modifikationskapazität ist zu gering
	Die Anforderungen können entweder im Gebäude oder nooR erfüllt werden, da die Schnittstelle Fassade nur für nooR oder Gebäude optimiert werden kann	Die Anforderungen können entweder im Gebäude oder nooR erfüllt werden, da die Schnittstelle Fassade nur für nooR oder Gebäude optimiert werden kann
	Anforderungen die durch den nooR erfüllt werden können, jedoch nicht zur entsprechenden Zeit	

2.7 Zusammenfassung

In diesem Abschnitt werden unterschiedlichste theoretische Überlegungen zum nooR und seinem klimatischen Potential dargestellt. In wie weit diese Konzepte in der Praxis und durch eingehende Untersuchungen bestätigt und ausgebaut werden können, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht geleistet werden. Ziel ist, das Verständnis für den nooR zu erweitern und Wege zur Beurteilung aufzuzeigen, die das spezifische Potential eines nooR besser darstellen können als z.B. U-Werte oder Luftwechselraten.

Aus Sicht des entwerfenden Architekten wären zur frühen Bewertung von Entwürfen mit nach oben offenen Räumen Konzepte sinnvoll, die auf Parameterstudien basierend eine Entscheidungsfindung ermöglichen.

Dabei sollten folgende Fragenkomplexe durch rasch vergleichbare Kennzahlen zu beantworten sein:

a) In welchem Umfang ist es möglich das Klima im nooR durch bauliche Maßnahmen in einem definierten Bereich zu modifizieren (Klimamodifikationskapazität).

b) Welche klimatische Relevanz hat die Änderung eines Parameters auf das nooR-Klima, bzw. welche ener-

getische Auswirkung auf die angrenzenden Gebäude?

c) Wie gut ist ein Gebäude mit nooR an ein bestimmtes Klima angepaßt? Funktioniert es besser im Winter oder im Sommer? Wirkt sich der Tages- oder Jahresgang mehr auf das Gebäude oder den nooR aus?

d) Wie wirkt sich eine kurzfristige Wetteränderung auf das nooR-Klima aus?

d) Kann basierend auf den Überlegungen zu Heizgradtagen (vgl. RECKNAGEL et al. 1999) für den nooR ein Konzept entwickelt werden um einen Vergleich unterschiedlicher nooR- Formen in Bezug auf Temperatur, natürliche Belichtung und Belüftung zu ermöglichen? Die so ermittelten Kennzahlen würden darüber Auskunft geben wie oft bestimmte Bedingungen vorkommen.

Als vielversprechend wird ein Ansatz basierend auf dem svf-Konzept erachtet, da hier die spezifische Charakteristik eines nooR, nämlich die Geschlossenheit der Bauform, besonders berücksichtigt wird.

Teil 3 Durchlüftung und Tageslichtpotential

Im folgenden Kapitel werden zwei wesentliche Aspekte des nooR, nämlich die Durchlüftung und das Tageslichtpotential näher betrachtet. Während die Durchlüftung auf einer Literatursauswertung basiert, wird das Tageslichtpotential an drei Gebäuden mit nooR aus unterschiedlichen Epochen untersucht.

3.1 Strömungsvorgänge im und um den nooR

3.1.1 Einleitung

Grundlage dieses Kapitels ist eine ausführliche Literaturrecherche zum Thema Durchlüftung von nooR (vgl. **Tabelle 3.1.1**). Auffällig dabei ist, daß der Schwerpunkt der Studien vor allem bei Gebäuden mit flachen Dächern und Lüftungspotential bei unterschiedlichen Proportionen liegt.

Bei der Literaturrecherche zum Thema überströmte Höfe, Atrien oder Innenhöfe konnten nur wenige Artikel - mit geringer Aktualität - zu diesem Thema gefunden werden. Ein Ausweitung der Suche auf „überströmte Kavität“, „(shear-) driven cavity flow“, „rezirkulierende Strömungen“ und „open cavity“ führte zu

Artikeln im Bereich der Ingenieurwissenschaften ohne direkten Bezug zu nach oben offenen Räumen (z.B. DEGHAN et al. 1996, SCHMID 1985, YOSHIWARA 2001). Eine Zusammenstellung weiterer Arbeiten zum Thema überströmte Kavität siehe SCHMID (1985).

Die Luftströmungen im nooR sind durch Strömungsvorgänge außerhalb und innerhalb des nooR bestimmt. Es kann zwischen windinduzierten und thermischen Strömungsvorgängen unterschieden werden. Als windinduzierte Strömungen werden Luftbewegungen im nooR bezeichnet, die vor allem durch Wind außerhalb des nooR entstehen. Strömungen, die auf Grund thermischer Unterschiede außerhalb des nooR erzeugt werden, werden auch unter diesem Begriff geführt.

Als thermische Strömungen werden die überwiegend durch Wärmeströme (freie oder auch natürliche Konvektion) verursachten Luftbewegungen bezeichnet. Wie schon beschrieben, sind im Außenraum strahlungsbedingte und konvektive Wärmeübergänge annähernd gleich groß. Der konvektive Wärmeübergang kann bei hohen Windgeschwindigkeiten überwiegen. Dies bedeutet für einen nooR, daß je nach Strömungssituation die strahlungsbedingten oder konvek-

tiven Wärmeübergänge das Mikroklima prägen.

Für eine Beschreibung des Strömungsverhaltens wird der nooR entsprechend **Abbildung 3.1.1** und **2** unterteilt. Die Unterteilung lehnt sich an die Überlegungen von OKE (1987a) zum Stadtklima und der Beschreibung zu überströmten Kavitäten bei SCHMID (1985) an. Nach ROSHKO (1955) kann sich bei einer nahezu zweidimensionalen Strömung ($T/W > 8$) in einer überströmten Kavität ein stationärer Hauptwirbel auf Grund des Geschwindigkeitsgradienten in der freien Scherschicht ausbilden.

Für die Klassifizierung des Strömungsverhaltens von nooR werden folgende Kriterien vorgeschlagen:

Strömungsart, Strömungsmuster:

a) windinduzierte Strömungsmuster können unterschieden werden nach:

- Anzahl der Wirbelzonen (Haupt- und Nebenzonen),
- Lage des Hauptwirbels (zentral, dezentral),
- Verdrängungshöhe durch Hindernisse,

b) thermisch bedingte Strömungsmuster:

- Kurzschluß zwischen Außenströmung und nooR-Strömung, ohne daß es zu einem Luftaus-

tausch zwischen nooR und Außen kommt,

- volle Durchmischung von Außenluft und nooR Luft,

- lokale (vertikal, horizontal)

Durchmischung von nooR-Luft ohne Vermischung mit der Außenluft,

(vgl. **Abbildung 3.1.1** bis **3.1.3**)

c) gemischte Strömungsmuster:

vergleiche windinduzierte

und thermisch bedingte

Strömungsmuster (vgl. **Abbildung 3.1.3**).

Wie bei HEISELBERG et al. (1998a) für große Räume dargestellt, kann auch der nooR in Regionen unterteilt werden (vgl. **Abbildung 3.1.2**):

Die Region 1 ist der zentrale Bereich des nooR ohne die Grenzschicht entlang der Wände und entspricht ungefähr der Hauptwirbelzone. Die Strömung ist voll turbulent. Hier sind überwiegend Verteilungs- und Mischungsprozesse (Geruch, Luftverunreinigungen, Wärme etc.) für das Lüftungsverhalten von Bedeutung.

Die Region 2 ist der Bereich der Grenzschicht entlang der Wände und Hindernisse, sowie der Wände und Hindernisse selbst. Hier ist überwiegend der Wärmeübergang von Bedeutung.

Die Region 3 ist der Bereich in dem nooR- Strömung und Außenströmung sich vermischen. Dieser Bereich ist vor allem für die Durchmischung von nooR- Klima und Außenklima verantwortlich.

Die Region 4 ist der das gesamte Gebäude (incl. nooR) umgebende Bereich. Von Interesse ist hier vor allem der Massetransfer, Druckverteilung und die damit verbundenen Auswirkungen auf den Wärmehaushalt des Gebäudes und nooR.

Neben den erwähnten Faktoren, wie Windrichtung, Windgeschwindigkeit und bauliche Umgebung, hat das Gebäude um den nooR erheblichen Einfluß auf das Strömungsverhalten im nooR.

Als Parameter sind hier u.a. zu nennen, Gebäudegröße, Form, Proportion, sowie nooR -Proportion, Dimension und Lage innerhalb des Gebäudes, Einbauten in den nooR, Vegetation, Galerien, Durchgänge etc. (siehe auch Morphologie).

Einbauten (z.B. Umgänge, Galerien) sind nicht und unterschiedliche Dachformen (vgl. Auswirkung auf den Ablösepunkt von Strömungen bei SHAO et al. 1993) nur ungenügend in den vorliegenden Artikeln berücksichtigt (Tabelle 3.2.2).

In diesem Bereich besteht weiterer Forschungsbedarf, da Studien wie WALKER et al. (1993), sowie SHARPLES et al. (2001) auf die

Sensitivität bezüglich dieser Parameter hinweisen.

3.1.2 Windinduzierte Strömungen in nooR

Das äußere Windfeld bestimmt die Umströmung und Überströmung des nooR- Gebäudes und ist damit die wesentliche treibende Kraft für Strömungsvorgänge im nooR.

Es wird angenommen, daß überwiegend die Windverhältnisse dem nooR die Strömungsvorgänge aufzwingen, da sich thermische Strömungen nur bei sehr geringen Windgeschwindigkeiten und einer entsprechenden Strahlungslage ausbilden können (HALL et al. 1999).

Die Faktoren Windgeschwindigkeit, -richtung und Bebauung sind die entscheidenden Parameter zur Beurteilung. Daraus ergeben sich Probleme bei der Beurteilung und Bestimmung des Windfeldes, sowie bei der Wahl eines oder mehrerer geeigneter Referenzpunkte für die Messung, die direkt mit dem Geschehen im nooR korrelieren. Zu dieser Problematik sind in den angeführten Arbeiten keine oder nur wenige Aussagen getroffen.

MURAKAMI et al. (1975) mißt mit einem Schalenkreuzanemometer 12m über dem Gebäude. Bei den Windkanalversuchen von HALL et

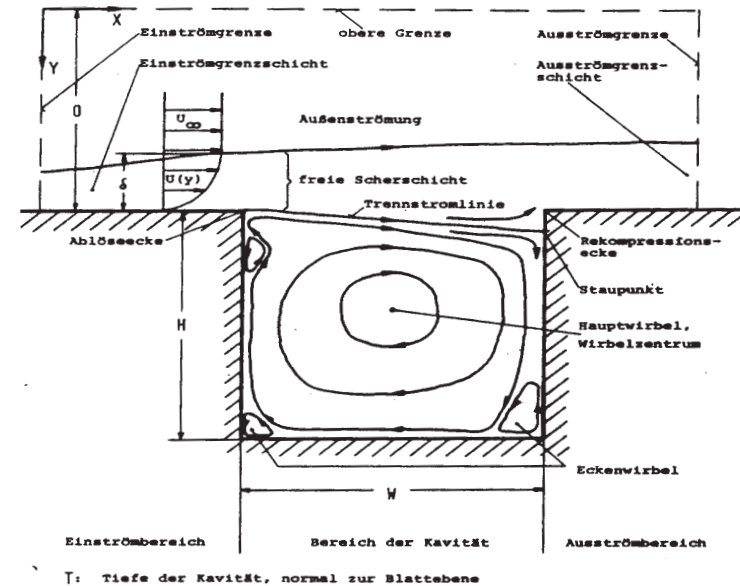


Abbildung 3.1.1: Beschreibung überströmte Kavität SCHMID (1985)

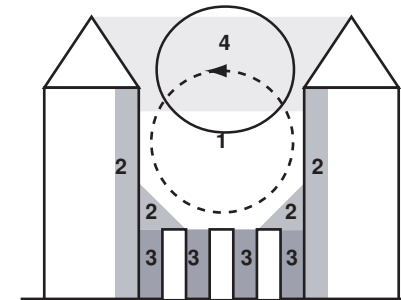


Abbildung 3.1.2: Unterteilung nooR in 1) Kernbereich (Lage des Hauptwirbels), 2) Grenzbereich (Nebenwirbelzone, ungerichteter Bereich), 3) Verdrängungsbereich (Hindernisse), 4) Übergangsbereich (Austauschschicht zwischen nooR und Außenraum) basierend auf Schmid (1985), HEISELBERG et al. (1998), OKE (1987).

al. (1999) oder in den CFD-Simulationen von WALKER et al. (1993) wird als Referenzgeschwindigkeit die Geschwindigkeit der ungestörten Strömung gewählt.

In der Stadtklimatologie werden bei OTTE et al. (1999a) z.B. für Messungen der Windgeschwindigkeit und -richtung als Messort empfohlen, 10m Höhe über Grund oder Störniveau oder „in einigen Metern über mittlerem Dachniveau“. Für Angaben, Erläuterungen zu Strömungen, Windprofil im großräumigen Umfeld eines Gebäudes oder nooR siehe z.B. OKE 1987b, BECKRÖGE 1999a, SOCKEL 1984a,b.

Wesentlich für die Definition eines aerodynamischen Umfeldes für einen nooR sind die Rauigkeitslänge und die Verdrängungsdicke, die angibt, ab welcher Höhe das logarithmische Windprofil gilt. GRIMMOND et al. (1999) beschreibt und bewertet verschiedene Ansätze zur Definition der Rauigkeitslänge und Verdrängungsschichtdicke im städtischen Bereich. Dabei zeigen sich nicht unerhebliche Probleme bei der eindeutigen Beschreibung und Parametrisierung des baulichen Umfeldes.

In den hier gegenübergestellten Untersuchungen zum nooR fehlen z.B. bei MURAKAMI et al. (1975) und MORISKE (1998) Angaben zum städtischen Umfeld und des-

sen Parametrisierung für eine genauere Beurteilung. Gerade erst durch die Berücksichtigung der unmittelbaren baulichen Umgebung ist eine eindeutige Beurteilung der Untersuchungsergebnisse auf Grund der engen Verknüpfung mit dem Außenklima sinnvoll und möglich.

Nach OKE (1987c) kann das Stadtklima in zwei wesentliche Bereiche untergliedert werden:

- der urban boundary layer, der als überwiegend mesoskaliges Phänomen vor allem durch die Charakteristik der städtischen Oberflächen bestimmt ist und
- der urban canopy layer (ucl), der durch die kleinräumlichen Prozesse zwischen Gebäuden und der unmittelbaren Umgebung beeinflusst ist.

Auf Grund der Abhängigkeit des Windfeldes innerhalb des „ucl“ (OKE 1987d) von der unmittelbaren Bebauung, ist für die Übertragung von Feldversuchen oder Simulationen und Modellversuchen eine genaue Untersuchung und Parametrisierung der städtischen Umgebung von Bedeutung, sowie eine Sensitivitätsanalyse der gewählten Umgebung auf Veränderungen, insbesondere in der näheren Umgebung des nooR.

Dabei sind u.a. verschiedene Effekte zu beobachten (OKE 1987e, GANDEMER 1975, LAWSON 1980a, BECKRÖGE 1999b):

- Strömungen um isolierte Einzelhindernisse,
- Wellenströmungen,
- Gebäudeumströmungen,
- Lückeneffekte, (Baulücken, Durchfahrten, Einmündungen), Düseneffekte (Querschnittsveränderungen), Umlenkeffekte, Netzeffekte, Abschirmeffekte Umlenkungen (Riegel oder auch Hochhäuser).

Die nähere bauliche Umgebung bestimmt direkt die Umströmung und Überströmung des Gebäudes mit einem nooR und damit u.a. die Druckverteilung um und im nooR. Bei Windkanalversuchen wird die nähere Umgebung um das Gebäude, ca. das 4 bis 5-fache der charakteristischen Höhe (GANDEMER 1975) simuliert, um unter realistischen Bedingungen zu messen. Wie stark die Strömung im ucl durch einzelne Gebäude oder auch Rauigkeitssprünge gestört werden kann, zeigen u.a. die Arbeiten von PLATE (1982), SOCKEL (1984), BECKRÖGE (1999c), OKE (1987f). So sind abhängig von der Windrichtung auch weit entfernte Gebäude mit großer Höhe und Form auf ihre Auswirkung auf den nooR zu überprüfen.

Ein mögliche Auswirkung auf den nooR kann darin bestehen, daß sich die für die Wirbelbildung im nooR maßgeblichen Ablöse- und Anlage-

punkte der Strömung verschieben (siehe SHAO et al. 1993).

SHARPLES et al. (2001) beschreibt die Generierung des Windprofils und der Umgebung sehr ausführlich, wie auch die Auswirkungen unterschiedlicher städtischer Dichten. Inwieweit das Lüftungspotential durch Gebäudelücken oder einzelne größere Gebäude beeinflusst wird, ist nicht untersucht worden. Bei WALKER et al. (1993) findet sich zu dieser Problematik nur der allgemeine Hinweis, daß eine gleichmäßig hohe Bebauung das Lüftungspotential eines nooR positiv beeinflusst.

Somit sind die Strömungsverhältnisse im nooR z.B. durch den nooR selbst, Hauptwindrichtung, Anströmrichtung, die Inhomogenität der Umgebung (Gebäudehöhen, Dachneigungen, Gebäudeformen, Dichte etc.) beeinflusst (siehe GANDEMER 1975, OKE 1987g, LAWSON 1980, BECKRÖGE 1999d).

Es stellt sich die Frage, ob es für nooR typische Strömungsbilder gibt, die unabhängig von äußeren Faktoren, nur durch das Gebäude mit nooR bestimmt sind und in welchem (Parameter-) Bereich (zeitlich/ räumlich) diese auftreten.

3.1.3 Thermische Strömungsvorgänge in nooR

Unter dem Begriff der thermischen Strömungsvorgänge werden Strömungsvorgänge mit folgenden Ursachen subsummiert:

- Wärmeströme, wie sie Wärmeverluste zum nooR darstellen,
- weitere antropogene Quellen,
- Speicherentladungen,
- solare Einstrahlung,
- Wärmeströme auf Grund von Bränden im nooR oder in den an den nooR angrenzenden Räumen.

Thermische Strömungen sind vor allem bei geringen Windgeschwindigkeiten oder Windstille von Bedeutung und können bis zu einem gewissen Grad windinduzierte Strömungen beeinflussen oder zum Erliegen bringen. Studien zur Auswirkung von thermischen Strömungsvorgängen, verursacht durch solare Einstrahlung oder durch unterschiedliche Wärmeverluste der angrenzenden Gebäude, liegen nicht vor.

In den angeführten Feldstudien werden keine Aussagen zu den Oberflächentemperaturen, der solaren Einstrahlung oder zur Strahlungsbilanz des nooR gemacht. Die alleinige Angabe der Windgeschwindigkeit, z.B. MURAKAMI et al. (1975), erscheint unter den angeführten Gesichtspunkten als nicht ausreichend.

So werden Auftriebsströmungen (natürlicher Konvektion), Kaltluftabfall, lokal begrenzte oder auch großräumige Strömungen im nooR zum Teil nicht berücksichtigt, obwohl bei Stratifikation der Luftschichten durch Wärmeströme nach HALL et al. (1999) die Luftwechselrate im nooR herabgesetzt wird.

Inwieweit hier die Überlegungen zur atmosphärischen Stabilität und Schichtung aus der Stadtklimatologie übernommen werden können, wird nur kurz angedacht. Die Stabilität der „Atmosphäre“ eines nooR kann durch den Verlauf der Temperaturschichtung und Windgeschwindigkeit beschrieben werden. Bei einer stabilen Schichtung mit einer Zunahme der Temperatur mit der Höhe (Inversion) kann es zur Abbremsung der Windgeschwindigkeit im nooR kommen. Dabei kann nach BECKRÖGE (1999e) unterschieden werden zwischen Strahlungsinversion (negative Strahlungsbilanz), Absinkinversion und Advektionsinversion. Für den nooR dürfte vor allem die Strahlungsinversion von Bedeutung sein. Bei einer labilen Schichtung ist die Temperaturabnahme mit der Höhe größer als bei einer stabilen Schichtung und kann zu Konvektionszellen kommen. Gründe dafür sind nach BECKRÖGE et al. (1999f), daß im Bodenbereich Luft erwärmt wird, diese aufsteigt und durch kühlere Luft ersetzt wird.

Insbesondere bei Aussagen über das Temperaturverhalten eines nooR erscheinen fehlende Angaben zu temperaturbedingten Strömungsvorgängen, verursacht durch Strahlungsvorgänge, als überaus problematisch, da

- Effekte räumlicher Inhomogenität auftreten können, z.B. ein Luftvolumen sich von einer Oberfläche zu einer anderen mit unterschiedlichen Eigenschaften (advektiver Effekt) bewegt oder zur Luftzirkulation auf Grund von Oberflächen mit unterschiedlichen Eigenschaften (thermisches Zirkulationssystem) kommen kann und somit die Lufttemperatur beeinflusst wird,
- durch rezirkulierende Strömungen je nach Anströmrichtung eine Veränderung der Lufttemperaturen zu erwarten ist (Nord- bzw. Südklima an den unterschiedlichen Fassaden),
- windinduzierte Strömungen im unteren Geschwindigkeitsbereich durch Konvektionsströmungen egalisiert oder verstärkt werden können und damit das Lüftungsverhalten beeinflusst wird.

Es sind Messungen der Globalstrahlung, des langwelligen Strahlungsaustausches und der Oberflächentemperaturen notwendig oder die Modellierung dieser Vorgänge, um Strömungsvorgänge entsprechend bewerten zu können.

Die bei ALVAREZ et al. (1998) gemachten Aussagen zur dimensionslosen Temperatur, abgeleitet von der Schadstoffkonzentration, basieren auf der Analogie zwischen Wärme- und Stoffaustausch.

Es stellt sich die Frage ob durch die durchgeführten Tracergasmessungen (vorausgesetzt keine Reaktion des Gases mit den Oberflächen) auch Effekte von Strahlungsvorgängen, unterschiedlicher Wandoberflächentemperaturen auf Strömungsvorgänge im wandnahen Bereich, Speichervorgänge, Auswirkungen von Kondensationsvorgängen berücksichtigt werden oder ob die Analogie nur für Teilbereiche, wie z.B. erzwungene Konvektion ohne Berücksichtigung von Speicher- und Strahlungsvorgängen, gültig ist. Somit würden die für das Mikroklima und die sich einstellende Temperatur wesentlichen Mechanismen, Speicherung und Strahlungsvorgänge nicht ausreichend berücksichtigt. Vor diesem Hintergrund erscheinen Aussagen von ALVAREZ et al. (1998) überprüfenswert.

In der Literatur finden sich vor allem Untersuchungen zur solaren Einstrahlung und der Auswirkung auf die Temperaturverteilung für überdachte nooR, wie z.B. der Artikel von MOSER et al. (1995).

Strömungsvorgänge auf Grund unterschiedlicher Temperaturen an den Gebäudeoberflächen außerhalb des nooR (Straßenfassade) oder innerhalb angrenzender städtischer Strukturen werden, wie schon erwähnt, den windinduzierten Strömungen zugerechnet, da angenommen wird, daß sie auf Grund der größeren Oberflächen dem nooR ihr Verhalten aufprägen und räumlich stark begrenzt vom nooR beeinflusst sind. Dabei sind u.a. die in **Abbildung 3.1.3** dargestellten Möglichkeiten denkbar:

- der nooR ist wärmer als die Umgebung und saugt kalte Luft über einen Durchgang an,
- der nooR ist kühler als die Umgebung, die kalte Luft fließt über einen Durchgang in den wärmeren Straßenraum ab,
- es kommt zur Stratifikation, da der nooR kühler als der Außenraum ist und kein Luftaustausch durch windinduzierte Strömungen stattfindet,
- es entstehen nooR-interne Strömungssysteme, ohne daß es zu einer nennenswerten Durchmischung mit der Außenluft kommt.

Angaben zu Strömungsmustern in großen Räumen finden sich bei HEISELBERG et al. (1998b).

3.1.4 Auswirkungen von Strömungsvorgängen auf den nooR

Strömungsvorgänge im nooR und außerhalb wirken sich in vielfältiger Weise auf den nooR aus.

Wie aus der **Tabelle 3.1.2** ersichtlich ist, sind je nach Zielsetzung die unterschiedlichen Aspekte gegeneinander abzuwägen und gezielt zu optimieren.

Im Anschluß werden folgende Aspekte näher untersucht:

- Mikroklima im nooR,
- Lufthygiene im nooR,
- Schadstoffquellen im und um den nooR,
- Komfort im nooR,
- Wärmeübertragungsmechanismen im nooR,
- Näße und Feuchte im nooR,
- Brandschutz im nooR.

Nicht untersucht werden z.B. Schallausbreitung und Akustik im nooR und die bauliche Ausführung.

3.1.4.1 Auswirkung auf das Mikroklima

Das Mikroklima in einem nooR kann, wie im Kapitel 2 dargestellt, durch verschiedene Energiebilanzen parametrisiert werden. Wesentlich für das Mikroklima sind

die Wärmeströme (solare Einstrahlung, Transmissionsverluste etc.) und die Strömungsverhältnisse im nooR und der damit verbundene Austausch zwischen nooR- und Außenklima. Die sich im nooR einstellende Temperatur ist bedingt durch die Temperatur der einströmenden Luft, der vorherrschenden Temperatur im nooR und der Oberflächentemperaturen.

Durch die Wahl der Proportion und baulichen Gestalt können die Luftwechselrate und die Strahlungsbilanz beeinflusst werden. Windgeschwindigkeit und -richtung außerhalb des nooR sind nur unwesentlich durch die bauliche Gestaltung des Gebäudes mit nooR beeinflussbar.

Nach HALL et al. (1999) und ALVAREZ et al. (1998) kann ein nooR auf Grund seines Strömungsverhaltens ein eigenes Mikroklima entwickeln. Als ursächlich werden dabei die geringen Luftwechselraten und die daran gekoppelte schlechte Durchlüftung des nooR gesehen, da hierdurch eine Abkoppelung von der Außenlufttemperatur erreicht werden kann und mikroskalige Effekte das Klima im nooR bestimmen können. Die Auswertung von HALL et al. (1999) legt dabei nahe, daß nooR im Bereich ($Ar = \text{aspect ratio des nooR gebildet aus maximaler Höhe und Tiefe des nooR}$) $Ar = 0,3$ bis 1 auf

Grund ihrer Geometrie besonders in kalten Klimaten zur Erzeugung eines Mikroklimas geeignet sind, da die Schadstoffkonzentration und damit verbunden die Luftwechselrate bei einer Reduzierung der Ar von 1 auf $0,3$ beständig abnimmt. Im Bereich Ar 1 bis $1,5$ wird die beste Durchlüftung erreicht, im Bereich Ar $1,5$ bis 2 erscheinen nooR besonders in wärmeren Gegenden zur Schaffung eines speziellen Mikroklimas geeignet (bei guter Durchlüftung), da hier eine bessere Verschattung erreicht wird als bei Ar $0,3$ bis 1 . Mit zunehmenden Ar nimmt die Luftwechselrate beständig weiter ab. Bei Straßenzügen wird für eine optimale Belüftung, bei rechtwinkliger Anströmung ein Abstand zwischen den Gebäuden, der dem 3-fachen der Gebäudehöhe entspricht, gefordert (DANIELS et al. 1995a). Inwieweit dies den Messungen von HALL et al. (1999) widerspricht oder auch die Aussagen auf quadratische oder nahezu quadratische nooR einschränkt, konnte nicht geklärt werden. Nach HALL et al. (1999) hat die Anströmrichtung erhebliche Auswirkungen auf das Lüftungsverhalten, wobei nooR mit einer geringen Ar weniger empfindlich sind.

Auch Einbauten und Bepflanzungen können zu einer Behinderung der Strömung, wie bei HALL et al. (1999) beschrieben, führen und durch Verdunstungsvorgänge zur

Schaffung eines Mikroklimas beitragen. Angaben zu überglasten nooR finden sich bei DANIELS et al. 1995b.

Folgen von im nooR veränderten bzw. reduzierten Luftgeschwindigkeiten können sein:

- erhöhte Wandtemperaturen, größere Grenzschichtdicken im Wandbereich, die zu einer Veränderung des wandnahen Klimas beitragen,
- advective Effekte, sowie Veränderungen, z.B. durch erhöhte Wandtemperaturen bei den Strahlungsvorgängen (vgl. HEISELBERG et al. 1998c), fördern eine Ausweitung der Temperaturänderung im ganzen nooR. So dürfte es, wie bei den Außenfassaden eines Gebäudes im nooR, bei einer bis zum Boden reichenden solaren Einstrahlung zu einem Südklima an der Nordfassade des nooR und zu einem Nordklima an der Südfassade des nooR kommen,
- eine reduzierte Durchmischung der erwärmten oder abgekühlten Luftschichten im nooR,
- Überwiegen von Strahlungsvorgängen und Speichereffekten im Verhältnis zu den Auswirkungen der Strömungsvorgänge.

Die Advektion, also der Transport von kalten und warmen Luftmassen im nooR, kann bei Temperaturasymmetrien im nooR (besonnte/ schattige Fassade) auf Grund von rezirkulierenden Strö-

mungen, erheblichen Einfluß auf das Mikroklima haben. Die bei OKE (1976) zitierte Modellvorstellung (SUMMERS 1964) zeigt für die städtische Wärmeinsel die Auswirkung der Advektion.

MATZARAKIS (2001a) greift dies bei der Erläuterung ausgewählter meteorologischer Parameter für die urbane Wärmeinsel auf. Ob dieser Ansatz auf den nooR übertragen werden kann, ist zu untersuchen, um lokale Phänomene im und um den nooR und die Auswirkungen auf das nooR-Klima zu untersuchen.

Wesentlich für die Generierung eines Mikroklimas ist neben den Auswirkungen geringer Windgeschwindigkeiten auf den Wärmeübergang zwischen nooR und Außenklima, die Stratifikation (stabile Schichtung) von Luftschichten, die wie beschrieben, nur bei geringen Windgeschwindigkeiten auftreten kann. HALL et. al. (1999) weist darauf hin, daß dieser Effekt nicht durch die unterschiedlichen Temperaturen sondern durch entsprechende Wärmeströme verursacht wird. Ursachen für diese Wärmeströme können z.B. sein, Speicherentladungen nach einer kalten klaren Nacht mit hohen Strahlungsverlusten bei geringer solarer Einstrahlung am Vormittag oder Verdunstungsvorgänge im nooR.

Bei Messung des Autors (HAJEK 1995) konnten zwischen unterschiedlichen nooR und der Umgebung Temperaturdifferenzen bis deutlich über 2K gemessen werden. In den hier vorliegenden Artikeln wurden keine Aussagen über die Auswirkung von thermischen Massen oder von Strahlungsvorgängen auf das Strömungsverhalten im nooR oder das Mikroklima allgemein getroffen.

Anhaltspunkt zum Temperaturverlauf in einem nooR finden sich mit den oben erwähnten Einschränkungen bei ALVAREZ et al. (1998). Zur Temperaturschichtung und Mindestluftwechsel bei überglasten nooR siehe DANIELS et al. (1995).

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß folgende Punkte das Mikroklima positiv beeinflussen können:

- Proportionen im Bereich $Ar > 0,3$ bis 1-1,5 nach HALL et al. (1999), wobei in kalten Klimaten 0,3 bis 1 und in warmen Klimaten $>1,5$ zu bevorzugen wären.
- Bepflanzungen welche durch Verdunstungskühlung, Verschattung und / oder Reduzierung des Luftaustausches das Klima beeinflussen.
- geringe Windgeschwindigkeiten,
- thermisch wirksame Massen,
- temporäre Abdeckung des nooR z.B. mit einem Toldo,

- Wärmedämmsysteme, wenn die durch hohe Oberflächentemperaturen (Farbgestaltung) erwärmte Luft in den nooR eingewirbelt wird oder es durch Strahlungsaustausch mit anderen Oberflächen zu einer Erhöhung der Oberflächentemperaturen kommt.
- geringe Luftwechselraten, welche aus hygienischen Gründen größer als eins sein sollten.

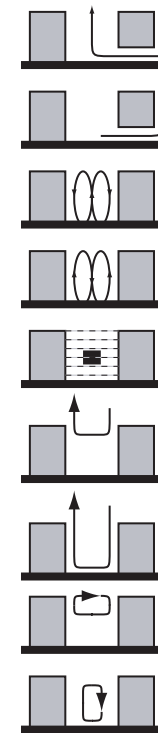


Abbildung 3.1.3: Mögliche thermische Strömungen im nooR

Problematisch können sein:

- Wärmedämmverbundsysteme, wenn auf Grund der Reduzierung der Wärmespeicherfähigkeit Temperaturschwankungen nicht gedämpft werden oder die Wärmeverluste vom Haus zum nooR entfallen. Ebenso kann die Veränderung der Strahlungsvorgänge z.B. durch starkes Aufheizen bzw. Unterkühlung in kalten Nächten zu negativen Einflüssen auf das Mikroklima im nooR führen.
- ungünstige Proportionen,
- große Öffnungen wie z.B. Durchgänge oder offene Ecken zum Außenraum,
- hohe Windgeschwindigkeiten (vgl. auch OKE 1987h über die maximale Luftgeschwindigkeit zur Bildung von städtischen Wärmeinseln).

3.1.4.2 Auswirkungen auf Luft-hygiene, Luftaustausch, Lüftung

Betrachtet man den Luftaustausch in einem nooR, muß grundsätzlich unterschieden werden, ob nur die Durchlüftung des nooR von Bedeutung ist oder die der angrenzenden Gebäude, oder ob nooR und Gebäude den erforderlichen Lüftungsbedarf definieren. Davon ausgehend muß ein entsprechendes Lüftungskonzept entwickelt werden.

Für die Durchlüftung, Belüftung des nooR gelten die schon oben be-

schriebenen Austauschmechanismen und Grundsätze für den Themenkomplex der Luft-hygiene.

Im Gegensatz zur Erzeugung eines Mikroklimas ist ein möglichst großer Luftwechsel und eine gleichmäßige Durchströmung zur Reinigung des nooR anzustreben. Nach HALL et al. (1999) sind Ar Verhältnisse von 1 bis 1,5 oder $<0,3$ günstig. Bei länglichen nooR könnten evtl. die Aussagen zu Straßenräumen bei DANIELS et al. (1995c), BECKRÖGE (1999g) herangezogen werden.

Die Durchlüftung des nooR verbessert sich laut Studien von WALKER et al. (1993), SHARPLES et al. (2001) durch eine Änderung der Anströmrichtung (normalerweise in den Studien senkrecht zur Hauptfassade von symmetrischen Gebäuden). Da allerdings eine Anströmrichtung senkrecht zur Hauptfassade auf Grund von städtischen Gegebenheiten und meteorologischen Bedingungen (Hauptwindrichtung/ entsprechende Ausrichtung von Gebäuden) wohl eher selten ist, kann dies als worst case angesehen werden und ist prinzipiell zu berücksichtigen.

Prinzipiell sind die oberen Bereiche eines nooR besser durchlüftet, als die unteren Bereiche, wie durch Messungen von MORISKE et al. (1998) und Untersuchungen von HALL et al. (1999) mit Schadstoff-

profilen für unterschiedliche Proportionen belegt ist.

Neben dem Luftaustausch im nooR selbst, ist die Lüftung der zum nooR orientierten Räume von besonderer Bedeutung, da die Nutzung die notwendige Luftwechselrate bestimmt. So übersteigt das Volumen der angrenzenden Räume schnell das nooR-Volumen.

Für alle Gebäude gilt grundsätzlich, daß durch Druckunterschiede zwischen Innen und Außen, also an den unterschiedlichen Fassaden-seiten, das Lüftungspotential bestimmt wird.

Den thermischen Auftriebskräften wirken dynamische Zug- und Reibungsverluste entgegen. Nur bei Windstille und großen Temperaturdifferenzen ist eine Durchlüftung auf Grund von Thermik möglich, ansonsten wird die thermische Lüftung durch die von der Windumströmung des Gebäudes verursachten Über- und Unterdrucke überlagert. Eine Durchlüftung durch Thermik bietet sich vor allem bei hohen, schachtartigen nooR an, da der Auftrieb von der Temperaturdifferenz und der Höhe des nooR abhängig ist. Für die Durchlüftung von überglasten nooR ist nach SHARPLES et al. (2001) und DANIELS et al. (1995) vor allem die Dachform entscheidend. Ungünstig sind konkave, nach unten hängen-

de, Dachflächen (DANIELS et al. 1995d).

Beispiele und Überlegungen zur natürlichen Belüftung von Hallenbauten (überglasten nooR) sind u.a. bei DANIELS et al. (1995) dargestellt. Eine natürliche Belüftung, bei länger anhaltenden Windstillen, mit geringen Temperaturunterschieden zwischen nooR und Umgebung, oder sich aufhebenden thermischen und windinduzierten Strömungen, kann als problematisch betrachtet werden.

Ziel von Untersuchungen muß es sein, diese Situationen zu erkennen und ihre Häufigkeit und Dauer abzuschätzen, um eine ausreichende Durchlüftung zu gewährleisten. Es ist zu unterscheiden, ob der nooR die einzige Quelle für Frischluft oder ob eine Querlüftung über Außenfassaden möglich ist. Ist der nooR die einzige Möglichkeit Räume mit frischer Außenluft zu versorgen (einseitige Lüftung), bedarf es einer sorgfältigen Planung und Nutzung des nooR und seiner angrenzenden Räume, da hier als treibende Kräfte für die Lüftung hauptsächlich Dichteunterschiede oder Scherspannungen in Frage kommen.

Dieser Fall tritt vor allem in folgenden Situationen auf:

- in tiefen Gebäuden, wie z.B. bei Büro- und Verwaltungsgebäuden

mit einem Mittelflur und einer zellulären Aufteilung der Büroräume, wie auch bei Großraumbüros. Probleme sind u.a. Zugscheinungen, Verwehen von Blättern und Türschlagen bzw. Probleme beim Öffnen und Schließen von Türen. Überströmdurchlässe sind dabei meist zu vernachlässigen (können aber z.B. in Wohngebäuden mit einbezogen werden).

- bei „Back to Back“ - Gebäudekonfiguration, bei der nooR und Räume zur Straßenseite baulich getrennt sind. Hier kann sich kein Druckgefälle zwischen den Gebäudeseiten, die für eine effektive Lüftung notwendig sind, aufbauen. Allgemein kann hier von einer eher schlechten Durchlüftung der Räume zum nooR hin ausgegangen werden, da allein Scherspannungen und Dichteunterschiede zu einer Luftbewegung und damit Luftaustausch führen.

- wenn Hindernisse wie dichte Türen oder interne Unterteilungen (keine Überströmdurchlässe) eine Querlüftung verhindern.

- wenn Fenster bzw. ganze Gebäudeseiten aus Schallschutzgründen nicht für die Lüftung verwendet werden können und somit nur eine Lüftung zum nooR möglich ist.

Wesentlich für eine Einbeziehung des nooR in ein Lüftungskonzept ist, zu definieren, wie ein nooR genutzt

Tabelle 3.1.1: Auswahl von Studien zum nooR

(bedingt = nur eine oder wenige Varianten mit eingeschränkter Aussagekraft sind untersucht worden, bzw. der nooR ist nicht quadratisch)

	Gandemer 1975	Murakami 1975	Walker 1993	Shao 1993	Alvarez 1998	Moriske 1998	Hall 1999	Sharples 2001
Gebäude								
Dimension	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Proportion	nein	bedingt	bedingt	bedingt	ja	bedingt	ja	bedingt
Dachform	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja-bedingt
nooR								
Dimension	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Proportion	bedingt	bedingt	bedingt		ja	bedingt	ja	nein
Form	bedingt	bedingt	bedingt	nein	bedingt	bedingt	nein	nein
Lage	nein	nein	ja	ja	nein	nein	ja	nein
Einbauten	nein	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein
Fassadengestaltung	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	bedingt
Durchgänge	bedingt	nein	nein	nein	nein	nein	ja	nein
Geschwindigkeit	nein	ja	ja	nein	ja	nein	ja	bedingt
Luftwechselrate	nein	ja	ja	nein	ja	nein	ja	bedingt (flow coefficient)
Komfort (Windkomfort)	für "mesh effect"	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Wärmeübergang	nein	nein	nein	nein	ja	nein	nein	nein
Brandschutz	nein	bedingt	nein	nein	nein	nein	nein	nein

werden soll, als Quelle für Frischluft oder zur Fortführung der Abluft. In beiden Fällen muß eine Übertragung von Schadstoffen zwischen den Einheiten durch eine möglichst definierte Luftführung vermieden werden. Ob der nooR als Frischluftquelle dienen kann, hängt also primär mit der zu erwartenden Schadstoffbelastung im nooR ab. Zum Lüftungspotential in einem an einen nooR angrenzenden Raum geben die hier vorliegenden Artikel

nur wenig Auskunft. SHARPLES et al. (2001) gibt an, daß überdeckte nooR ein besseres Lüftungspotential aufweisen als normale nooR. Bei DANIELS et al. (1995) finden sich Angaben zu Luftwechselraten für überglaste nooR, basierend auf empirischen Daten. So können nach DANIELS et al. (1995e) z.B. Luftwechselraten von 2- bis 5-fach in Abhängigkeit von der Anströmrichtung in den angrenzenden Büroräumen erreicht werden.

3.1.4.3 Auswirkungen auf Schadstoffquellen um und im nooR.

Für die Schadstoffkonzentrationen im nooR ist der Ursprung der Immissionen von Bedeutung. Dabei kann unterschieden werden zwischen Quellen im nooR und Quellen außerhalb des nooR. Durch Strömungsvorgänge außerhalb des nooR können u.a. Staub, Geruch, Schadstoffe (oder auch warme bzw.

kalte Luft eingewirbelt werden) und im nooR zu einem Konzentrationsanstieg oder zu Ablagerung führen. Bei den von HALL et al. (1999) durchgeführten Versuchen mit einer Schadstoffquelle in der Mitte eines nooR wurden im nooR höhere Schadstoffwerte als im Straßenbereich gemessen. MORISKE et al. (1998) hat bei Messungen im nooR, niedrigere Schadstoffkonzentrationen im nooR gemessen als im Straßenbereich, wobei die Schadstoffkonzentration nach oben hin zunimmt. Ursache hierfür dürfte sein, vergleicht man die Ergebnisse mit HALL et al. (1999), daß die Schadstoffemittenten (Autoverkehr) außerhalb des nooR waren. Die Schadstoffemissionen innerhalb eines nooR sind nach HALL et al. (1999) als bedenklich zu bewerten.

Nicht nur die Konzentration der Abgase im nooR ist von Bedeutung, sondern auch deren Verteilung im nooR. Die Verteilung der Schadstoffe ist durch das entstehende Strömungsbild beeinflusst. Hier dürfte, verursacht durch Gebäudevorsprünge oder auch unter Galerien entstehende Totgebiete, eine Reduktion der Reinigungskraft des nooR zu erwarten sein. Auch dürften zerklüftete Fassadengestaltungen mit Balkonen, Erkern und Einbauten am Boden, vgl. HALL et al. (1999), zur ei-

ner Reduzierung der Luftwechselrate beitragen. Ein hoher Turbulenzgrad sorgt für die Durchmischung und Verbreitung von Schadstoffen und Gerüchen im nooR, aber auch für eine schnelle Durchmischung mit frischer nachströmender Luft. Stratifikationseffekte sollten vermieden werden, wenn die Schadstoffquelle innerhalb des nooR liegt.

Bei hohen Schadstoffkonzentrationen außerhalb des nooR sollte nach MORISKE et al. (1998) eine möglichst geringe Luftwechselrate für den nooR bevorzugt werden, bei einer hohen Produktionsrate im nooR-Bereich eine möglichst große Luftwechselrate (vgl. HALL et al. 1999). Bei Schadstoffquellen innerhalb des nooR oder in angrenzenden Räumen ist, unter Berücksichtigung der Literaturrecherche, zu sagen, daß grundsätzlich Emissionen z.B. durch Kraftfahrzeugverkehr, Entlüftungen von Tiefgaragen in einen nooR, zu vermeiden sind. Abfahrten zu Tiefgaragen und Garagen sollten ebenfalls direkt mit dem Straßenraum verbunden sein, um im nooR keine zu hohen Schadstoffkonzentrationen entstehen zu lassen. Auch die Anlage von Zufahrten und Durchgängen zum nooR sollte wohldurchdacht sein und nicht im Bereich erhöhter Emissionen

Tabelle 3.1.2: Anforderungen an den nooR

Ziel	Maßnahme allgemein
Reduzierung der Wärmeverluste	geringe Windgeschwindigkeiten (kaltes Klima) möglichst laminare Strömung an den Oberflächen im nooR, hohe Windgeschwindigkeiten um durch von Außen nachströmende warme Luft den nooR Wärme zuzuführen und Stratifikationseffekte zu vermeiden
Komforterwägungen im nooR	a) kaltes Klima geringe Windgeschwindigkeiten, wenig Turbulenzen im nooR
	b) warmes Klima hohe Windgeschwindigkeiten im nooR niedrige Windgeschwindigkeiten um Entladung der Speichermaßen zu verlangsamen, Stratifikationseffekte aufrecht zu erhalten allgemein geringe Windgeschwindigkeiten um das Aufwirbeln von Staub etc. zu vermeiden
	allgemein geringe Windgeschwindigkeiten um das Aufwirbeln von Staub etc. zu vermeiden
lufthygienische Aspekte	hohe Windgeschwindigkeiten, hohe Luftwechselraten
minimale Strahlungsverluste	kleine Oberfläche
maximale Strahlungsverluste	große Oberfläche
minimale Strahlungsgewinne	kleine Oberfläche
maximale Strahlungsgewinne	große Oberfläche
maximales Tageslicht	möglichst wenig verbaute Sicht

(wie z.B. Kreuzungsbereichen, Hauptstraßen) liegen, sondern wenn möglich an wenig befahrenen Straßen. So sollten z.B. Gasetagenheizungen mit Abluft zum nooR, erst ab einer gewissen nooR- Größe und nach eingehender Untersuchung zugelassen werden. Problematisch erscheinen die häufig in Cafés oder bei Events in nooR eingesetzten Gasstrahler, da bei nicht optimaler Verbrennung Schadstoffe (CO) freigesetzt werden können, bei gleichzeitig hoher Personendichte. Inwieweit es zu einem kritischen Konzentrationsanstieg von Verbrennungsprodukten kommen kann, ist zu klären.

Die von HALL et al. (1999) durchgeführten Untersuchungen zu nooR zeigt auch, daß Durchgänge, abhängig von der Anströmrichtung, zu einer Verschlechterung der Durchlüftung führen können.

Ein weiterer Aspekt sind Geruchsemissionen im nooR, die zu einer Beeinträchtigung führen können. Gründe für Geruchsemissionen sind u.a.

- gewerbliche Küchen, hierbei sollte darauf geachtet werden, daß die Abluft über Dach frei abgeführt wird,
- WC-Anlagen von Versammlungsstätten,
- Gasträume (auch Schallemissionen),
- Mülltonnen, Biotonnen.

Ebenso können in Durchgängen aufgestellte Müllbehälter zu einer nicht unerheblichen Belästigung beitragen, wenn dadurch Geruch direkt in den nooR eingewirbelt wird. Dabei ist nicht auszuschließen, daß es bei „Biotonnen“ neben einer Geruchsbelästigung bei Schimmelvorgängen auch zu einer nicht unerheblichen Keimbelastung durch Öffnen oder Offenstehen der Tonnen in den nooR kommen kann. Bei der Planung von Wohngebäuden mit Küchen (bzw. Waschküchen) zum nooR sollte die Abluft über Dach geführt werden und nicht in den nooR.

Ebenso sollten Bäume und Sträucher, mit einer starken Blüte, in nooR mit ungünstigen Proportionen vermieden werden, da es evtl. zu erhöhten Pollenkonzentrationen kommen kann. So zum Beispiel durch Einwirbeln von Pollen aus der Baumkrone in die unteren Bereiche des nooR und ein wiederholtes Aufwirbeln durch Windböen.

Inwieweit die bei HALL et al. (1999) gemachten Aussagen auf Pollen und/ oder Staub (Größe, Gewicht) übertragen werden können, bedarf weiterer Untersuchungen.

Allgemein (BECKRÖGE 1999h) führen Pflanzen zu einer erhöhten Sedimentation und Adhäsion von Schadstoffen auf Grund der vergrößerten Oberfläche, sowie zu Abschottung und Wirbelbildung. Vor allem bei Nadelbäumen dürfte es zu

einer erhöhten Schmutzablagerung und Veralgung kommen. So könnte es bei Allergikern unter ungünstigen Umständen, wie das Aufwirbeln von Staub und Pollen, zur Auslösung von allergischen Reaktionen kommen.

Zusammenfassend kann für eine gute Durchlüftung unter lufthygienischen Aspekten gefolgert werden:

- Proportionen $Ar < 0,3$ oder zwischen 1 und 1,5 in Abhängigkeit vom Klima,
- Vermeidung von Hindernissen im freien nooR -Querschnitt,
- Bepflanzung gezielt einsetzen (Wandbereich),
- keine Emissionen der Schadstoffe und Gerüche in den nooR durch angrenzende Räume, sondern Abfuhr über Dach,
- keine Garagen, Garagenabfahrten, Müllsammelstellen im nooR- Bereich oder in Durchfahrten zum nooR,
- möglichst pollenarm blühende Pflanzen im nooR- Bereich einsetzen (REYNOLDS 2002a),
- nooR nicht als einzige Quelle für die Belüftung von Gebäuden sehen; gezielt als Frischluftquelle oder zur Abführung von Abluft einsetzen, Vermischung von Zuluft und Abluft vermeiden,
- Häufigkeit und Dauer von Windstillen bei geringer Thermik.

3.1.4.4 Auswirkungen auf den Komfort in nooR

Ein angenehmes Klima im nooR wird durch folgende drei Wirkungskomplexe bestimmt: den thermischen, den lufthygienischen und den aktinischen Wirkungskomplex (vgl. auch VDI 3787 Blatt 2). Zur Beurteilung des lufthygienischen und auch aktinischen Wirkungskomplexes im Zusammenhang mit Strömungsvorgängen wird auf den vorherigen Absatz „Lufthygiene, Luftaustausch, Lüftung von Gebäuden“ verwiesen. Der thermische Wirkungskomplex zerfällt in die Faktoren Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Turbulenzgrad, kurz- und langwellige Strahlung.

Durch Strömungsvorgänge werden Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Turbulenzgrad beeinflusst. Der kurzweilige Strahlungsaustausch wird durch Strömungsvorgänge nicht beeinflusst. Ausnahmen könnten sein z.B. starke, langanhaltende Staubaufwirbelungen und Nebelbildung, verursacht durch Strömungsvorgänge. Langwellige Strahlungsvorgänge werden durch Speicherverhalten und den Wärmeübergang indirekt beeinflusst.

Als wesentlich für den Komfort in einem nooR ist neben den genannten

ten Faktoren die Kleidung, Tätigkeit und die Aufenthaltsdauer.

Eine entsprechende Gewichtung der einzelnen Wirkungskomplexe, sowie Berechnungsmodi sind der Fachliteratur zu entnehmen, wie z.B. FANGER (1972), FANGER et al. (1988), „Klima-Michel-Modell“ bei JENDRITZKI et al. (1990), VDI 3787 Blatt 2, HÖPPE (1984). Dabei ist zu beachten, daß bei der Wahl der Komfortkriterien zwischen Anforderungen für Innen- oder Außenräume zu unterscheiden ist. Es ist jedoch zu bedenken ist, daß ein nooR weder ein typischer Innen- noch Außenraum ist. Für nooR existieren keine spezifischen Beurteilungsmaßstäbe oder Untersuchungen, aus denen sich ein Beurteilungsmaßstab ableiten läßt. Dabei dürften wohl die Anforderungen an den Innenraum (siehe auch FANGER et al. 1972) mit Windgeschwindigkeiten unter 0,2m/s und für längere Zeit als Sollwert für zu hohe Anforderung angesehen werden, da im Freien mit größeren Toleranzen („Kleidungsverhalten“) gegenüber Windgeschwindigkeitsschwankungen gerechnet werden kann.

Im Gegenzug dürften die im Straßenbereich z.B. Cafe oder Parkbank als noch akzeptabel angesehenen Wind- und Böengeschwindigkeiten mit einem Schwellenwert von <5m/s (vgl. SOCKEL 1984c; bzw.

PENWARDEN 1972) als zu hoch angesehen werden, da im nooR mit einer längeren Verweildauer und geringerer Toleranz als im Straßenraum gerechnet werden sollte.

Ein Anhaltspunkt für den Windkomfort sind die Untersuchungen von LAWSON et al. (1975) über Windkomfort im Stadtbereich („The effects of wind on people in the vicinity of buildings“). Dort werden Windstärken (Beaufort) zwischen 0 und 1, d.h. Windstille (0-0.2m/s) bis leiser Zug (1.3- 1.5m/s, also Rauch steigt fast senkrecht empor, Wind im Gesicht noch nicht spürbar), als behaglich beim Sitzen eingestuft und als Anhaltspunkt für einen nooR gesehen. Allerdings werden nach Erfahrung des Autors bereits Windgeschwindigkeiten ab 1m/ s als unangenehm empfunden, da hierbei Papierblätter oder Zeitungen aufgewirbelt oder weggeweht werden.

Auf Grund der erläuterten Anforderung an das Klima in einem nooR eignen sich besonders human- biometeorologische Bewertungsverfahren (MATZARAKIS 2001), wie sie in der Stadtklimatologie eingesetzt werden. Bei den humanbiometeorologischen Verfahren werden vor allem die thermischen und lufthygienischen Wirkungskomplexe herangezogen, wie sie auch für einen nooR bestimmend

und durch die Planung, z.B. sky view factor, beeinflussbar sind.

Über den turbulenten Luftmasseaustausch besteht eine Verbindung zwischen thermischen und lufthygienischem Wirkungskomplex (MATZARAKIS 2001c), der für den nooR von Bedeutung ist. Insofern sind, wie in der Stadtklimatologie (MATZARAKIS 2001d) einfache thermische Indizes für den nooR nicht geeignet. Modelle wie das Klima-Michel-Modell (u. a. JENDRITZKY et al. 1990, GRÄTZ et al. 1994) oder auch das Programm Ray-Man (MATZARAKIS 2001e), mit dem u.a. der sky view factor einer nooR- Situation berücksichtigt werden kann, erscheinen als richtungsweisend für die Beurteilung von nooR- Situationen. Die dabei verwendeten Beurteilungsmaßstäbe, sowie die Grundlagen werden u.a. bei MATZARAKIS (2001f), HELBIG et al. (1999a) und in der VDI- Richtlinie 3787 Blatt 2, Teil 1 erläutert.

In den hier untersuchten Arbeiten wird auf das Thema Komfort im nooR oder überlasteten nooR, wie **Tabelle 3.1.1** zeigt, nur am Rande eingegangen, obwohl der nooR je nach Klima, Jahreszeit und Wetter nicht nur als Durchgangsraum oder Pufferaum, sondern auch als Aufenthaltsraum genutzt wird. Allerdings können z.B. die bei HALL

et al. (1999) angegebenen Geschwindigkeitsprofile und Turbulenzgradprofile als erster Anhaltspunkt für Rückschlüsse auf das Komfortverhalten herangezogen werden. Für SCHILD et al. (1995) ist für den thermischen Komfort in den „Guidelines for CFD Modelling of Atria“ neben der Berechnung der Strahlungstemperatur eine Aussage zum „local discomfort for people in an upright position with a low metabolism and low clo-value“ auf Grund von Kaltluftabfall von Bedeutung. Zur Berechnung lokaler unkomfortabler Bereiche auf Grund von Kaltluftabfall kann u.a. TJELFLAAT et al. (1992) herangezogen werden. Die von GANDEMER (1975) angegebenen Werte für den Komfort beim sogenannten „mesh-effect“ können ein weiterer Anhaltspunkt sein, erscheinen aber für weitergehende Untersuchungen zu grob.

Als wesentlicher Punkt für die Beurteilung und Untersuchung von Komfort in einem nooR sind die Zonierung des nach oben offenen Raumes und die Beachtung der klimatischen Besonderheiten eines nooR, da ein homogenes Klima nur in Ausnahmesituationen z.B. Windstille nach Sonnenuntergang (keine direkte Sonneneinstrahlung) oder Sturm, mit kompletter Durch-

mischung aller Bereich erwartet werden darf.

Während Innenräume meist einen geringen Zonierungsgrad aufweisen, zum Teil bedingt durch niedrige Deckenhöhen (im Vergleich zur Grundfläche und Aufteilung), weist der nooR einen hohen Zonierungsgrad auf. Für Komfortbetrachtungen im nooR kommen u.a. folgende räumlichen Zonen in Betracht, wie der „Bodenbereich“ des nooR und zum nooR offene Räume, Wandbereiche und Galerien oder Loggien in den oberen Stockwerken.

Diese Bereiche sind jeweils unterschiedlichen „Klimazonen“ des nooR zuzuordnen. Dabei sind die klimatischen Besonderheiten eines nooR zu beachten, da nicht nur zwischen Tag (solare Einstrahlung) und Nacht (langwellige Abstrahlung) unterschieden werden muß, sondern bedingt durch die geschlossene Geometrie zwischen Zonen mit und ohne Sonneneinstrahlung und unterschiedlichen Klimaten an den Fassaden je nach Orientierung.

Beispielhaft soll hier nur erwähnt sein, daß bei Windstille der Unterschied zwischen direkter Sonne und Schatten einem Lufttemperaturunterschied von ca. 15K entspricht (JENDITZKY et al. 1981, 1987) oder umgekehrt auch bei fehlender solarer Einstrahlung durch erhöhte Windgeschwindigkeiten eine Reduzierung der gefühlten Temperatur

um 15K unter der Lufttemperatur möglich ist. Abhängig davon ist das Strömungsverhalten in Überschneidung mit der Zonierung, sonstigen Klimaparametern, Aufenthaltsdauer/ -ort der Personen, sowie deren Kleidung und metabolischer Rate zu beurteilen. Für die Untersuchung eines nooR sind detaillierte Untersuchungen des Strömungsverhaltens und des Strahlungsumfeldes notwendig.

Die bei HEISELBERG et al. (1998) gemachten Aussagen zur Belüftung von großen Räumen dürften bei geringen Windgeschwindigkeiten auf den nooR übertragbar sein.

So wird bei HEISELBERG et al. (1998d) u.a. für große Räume empfohlen:

- keine einheitlichen Bedingungen im ganzen Raum erzeugen zu wollen,
- Unterschiede nutzen, um die Aufenthaltsbereiche zu klimatisieren, die nicht für den Aufenthalt zugänglichen Bereiche als Speicher für Wärme oder Luftverunreinigungen verwenden (abhängig von der zu erreichenden Trennung beider Bereiche),
- Ausnutzen von Stratifikationseffekten zur Trennung von Bereichen.

Generell können folgende Überlegungen angestellt werden um komfortable Bereiche zu erhalten:

- Begrenzung der Aufenthaltsbereiche mit Komfortanforderungen auf bodennahe Bereiche, Wandbereiche, Galerien und Umgänge,
- Beschränkung der Komfortanforderungen auf bestimmte Tageszeiten.

So ist es außerdem möglich verschiedene Zielsetzungen, wie Schaffung eines Mikroklimas, hoher Luftaustausch, geringer Wärmeübergang etc. zu entkoppeln und jeweils unterschiedlichen Zonen im nooR zuzuordnen.

Damit können z.B. Galerien und Loggien Möglichkeiten außerhalb des nooR-Querschnittes bieten, Bereiche mit reduzierter Windgeschwindigkeit zu schaffen.

Es besteht weiter die Möglichkeit die bei WALKER et al. (1993) beschriebene Bildung eines „top vortex“ durch eine entsprechende Lage des nooR im Gebäude zu fördern und damit im unteren Bereich des nooR (Aufenthaltsbereiche) die Windgeschwindigkeiten zu reduzieren, dagegen im oberen Bereich eine entsprechende Belüftung des nooR zu gewährleisten. Bei HALL et al. (1999) wird auf die Abnahme der Luftwechselrate bei steigender Gebäudetiefe, sowie auf die Abhängigkeit von der Proportion, hingewiesen.

Durch die Reduzierung der Windgeschwindigkeit kann in war-

men Klimaten (oder an heißen Tagen in gemäßigten Klimaten) eine Erhöhung des Komforts erreicht werden, falls es zur Stratifikation von Luftschichten kommt (kalte Luft unten, warme oben, durch entsprechende Wärmeströme wie Verdunstung, Speicherentladung) und damit z.B. kühle Nachtluft am Abfließen gehindert werden. Bei der Nutzung der Verdunstungskühlung ist darauf zu achten, daß der nooR möglichst vor tiefer solarer Einstrahlung geschützt wird z.B. durch Verschattung im Dachbereich, hochkronige Bäume, Sonnensegel etc. und die Proportion bei $Ar > 2$ liegt.

Zur Erzielung eines komfortablen nooR -Klimas sollte folgendes beachtet werden:

- die Proportion bestimmt den Luftaustausch und den Strahlungsaustausch,
- „Klimazonen“ des nooR optimal nutzen,
- Zonierung des nooR z.B. durch Pflanzen, bauliche Maßnahmen,
- Regulierung der solaren Strahlung z.B. durch Toldo,
- Regulierung der Strömung z.B. durch zu öffnende oder schließende Durchgänge,
- Ortswechsel im nooR (Sonne/ Schatten),
- Ausnutzen der Verdunstungskühlung durch Pflanzen,

- bei Schwüle, also bei hoher Feuchte (Luft/ Haut) und Temperatur, Erhöhung der Windgeschwindigkeit und des turbulenten Transportes,
- bei hoher Feuchte und niedrigen Temperaturen Reduzierung der Windgeschwindigkeit und des turbulenten Transports,
- je höher die Temperatur (und Feuchte), desto wichtiger die Wärmeabfuhr durch Wind.

3.1.4.5 Auswirkungen auf den konvektiven Wärmeübergang, Wärmeverluste angrenzender Gebäude

Bei den ausgewerteten Artikeln wird nur bei ALVAREZ (1998), basierend auf Untersuchungen von HALL. et al. (1999) auf die Problematik von Vorgängen des Wärmeüberganges eingegangen (siehe **Tabelle 3.1.1**). Theoretische Überlegungen zur Modellierung für CFD- Simulationen finden sich bei SCHILD 1995. ALVAREZ et al. 1998 definiert dazu eine dimensionslose Temperatur, die auf der Analogie zwischen Wärme- und Stoffübertragung basiert. Bei den übrigen Artikeln kann auf Grund der Geschwindigkeitsverteilung oder Angaben zum Turbulenzgrad (MURAKAMI 1975) und zu Luftwechselraten zumindest auf Wärmeverluste durch den

Volumenstrom rückgeschlossen werden.

Angaben für überschlägige Berechnung finden sich bei keinem der untersuchten Artikel. Allerdings gibt DANIELS (1995f) für überglaste nooR an: „Als grober Richtwert kann festgestellt werden, daß Hallenräume in der Regel den Wärmebedarf der an sie angrenzenden Nutzflächen halbieren.“

Im Bereich der Strömungsmechanik („open cavity“ und „heat transfer“), numerische Simulation von Strömungsvorgängen und Wärmeübergang in Verbindung mit der Luftkühlung von Bauteilen, wird auf dieses Thema näher eingegangen. So wird bei DEGHAN et al. (1996) auf die enge Koppelung und Abhängigkeit der Wärmeübertragungsmechanismen hingewiesen. Grundsätzlich können nach DEGHAN et al. (1996) für die Vorhersage des Strömungsverhaltens und damit des Wärmeübergangs die Strahlungsmechanismen nicht ausgeschlossen werden.

Auf Grund einer Temperaturdifferenz zwischen der Luft und der Oberfläche eines Bauteiles kommt es zum Wärmeübergang durch Konvektion, Strahlung (vgl. Absorption/ Transmission/ Reflexion) und Wärmeleitung. Der Wärmeübergang ist temperaturabhängig. Die Vorgänge der Wärmeübertragung durch Konvektion zwischen

einer festen Oberfläche und einem fluiden Medium, wie Luft werden als konvektiver Wärmeübergang bezeichnet. Die Art des Wärmeübergangs wird durch die Strömung beeinflusst und kann wie folgt unterteilt werden:

- erzwungene oder freie Strömung (auslösende Kraft),
- turbulente oder laminare Strömung (Strömungszustand).

Für eine Betrachtung der Strömung ohne Lösung der partiellen Differentialgleichungen wird in der Fluidmechanik mit Ähnlichkeitsbetrachtungen gearbeitet, die sich dimensionsloser Kennzahlen bedienen. Für den Wärmeübergang sind im wesentlichen die Reynolds- Zahl, Grashof- Zahl, Prandtl- Zahl und Rayleigh- Zahl und Nusselt- Zahl maßgebend. Für die Erläuterung dieser dimensionslosen Kennzahlen siehe u.a. RIETSCHEL (1994), SCHLICHTING (1997), RECKNAGEL (2000), JISCHA (1982), PRANDTL (1993).

Die Ermittlung des Strömungszustandes, laminar oder turbulent, kann bei erzwungenen Strömungen mit Hilfe der Reynolds-Zahl durchgeführt werden. Dabei wird allgemein der Umschlag von laminarer zu turbulenter Strömung bei $3 \cdot 10^5$ für eine ebene Platte (SOCKEL 1984d) angegeben.

Bei freier Konvektion ist die maßgebliche dimensionslose Größe die Grashof-Zahl, die hier die gleiche Rolle spielt wie die Reynolds-Zahl bei einer erzwungenen Strömung.

Für konvektive Strömungen liegt der Übergang von laminarer Strömung zu turbulenter Strömung bei der aus der Grashofschen Zahl und der Prandtl- Zahl gebildeten Rayleigh-Zahl bei ca. 10^9 (INCROPERA et al. 1996). Bei PRANDTL (1993a) liegt der Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung im Bereich von 10^8 bis 10^{10} . Allerdings führen bei prismatischen Körpern Kanten (z.B. Fensterleibungen, Gesimse) zur Strömungsablösung und damit zu einem sehr frühen Umschlag von laminarer zu turbulenter Strömung.

Betrachtet man die Strömungsvorgänge an einer senkrechten Wand (turbulente Strömungsvorgänge), kommt es nach HEISELBERG et al. (1998e) in großen Räumen erst bei Hindernisgrößen von ca. 25 bis 30 cm zum Ablösen der Strömung von der Wand. Eine weitere Folge von Hindernissen ist eine Reduzierung der maximalen Strömungsgeschwindigkeit in Wandnähe. Die unmittelbar an der Oberfläche anliegende Luftschicht ändert dabei ihre Temperatur und Dichte. Auf Grund der inneren Reibung der

Luftschicht und der Haftung an der Oberfläche kommt es in der wandnahen Schicht zu einem starken Geschwindigkeitsanstieg vom Wert Null (Haftbedingung an der Wand) auf den Wert der äußeren Strömung (Übergangsbereich). Das Strömungsgebiet kann vereinfacht in zwei Bereiche unterteilt werden:

- wandferner Bereich, in dem eine fast reibungslose Strömung angenommen werden kann (Zentrum),
- wandnaher Bereich, die Strömungsgrenzschicht, in dem eine reibungsbehaftete Strömung vorliegt.

Für den konvektiven Wärmeübergang finden sich unter anderem bei LAWSON (1980b) und FEIST (1994) Angaben.

Die für direkte natürliche Konvektionsströmungen charakteristische Geschwindigkeit kann man bei SCHLICHTING et al. (1997) für verschiedene Situationen entnehmen.

Grundsätzlich gilt:

- je größer die Strömungsgeschwindigkeit, desto höher der Wärmeübergang,
- je höher die Strömungsgeschwindigkeit, desto eher findet der Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung statt,
- der Wärmeübergang ist bei turbulenter Strömung größer als bei laminarer.

Der nooR kann, in begrenztem Umfang zur Regulierung und Steuerung von Wärmeverlusten angrenzender Gebäude genutzt werden. Je nach Klima ist eine entsprechende Strategie zu wählen.

So können im nooR folgende Maßnahmen ergriffen werden oder folgende Effekte genutzt werden:

- Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit und Luftwechselrate durch Veränderung der Proportion, wie bei HALL et al. (1999) beschrieben oder durch gezielte Schaffung einer top vortex Situation, wie bei WALKER et al. (1993).
- Öffnen von Zuluftöffnungen (z.B. Durchgängen). So kann warme oder kalte Luft von außen gezielt in den nooR geleitet und die Durchlüftung verbessert werden. Nachts kann gezielt kühle Luft dem nooR zugeführt werden oder tagsüber bei geringen Strahlungsgewinnen warme Luft von außen zusätzlich zugeführt werden. Bei der Überströmung kalter Flächen mit warmer Luft zur Wärmeübertragung, bzw. Verringerung von Verlusten besteht die Gefahr von Taupunktunterschreitung und Kondensatbildung.
- Durch temporäre Überdeckung des nooR können die Luftwechselrate und Windgeschwindigkeit im nooR gesenkt und z.B. nachts die Wärmeverluste reduziert bzw. tagsüber die Strahlungsgewinne minimiert werden.

- Durch Vermeidung oder Nutzung von Stratifikationseffekten im nooR (Abfuhr von überschüssiger Wärme, oder Verbleib kühler Luft im nooR als Frischluft für das Gebäude).

- Nutzung von im Vergleich zum Außenklima wärmerer nooR-Luft zur Lüftung angrenzender Räume (Reduzierung der Lüftungsverluste bei Zufuhr von Frischluft).

- Durch die zusätzliche Gebäudeoberfläche zum nooR kann die Wärmeabgabe beeinflusst werden.

- Durch die veränderte Temperatur im nooR (höhere/ niedrigere Temperatur) Reduzierung der Wärmeverluste oder -gewinne. Es kann die Temperaturdifferenz zwischen Gebäude und Außen verringert oder vergrößert werden. Im Prinzip könnte es durch eine geringere Windgeschwindigkeit und damit reduzierte erzwungene Konvektion zu einer Erhöhung der Oberflächentemperatur u.a. in Bereichen solarer Einstrahlung kommen, bzw. ein größerer Anteil der absorbierten solaren Einstrahlung in die darauf folgende Schicht eindringen.

Problematisch erscheinen Konzepte zur Reduzierung der Wärmeverluste vom nooR zum Außenklima, wenn es durch herabgesetzten Luftaustausch in kalten Klimaten zu einer Verschlechterung der Luftqualität z.B. durch Stratifikationseffekte, bzw. Schadstoffquellen im

nooR kommt. In diesem Zusammenhang wäre eine möglichst rasche Durchmischung der nooR-Luft mit der Außenluft wünschenswert oder die Schaffung von temporären Lüftungsbahnen z.B. das Öffnen von Durchfahrten. Andererseits kann dieser Effekt zusammen mit Speichereffekten zu einer Reduzierung der Kühllasten in warmen Klimaten mit großen diurnalen Schwankungen genutzt werden. Zur Reduzierung von Kühllasten können im allgemeinen die entgegengesetzten Konzepte wie zur Reduzierung der Wärmeverluste genutzt werden.

3.1.4.6 Auswirkungen auf Nässe und Feuchte im nooR

Von den Strömungsvorgängen sind auch die Belange des Feuchteschutzes betroffen. Zur Vermeidung von Feuchteschäden ist wesentlich (vgl. DIN 4108), daß das Bauteil rasch trocknet, keine schädliche Erhöhung der Bauteilfeuchte auftritt und daß das bei Kondensationsvorgängen anfallende Wasser in der Verdunstungsperiode restlos abgeführt werden kann. In den vorliegenden Untersuchungen werden keine Angaben zu diesem Thema gemacht.

Für den nooR ist das Thema Feuchte aus folgenden Gründen von Bedeutung:

Es kann zur Einschränkung der Nutzungsdauer, bzw. des Nutzungsbereiches durch Niederschlag kommen. Auch die verlangsamte Austrocknung durch geringere Strömungsgeschwindigkeiten, Totbereiche und/ oder geringere solare Einstrahlung können zu Schäden führen. In Bereichen mit auf Dauer erhöhter Feuchte können Schädigung der Konstruktion (z.B. Putzschäden etc.) auftreten, bzw. optische Beeinträchtigungen durch unterschiedlich starke Verschmutzung, Schmutzfahnen, und Algen, bzw. Pilzwachstum. Damit verbunden ist ein erhöhter Reinigungsaufwand bei veralgten Bereichen und z.B. rutschigen Bodenbelägen.

Außerdem wird bei hoher Feuchte und niedrigen Temperaturen im nooR das Klima als modrig und kalt empfunden. Dies führt zum Meiden des nooR als Aufenthaltsbereich. Es ist zu bedenken, daß bei gleicher absoluter Feuchte außerhalb und innerhalb des nooR, die relative Feuchte in einem nooR mit im Vergleich zur Außentemperatur niedrigerer nooR- Temperatur erhöht ist (ein Temperaturunterschied von 3K bedeutet bei ca. 15°C eine ungefähre Veränderung der relativen Feuchte um ca. 10%).

In der Übergangszeit, bzw. bei Witterungsumschwüngen, kann es vor allem in schachtartigen nooR zur Kondensation warmer, einströ-

mender Luft an kalten Flächen in Bodennähe oder in Totluftgebieten kommen. Die Kondensation an Oberflächen kann zu einer weiteren Herabsetzung der Oberflächentemperatur führen, die diesen Prozeß weiter beschleunigt und ein dauerhaftes Austrocknen von Wandbereichen erschwert.

Quellen für (erhöhte) Feuchte im nooR können u.a. sein:

- Niederschlag und unzureichende Abfuhr von Niederschlagswasser,
- Feuchteeintrag durch antropogene Quellen wie z.B. Abluft aus Bädern, Küchen, Hausbrand, Blumen gießen,
- Bepflanzung (Behinderung von Trocknungsvorgängen, Verdunstung),
- Kondensation von warmer feuchter Luft (z.B. Frühjahr) an kalten nooR- Wänden, auf Grund hoher Speichermassen, geringer solarer Einstrahlung, geringen Wärmeverlusten oder unbeheizten Gebäudebereichen (erdgeschossige Lager),
- kapillar aufsteigende Feuchte im Bodenbereich, z.B. bei fehlenden horizontalen Sperrschichten, Grünflächen, gepflasterter Flächen,
- Wirbelbildung im nooR, die zu zusätzlicher Feuchte in Eckbereichen oder zur Schneesackbildung führt.

In nooR können im gemäßigten Klima Algenbildung, feuchte Bereiche in Bodennähe oder erdges-

schossigen Galerien, sowie Durchgängen beobachtet werden.

Nach KÜNZEL (2001) sind u.a. folgende Sachverhalte für ein Algenwachstum fördernd:

- unbeheizte oder hoch gedämmte Gebäude,
- verschattete Fassadenseiten,
- Wetterseiten,
- weiße Fassadenfarbe,
- geringe Luftverunreinigung,
- Taupunktunterschreitung bei WDVS durch Wärmeabstrahlung, geringe Speichermassen.

Algenbewuchs hemmend dagegen sind:

- geschützte Gebäude,
- besonnte Wände, Wärmeverlust durch raumseitige Erwärmung,
- dunkle Fassadenfarbe.

MATZARAKIS (2001g) sieht durch seine Untersuchungen die bei ACKERMANN (1987), LEE (1991) und HOLMER (1999) gemachte Aussage „Die bodennahe urbane Atmosphäre ist in allen Monaten feuchter als die bodennahe Atmosphäre in der ländlichen Umgebung.“ bestätigt. Diese Aussage würde für das Feuchteverhalten eines nooR bedeuten, daß dieser feuchter ist als eine umgebende städtische Bebauung mit geringerer Dichte.

Die bei MATZARAKIS (2001h) herangezogenen Werte für den Innenhof der LMU München scheinen dies zu bestätigen.

Ob ähnliche Effekte im nooR bei Tauanfall, Kondensation auf Grund von Speichermassen eine Auswirkung auf das nooR -Klima haben kann, wird hier nicht geklärt werden.

Gemeinsam ist diesen Ansätzen aus der Stadtklimatologie, daß sie für einen nooR mit seiner definierten und begrenzten Geometrie durchaus relevant sind.

Für das Feuchteverhalten des nooR ist von besonderer Bedeutung, daß im nooR geringe Windgeschwindigkeiten, Todgebiete und ein allgemein herabgesetzter Luftwechsel (HALL et al. 1999) zu erwarten ist, welches auch zur Behinderung von Trocknungsvorgängen führen kann. Der Feuchteeintrag durch Regen in einen nooR dürfte, wie bei der Bewertung von senkrechten Fassaden (Choi 1994), im wesentlichen abhängig von der Über- und Durchströmung des nooR, der Windgeschwindigkeit und Tropfengröße sein. Inwieweit die Wirbelbildung zu einer Erhöhung bzw. Verringerung von Niederschlagsmengen im nooR führt, kann an Hand der vorliegenden Arbeiten nicht geklärt werden. Teilweise unbeheizte Räume im Erdgeschoß, z.B. Lager oder Garagen, insbesondere im Altbaubestand, sowie geringe solare Einstrahlung im Erdgeschoßbereich

dürften vielfach für ein zu beobachtendes erhöhtes Algenwachstum verantwortlich sein.

Ob Faktoren, die eine Erhöhung der Feuchte begünstigen, durch ein verändertes Strahlungsumfeld (Verteilung der absorbierten solaren Einstrahlung durch den langwelligen Strahlungsaustausch) oder Wärmeverlust von Gebäuden kompensiert werden, ist im Rahmen dieser Arbeit nicht zu klären.

Problematisch können Bepflanzungen in Eck- und Bodenbereichen mit geringer Luftbewegung und geringen Solargewinnen sein. Auch eine zusätzliche Verschattung und Reduzierung von Luftströmungen durch Pflanzen verbunden mit zusätzlicher Verdunstung durch die Pflanzen kann zu einer kritischen Erhöhung der Luftfeuchte führen. Insbesondere bei Pflanzen an Wänden kann es zu einer nachteiligen Dauerdurchfeuchtung im bodennahen Bereich, sowie zu einer erhöhten Pollen-, bzw. Sporenbelastung kommen.

Zusammenfassend kann man sagen:

- bei der Schaffung eines Mikroklimas sind die Belange des Feuchteschutzes zu beachten (Verdunstungskühlung, Bepflanzung),
- Niederschläge sind schnell abzuleiten,

- für eine ausreichende Belüftung aller Zonen des nooR ist zu sorgen.

3.1.4.7 Auswirkung auf den Brandschutz

Während sich für überdachte nooR (unter dem Stichwort „Atrium“) entsprechende Literatur zum vorbeugenden Brandschutz finden läßt, konnte zum Bereich der nooR nur wenig gefunden werden. So findet sich bei MURAKAMI et al. (1993) ein Hinweis, daß auf Grund einer geringer Luftwechselraten auf eine schlechte Entrauchung geschlossen wird.

Im Allgemeinen muß wohl davon ausgegangen werden, daß in einem nooR ähnliche Überlegungen anzustellen sind wie für einen überdachten nooR. Aus diesem Grund sind hier einige Überlegungen kurz zusammengefaßt. Die angeführten Punkte bedürfen der Verifikation für nooR.

Basierend auf Untersuchungen zu überdachten nooR von HANSELL (1994), SAXON (1973a) werden folgende Hypothesen aufgestellt:

- a) geringe Luftwechselraten führen
- zu einer langsamen Entrauchung,
 - Sichtbehinderung,
 - Abkühlen des Rauches im nooR-Bereich auf Umgebungstemperatur und damit kein weiterer Auftrieb, Verbleib des Rauches im nooR insbesondere bei geringen Wind-

geschwindigkeiten (vgl. SAXON 1973b, Stagnation bei ca. 20m) und oder Regen/ Nebel, höhere Lufttemperaturen im oberen nooR-Bereich,

- Anstieg der Temperatur im nooR auf Grund der zu geringen Abfuhr von Wärmeenergie,
- Beeinträchtigung der Sicht auf Fluchtwegen z.B. bei älteren Gebäuden mit Laubengängen oder Fluchtwege durch nooR im Erdgeschoß.

b) rezirkulierende Strömung führt

- zu einer unerwünschten Rauchverteilung,
- zu Sichtbehinderung,
- zu einer verlangsamten Entrauchung,
- zu verlangsamter Reduzierung der Rauchtemperatur und damit zu einem Anstieg der Temperaturbelastung,
- zur Rauchübertragung in andere Stockwerke, auch unterhalb des Feuers.

Des weiteren ist zu bedenken, daß

- Galerien und Umgänge zur horizontalen Verbreitung von Rauch führen können,
- keine oder nur geringe Möglichkeit von Strahlungsverlusten besteht, weitere Brandübertragung oder Entzündung von Gasen etc., „Backofeneffekt“, Entzündung weiterer Bereiche, Erschwernis der

Flucht/ Rettung von Personen durch zu große Hitzestrahlung,

- evtl. auftretender Kamineffekt bei einem hohen nooR.

Folgende Punkte sollten bei der Planung und Beurteilung von nooR - Gebäuden grundsätzlich in die Überlegungen mit einbezogen werden (vgl. HANSELL (1994), SAXON (1973):

- Überlegungen zur Rauchentfernung sind notwendig (zum nooR oder vom nooR weg); Ziel: Rauch schnell und gezielt ableiten,
- evtl. sind im Deckenbereich von Galerien abgehängte Screens zur gezielten Entrauchung und Rauchsammmlung einzuplanen, Leitbleche können die horizontale Rauchausbreitung verhindern und damit das Rauchvolumen minimieren,
- tiefe Galerien bieten einen größeren Schutz vor Rauch als schmale,
- mit dem Eintreten des Rauches in den nooR kommt es zu einer Expansion des Rauches. Damit muß ein größeres Rauchvolumen entfernt werden, wie wenn Rauch in der Nähe des Feuers abgesaugt werden kann,
- rasches Abkühlen des Rauches führt zur Sensitivität des Rauches für Windbewegungen und zur weiteren Verteilung des Rauches,
- beim Entstehen einer Rauchsicht im nooR und dem Sinken der Basis kommt es zum Temperaturanstieg der Rauch-

schicht und zum Anheizen des Feuers,

- mögliche Brand- und Rauchübertragung durch geöffnete Fenster in darüberliegende Räume ist zu berücksichtigen,
- Brandübertragung ist in einem engen nooR in gegenüberliegende Räume durch Strahlung möglich (z.B. auch durch geschlossene Fenstern),
- die Druckverteilung um das Gebäude bestimmt die Richtung der Entrauchung (zum nooR oder vom nooR nach außen),
- Durchgänge zum nooR sind gezielt zu planen um eine Entrauchung über Durchgänge und Fluchtwege zu vermeiden,
- Fluchtwege sind nicht durch den nooR oder über Galerien um den nooR führen,
- je kleiner der nooR, desto schneller erfolgt die Verrauchung; hier sind vor allem kurze Rettungswege von Bedeutung.

3.1.5 Zusammenfassung

Grundsätzlich besteht weiterer Forschungsbedarf, um eine sichere Beurteilung des nooR im Hinblick auf sein Lüftungspotential zu erhalten. Auffällig bei der Literaturrecherche war, daß die meisten Quellen in Bezug auf die verwendete Simulationstechnik im Hinblick auf die neuen Möglichkeiten im Bereich CFD als veraltet gelten können. Doch leider konnte keine Literatur die sich mit der besonderen Problematik von nooR auseinandersetzt gefunden werden (Stand 2003). Gerade durch die gemachten Fortschritte in Bezug auf Implementierung neuer Turbulenzmodelle, verbesserter Algorithmen, Einsatz von Strahlungsmodellen in den CFD- Anwendungen und die gesteigerte Rechenleistung könnten neue Ergebnisse erwartet werden.

Wesentliche Parameter, wie z.B. die Dachform oder auch die Auswirkung von Galerien auf das Lüftungsverhalten, sind nicht oder nur sehr eingeschränkt untersucht worden. Die wenigsten Arbeiten beschäftigen sich mit Luftströmungen, auf Grund von Temperaturunterschieden.

Als alleinig treibende Kraft für das Lüftungsverhalten wird die Umströmung des Gebäudes gesehen, aber gerade die Arbeit von HALL et al. (1999) zeigt, daß in engen nooR

mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten zu rechnen ist.

In diesem Fall gewinnen natürliche Konvektion, der Strahlungsaustausch und solare Einstrahlung an Bedeutung, wie die Arbeiten zu überdeckten nooR zeigen.

Angaben zu Messungen im nooR, bzw. zu Computersimulationen und Modelluntersuchungen und der damit verbundenen Problematik, sind im Anhang A2, Punkt 2 „Anmerkung: Datenerhebung und Verfahren um das Lüftungsverhalten eines nooR zu ermitteln“ zu finden.

Diese Thematik muß verstärkt untersucht werden, wobei CFD als vielversprechend betrachtet werden darf, selbst wenn gerade die Turbulenzmodellierung und Validierung für einen nooR- Bereich noch einige Fragen offen läßt. Zur Beurteilung von überdeckten Atrien sind u.a. folgende Literatur von HANSELL (1994), SATHOH (1996), CHOW (1995,1997) heranzuziehen.

3.2 Untersuchung zur Tageslichtnutzung im und um den nooR an Hand von Beispielen

3.2.1. Einleitung

Ein nooR wird im Allgemeinen als Quelle für Licht und Luft für die ihn umgebenden Gebäude gesehen. Dabei kann der nooR wie zum Beispiel im islamischen Bereich die ausschließliche Quelle für Luft und Licht sein oder wie bei freistehenden italienischen Renaissancepalästen neben den Außenfassaden eine zusätzliche Lichtquelle zur Belichtung eines tiefen Gebäudekomplexes sein.

Die Baugeschichte zeigt, daß der nooR seit Anbeginn in den unterschiedlichsten Kulturen und Klimazonen als Raum mit einer spezifischen Qualität genutzt wurde und wird, um selbst bei hoher Dichte einen vom öffentlichen Raum abgeschlossenen, halböffentlichen oder gänzlich privaten Bereich zu schaffen. Auch in der heutigen Zeit werden nooR zur Belichtung und räumlichen Strukturierung eingesetzt wie z.B. bei den Fünf Höfen in München von Herzog De Meuron oder auch wie in ARCH + 133 veröffentlichte Projekte des European 4 Wettbewerbes zeigen.

Während das griechische Hofhaus häufig als Beispiel für eine solar orientierte Architektur gilt (BEHLING

et al. 1996), werden u.a. die im 19. Jahrhundert typischen Hinterhofsituationen in Berlin oder London als Beispiel für eine inhumane und unter hygienischen Gesichtspunkten inakzeptable Architektur gesehen und als Negativbeispiel dargestellt.

Es scheint, als würden nooR in südlichen Breiten weitaus positiver beurteilt werden als in nördlichen.

Während das Belüftungspotential meist völlig vom Breitengrad unabhängig ist und vor allem durch Windgeschwindigkeit und -richtung, sowie Höhenlage, Bebauungsdichte und sonstige regionale Besonderheiten bestimmt ist, unterscheiden sich die nooR bei gleicher Bebauung durch das Lichtmilieu und die möglichen solaren Wärmegewinne abhängig vom Breitengrad und damit von der möglichen Sonnenposition.

So könnte man die Arbeitshypothese aufstellen, daß es sich bei der Idee eines „tristen und engen“ Berliner Hinterhofes um ein mentales Schema handelt das wesentlich durch sein Lichtmilieu (im Sinne von Lichtfarbe, Licht und Schatten) und die soziale Wertschätzung bestimmt ist, weniger durch das tatsächliche Belichtungspotential, bzw. Proportion.

Vor allem die Moderne und ihre Bestrebungen nach Licht, Luft und Sonne, vgl. ENGELS (1845/1973)

„Die Lage der arbeitenden Klasse in England“, hat zur Verknüpfung von sozialem Milieu und „minderwertiger“ (Hinterhof-) Architektur beigetragen, obwohl es sich hier häufig um ein Problem unangemessener Dichte und Nutzung handelt. Nachfolgend werden verschiedene nooR - Situationen aus der Baugeschichte auf ihr Belichtungspotential hin untersucht. Es wurden dabei ausgewählt:

- Typenhaus, Olynth
- Palazzo Piccolomini, Pienza
- Meyer's Hof, Berlin

Eine Einordnung entsprechend der vorgestellten Konzepte zur Kategorisierung und Beschreibung der Gebäude und nooR erfolgt in **Tabelle 3.2.1.**

Bei den angeführten Bauten handelt es sich um ausgewählte Beispiele aus der Baugeschichte, nicht aber um repräsentative Bauwerke - in Bezug auf die Architekturgeschichte. Wesentlich bei der Auswahl war eine gute, gesicherte, allgemein zugängliche und weitreichend publizierte Datenlage (siehe **Tabelle 3.2.2**), sowie die Bedeutung der Belichtung bei den Gebäuden. So gilt das Typenhaus von Olynth als Beispiel für frühes solares Bauen, der Palazzo Piccolomini wird von seinem Auftraggeber wegen

seiner guten Belichtung gerühmt und Meyer's Hof wird allgemein als Beispiel für Gebäude mit tristen, dunklen Hinterhöfen gesehen. Insofern verbindet diese Gebäude das Thema Belichtung auf unterschiedliche, aber doch sehr zentrale Weise.

Bei der Bewertung der Simulationen wurde darauf Wert gelegt, nicht nur das Ergebnis der Simulation bzw. Messung zu bewerten, sondern auch das jeweilige, unterschiedliche Verständnis von Belichtung bzw. Licht so weit wie möglich mit einzubeziehen.

3.2.2 Grundlagen der Belichtung von nooR

Zur Belichtungssituation eines nach oben offenen Raumes sind zunächst vor allem für überglaste nooR die wesentlichen Entwurfs- und Beurteilungskriterien ausreichend dargelegt, wie z.B. in „Daylighting in Architecture“ (BAKER et al. 1998), „Energy in Architecture“

(GOULDING et al. 1986). Die dort erläuterten Prinzipien können auf den nooR übertragen werden. Beachtenswert ist auch eine neuere Studie zu diesem Thema von SCHMITZ (2003) über Tageslicht im Atrium.

Maßgeblich für die Belichtungssituation in einem nooR sind demnach nach BAKER et al. (1998a) die

Tabelle 3.2.1: Einordnung der ausgewählten Gebäude mit nooR mit Hilfe der Faktoren und der Morphologie (Abkürzungen und Schlüssel siehe Morphologie im Anhang).

	Typenhaus in Olynth	Palazzo Piccolomini	Meyer's Hof
Klimazone			
Kurzbeschreibung Klima	Csa (warm-gemäßigtes Klima)	Cfa (warm-gemäßigtes Klima)	Cfb (warm-gemäßigtes Klima)
Zeitachse / Epoche / erbaut	432-348 v.Chr.	1459-62 n.Chr.	1873-74 n.Chr.
Land	Griechenland	Italien	Deutschland
Faktoren			
maßgebliche Faktoren	gesellschaftliche, funktionelle	psychologisch, funktionelle	wirtschaftlich, funktionelle
Morphologischer Schlüssel			
Topographie	Hanglage / Meer	Hügelkuppe	Ebene
städtebaulicher Kontext	Streifenstadt	dörflich / kleinstädtisch	städtische Blockbebauung
Bauweise, Gebäudekontext	Insula	freistehendes Gebäude	Block
Gebäude			
Größe l/b/h	17m/17m/4,5m	36m/39m/20m	40m/36m/18m
Gebäudetyp	Wohnhaus	Wohnhaus	Gebäude mit Mischnutzung
Grundrißtyp	Vordergebäude, Flügelbauten, Hauptgebäude	Gebäude-Hof	Hauptgebäude, Mauer, Rückgebäude
Konstruktion	Mauerwerk	Mauerwerk	Mauerwerk
Dachtyp	Satteldach	Walmdach	Satteldach
Dachebene(Anzahl)	2	1	1
Nutzung Gebäude	wohnen	wohnen, repräsentieren	wohnen, arbeiten
nooR			
Proportion (b / h)	1 zu 1	1 zu 2	1 zu 2
nooR Typ	Hof	Innenhof	Hof
Erweiterungen	Pastas	Umgang mit Säulen und Arkaden	keine
Einbauten in den nooR			
Art der Nutzung	Arbeit, Aufenthalt	Repräsentation	Erschließung
Funktion für das Gebäude	Erschließung, Lichtquelle	Erschließung, Lichtquelle	Erschließung, Lichtquelle
Schwerpunkt der Nutzung	Hof	Gebäude	Gebäude
sozialer Charakter	privat	privat, repräsentativ	halböffentlich
Orientierung der Haupträume	Hof	Straße, Hof Landschaft	Straße, Hof

Verteilungsfähigkeit und Lenkungsmöglichkeiten des nooR, sowie

- Geometrie des nooR, Dimension,
- Oculusgröße (u.a. Öffnungsart)
- Lage und Orientierung der Flächen zueinander,
- Reflexionsgrad von Wänden und Böden,
- Öffnungsart und Verglasung zu angrenzenden Räumen,
- Größe der angrenzenden Räume,
- Reflexionsgrade der angrenzenden Räume,
- Art und Weise einer Überglasung,
- Bepflanzung des nooR (Wand, Boden).

Außerdem zu beachten ist die Neigung der Glasflächen, der Verschmutzungsgrad, der Anteil der Konstruktion an der Öffnungsfläche,

sowie der wellenlängenabhängige Transmissionsgrad der Verglasung.

In Anlehnung an BAKER et al. (1998b) kann der nooR in drei Zonen unterteilt werden:

- Zone 1 Unterer Bereich
Belichtung ist abhängig vom Reflexionsgrad des Bodens und der Wände (indirekte Zone),
- Zone 2 Mittlerer Bereich
Belichtung ist abhängig vom Reflexionsgrad des Bodens und der Wände, sowie teilweise vom direkten Himmelslicht,
- Zone 3 Oberer Bereich
Belichtung ist abhängig vom direkten Himmelslicht.

Basierend auf den oben angeführten Überlegungen und Studien wur-

Tabelle 3.2.2: Datengrundlage für die Untersuchungen

	Objekt	Literatur	Daten
1	Typenhaus Olynth	Hoepfner et al. (1986), Wohnen in der klassischen Polis, Hoepfner et al. (1999), Geschichte des Wohnens, Band 1; Cahill (2001), Household and Organization at Olynthus.	Ausgrabungen (Grundrisse), Rekonstruktionen (Schnitte, Isometrien), weitere Funde aus unterschiedlichen Gegenden
2	Palazzo Piccolomini	Pieper (1997), Thornton (1991), Silvio Enea (in Pieper 1997), Aries et al. (2000)	Bauaufmaß, Quellen
3	Meyer's Hof	Geist et al. (1980); Hegemann (1992)	Eingabepläne, Quelle, Rekonstruktionen

den bei BAKER et al. (1998c) folgende Regeln und Hinweise für den überlasteten nooR aufgestellt:

- ein rechteckiger nooR bietet bei gleicher Öffnungsfläche die beste Verteilung der Strahlung,
- ist der nooR höher als breit, ist mit einer schlechten Belichtung zu rechnen,
- dunkle Wandflächen sollten nur bei nooR, die breiter als hoch sind, gewählt werden,
- gerichtet reflektierende Materialien sind besser geeignet als diffuse, da damit ein größerer Teil der reflektierten Strahlung in den nooR gelangt und nicht wieder hinaus reflektiert wird,
- gerichtet reflektierende Materialien tendieren zur Blendung,
- die Belichtung von Räumen zum nooR hängt mit zunehmender nooR-Höhe von den reflektierten Komponenten ab,
- der Reflexionsgrad sollte so hoch wie möglich sein (Wand, Boden),
- der Reflexionsgrad von weißen Wänden ist höher als von Glas, somit sollten in den oberen Bereichen die Fenster so klein wie möglich gewählt und zum Boden immer größer werden (komplett verglast im EG),
- im Prinzip sollte jedes Stockwerk eine individuelle Fenstergröße haben, die abgestimmt ist auf den Lichtbedarf im Raum (Fenstergröße), und die Wände sollten einen möglichst hohen Reflexions-

grad aufweisen um das Licht im nooR zu verteilen,

- Glasflächen im nooR und/ oder zum nooR oder Überglasungen sollten einen möglichst geringen Rahmenanteil haben. Ein geringes Verhältnis von opaken Flächen zur größtmöglichen Öffnung, welches bei einem nooR bei 1:1 liegt - bei überlasteten nooR aber $\ll 1$ ist, insbesondere in Klimaten mit hauptsächlich bedecktem Himmel erstrebenswert. Als weitere Kennzahl kann das Verhältnis von Öffnungsfläche zur Grundfläche gewählt werden. Wesentlich ist nach BAKER et al. (1998d) die Aspect Ratio (AR) = $l \cdot w/h^2$ (Länge*Weite/Höhe des nooR),
- mit zunehmender Stockwerkszahl nimmt die Abhängigkeit der Belichtung von Räumen vom Reflexionsgrad des Bodens ab oder umgekehrt die unteren Stockwerke hängen stärker von dem Reflexionsgrad des Bodens ab als die oberen,
- Bepflanzungen verändern die Lichtverteilung und reduzieren den Reflexionsgrad des nooR -Bodens auf etwa 0,2,
- Pflanzen sollten in der Mitte des nooR gepflanzt werden und nicht am Rand,
- die Lichtverteilung kann durch entsprechende lichtlenkende Elemente verbessert werden,

- ein sich nach oben öffnender nooR (trichterförmig) verbessert die Belichtung,
- Möglichkeiten zur Blendungsvermeidung sind zu bedenken.

Für die Nutzung eines nooR und der angrenzenden Räume sind vor allem ein ausreichendes Belichtungsniveau, bei geringer Blendung, gleichbedeutend mit einer gleichmäßigen Leuchtdichtenverteilung von Bedeutung.

- Desweiteren müssen die Nutzererwartungen und Bedürfnisse mit den Möglichkeiten eines nooR abgestimmt werden. Da nooR meist in tiefen Gebäuden eingesetzt werden und oftmals ausschließliche Quelle für die Belichtung von zum nooR orientierten Räumen mit Tageslicht sind, sind die psychologischen Vorteile von Tageslicht (FISCH et al. 2001) und ihre Nutzung von besonderer Bedeutung:
- Orientierung in Raum, Zeit, Wetter,
 - verhindert monotone und als ermüdend empfundene Lichtmilieus (Produktivität),
 - wird als angenehm empfunden.

Auf Grund der im Vergleich zu den Außenfassaden herabgesetzten Beleuchtungsstärken in zum nooR orientierten Räumen kann es leichter zur Blendung durch z.B. direktes oder reflektiertes Sonnenlicht z.B. von Fenstern kommen. Die

Folgen von Blendung sind u.a. Ermüdungserscheinungen, schlechte Lesbarkeit etc.. Blendung kann vermieden werden durch eine geänderte Leuchtdichtenverteilung, z.B. durch Abschirmen der Blendquelle mit Sonnenschutz. Problematisch ist bei Sonnenschutzvorrichtungen, daß

- häufig zu stark abgedunkelt wird und damit eine zusätzliche Beleuchtungsquelle zum Ausgleich benötigt wird,
- das Verschwinden der Blendquelle (z.B. nur kurzzeitige Blendung durch spiegelnde Fensterscheibe) nicht bemerkt wird und unnötig lange Lampen eingeschaltet bleiben,
- das allgemeine Beleuchtungsniveau herabgesetzt wird und dunkle Bereiche des Raumes zusätzlich beleuchtet werden müssen.

Dabei kann es zu einem aus energetischer Sicht unnötigen Energieverbrauch kommen, der durch versäumtes oder verspätetes „Licht-ausschalten“ noch erhöht wird. Wie groß die möglichen Energieeinsparungen bei der Berücksichtigung von Tageslicht und einer entsprechenden Steuerung sein kann, wird bei GÖRRES (2001) dargestellt.

Mögliche Blendungsquellen in einem nooR sind:

- Lichtreflexe von spiegelnden Oberflächen, vor allem Fenster,

- direktes Sonnenlicht,
- helle Flächen,
- weitere Lichtquellen.

Maßnahmen zur Blendungsvermeidung sind wie schon angeführt der Ausschluß (in)direkter Sonnenstrahlung durch Sonnenschutz, zum einen im Dachbereich (global) z.B. bei überglasten nooR oder durch Toldos bei einem normalen nooR, zum anderen individuell im Fensterbereich montierter Sonnenschutz (lokal). Die Wahl der Maßnahme global oder lokal ist stark von der Nutzung des nooRs und der umliegenden Räume abhängig (BAKER et al. 1998e).

3.2.3 Beschreibung der Vorgehensweise zur Beurteilung von nooR

In der Literatur, insbesondere in den verbreiteten Lehrbüchern finden sich verschiedene Angaben zu den Tageslichtfaktoren für unterschiedliche Anforderungen (vgl. **Tabelle 3.2.3**). Nach § 7 Arb.StättV wird für die Allgemeinbeleuchtung als Minimum 15 Lux gefordert, für ständig besetzte Arbeitsplätze min. 200 Lux. „Nach SR 7/3 (wie auch nach AMEV-Beleuchtungsplanung 92) werden u.a. folgende Nennbeleuchtungsstärken empfohlen (Basis: DIN 5035 Innenraumbeleuchtung mit künstlichem

Licht, Teil 2, 09.90- nicht berücksichtigt DIN EN 12464-1:2003-03):

Büroräume mit tageslichtorientierten Arbeitsplätzen ausschließlich in unmittelbarer Fensternähe	300 Lux
Büroräume	500 Lux
Großräume	
mit mittlerer Reflexion	750 Lux
Sitzungszimmer u. Besprechungsräume	300 Lux
Räume	
mit Publikumsverkehr	200 Lux
Pausen-, Liegeräume	100 Lux

Die Anforderungen an den Tageslichtquotienten sind erfüllt, wenn in einer Höhe von 0,85m, 1,0m von der Wand entfernt und in halber Raumtiefe die geforderten Werte eingehalten werden. Angenommen wird ein Reflexionsgrad der Verbauung 0,2, der Decke 0,7, der Wand 0,6 und Boden von 0,2. (FISCHER 1995), vgl. auch DIN 5035 Teil 1, Decke 0,7, Wände 0,5, Boden 0,2. In der DIN 5035 werden an die Beleuchtung Anforderungen bezüglich *B e l e u c h t u n g s n i v e a u*, Leuchtdichtenverteilung, Begrenzung der Blendung, Lichtrichtung und Schattigkeit, sowie Lichtfarbe und Farbwiedergabe gestellt. Für die Messungen, Berechnungen, Größen etc. wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (DIN 5035,

5034, HENTSCHEL 1994, BAKER et al. 1998).

Da diese Ansätze nicht oder nur bedingt geeignet sind, das Tageslichtpotential unterschiedlicher nooR zu bewerten und zu beurteilen, wurden die im Folgenden erläuterten weitergehenden Ansätze entwickelt. Weitere Ansätze und Abschätzungen des Tageslichtfaktors für an den nooR angrenzende Räume finden sich bei REYNOLDS (2002) mit Verweis auf BAKER et al. (1998).

Zur Untersuchung und Bewertung des nooR werden zum Vergleich mit dem Gebäudemodell (Gebäudeentwurf, realisiertes Gebäude) verschiedene Referenzmodelle gebildet und als Bewertungsmaßstab verwendet. Diese sind (**Abbildung 3.2.1**):

- 1) Hofmodell
- 2) Raummodell
- 3) Schachtmodell
- 4) Hof-Raum-Modell

Die Modelle werden nach folgenden Regeln gebildet. Das zu untersuchende Gebäude wird vereinfacht:

- Wand- und Deckenstärken erhalten einen festen Wert (hier z.B. 0,5m),
- Wände entfallen, bzw. Fenster werden nicht (im Detail) modelliert,

- der Reflexionsgrad aller Flächen beträgt 50%.

Die Modelle (1,2,4) bilden ein Gebäude nach, ohne Fassaden, nur mit Stockwerksdecken, d.h. mit maximaler Fensteröffnung. Es entfällt der Einfluß der Fensterkonstruktion und Verglasungsart. Der Lichteinfall ist maximal für den dahinterliegenden Raum, Reflexionen durch Fassadenelemente werden nicht berücksichtigt.

Beim Hofmodell wird das Gebäude wie folgt vereinfacht.

Der Grundriß des Gebäudes mit nach oben offenen Raum wird nachgebildet. Die Außenwände erhalten keine Öffnungen.

Einzigste Lichtquelle für die einzelnen Ebenen ist der nooR. Somit erhält man die Belichtung für jedes Stockwerk bei maximaler Fensteröffnung auf den nooR bezogen.

Das Raummodell bildet den Gebäudegrundriß nach, ohne nooR, ohne Außenwände und innere Unterteilung. Eine Belichtung ist nur über die Außenfassade möglich. Hiermit wird das Belichtungspotential der überbauten Fläche ohne nooR untersucht.

Das Schachtmodell bildet nur den nooR nach, ohne angrenzende Räume. Der nach oben offene Raum wird durch opake Wände

begrenzt. Mit diesem Modell kann die Verteilungskapazität des nooR untersucht werden. Der Lichteinfall in den nooR ist nur über oculus möglich. Es treten keine Verluste in angrenzenden Räumen auf.

Das Hof- Raum- Modell ist eine Mischung aus Hof- und Raummodell, wobei die Belichtung der Räume über den nach oben offenen Raum und die äußeren Fassadenflächen möglich ist.

Das Belichtungspotential ist eine Addition der beiden Fälle Hofmodell und Raummodell und gibt die maximal mögliche Belichtung durch nooR und Außenfassade an.

Mit diesen Modellen werden folgende Indizes gebildet

- Hofindex Hin
- Raumindex Rin
- Schachtindex Sin
- Hof-Raum-Index HRin

Der Hofindex wird gebildet aus dem individuellen Gebäudemodell und dem Hofmodell. Der Index gibt an, inwieweit das realisierte Gebäude besser oder schlechter das Belichtungspotential ausnutzt als das Hofmodell.

Der Raumindex wird analog zum Hofindex aus Gebäudemodell und Raummodell gebildet. Er beschreibt, wie und wo das Gebäude mit nooR besser oder schlechter

das Belichtungspotential ausnutzt als ein Gebäude ohne nooR.

Der Schachtindex wird aus Gebäudemodell und Schachtmodell gebildet. Während bei den übrigen Indizes das Belichtungspotential in den zum nooR angrenzenden Räumen untersucht wird, wird hier die Lichtverteilung zwischen dem nach oben offenen Raum im Gebäudemodell und dem nooR im Schachtmodell untersucht.

Als weiterer Index kann der Hof-Raum-Index gesehen werden, welcher angibt, inwieweit ein Gebäude die maximale Lichteintrittsmenge, die durch nooR und Fassade ein-treten kann, ausnutzt.

Zur Erweiterung der Indizes kann bei den unterschiedlichen Modellen die Fläche berechnet werden, bei der das Belichtungs-niveau über einem bestimmten Grenzwert, z.B. 50 lux, liegt. Der Index wird gebildet aus dem Verhältnis der Fläche mit

Werten ≥ 50 lux, zur Grundrißfläche des Gebäudes z.B. $\sin^{50} 20\%$.

Das globale Belichtungspotential wird durch eines der vier Modelle und einem unverbauten Horizont gebildet. Der Boden wird durch eine vom Gebäude unabhängig den Himmel reflektierende Fläche gebildet.

Für die Ermittlung der Indizes wird ein standard overcast sky mit 10.000 lux verwendet.

Tabelle 3.2.3: Tageslichtfaktoren in Abhängigkeit von der Raumnutzung in unterschiedlichen Handbüchern

Raumart	Minimum	Durchschnitt
Wohnraum (YANNAS 1994; Verweis auf CIBSE)	0,5%	1,5%
Klassenzimmer (nach RANDALL 1996, mit Verweis auf CIBSE und nach SMITH 1994 mit Verweis auf IES Code Daylighting))	2%	5%
Büro, allgemein (nach RANDALL 1996 mit Verweis auf CIBSE und nach SMITH 1994 mit Verweis auf IES Code Daylighting))	2%	5%
Bibliothek, Leseraum mit Verweis (nach SMITH 1994) mit Verweis auf IES Code Daylighting)	1,5 %	5 %
Arbeitsraum (einseitige Belichtung, DIN 5093 von 1969/ 83)	1%	-
Wohnraum (einseitige Belichtung (vgl. DIN 5093 von 1969/ 83) nach Freymuth 1994	0,75% (auf waagrechter Nutzfläche in halber Raumtiefe an ungünstigster Stelle, Reflexionsgrad >0,5) 0,86 % (Reflexionsgrad >0,5)	-
Wohnraum (Fenster in mehr als einer Wand) nach FREYMUTH 1994	1% (Reflexionsgrad >0,5) 1,15% (Reflexionsgrad =0,4)	-
Arbeitsräume (einseitige Belichtung) nach FREYMUTH 1994	1% (Reflexionsgrad >0,5) 1,15% (Reflexionsgrad =0,4)	-
Arbeitsräume (Fenster in mehr als einer Wand) nach FREYMUTH 1994	1,75% (Reflexionsgrad >0,5) 2,01% (Reflexionsgrad =0,4)	-
Arbeitsräume (Licht überwiegend von oben) nach FREYMUTH 1994	4% (Reflexionsgrad >0,5) 4,6% (Reflexionsgrad =0,4)	-

Die Definition des „overcast sky“ (bedeckter Himmel nach CIE) entspricht der Verteilung des standard CIE overcast sky model. Dieses Modell basiert auf dem 1955 von MOON und SPENCER entwickelten Modell, bei dem die Leuchtdichte rotationssymmetrisch vom Zenit zum Horizont auf 1/3 des Maximums abnimmt (BAKER et al. 1998f).

Für weitere Untersuchungen werden die an den jeweiligen Gebäudestandpunkten üblichen Himmel mit Sonnenschein verwendet (siehe auch lokales Belichtungspotential).

Das lokale Belichtungspotential wird gebildet aus einem der vier Modelle und der vor Ort bestehenden oder geplanten Bebauung.

Der Homogenitätsindex gibt an, wie gleichmäßig die Lichtverteilung ist. Basis dafür ist nach FREYMUTH (1994) die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung, die als Verhältnis der kleinsten zur mittleren oder auch größten Beleuchtungsstärke auf einer waagerechten Nutzfläche dargestellt wird, wobei das Verhältnis kleinste zur mittleren Beleuchtungsstärke größer/ gleich 1 zu 2 ist.

Der horizontale Homogenitätsindex gibt an, wie gleichmäßig das Licht in einer Ebene verteilt wird, z.B. in einem Raum über den Grundriß ei-

nes Gebäudes. Der vertikale Homogenitätsindex gibt an, wie die mittleren Beleuchtungswerte oder die Fläche mit einem Beleuchtungsniveau, z.B. ≥ 50 lux, über die unterschiedlichen Stockwerke variieren.

Der Verteilungsindex gibt an, wie ein Raum das im nooR vorhandene Beleuchtungsniveau in der Raumebene ausnutzen kann. Der Verteilungsindex wird als Verhältnis von Tageslichtfaktor nooR zu Tageslichtfaktor nooR-Raum definiert. Der Tageslichtfaktor nooR wird auf mittlerer Höhe Raum zu Beleuchtungsstärke unverbauter Himmel bestimmt. Der Tageslichtfaktor nooR-Raum ermittelt sich aus dem Verhältnis mittlerer Beleuchtungsstärke im Raum zur mittleren Beleuchtungsstärke im nooR auf halber Raumhöhe.

Der tätigkeitsabhängige Tageslicht-Index (TTI) in Prozent dient zur Bewertung von Räumen und Gebäuden auf Grund ihres Tageslichtpotentials in Bezug auf eine bestimmte Tätigkeit. Der TTI wird aus dem Quotienten von vorgefundem Tageslichtquotient und Mindesttageslichtquotient für die auszuübende Tätigkeit gebildet.

Der Ausnutzungsindex wird gebildet aus dem Verhältnis von Tageslichtfaktor im Raum zu einem auf glei-

cher Höhe im nooR horizontal gemessenen Tageslichtfaktor.

Für die Computersimulationen wird das Programm Rayfront in der Version 1.04 eingesetzt. Rayfront ist eine Bedieneroberfläche für das Programm Radiance. Bei Radiance wird zur Berechnung der Ausbreitung von Licht im Raum ein backward-ray-tracing verwendet. Kennzeichnend bei diesem Verfahren ist, daß der Lichtstrahl vom Empfänger zur Strahlenquelle zurückverfolgt (vgl. WARD et al. 1998a) wird. Je nach Raumgeometrie sind hierfür die Berück-

sichtigung mehrerer Reflexionen notwendig.

Auf Grund der hier untersuchten Gebäude mit Raumsituationen, in denen der Himmel bzw. die Sonne nur durch einen nooR zur Belichtung beiträgt, sind zum einen die Simulationsparameter für die indirekte Berechnung entsprechend gesetzt worden (vgl. **Anhang Tabelle a.3**), zum anderen die relativ kleinen Fensterflächen als sekundäre Lichtquellen (illum-Oberfläche) behandelt worden. Bei der Verwendung von sekundären Lichtquellen wird die Lichtverteilung an der Fensterinnenseite auf Grund der

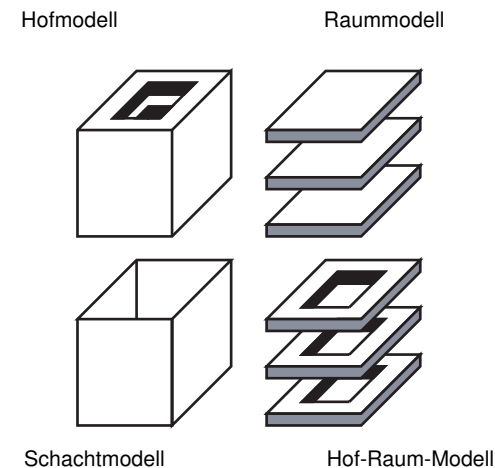


Abbildung 3.2.1: Modellbildung

Einstrahlungsverteilung und der Materialeigenschaften des Fenstermaterials berechnet.

In Rücksprache mit MISCHLER (2003) wurde zur Beschreibung von Öffnungen, wie Fenster oder auch offene Türen, der Materialtyp „glass“ als „illum“ mit 100% Transmission definiert und die Lichtverteilungskurve mit dem Programm „mkillum“ berechnet. Nach MISCHLER 2003 kann bei der Verwendung von „glass“ als sekundäre Lichtquelle ein leichter Berechnungsfehler auf Grund der Materialdefinition glass auftreten.

Alternativ wurde die Verwendung des Materialtyps „trans“ vorgeschlagen (MISCHLER 2003). Die Öffnungsflächen sind, wie beschrieben, relativ klein und stellen die einzige Lichtquelle für die Belichtung der Räume dar.

Berechnungen ohne die Definition von „illum“-Flächen führten auch bei der Verwendung der Voreinstellung „high“ und vier Reflexionen zu unbefriedigenden Berechnungsergebnissen.

Für die Simulationen wurden die in **Tabelle a.3** angeführten Einstellungen verwendet. Für die Erklärung der Einstellungen und Auswirkungen auf das Berechnungsergebnis siehe WARD et al. (1998b).

Die Geometrie für die Simulationen wurde in einem CAD-Programm als dxf-Datei erzeugt und in Rayfront

importiert. Die Materialien werden nur an Hand ihrer Grauwerte entsprechend ihrer Reflexionseigenschaften von 0 bis 100% definiert. Nicht definiert wurden in der Radiance Materialbeschreibung, also Eingabewerte 0 „specularity“ und „roughness“. Die diffusen Reflexionen erfolgen dadurch gleichmäßig im Halbraum, eine Änderung der Beleuchtungsstärkenverteilung durch gerichtete Reflexionen ist nicht berücksichtigt. Nur „glass“ und „illum“-Oberflächen weisen eine gerichtete Verteilung entsprechend ihrer Materialeigenschaften bzw. ihrer berechneten Verteilung als „illum“-Oberfläche auf. Eine ausführliche Beschreibung der Materialparameter und der Materialmodelle findet sich bei WARD et al. (1998c) und WARD (2000).

Für die Berechnungen wird der bei MARDALJEVIC (1998) beschriebene overcast sky mit 10.000 lux verwendet.

Für die Berechnungen in Pienza wurde zusätzlich das clear sky-Modell verwendet.

Die Beleuchtungsstärke liegt bei vereinfacht angenommenen 70.000 lux, entsprechend der Messergebnisse.

Berechnungen

Für die Berechnung wurde jeweils ein wie folgt aufgebautes Gitter verwendet: Es beginnt mit einem

Wandabstand von 10cm, der zweite Punkt befindet sich 40 cm vom ersten Punkt entfernt, die folgenden Punkte jeweils 50cm bzw. 100cm und enden mit einem Wandabstand von 10cm.

Die Höhe der Berechnungspunkte für die Tageslichtfaktoren liegt 85 cm über der Fußbodenoberkante, in Pienza analog zur Messeebene bei 100 cm. Berechnet wurden Tageslichtfaktoren (Tageslichtquotient):

$$DF \% = E_p / E_a$$

wobei E_p gleich der Beleuchtungsstärke auf einer Bezugsfläche im Raum ist und E_a die gleichzeitige Beleuchtungsstärke von der unbauten Himmelshalbkugel im Freien auf einer horizontalen Fläche. Der Sonnenlichtfaktor wird analog zum Tageslichtfaktor gebildet. Für die Untersuchungen wird außerdem der Tageslichtfaktor für eine horizontale und vertikale Bezugsfläche bestimmt.

3.2.4 Olynth

3.2.4.1 Das Typenhaus in Olynth

Wie bei HOEPFNER et al. (1999a) in der „Geschichte des Wohnens“ in der Überschrift zum Kapitel über Olynth angeführt wird, ist Olynth eine Streifenstadt mit Wohnkomfort. Die kurze Lebensdauer (ca. 90 Jahre) und die ausführlichen Grabungen seit 1928, sowie die verfügbaren Dokumentationen sind Grund (HOEPFNER et al. 1999, 1986, CAHILL 2001) für die Auswahl Olynths (**Abbildung 3.2.2**) für die Untersuchung der Belichtungssituation in einem griechischen Haus mit nooR.

Für die Untersuchungen wurde dabei als repräsentatives Haus (**Abbildung 3.2.3**), das bei HOEPFNER et al. (1986) illustrierte Typenhaus „Süd“ - siehe auch kritische Anmerkungen (CAHILL 2001a) zur Idee eines Typenhauses- gewählt und für die Simulationen leicht modifiziert. Die Bedeutung von Olynth für das Verständnis des griechischen Wohnhauses wird ausführlich bei CAHILL (2001b) dargelegt. Die Unterschiede zum bei HOEPFNER et al. (1999, 1986) illustrierten Typenhaus, liegen hauptsächlich in Maßabweichungen und in der Interpretation der Isometrie für die Ausführung von Dach- und Obergeschoß (**Abbildung 3.2.4**). Daß die verwen-

deten Aufrisse des Gebäudes, sowie die Fensterdetails, nicht durch archäologische Befunde gesichert sind, ist eine Einschränkung, die nicht zu umgehen ist. Es wurde aber versucht auf Grundlage anderer bei HOEPFNER et al. (1999, 1986) angeführten Ausgrabungen eine plausible Ausführung zu wählen.

Das Typenhaus nach HOEPFNER et al. (1986a) wurde gewählt, um einen imaginären Sollzustand darzustellen, der eventuell weitere Rückschlüsse auf ein Planungsziel hin ermöglicht. Dabei steht im Mittelpunkt der Untersuchungen, welchen Einfluß der nooR auf das Belichtungspotential und die Nutzung des griechischen Hauses hat, wie zusätzliche Lichtquellen die Lichtverteilung beeinflussen und dadurch die charakteristische Erscheinungsform geprägt haben. Allgemeine Hinweis zum nooR finden sich im Anhang A2. Punkt 3 „Der nach oben offene Raum in Olynth“.

3.2.4.2 Vorschlag für einen Beurteilungsmaßstab für die Belichtungsverhältnisse in einem griechischen Haus

Aus den ausgewerteten Texten lassen sich keine konkreten bauphysikalischen Anforderungen ableiten, schon gar nicht erwünschte Mindestbeleuchtungsstärken.

Trotzdem gibt die Art der Nutzung, bzw. die der ausgeführten Tätigkeiten, einen gewissen Hinweis auf die Anforderungen an die Belichtung in den unterschiedlichen Räumen. Da das Haus der hauptsächliche Aufenthaltsort für die griechische Frau war und die Ausübung der Haushaltstätigkeiten ermöglichen mußte (die Frau war nach XENOPHON für die Haushaltung verantwortlich) dürfte die Gestaltung dieses Arbeitsplatzes (Belichtung) von der Frau eventuell (mit)bestimmt worden sein.

Darüber hinaus sind die im Haus ausgeführten handwerklichen Tätigkeiten und die daraus resultierenden Forderungen an eine angemessene Beleuchtung bestimmend für die Belichtung mit Tageslicht. Da die handwerklichen Tätigkeiten vor allem im nooR oder in eigens dafür eingerichteten Werkstätten ausgeführt wurden, sind die Tätigkeiten des Haushalts, die in jedem Haus ausgeführt wurden, der wesentliche Maßstab für die Belichtung.

Inwieweit der Repräsentationscharakter des Andron und die Idee der Skenographie Motivation für eine effektvolle Belichtung gewesen sind, kann hier nicht geklärt werden. Weitere Überlegungen zur Belichtung und dem bauphysikalischen Verständnis in der Antike finden sich im Anhang A.2 Punkt 3 und 4.



Abbildung 3.2.2: Olynth, Cahill (2001)

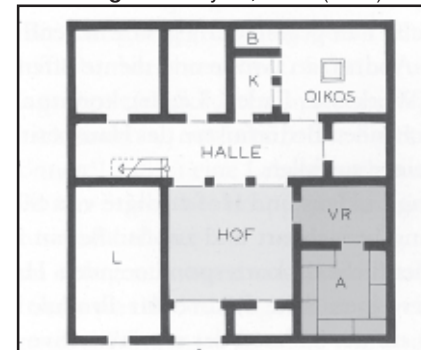


Abbildung 3.2.3: Typenhaus Süd, Hoepfner et al. (1986)

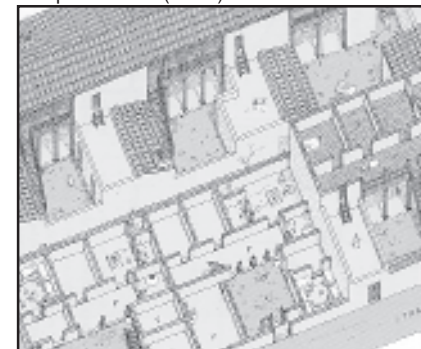


Abbildung 3.2.4: Isometrie, Hoepfner et al. (1986)

Als Kriterium für eine Bewertung der Belichtungssituation eines griechischen Hauses wird das Weben (**Abbildung 3.2.5**) gewählt.

Die Frau war, wie bei HOEPFNER et al. (1999b) beschrieben, in gewissem Sinne eine Fachkraft als Textilarbeiterin, die mit ihren Produkten die Familie kleidete. Daraus resultieren Anforderungen an die Beleuchtung des (Web-) Arbeitsplatzes und dessen Lage. Basierend auf den Anforderungen an die Belichtungssituation (Mindestbeleuchtungsstärke, Kontrast, Farbsehen etc.) für das Weben kann die Beleuchtungssituation in den unterschiedlichen Räumen mit dem Maßstab „weben“ bewertet werden.

Anforderungen an einen solchen Arbeitsplatz könnten gewesen sein:

- Mindestbeleuchtungsstärke, um Farbunterschiede erkennen zu können,
- keine oder sehr geringe Blendung,
- kein direktes Licht, welches evtl. zum partiellen Ausbleichen von farbigen Stoffstücken führen kann,
- bei Lagerung und Herstellung größerer Arbeiten keine zu hohen Beleuchtungsstärken, um ein Ausbleichen zu vermeiden,
- möglichst geringe Verrauchung (Verschmutzung bei Lagerung und Verarbeitung),
- ausreichender Kontrast.

Als Anforderungen an eine gute Beleuchtung in einem Textilbetrieb werden in der heutigen Zeit von der Fördergemeinschaft Gutes Licht folgende Anforderungen gestellt:

- beim Spinnen, Spulen, Stricken, Weben eine Nennbeleuchtungsstärke von 500 Lux, beim Färben 300 Lux,
- die Oberflächenstruktur muß gut erkennbar sein, sowie der Verlauf der Naht,
- gute Farbwiedergabe, damit Farbunterschiede leicht erkennbar sind,
- Licht muß eine ausreichende Schattigkeit aufweisen, um Unregelmäßigkeiten bzw. Webfehler zu erkennen,
- Leuchten (Lichtbänder) sind in Richtung der Kettenfäden auszurichten.

Aus diesen grundlegenden Anforderungen läßt sich bis zu einem gewissen Grad die erwünschte Beleuchtungssituation für ein griechisches Haus ableiten.

Beim Weben müssen - wie oben bereits erläutert - die Anforderungen an eine ausreichende Beleuchtungsstärke und eine möglichst geringe Blendung erfüllt sein.

Blendung tritt auf als disability glare (physiologische Blendung) oder als discomfort glare (psychologische Blendung). In HENTSCHEL (1994a) werden nach ARNDT et al. (1938) folgende Blendungsarten unterschieden:

- Absolutblendung bei Leuchtdichten $\geq 10^4$ cd/ m² (keine Erhöhung des Adaptionsniveaus mehr möglich),
- Relativblendung durch zu große Leuchtdichtenkontraste im Gesichtsfeld, Anhebung der mittleren Leuchtdichte im Gesichtsfeld zum Mildern der Blendung,
- Infeldblendung / Umfeldblendung, blendender Gegenstand und wahrenzunehmender Gegenstand nahe beieinander oder Blendlichtquelle im Gesichtsfeld,
- Direktblendung durch Einwirkung der Blendquelle direkt auf das Auge,
- Reflexblendung durch spiegelnde Reflexion.

Für das Farbsehen muß folgende Bedingung erfüllt werden. Während Stäbchen -zuständig für Nachtsehen und nicht farbtüchtig- von 0,01 cd/m² bis etwa 10^{-6} cd/m² (absolute Sehschwelle) allein aktiv sind, sind Zapfen - zuständig für Tag- und Farbsehen - von etwa 3 cd/m² bis zur absoluten Blendung 10^4 (photopisches Sehen) aktiv (HENTSCHEL 1994b).

Weitere Bereiche der Sehleistung (z.B. Kontrast zwischen dunklem Faden und verrauchter Wand), wie Formempfindlichkeit (Sehschärfe) oder auch zeitabhängige Sehvorgänge und die Auswirkung auf die Beleuchtung von Gegenständen



Abbildung 3.2.5: Darstellung eines Webstuhls, Cahill 2001

den, werden nicht behandelt. Generell ist von einem Anwachsen der Schwellenwerte auszugehen (HENTSCHEL 1994c).

Somit kann das Weben, einen Vorgang, bei dem ein dünner Faden (Auflösung) mit weiteren dünnen Fäden verwoben wird (räumliche Wahrnehmung, Formensehen), auch in der damaligen Zeit, wegen der physiologischen Beschränkungen der Sehleistung durch das menschliche Auge (Auflösungsvermögen, räumliche Wahrnehmung, Grenze des Farbsehens), als Beurteilungsmaßstab für die Lichtqualität in griechischen Häusern und nooR genommen werden.

Der nooR und die angrenzenden Räume können auf ihre Tauglichkeit für das Weben untersucht werden und Rückschlüsse auf die Verwendung der Räume und ihr durch den nooR geprägtes Lichtmilieu und Belichtungspotential gezogen werden.

Außerdem sind die von CAHILL (2001) gemachten Aussagen zur Haushaltsführung und zur Aufstellung von Webstühlen in Olynth eine gute Datenbasis für die Beurteilung der These, da hier bereits das Kriterium „Belichtungsmöglichkeit“ zur Bewertung der Funde (Webgewichte) herangezogen wird.

Aussagen über die Beleuchtungsstärken, Lichtqualität werden bei CAHILL (2001c) allerdings nicht getroffen.

3.2.4.3 Einzelprobleme bei der Untersuchung der Belichtungsverhältnisse

Das wesentliche Problem bei der Untersuchung der Belichtungssituation eines griechischen Hofhauses ist das Fehlen eines konkreten Aufrisses, mit detaillierter Fensterausbildung. Für die hier durchgeführten Untersuchungen

wurden deshalb die VON HOEPFNER et al. (1999c) gemachten Zusammenfassungen zu unterschiedlichen konstruktiven Problemen (bei unterschiedlichen Gebäuden) als Grundlage genommen.

So basieren die untersuchten Fenstervarianten auf den Angaben zum (Abbildung 3.2.10) Haus 1 in Orraon (HOEPFNER et al. 1999d), wobei es sich bei diesem Gebäude um ein Steinhaus handelt, im Gegensatz zu der in Olynth üblichen Lehmbauweise.

HOEPFNER et al. (1986b) geht davon aus, daß in Olynth die „üblichen Lichtöffnungen aus Schlitzen und Luken bestanden haben“ (vgl. Abbildung 3.2.6-9, sowie CAHILL 2001d).

Allgemein ist zu sagen, daß Räume nur selten monofunktional (Andron), sondern polyfunktional ausgelegt waren. So kommt jeder Raum für eine Vielzahl von Nut-

zungen in Frage. Erst die konkrete Bewertung der Belichtungssituation kann hier bei der Beurteilung weiter helfen.

Nach XENOPHON müssen bei der Raumnutzung und Organisation des Hauses folgende Kriterien beachtet werden: Sicherheit, Trockenheit, Wärme, Licht (vgl. CAHILL 2002e), männlich, weiblich.

Wie HOEPFNER et al. (1999e) beschreibt und darlegt, bedarf der griechische Wohnungsbau in einer geplanten Stadt einer entsprechenden Spezialisierung und Vorausplanung. Für die Untersuchung gewählte Angaben basieren auf den Angaben von HOEPFNER et al. (1999) und CAHILL (2001) (vgl. Tabelle a.4; a.5).

Für die Gestaltung der Wände, Böden und Decken kann das House of Many colors (F-ii 9) herangezogen werden (CAHILL 2001f). Hier sind die nooR-Wände gelb gestri-

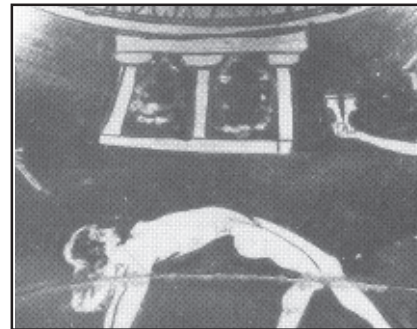


Abbildung 3.2.6-9 : Darstellungen von Fenstern auf verschiedenen Vasen (aus Hoepfner et al. 1999, 1986)

chen, die Wände im Pastas und in den anderen Räumen sind rot, die Exedra im unteren Bereich blau und darüber gelb. In der Küche wurde eine weiße Sockelleiste und darüberliegende rote Wände freigelegt. Im Haus A ii 4 war das Adron auch farblich gestaltet CAHILL (2001g). Inwieweit diese Farbgestaltung allgemein üblich war oder nur wie HOEPFNER et al. (1999f) schreibt in „hervorgehobenen Räumen“ vorkam, sei dahingestellt. Denn auch weiß (Kalkanstrich) gestrichene, oder mit Lehm verputzte (HOEPFNER et al. 1999g) Räume dürften von den Reflexionswerten

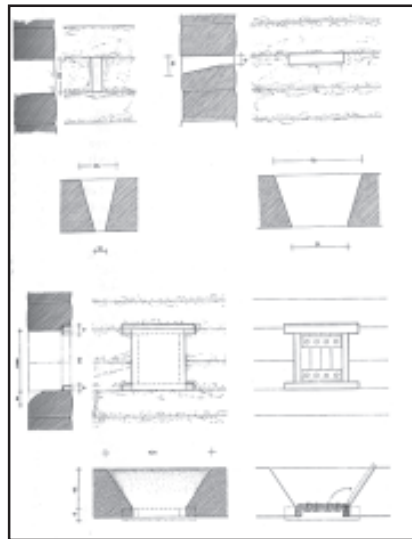


Abbildung 3.2.10: Fensterausbildung im Andron Haus 1 Orraon (Hoepfner et al. 1999)

ähnlich eingestuft werden, da es durch offenes Feuer, Öllampen etc. teilweise zu einer sehr starken Verrußung gekommen sein muß. Die Farbigkeit der Räume dürfte darunter wohl gelitten und ein häufiges Streichen der Räume erfordert haben.

3.2.4.4 Aufstellung eines Webstuhls

Der griechische Webstuhl war beweglich, konnte aber, sobald ein Stück in Arbeit war, nicht mehr bewegt werden, bis die Arbeit abgeschlossen war (CAHILL 2001h). Das bedeutet, daß der Platz bzw. Raum zum Weben für längere Zeit gute Arbeitsbedingungen (Licht, Schutz vor Niederschlägen etc.) bieten mußte. Bei HOMER webt Penelope in der oberen Kammer, außerdem war „ein großes Gewebe aufgestellt in den Hallen“. XENOPHON macht folgende Aussage, daß „... die Herstellung der Kleider aus Wolle nur in den gedeckten Räumen geschehe.“. CAHILL 2001 hat dabei durch Analyse der Verteilung von in den Häusern gefundenen Webgewichten (Abbildung 3.2.11) versucht, den Aufstellungsort für den Webstuhl zu rekonstruieren. Dabei wurden auch die möglichen Lichtquellen und ihre Lage zur Beurteilung der Räume auf ihre Eignung zum Weben mit her-

angezogen. Trotzdem konnte die Lage des Webstuhles nicht immer befriedigend geklärt werden. Quantitative Angaben, die über das Vorhandensein einer Lichtquelle hinausgehen wurden nicht getroffen. Somit sind die Untersuchungen von CAHILL (2001i) zum Aufstellungs-ort von Webstühlen unter Berücksichtigung der Lichtquelle, eine wesentliche Datengrundlage für die Überprüfung des Bewertungs-

maßstabes (siehe Anhang **Tabelle a.5**).

Ein geeigneter Platz für die Aufstellung eines Webstuhles mußte also u.a. folgende Anforderungen erfüllen (vgl. auch **Tabelle 3.2.4**):

- ausreichende Belichtung,
- Schutz vor Witterung,
- Schutz vor Rauch,
- absperrbar (?), damit Kinder oder Haustiere keinen Schaden anrichten (?).

Abbildung 3.2.11: Verteilung von Webgewichten in einzelnen Häusern (CAHILL 2001)



Der nooR und der Pastasbereich dürfte nur sehr begrenzt zum Weben benutzt worden sein, ebenso Räume in denen offenes Feuer brannte oder durch die der Rauch nach außen abgeführt wurde.

3.2.4.5 Computersimulationen der Belichtungsverhältnisse und Auswertung der Ergebnisse

Wie schon beschrieben, wurde basierend auf den Angaben von HOEPFNER et al. (1986c) ein Typenhaus für die Belichtung ent-

wickelt (vgl. Anhang E). Dort ist das verwendete Typenhaus in Schnitt, Grundriß dargestellt. Für eine Beurteilung der Belichtungssituation wurden folgende Simulationen durchgeführt:

1. Typenhaus mit großen Fenstern, Türen geöffnet und Umgebung,
2. Typenhaus mit geschlossenen Fenstern Belichtung nur über den nooR,
3. Typenhaus mit kleinen Fenstern, ansonsten wie Fall 1,
4. Typenhaus mit liegenden Fenstern, ansonsten wie Fall 1.

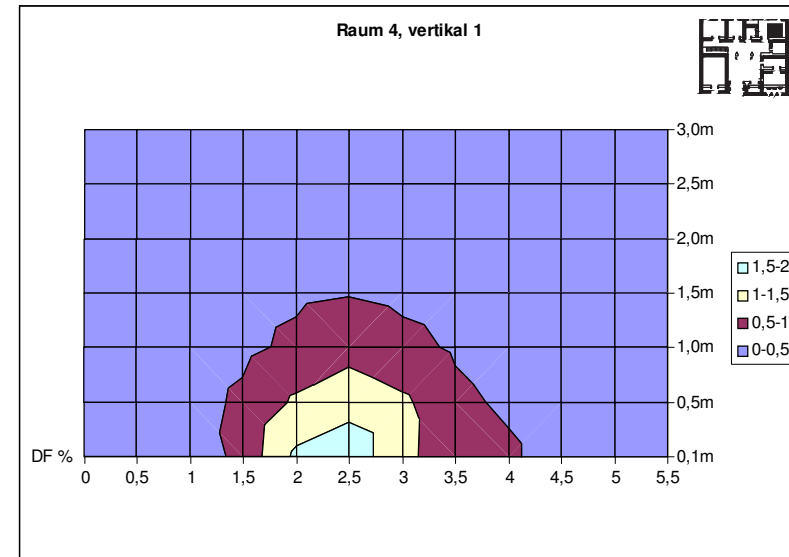


Abbildung 3.2.13 : Verteilung Tageslichtfaktoren im Raum 4 (vertikal)

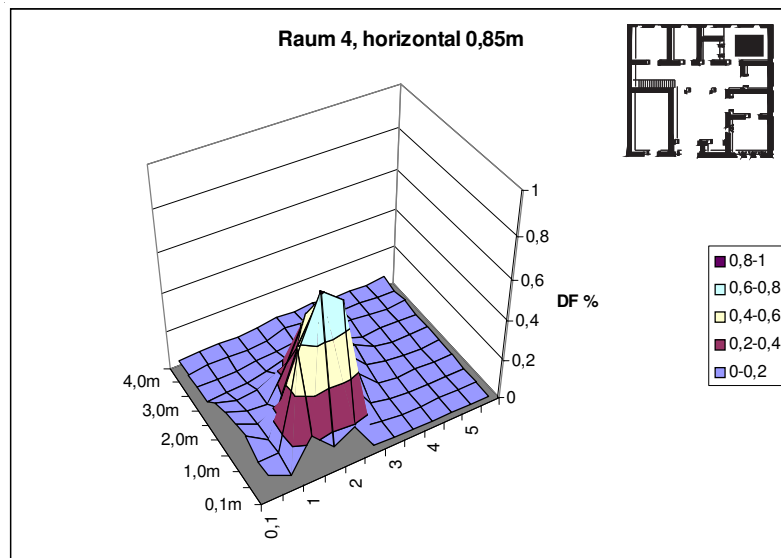


Abbildung 3.2.12 : Verteilung Tageslichtfaktoren(horizontal) im Raum 4

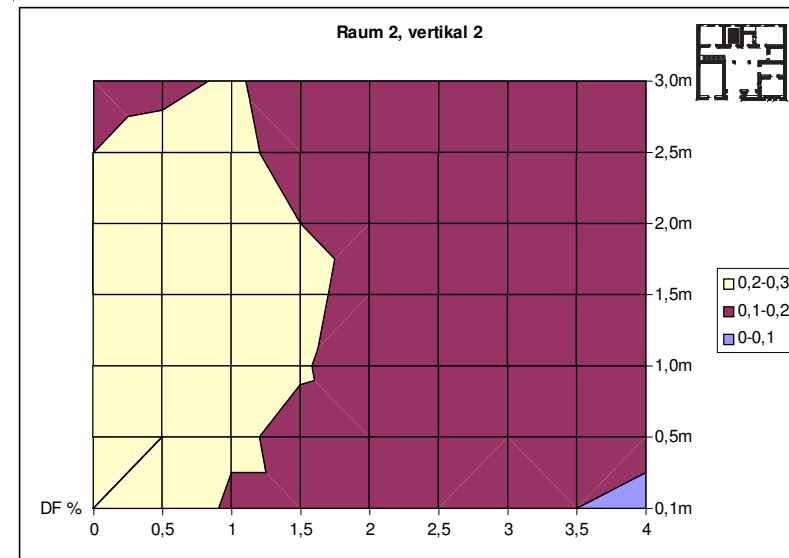


Abbildung 3.2.14 : Verteilung Tageslichtfaktoren im Raum 2 (vertikal)

Die Untersuchungen konzentrieren sich dabei besonders auf den Raum 4, den oikos. Der oikos war der Wohnraum des Hauses und nahm auf Grund seiner Verbindung mit dem Kaminraum eine besondere Stellung in der griechischen Architektur ein (HOEPFNER et al. 1999h), da „in Olynth mit der Konstruktion des Kaminzimmers der Oikos niedrig gehalten werden (konnte), und somit war ein Obergeschoß über dem Oikos möglich.“

Verwendete Reflexionsgrade für die Belichtungssimulation sind:

Boden (innen)	30%
Boden (außen)	40%
Innenwände	45%
Außenwände	30%
Decken	20%
Umgebung	30%

Die gewählten Reflexionseigenschaften sind Schätzwerte (vgl. **Tabelle a.4**). Je nach Nutzung, Grad des Gebrauchs, auch Einrichtung, können diese Werte nach unten oder oben abweichen. Decken und Wände können auf Grund des offenen Feuers in der Küche Reflexionsgrade unter 10% aufweisen. Estriche oder mit Kalk gestrichene Wände und Böden können im frischen Zustand hohe Reflexionsgrade erreichen. Insofern sind die gewählten Werte als angenommene Mittelwerte zu betrachten und die Ergebnisse nicht ohne ent-

sprechende Kenntnisse der gewählten Parameter zu bewerten. Für die Umgebung wurde das untersuchte Typenhaus als Kopie eingesetzt ohne Veränderung der Dachform oder des Grundrisses. Mögliche Abweichungen auf Grund individueller Ausformung der Umgebung sind nicht berücksichtigt.

Generell sind die vorgefundenen Belichtungsstärken in den Räumen sehr gering (**Abbildung 3.2.12-24** und **Tabelle 3.2.5**). Die Mittelwerte des Tageslichtquotienten bewegen sich in normaler Arbeitshöhe, bei geöffneten Türen um die 0,3% bis 0,07% im Andron. Dies entspricht Werten unter 50 lux. Wird auch noch die Tür geschlossen, erreichen die Werte in Raum 4, Belichtung ausschließlich durch Fenster und Kamin, nur noch mittlere Werte um die 0,03% und einen Maxi-

malwert von 0,13%. Die Fenstergröße scheint keinen großen Einfluß auf die Belichtung zu haben, die Mittelwerte (Raum 4) bleiben konstant (**Tabelle 3.2.5** und **Abbildung 3.2.12-24**), nur der maximale Wert ist geringfügig höher. Ein Grund dafür ist die dichte Bebauung und der damit fehlende direkte Lichteinfall. Es steht für die Räume kein Zenitlicht zur Verfügung. Das Licht erreicht den Raum erst durch Mehrfachreflexion durch die relativ kleinen Fenster (0,03m² bis 0,36m²).

Der Kamin, wenn er als Lichtschacht genutzt wurde, hat mit einem mittleren Tageslichtquotienten von 5,37% (unter der Öffnung) nur einen geringen Effekt auf die Belichtung des Raumes, da nur in der direkten Umgebung die Tageslichtquotienten leicht erhöht sind. Hier

erreichen die Werte ein Maximum von 0,13% im Raum bei geschlossener Tür.

Gründe dafür sind die geringen Reflexionswerte, die bei einem vom Rauch geschwärzten Raum kaum die angenommenen 10% erreicht haben dürften. Insofern sind die ermittelten Werte als zu optimistisch einzuordnen.

Außerdem hat sich nach HOEPFNER et al. (1999i) der Raum nach oben verjüngt, wodurch die Lichteintrittsfläche kleiner ausfallen dürfte als in der Simulation.

Führt man die Berechnungen der Tageslichtquotienten für Raum 4 ohne Umgebung durch, liegt der mittlere Tageslichtquotient bei 0,23, also bei gut dem 2-fachen. Der minimale Wert steigt sogar um das 3,5-fache an, der maximale Wert

Tabelle 3.2.4: Räume und ihre Eignung zum Weben, sowie ermittelte Tageslichtfaktoren (DF %) für das untersuchte Typenhaus

Raum , Funde von Webgewichten	Bewertung, Anforderung	Eignung allgemein	DF%
Andron, keine		keine	0,07
nooR, ja	direkte Witterungseinwirkung, halböffentlicher Raum	bedingt	38,59
Oikos, ja	Küche und teilweise Aufgang zum Obergschoß, Aufenthalt von Kindern ?, Mehrzweckraum	bedingt	0,11
Obergeschoß, ja	gute Belichtung, zum Teil rauchig?, nicht allgemein zugänglich	gut	-
Pastas, ja	Zugangsbereich zu Räumen (Störung ?), gute Belichtung, begrenzter Witterungsschutz, wird aber auch zum Kochen benutzt	gut - bedingt	4,99
sonstige Räume, ja	Belichtung fraglich, Einzelnutzung möglich; absperbar	gut	0,03--0,25

steigt dagegen nur um das 1,3-fache. Topographische Effekte (ansteigendes Gelände), die hier nicht untersucht wurden, dürften eine nicht zu unterschätzende Rolle bei der Belichtung gespielt haben. Maßgeblich für die Belichtung sind die zum nooR hin offenen Türen. So stellt sich die Frage, ob die Fenster hauptsächlich für die Belichtung oder im wesentlichen der Belüftung dienen, da Größe und Lage der Fenster keine optimale, bzw. ausreichende Belichtung gewährleisten. Die Tageslichtquotienten, gemessen auf der Höhe der Fenster mit Maximalwerten von 0,04% bis 0,15% unterstreichen diese Annahme. Es ist allerdings auch anzumerken, daß es durch die Verwendung von „mkillum“ zu einer Verschiebung der Tageslichtquotienten im Bereich der Tür zur Raummitte gekommen ist. Da „mkillum“ die Lichtverteilungskurve für die sekundäre Lichtquelle in der Mitte des „illum“-Objektes setzt, hier die Tür, liegen die durch den nooR erhellten Bereiche des Raumes zu weit in Raummitte und nicht direkt in Türnähe (**Abbildung 3.2.12-24**). Abhilfe würde hier die Unterteilung des „illums“ Tür in mehrere Objekte schaffen. So kommt es zu einer leichten Überschätzung der Verteilung im Raum.

In der Simulation mit geschlossenen Türen wird diese Überschätzung sichtbar. Betrachtet man die Ausnutzung des nooR als Lichtquelle, wird für die Vorhalle eine Ausnutzung von 12,9% ermittelt, für den Raum 2 eine Ausnutzung von 0,6%.

Die horizontalen Beleuchtungsniveaus (**Tabelle 3.2.5**) in den Wohn- und Arbeitsbereichen sind für heutige Verhältnisse nicht ausreichend. Nur in den direkt an den nooR angrenzenden Bereichen sind die Beleuchtungsstärken mit Tageslichtquotienten von 4,99% im Mittel (Vorhalle) als ausreichend zu betrachten.

Tageslichtquotienten von 0,5%, die ein Minimum für Wohnräume darstellen, finden sich nur bei ca. 5% der Berechnungspunkte, bei einem Maximum von 0,91 % in Raum 4 mit großem Fenster und geöffneter Tür. Nur der Raum 2 weist bei allen Fenstervarianten, auf Grund seiner Lage zum nooR, Werte um die 0,25% im Mittel auf. Der Abweichung des Maximalwertes bei Raum 2 von 6,21% im Bereich der Tür konnte allerdings auch nach eingehender Analyse der Simulation und mehrfacher Wiederholung (Simulation und Modellbildung) nicht geklärt werden. Es ist dabei zu bedenken, daß die Methode des backward raytracing

Tabelle 3.2.5: Zusammenfassung Simulationsergebnisse

	Mittelwert DF%	Max. DF %	Min. DF%	Anteil DF% >0,5 in %
Fenster groß (60*60cm)				
Raum 4; 0,85m	0,11	0,91	0,02	5,00
Raum 4; 2,20m	0,03	0,15	0,02	0,00
Raum 4; nur Fenster	0,03	0,13	0,01	0,00
Raum 4; ohne Umgebung	0,23	1,15	0,07	10,83
Raum 4; vertikal 1	0,33	1,84	0,07	16,67
Raum 4; vertikal 2	0,17	0,30	0,09	0,00
Raum 4; Kamin	5,37	8,80	2,08	100,00
Raum 2	0,25	1,91	0,04	15,71
Raum 2; vertikal 2	0,39	1,24	0,09	26,98
Raum 1	0,06	1,68	0,01	2,00
Raum 5	0,07	0,57	0,02	2,04
Andron	0,07	0,33	0,00	0,00
Vorhalle	4,99	24,87	0,07	72,96
nooR	38,59	51,75	22,79	100,00
Fenster vertikal (10*35cm)				
Raum 4	0,11	0,79	0,02	5,83
Raum 4; 2,20m	0,02	0,05	0,02	0,00
Raum 2	0,36	6,21	0,03	15,71
Fenster horizontal (50*6cm)				
Raum 4	0,11	0,73	0,02	5,83
Raum 4; 2,20m	0,02	0,04	0,01	0,00
Raum 2	0,25	1,87	0,03	17,14

bei diesen geringen Beleuchtungsstärken und kleinen Fensterflächen, sowie den verwendeten (teilweise stochastischen) Verfahren zum Finden von Lichtquellen eventuell an ihre Grenzen stoßen dürfte.

Die für das Weben notwendigen vertikalen Beleuchtungsniveaus entsprechen nicht den heute geforderten Werten (**Abbildung 3.2.12-24**). Berechnet man die mittleren vertikalen Tageslichtquotienten für die Räume 2 und 4 ergeben sich Werte von 0,17% bis 0,39%. Dies entspricht Beleuchtungsstärken von 17 bis 39 lux, wobei die Maximalwerte bei 124 bis 184 lux liegen. Berechnet man nun nach der Formel $L = E r / \pi$ die Leuchtdichte mit r gleich dem Reflexionsgrad einer diffusen Fläche (FREYMUTH 1984b), E der Beleuchtungsstärke ergeben sich für hellen Stoff ($r=0,5$) und dunklen Stoff ($r=0,2$) bei 50 lux Leuchtdichten von 8 cd/m^2 und 3 cd/m^2 .

Dabei ist festzustellen, daß sich im Bereich von $0,01 \text{ cd/m}^2$ bis 3 cd/m^2 der mesopische Bereich des Sehens erstreckt, das heißt die Zapfen, die für das Farbsehen verantwortlich sind, im untersten Bereich ihrer Empfindlichkeit erregt werden (HENTSCHEL 1994d). Zum Erfüllen der Sehaufgabe ist somit eine entsprechende Adaption des Auges notwendig, ohne stören-

de Lichteinwirkungen. Ferner ist zu bedenken, daß bei der in Raum 4 angenommenen Arbeitsfläche das Licht vom nooR bzw. Kamin durch die davorstehende Weberin abgeschirmt und es zu einer zusätzlichen Abdunkelung des Arbeitsbereiches kommt.

Da außerdem nooR und Kamin je nach Anordnung der Arbeitsfläche im Raum 4 direkt im Gesichtsfeld liegen, kommt es zu enorm hohen Leuchtdichtekontrasten mit einem minimalen Wert von $0,11 \text{ cd/m}^2$ im Aufstellungsbereich Badewanne und einem maximalen Wert von 530 cd/m^2 im nooR. Es ist davon auszugehen, daß auf Grund des hohen möglichen Leuchtdichtekontrastes vom 166fachen zu nicht unerheblichen Blendeffekten (Relativblendung; Infeldblendung bzw. auch Reflexblendung) kommt, die die Arbeitsleistung herabsetzen und die Fehlerhäufigkeit ansteigen lassen.

Für die Bewertung des Hauses in Bezug auf das Weben kann gefolgert werden, daß die Werte aus heutiger Sicht wohl viel zu niedrig sind, Weben aber durchaus im Haus bei geöffneten Türen möglich war. Bei geschlossenen Türen und einer Belichtung durch das Fenster (Raum 4, Mittelwert 3 lux) dürfte das Weben, abhängig von der Stofffarbe, nur begrenzt möglich ge-

wesen sein und nur unter für die Augen sehr anstrengenden Bedingungen mit einer erhöhten Fehlerrate. Hier ist die zur Hilfenahme von Öllampen etc. nicht auszuschließen.

So sind die bei CAHILL (2001) gefundenen Webgewichte nur ein Hinweis auf die Tätigkeit und vielleicht nicht immer mit dem Ort der Ausführung der Tätigkeit des Webens gleichzusetzen.

Für das Oberschoß konnten keine wesentlich besseren Werte ermittelt werden. Für die Räume 2 und 4 konnte bei den untersuchten möglichen vertikalen Arbeitsflächen ein TTI von 6,6% bis 36,8% errechnet werden. Allein in der Vorhalle erreicht auf der horizontalen Ebene der TTI annähernd 100%. Im nooR selbst dürfte aus tageslichttechnischer Sicht ohne Berücksichtigung von Blendung das Weben überall möglich gewesen sein.

Abschließend läßt sich wohl mit HOEPFNER et al. (1986d) sagen, daß „klassisch Wohnen hieß im Dunklen wohnen.“

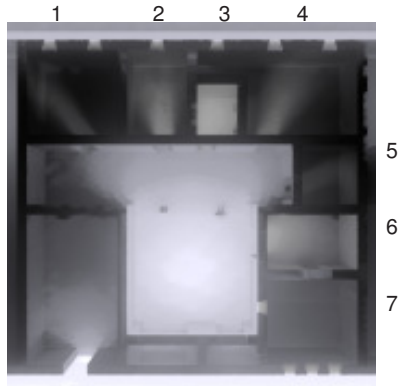


Abbildung 3.2.15: Horizontaler Schnitt durch ein Typenhaus mit Raumnummerierung



Abbildung 3.2.16: 360° Blick in die Vorhalle



Abbildung 3.2.17 (oben): 360° Grad Blick in Raum 4 (oikos)

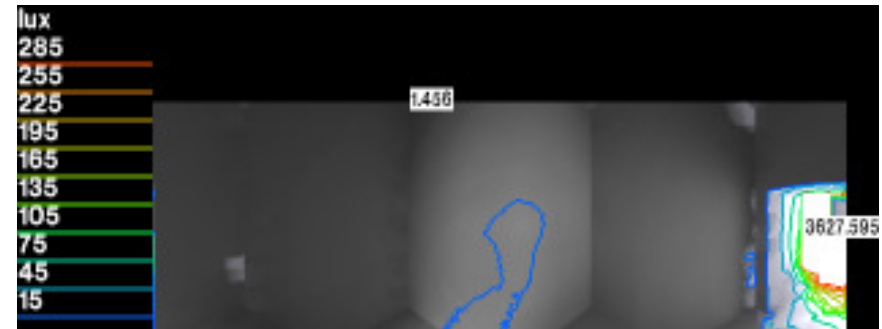


Abbildung 3.2.18 (oben): 360° Grad Blick Raum 5

Abbildung 3.2.19 (unten): 360° Grad Blick Raum 1

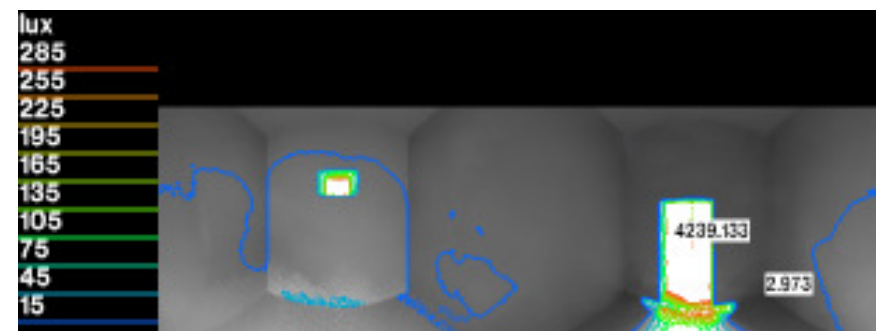
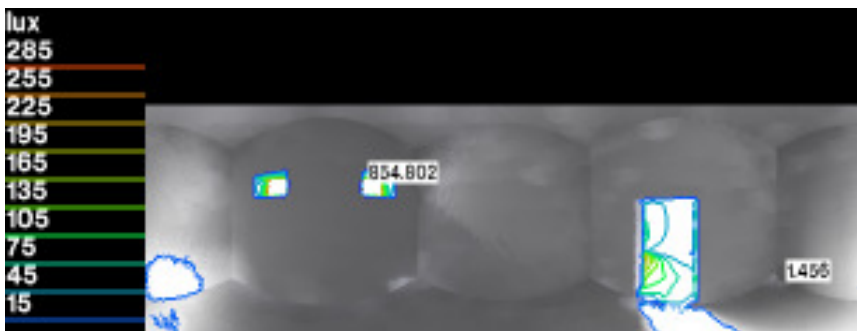


Abbildung 3.2.20 (unten): 360° Grad Blick Raum 2

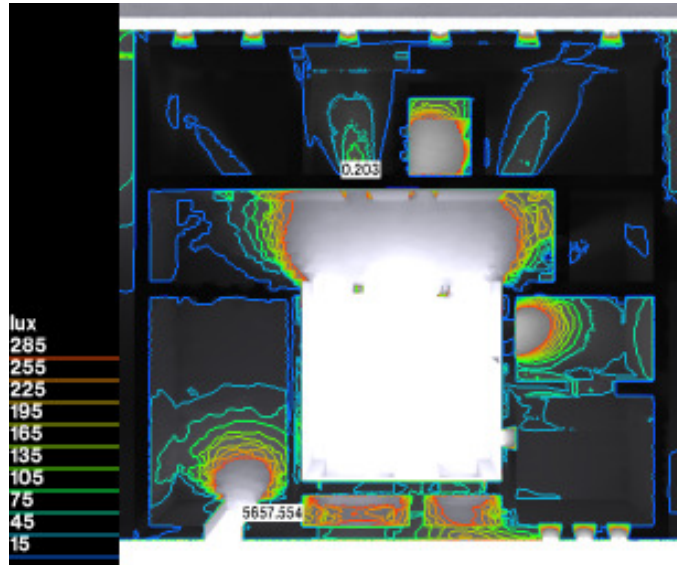


Abbildung 3.2.21 (oben): Typenhaus Erdgeschoß mit Fenster 60*60cm

Abbildung 3.2.23 (unten): Typenhaus Obergeschoß mit Fenstern 60*60cm

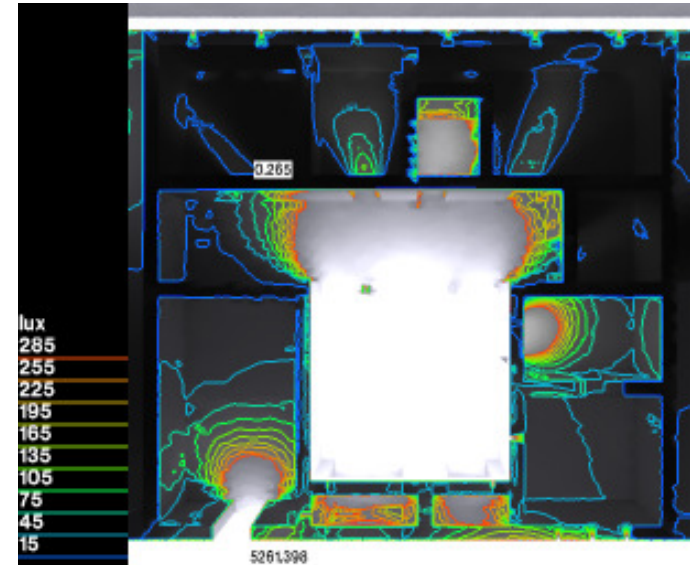
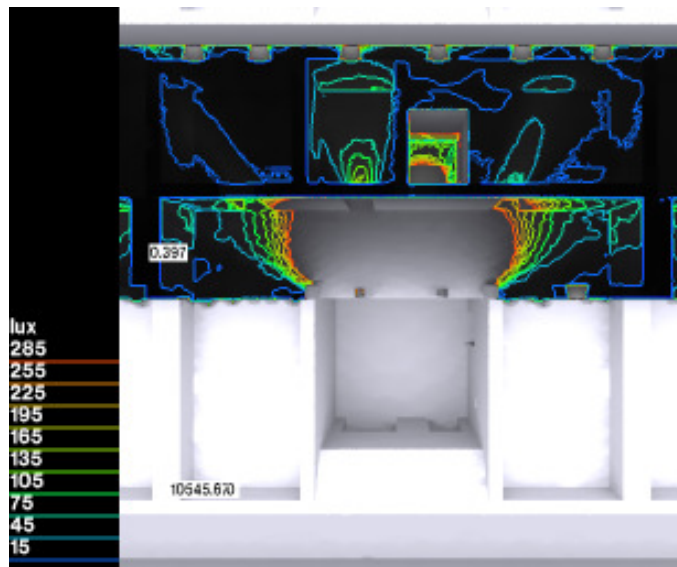
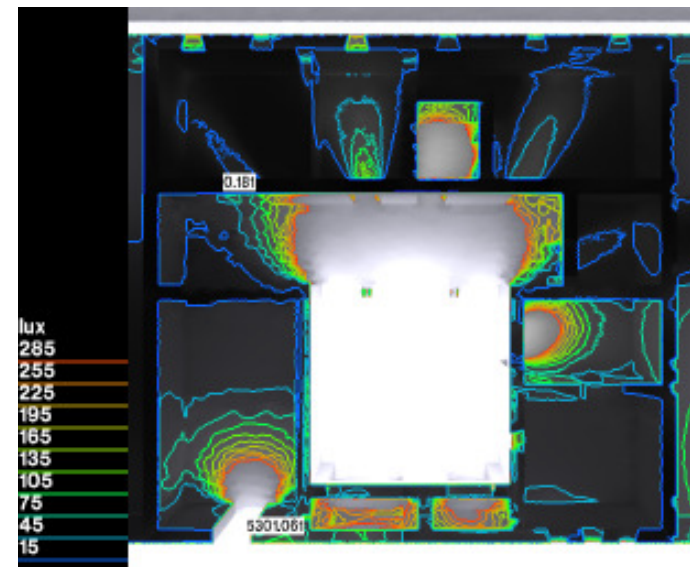


Abbildung 3.2.22 (oben): Typenhaus Erdgeschoß mit Fenster 10*35cm

Abbildung 3.2.24 (unten): Typenhaus Erdgeschoß mit Fenster 50*6cm



3.2.5 Der Palazzo Piccolomini

3.2.5.1 Der Palazzo Piccolomini in Pienza und das Verständnis der Tageslichtnutzung in der Renaissance

„Wenn, wie einige meinen, es zuallererst von den Lichtverhältnissen abhängt, ob ein Gebäude einem gefällt, dann wird man dieses Haus wirklich jedem anderen vorziehen müssen. Denn es steht nach allen vier Himmelsrichtungen frei, und das Licht fällt nicht nur durch die Fenster der Außenwände ein, sondern auch durch die auf der Hofseite, und zwar so reichlich, daß es selbst bis in die tiefsten Vorratskeller dringt. Wenn man vom obersten Geschoß nach Westen schaut, reicht der Blick über Montalcino und Siena bis ... „ (Silvio Enea Piccolomini, Papst Pius II. in der deutschen Übersetzung aus PIEPER 1997a). Die Art, wie Pius II. die Lichtqualität („Lichtverhältnisse „) und Lichtquantität („so reichlich“) beschreibt, ist der Grund für die Untersuchung der Auswirkung des nooR auf die Belichtungsverhältnisse des Palazzo. Auch darf man auf Grund der humanistischen Bildung Pius II. annehmen, daß der Palazzo in Form und Gestalt den neuesten wissenschaftlichen Kenntnissen entsprach.

Für eine zeitliche Einordnung sind folgende Eckpunkte genannt:

- 1415 Wiederentdeckung einer Vitruvhandschrift,
- 1435 Alberti vollendet Della Pittura,
- 1444 (begonnen) Palazzo Medici,
- 1446 (begonnen) Palazzo Rucellai,
- 1452 De re aedificatoria von Alberti Papst Nikolaus V. vorgelegt (MURRAY 1980), bis 1472 (Tod Alberti) immer wieder verändert,
- 1458 (begonnen) Palazzo Pitti,
- 1459-1463 Palazzo Piccolomini (**Abbildung 3.2.25**).

Pius II. hat sich mit der architektonischen Gestaltung seines Palastes ausführlich beschäftigt, welches von PIEPER (1997b) mehrfach an Hand von Quellen (u.a. Zitate von Flavius Blondus, 1392-1463) dargelegt wird.

Pius II. war ein in allen naturwissenschaftlichen Belangen kundiger Humanist. Auch der Architekt Bernardus (Bernardo Rosselino, bei PIEPER 1997), „der für Alberti am Palazzo Rucellai gearbeitet hatte“ (MURRAY 1980a), dürfte wohl ein mit allen theoretischen Überlegungen und praktischen Problemen der damaligen Zeit vertrauter und mit der Umsetzung der wissenschaftlichen Erkenntnisse erfahrener Architekt gewesen sein.

Dies um so mehr, als Alberti als Theoretiker ohne große (bau)praktische Erfahrung auf eine Person angewiesen war, die seine theoretischen Überlegungen verstehen und in Architektur umsetzen konnte.

Dazu schreibt MURRAY (1980): „Alberti, der fast immer einen Assistenten beschäftigte, der die eigentlichen Bauarbeiten für ihn erledigte, war vermutlich nicht in der Lage, das Konstruktionssystem der römischen Architektur zu verstehen, und interessierte sich gewiß auch nicht dafür.“

So ist in diesem Zusammenhang die von MURRAY (1980b) gemachte Aussage zu bezweifeln, „daß der Palast eine fast sklavische Kopie von Albertis Palazzo Rucellai ist, ...“, wie es auch PIEPER (1997c) darlegt, da sich der weit gereiste Pius II. sicherlich keine Kopie hätte „aufschwätzen“ lassen.

Wahrscheinlicher ist, daß Pius II. einen Architekten von großer Erfahrung ohne „Genieanspruch“ suchte, um seine eigenen Ideen perfekt verwirklicht zu sehen und nicht die seines Architekten.

Wie bereits erwähnt, war für den Bauherrn eine gute Belichtung ein Kennzeichen guter Architektur. Der damalige Kenntnisstand dürfte sich dabei aus der allgemeinen baupraktischen Erfahrung und den the-

oretischen Schriften von Alberti und Vitruv zusammengesetzt haben. Während die allgemeine Baupraxis wohl keine hohen Anforderungen an die Belichtung stellte, ansonsten hätte Pius II. die Belichtungssituation seines Palazzo nicht so hervorgehoben, zeigt eine Untersuchung der Schriften Vitruvs und Albertis durchaus auch heute noch beachtliches Wissen zur Belichtung mit Tageslicht. Bei der Untersuchung der architekturtheoretischen Schriften VITRUVS und ALBERTIS ergibt sich der in **Tabelle 3.2.6** und **Tabelle 3.2.7** dargestellte Kenntnis-



Abbildung 3.2.25: Palazzo Piccolomini

stand über die Belichtung von Räumen. Inwieweit Modelle zur Untersuchung der Belichtungssituation eingesetzt worden sind, kann nicht beurteilt werden, auch wenn ALBERTI (1991a) den Modellbau zur Beurteilung des Gebäudes anrät:

„Deshalb werde ich immer den Brauch der alten tüchtigen Baumeister gutheißen, nicht nur durch Pläne und Zeichnungen, sondern auch an der Hand von Modellen aus Holz oder aus was immer, das gesamte Bauwerk und die Maße jedes einzelnen Gliedes nach den Ratschlägen der gewiegtesten Fachleute immer und immer wieder genau abzuwägen.“

Im Obergeschoß liegt der bei Pius II. „72-Fuß-Saal“ oder auch „Saal der sechs Türen“ genannte Raum, der bei PIEPER (1997) als Raum I 15 bezeichnet wird. Dieser Raum ist aus folgendem Grund, wie PIEPER (1997d) schreibt, von Bedeutung: „Der 72-Fuß-Saal (I 15) ist mit ca. 112 m²; nur wenig kleiner als die römische Camera dei Paramenti mit ca. 146 m²; jedenfalls war sie groß genug, um den 37 Kardinälen aus Pius' Kardinalskollegium (und auch der Maximalzahl von 52) Platz für das geheime Konsistorium zu bieten.“

So muß ein Fenster den Anforderungen an die Belichtung, Belüftung, Proportion, wie auch an Gliederung

und Symmetrie der Fassade genügen.

Wie wesentlich für Pius II. die Belichtungssituation ist, zeigt folgendes Zitat aus seinen Commentarii, Buch IX in der Übersetzung bei PIEPER (1997e):

„Bewundernswert sind zuerst die breiten und gut gestalteten Fenster, die in zwei Reihen angeordnet sind. Im ersten Geschoß gibt es 23 Außenfenster, die in gleichen Abständen aufeinanderfolgen, und im zweiten ebensoviele. In der Mitte sind sie durch eingestellte Säulchen

unterteilt, und dennoch können drei Männer gleichzeitig hinausschauen.“

In der Reihenfolge der Beschreibung nimmt die Beschreibung der Fenster, nach der Beschreibung des Äußeren, von Form, Steinbearbeitung, der Entwässerung des Regenwasser durch ein Compluvium und Größe des Palastes, den zweiten Platz ein.

Den 72-Fuß-Saal (**Abbildung 3.2.26**) beschreibt Pius II. (Übersetzung PIEPER 1997f) wie folgt:



Abbildung 3.2.26: 72-Fuß-Saal mit elektrischer Beleuchtung (PIEPER 1997)

„Am Ende des Umgangs liegt der 72-Fuß-Saal, der sechs Türen, von denen zwei auf den Umgang führen, zwei zur mittleren Portikus, die dem Amiata zugekehrt ist, die beiden übrigen zu geräumigen und reich ausgestatteten Zimmern. Das eine erhält Licht von Osten, das andere von Westen. Der Saal selbst wird durch Türen belichtet, außerdem über große Fenster zum Hof, sowie über zwei kleinere, die zur Portikus hin liegen. ... Bemerkenswert ist auch die Kassettendecke mit ihrer gediegenen Zimmermannsarbeit und der reichen Malerei. Dieser Raum bietet zu jeder Jahreszeit einen angenehmen Aufenthalt, da er sich weder übermäßig aufheizt, noch sehr auskühlen kann.“ ...

Die Fußböden sind aus polierten und ganz und gar identischen Ziegeln so verlegt, daß nirgends eine Unebenheit entsteht. ... Wenn, wie einige meinen, es zu allererst von den Lichtverhältnissen abhängt, ob ein Gebäude einem gefällt, dann wird man dieses Haus wirklich jedem anderen vorziehen müssen. Denn es steht nach allen vier Himmelsrichtungen frei, und das Licht fällt nicht nur durch die Fenster der Außenwände ein, sondern auch durch die auf der Hofseite, und zwar so reichlich, daß es selbst bis in die tiefsten Vorratskeller dringt.“

Diese Zitate sind in ihrer Ausführlichkeit und Länge ein wesentlicher

Tabelle 3.2.6: Belichtung bei VITRUV (1964)

Fundstelle	Text	Problematik
Vitruv (1964a) 1. Buch, 1. Kapitel	Ferner wird, wenn man die Optik beherrscht, von bestimmten Stellen des Himmels das Licht richtig in die Gebäude geleitet.	Kenntnis der Horizonteinschränkung, unterschiedliche Leuchtdichtenverteilung des Himmels
Vitruv (1964b) 1. Buch, 1. Kapitel	Auch die Rechtsvorschriften muß er kennen, . . . und der Anlage von Fenstern zu beachten sind.	Vorschriften zur Bebauung (Nachbarschaftsschutz etc.)
Vitruv (1964c) 1. Buch, 1. Kapitel	... die Geometer die Natur des Sehens, die von den Griechen Logos opticos genannt wird	Kenntnis der Wahrnehmung und des Sehens
Vitruv (1964d) 9. Buch, 1. Kapitel	Ein Analemma ist eine mathematische Figur, die durch den Lauf der Sonnen ermittelt und durch die Beobachtung des wachsenden Schattens zur Wintersonnenwende hin gefunden ist, nach der durch die zur Baukunst gehörigen Verfahren und Beschreibung von Kreislinien die Wirkung (der Sonne) im Weltall ermittelt ist. (Anmerkung Hajek mundus Weltall, Welt evtl. auch Wirkung der Sonne auf der Erde)	Sonnengang, Verschattung
Vitruv (1964e) 6. Buch, 7. Kapitel	Bei allen Gebäuden muß man dafür sorgen, daß sie hell sind. Das ist offensichtlich leichter bei Gebäuden auf dem Lande, weil keine Mauer eines Nachbargrundstücks im Wege steht, in der Stadt aber entweder hohe gemeinsame Mauern oder die Enge der Straßen dadurch, daß sie der Lichtzufuhr im Wege steht, (die Räume) verdunkeln. Daher muß man sich darüber folgendermaßen Kenntnis verschaffen. Auf der Seite von der man den Lichteinfall haben muß, ziehe man von der Oberkante der Mauer, die im Wege zu stehen scheint, zu der Stelle an der man den Lichteinfall haben muß, eine Linie. Wenn man dann auf dieser Linie in die Höhe schaut und einen beträchtlichen Teil des heiteren Himmels sehen kann, dann wird an dieser Stelle der Lichteinfall unbehindert sein. 7. Wenn aber Balken, Oberschwelmen oder 374 höhere Stockwerke im Wege stehen, muß man darüber die Fensteröffnungen machen und so das Licht einfallen lassen. Und kurz gesagt: Man muß es so einrichten, daß an den Stellen 375 Fensteröffnungen gelassen werden, von denen man den Himmel sehen kann. So nämlich werden die Gebäude hell sein. Sehr viel Licht aber braucht man in den Speisezimmern und den übrigen Räumen, ganz besonders auch in Gängen mit ebenem Fußboden oder solchen, die abwärts geneigt sind, und auf Treppen, weil öfter Leute, die sich mit schweren Lasten begegnen, gegeneinander zu rennen pflegen. Soweit ich konnte, habe ich die bei uns übliche Anlage der Gebäude dargestellt, damit die Baulustigen nicht im Dunkeln tappen.	Horizonteinschränkung und Auswirkung auf die Lage von Fenstern, Konstruktionsanleitung für Fensterlage und zur Prüfung der möglichen Belichtung; Lichtbedarf von Raumarten, u.a. unter Berücksichtigung von Aspekten der Benutzungssicherheit
Vitruv (1964f) 7. Buch, 4. Kapitel	In Speiseräumen, die im Winter benutzt werden, ist infolge ihrer Anlage weder Melographia 445 noch eine feine Ausschmückung der gewölbten Decken mit Stukkatur zweckmäßig, weil diese vom Rauch des Feuers und vom vielen Ruß der Leuchten verdorben werden.	Auswirkung von künstlicher Beleuchtung auf Räume, Verschmutzung durch Rauch

Tabelle 3.2.7: Aufgabe von Fenstern bei ALBERTI 1991 (Auswahl)

Fundstelle	Text	Problematik
Alberti (1991a) 1. Buch, 2. Kapitel	Dann schuf man in der Mauer in Fußbodenhöhe Eingänge und weiter oben die Fenster um einerseits aus- und eingehen zu können, andererseits Licht und Luft bei schöner Witterung zu empfangen, auch um etwa innerhalb der Mauer angesammeltes Wasser und üblen Dünsten einen Ausweg zu schaffen.	Licht, Luft, Hygiene, Vermeiden von Feuchteschäden
Alberti (1991b) 1. Buch, 12. Kapitel	Der Erleuchtung dienen die Fenster, den Dingen die Türen, Stiegen und Säulenzwischenräume	Licht
Alberti (1991c) 1. Buch, 12. Kapitel	Jeder Bestandteil des Hauses soll Fenster haben, damit die eingeschlossene Luft entfernt und stündlich erneuert werden kann, denn sonst wird sie dumpf und bringt Schaden.	Luftwechselrate (stündlich, Vermeiden von Feuchteschäden)
Alberti (1991d) 1. Buch, 12. Kapitel	Es müssen also die einzelnen Gemächer Fenster haben, um Licht und frische Luft hereinzulassen, und zwar müssen sie der Bestimmung des Ortes und der Größe der Wand angemessen sein, damit sie weder zu viel, noch zu wenig Licht bringen, noch auch zahlreicher oder spärlicher sind als es ist. Auch achte man darauf, nach welcher Windrichtung die Fenster selbst sich öffnen. Wenden sie sich gesunden Lüften zu, so kann man sie sehr groß machen und ihre Öffnung so anlegen, daß der Luftzug den Körper der Einwohner umweht. Dies wird am ehesten der Fall sein, wenn die Fensterbrüstung niedrig ist, so daß man gesehen werden kann und auch in der Nachbarschaft Herumgehende sieht.	Belichtung, Ausblick und Belüftung von der Raumart, Orientierung der Fassade abhängig; Größe der Fenster, Lage der Fensterbrüstung
Alberti (1991e) 1. Buch, 12. Kapitel	Die Fenster die aber, welchen Windstößen ausgesetzt sind, die nicht sehr gesund sind, werden so angelegt, daß sie nicht weniger Licht bringen als nötig, doch auch nicht mehr als unentbehrlich. Und diese sollen in der Höhe angelegt werden, damit der Wind von den Körpern durch die schützende Mauer abgehalten werde. Denn auf diese Weise werden sie zwar dem Wind Zutritt gewähren, um die Luft zu erneuern, aber er wird gebrochen werden und dadurch nicht ganz so schädlich sein.	Vermeiden von Zugerscheinungen; Größe der Fenster, Lage der Fensterbrüstung
Alberti (1991f) 1. Buch, 12. Kapitel	Man beobachte auch, welche Sonne ins Gebäude scheint und je nach der verschiedenen Zutraglichkeit sind die Fenster enger oder weiter zu machen.	Fensterbreite und direktes Sonnenlicht
Alberti (1991g) 1. Buch, 12. Kapitel	Denn in Sommergemächern wird man sie, wenn sie gegen Norden liegen, allenthalben groß machen, liegen sie aber gegen Süden und sind sie der Sonne ausgesetzt, wird man sie tief und mäßig machen müssen, nachdem jene die Luft leichter einlassen, diese aber ein kleinerer Kreis von Sonnenstrahlen treffen wird.	Tiefe der Fensterleibung zur Steuerung der Wärmegewinne
Alberti (1991h) 1. Buch, 12. Kapitel	Auch wird der Raum durch den beständigen Sonnenschein genügend Licht haben, in dem die Leute mehr des Schattens als des Lichtes halber sich aufhalten.	Verhältnis direktes Licht /Schatten (indirektes Licht) im Raum
Alberti (1991i) 1. Buch, 12. Kapitel	Dagegen werden in den Winterräumen die Fenster unmittelbar der Sonne offenstehen, wenn sie sehr weit sind, den Winden werden sie jedoch nicht offen stehen, wenn sie in der Höhe sein werden. Denn durch einen direkten Luftzug werden die aufrecht stehenden Bewohner nicht getroffen.	Fensterbreite zur Steuerung der Belichtung; Höhe der Brüstung zur Steuerung der Belüftung und zum Vermeiden von Zugerscheinungen
Alberti (1991j) 1. Buch, 12. Kapitel	Magst du übrigens das Licht empfangen woher du willst, Sorge jedenfalls dafür, daß du den freien Himmel siehst.	Lage der Fenster möglichst zum unverbauten Himmel, keine Horizonteinschränkung
Alberti (1991k) 1. Buch, 12. Kapitel	Und auch alle Öffnungen, welche zur Beleuchtung geschaffen wurden, soll man keinesfalls zu tief anbringen.	Lage Fensterbrüstung
Alberti (1991l) 1. Buch, 12. Kapitel	Es wird sonst vorkommen, daß durch die Gestalt eines oder des anderen Menschen das Licht verdeckt wird und dadurch der ganze übrige Raum sich verfinstert, ein Übelstand, der bei hohem Seitenlicht nicht vorkommt.	Lichtführung im Raum nicht durch Gegenstände, bzw. Nutzung behindern
Alberti (1991m) 1. Buch, 12. Kapitel	Die Öffnungen muß man so verteilen, daß in den breiteren Mauern nicht zu wenig Öffnungen angebracht werden und in den geringeren Stirnseiten der Wände die Öffnungen nicht ausgedehnter angebracht werden als es notwendig ist.	Verteilung der Fenster
Alberti (1991n) 5. Buch, 2. Kapitel	Bei den Öffnungen der Türen und Fenster werden wir darauf achten, daß sie nicht für Diebe und auch nicht für die Nachbarn so weit offen stehen, um stören, erblicken und erfahren zu können, was im Inneren gesprochen wird oder vor sich geht.	Sicherheitsaspekte, Privatheit

Teil der Beschreibung des Palazzo Piccolomini. Leitet man aus dieser Beschreibung ein Belichtungs-konzept für den 72-Fuß-Saal ab, könnte es wie folgt beschrieben werden:

- blendfreie Belichtung durch große Nordfenster zum Hof, ohne große solare Wärmegewinne,
- Licht aus dem Süden zur Aufhellung, Fenster hochgelegen um eine raumfüllende, gleichmäßige Belichtung zu erzielen, wenn zu öffnen, kein Zug für die im Raum befindlichen Personen,

- Licht aus dem Süden, Türen als zusätzliche Lichtquelle, allerdings nur in den Bewegungszonen,
- weitere Türen zur Belichtung aus Osten und oder Westen über vorgeschaltete Räume,
- Verschattung der im Süden liegenden Öffnungen durch Loggia,
- bei der Dimensionierung der Öffnungen Wärmegewinne berücksichtigen, Nordfenster groß, Südfenster klein,
- Ausführung der Fenster zum Hof in der inneren Wandebene liegend,

- keine tiefen Leibungen, Brüstungshöhe 1,20m,
- Ausführung der Fenster zur Umgebung, in der äußeren Wandebene liegend, Estrade mit Sitzbank und Möglichkeit zum Ausblick, auf normale Oberkante fertiger Fußboden bezogen erhöhte Lage der Brüstung (ca.1,50m) um Zug zu vermeiden und eine gleichmäßige Raumausleuchtung zu gewährleisten,
- kein Ausblick in die Landschaft (Ablenkung).

Bei den Fenstern in der Außenfassade sind innenliegende Fensterläden an allen vier Fensterelementen angebracht, zum Hof nur an den beiden unten liegenden Fensterelementen des Kreuzstockfensters. Für eine eingehendere Beschreibung der Fenster und Fensterscheiben siehe PIEPER (1997g).

Auffällig dabei ist, daß Pius II. selbst in den commentarii zwar die (farblosen) Glasfenster („vitro quod Crystallinum vocant“) in der Kirche erwähnt, aber keine Glas- oder

Tabelle 3.2.8: Orientierung von Räumen bei VITRUV und ALBERTI

Fundstelle	Räume	Eigenschaften	Lage	Palazzo Piccolomini
Alberti (1991a) 1. Buch; 9. Kapitel	Sommerräume	weiträumig, Schatten und Wind		
Alberti (1991a) 1. Buch; 9. Kapitel	Winterräume	gedrückt, Sonne		
Alberti (1991b) 5. Buch, 18. Kapitel	Empfangszimmer, Wandelhalle, Bibliothek	zur Dämmerung gutes Licht	gegen Osten zur Tagundnachtgleiche	
Alberti (1991c) 1. Buch, 12. Kapitel	Räume für Maler, Schriftsteller, Bildhauer	gleichmäßiges Licht	nach Norden	
Vitruv (1964a) 1. Buch, 2 Kapitel	Schlafzimmer, Bücherzimmer		nach Osten	Ostseite zur Kirche
Vitruv (1964b) 1. Buch, 2. Kapitel 6. Buch, 4. Kapitel	Badezimmer, Wintergemächer		Winterabendseite (SSW)	
Vitruv (1964c) 1. Buch, 2. Kapitel 6. Buch, 4. Kapitel	Bildergalerien	gleichmäßiges Licht, gute Farbwiedergabe	Norden	zum nooR, West- bzw. Ostseite
Vitruv (1964d) 6. Buch, 4. Kapitel	Frühlings- , Herbstspeisezimmer		Osten	Winterspeisezimmer, Nord-Westseite zum Hof gelegen
Vitruv (1964e) 6. Buch, 4. Kapitel	Sommerspeisezimmer		Norden	Nord-Ostecke im Erdgeschoß und 1. Obergeschoß an der Aussenfassade gelegen

sonstigen Fenster in seinem Palast (PIEPER 1997h).

Ob die restaurierten bleiverglaste Holzfenster der ursprünglichen Verglasung entsprechen, kann nicht schlüssig nachvollzogen werden (PIEPER 1997i). Im Wesentlichen scheint nach PIEPER (1997) der heute im 72-Fuß-Saal vorgefundene Zustand dem originalen Zustand zu entsprechen. Die Loggia ist allerdings stark restauriert. Aus diesem Grund wird der heute vorgefundene Zustand als Grundlage für die Untersuchungen gewählt.

Nach POHL (2003) sind für eine lichttechnische und bauphysikalische Betrachtung eines Raumes das Tageslichtsystem und der Raum, sowie die lichttechnischen und thermischen Eigenschaften von Bedeutung. POHL (2003) ordnet dem Tageslichtsystem folgende Eigenschaften zu:

- 1) lichttechnische Eigenschaften
 - Lichtdurchlässigkeit,
 - Blendschutz,
 - Umlenkung,
 - spektrale Eigenschaften,
 - Transparenz,
 - Sonnenschutz (keine eindeutige Zuordnung bei POHL 2003, Anmerkung des Autors).
- 2) thermische Eigenschaften
 - Sonnenschutz,
 - Wärmeschutz,
 - Gesamtenergiedurchlaß.

Für die damalige Zeit hatte die Vermeidung von Zugluft eine herausragende Bedeutung, so daß die hauptsächliche Eigenschaft eines Fensters die zugfreie Belichtung war (vgl. ARIES et al. 2000a, THORNTON 1991a). Lösungsmöglichkeiten waren Fensterläden, die verstellbar und klappbar waren, oder auch „finestre impannate“, in Öl getränktes Leinen (ab siebziger und achtziger Jahre des 14ten Jahrhunderts) in Sälen, vornehmen Räumen (ARIES et al. 2000b), oder teure Verglasungen.

Überträgt man das Konzept des Tageslichtsystems auf den Palazzo Piccolomini, kann man im Bereich des 72-Fuß-Saal im wesentlichen vier verschiedene „Tageslichtsysteme“ identifizieren:

- 1) Tageslichtsystem zur Umgebung, bestehend aus Fenster, Fensterläden (innen), Brüstungshöhe, Fensterdimension und Proportion, Estrada (**Abbildung 3.2.28**),
- 2) Tageslichtsystem Hof (**Abbildung 3.2.29**),
- nooR, Fenster, Fensterladen (innen), Brüstungshöhe, Fensterdimension und Proportion, Leibungstiefe und Leibungsform,
- 3) Tageslichtsystem Loggia/Fenster Loggia, Fenster, Brüstungshöhe, Fensterdimension und Proportion, Leibungstiefe und Leibungsform,
- 4) Tageslichtsystem Loggia/ Tür

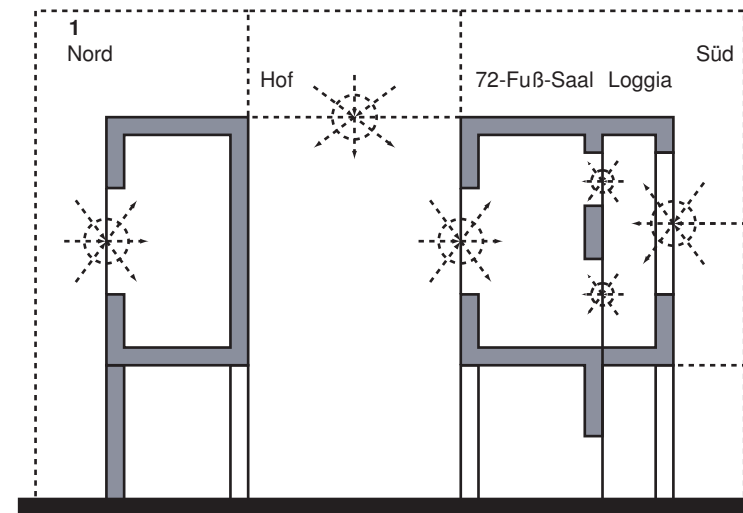


Abbildung 3.2.27: Tageslichtsysteme im Palazzo Piccolomini (Schnitt Nord -Süd)



Abbildung 3.2.28: Tageslichtsystem Fenster mit Estrade (PIEPER 1997)



Abbildung 3.2.29: Tageslichtsystem Fenster und nooR (PIEPER 1997)

Loggia, Tür, Türdimension und Proportion, Leibungstiefe und Leibungsform.

Dabei bedeuten Brüstungshöhe (über Kopf) und innenliegende Fensterläden eine Möglichkeit zur Kontrolle der Belüftung und Vermeidung von Zug.

Dem Raum werden bei POHL (2003) analog zum Tageslichtsystem unterschiedliche Eigenschaften zugeordnet:

1) lichttechnische Eigenschaften

- Lichtmenge und Verteilung,
- Lichtrichtung und Schattigkeit,
- Blendung,
- Lichtfarbe,
- Sichtbezug nach außen,
- energetisches Verhalten (keine eindeutige Zuordnung bei POHL 2003, Anmerkung des Autors).

2) thermische Eigenschaften

- energetisches Verhalten,
- Raum- und Oberflächentemperaturen,
- Luftbewegung, Luftwechsel,
- Luftfeuchte,
- thermische Behaglichkeit.

Weitere Anmerkungen zum Palazzo Piccolomini finden sich im Anhang A.2 Punkt 6.

3.2.5.2 Visuelle Beurteilung des Palazzo Piccolomini

Bei einem Besuch des Palazzo Piccolomini 2003 konnte der Autor einige Messungen durchführen und die subjektive Lichtwirkung untersuchen. Da der Palazzo nur im Rahmen des normalen Besuchbetriebes untersucht werden konnte, sind dabei einige Einschränkungen zu beachten. So war es nicht möglich die Lichtwirkung im Tagesverlauf zu beurteilen, eine elektrische Grundbeleuchtung war teilweise in Betrieb und die Räume waren nicht allein zu besichtigen. Bei der Beurteilung des Lichtmilieus wird die vorhandene elektrische Beleuchtung mit einbezogen, da ihr Anteil an der Beleuchtung nur schwer zu beurteilen war. Die visuelle Beurteilung erfolgte an einem Vormittag mit vollständig bedecktem Himmel und regnerischem Wetter im Rahmen einer Führung. Subjektiv war das Lichtmilieu überwiegend vom Tageslicht und der streuenden Verglasung bestimmt, das elektrische Licht diente zur Aufhellung allgemein, Beleuchtung der Decken und Ausstellungsstücken.

Betritt man den Palazzo Piccolomini von der Piazza her, geht in den 72-Fuß-Saal, ergibt sich die in **Abbildung 3.2.30** dargestellte Abfolge der Lichtwirkung. Besonders auffäl-

lig und beeindruckend ist der Unterschied von der mit Ziegeln gepflasterten und von Ziegelbauten umgebenen Piazza zum nooR, dessen Wände hell gestrichen und einen hellen Boden aus Travertin hat. Im nooR wird das Farbkonzept, dunkler Boden mit hellen Streifen (Piazza), umgekehrt in heller Boden mit dunklem Rand (Umgang). Fast scheint es, als ob dieser Eindruck auch gewollter symbolischer Natur wäre, von der dunklen Welt in den vom Licht der Erkenntnis erhellen Palast des Papstes. Im Rückblick wirkt der nooR, durch seine Farbgebung (weiß) als hellerer Raum, die Piazza dunkler auf Grund ihrer überwiegenden Ziegel- töne, wie auch die Landschaft auf

Grund ihrer satten Grüntöne zur Zeit des Besuches.

Die Treppe in das OG I wirkt dunkel auf Grund der Farbgebung und fehlender Belichtungsmöglichkeit (kein Fenster im Bereich Zwischenpodest). Das OG I dagegen wirkt heller, ist aber nach unseren heutigen Maßstäbe ebenfalls dunkel, obwohl durch die Fenster zum nooR (Umgang) und Fenster nach außen, reichlich und gleichmäßig Licht in den Raum fällt.

Da nicht alle Fensterläden in den oberen Fensterbereichen geöffnet waren und die Fenster selbst geschlossen, kann durchaus noch eine Verbesserung der Lichtverhältnisse erreicht werden. Inwieweit hier kon-

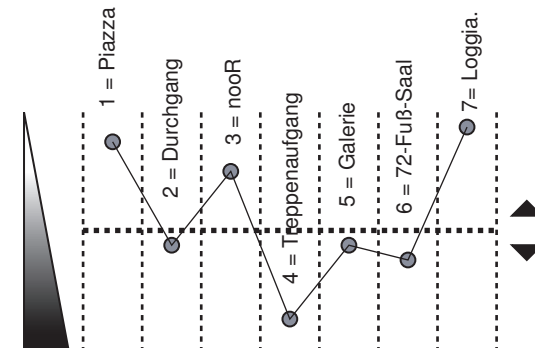


Abbildung 3.2.30: Weg von der Piazza in den 72-Fuß-Saal; subjektives Helligkeitsempfinden des Autors

servatorische Gründe ausschlaggebend sind, konnte nicht geklärt werden.

In den Räumen mit Fenstern nach außen, konnten alle Details im Raum gut wahrgenommen werden (geschätzter 10.000- Lux -Himmel), die Farbwahrnehmung war gut und Leseaufgaben konnten ohne Einschränkung ausgeführt werden. Auffällig war, daß beim Blick aus den Fenstern die Giebel der angrenzenden Gebäude im unteren Fensterdrittel noch schemenhaft wahrgenommen werden konnten, ansonsten das Licht direkt vom unverbauten Himmel kam.

Ausnahme sind Fenster zur Kirche, hier war das Lichtmilieu durch die Kirchenfassade und Farbe der Fassade maßgeblich bestimmt. Der Raum I 10 (nach PIEPER 1997) war in einen warmen gelb-rot Ton gehüllt. Ein Ausblick aus den Fenstern ist auf Grund der Art der Verglasung nicht möglich. Die Außenfenster in den Estraden liegen für einen durchschnittlich großen Menschen (Augenhöhe ca. 165cm) auf oder über Kopfhöhe und erfüllen somit die Forderungen von Vitruv und Alberti in Bezug auf Belichtung und Belüftung. Auch eine große Anzahl von Besuchern hat das Lichtmilieu auf Grund der hochgelegenen Fenster nicht merklich negativ verändert, somit wird die Forderung von ALBERTI

(vgl. **Tabelle 3.2.7;8**) erfüllt.

Im 72-Fuß-Saal kam das Licht hauptsächlich durch die Fenster vom nooR, die hochliegenden Fenster zur Loggia tragen nur wenig zur Belichtung bei, scheinen aber das Licht tief in den Raum zu werfen. Auffällig war, bei geöffneter Tür zur Loggia, der helle Lichtstreifen in der Achse der Tür, der den Raum stark zionierte und den Umgang um den nooR betonte.

3.2.5.3 Messungen im Palazzo Piccolomini

Im Palazzo Piccolomini konnten verschiedene einfache Messungen während des Museumsbetriebs durchgeführt werden. Gemessen wurde:

- Messung 1) Beleuchtungsstärke im 72-Fuß-Saal,
- Messung 2) Beleuchtungsstärke in der Loggia,
- Messung 3) Beleuchtungsstärke nooR (**Abbildung 3.2.31**),
- Messung 4) Transmission eines Fenster,
- Messung 5) Spektrale Messungen von verschiedenen Oberflächen.

Die Messungen dienen auf Grund der sehr eingeschränkten Meßmöglichkeiten als eine bedingt aussagekräftige erste Einschätzung zur Beurteilung des Lichtmilieus.

Gemessen wurde mit einem Datenlogger ALMEMO 2590-9 V5 und zwei Beleuchtungsstärke-Messköpfen der Firma ALMEMO FLA613VL, geeignet für Messungen der Beleuchtungsstärke an Arbeitsstätten nach der Richtlinie ASR 7/3.

Die spektralen Reflexionskurven wurden mit einem Photospektrometer SP 64 der Firma X-Rite an unterschiedlichen Oberflächen gemessen. Eine exakte räumliche Festlegung der Meßpunkte war nicht möglich, sondern mußte

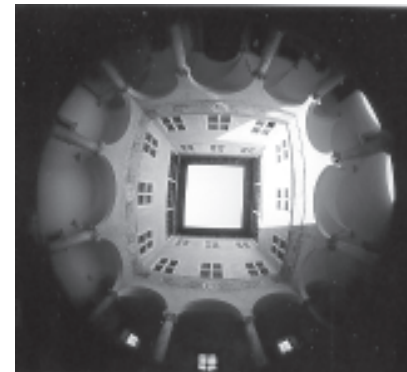


Bild 3.2.31: Der nooR des Palazzo Piccolomini (Aufnahme mit Fish-eye)

durch das Abzählen von Schritten erfolgen, die Höhenlage und exakte horizontale Ausrichtung der Lux-Sonden konnte ebenfalls nur grob erfolgen.

3.2.5.3.1 Messungen 1: Beleuchtungsstärken im 72-Fuß-Saal

Die Messung wurde an einem Vormittag durchgeführt. Der Himmel war teilweise leicht diesig und teilweise bewölkt. Die Meßorte können der Abbildung entnommen werden.

Beurteilung der Messung: Referenzpunkt in der Brüstung der Loggia im Bereich des Küchentraktes. Wie aus der Abbildung ersichtlich, wurde an keinem Meßort mit unverbautem Himmel gemessen. Der Sensor lag im direkten Sonnenlicht. Die Höhe der Meßpunkte im Raum lag bei ca. 100cm bzw. ca. 10 cm über der Mitte des Tisches im 72-Fuß-Saal.

Die elektrische Beleuchtung im 72-Fuß-Saal war ausgeschaltet. Eine Messung in der Loggia konnte auf Grund der kurzen Zeitintervalle für Messungen zwischen den Besuchergruppen, nicht durchgeführt werden, da sich im nächsten zur Verfügung stehenden Zeitintervall die Lichtsituation durch Wolken stark geändert hatte. Die

Messungen lagen jeweils in der Achse der Öffnung.

Auswertung der Messung (Bild 3.2.32):

Die gemessenen Tageslichtfaktoren zeigen sehr deutlich, wie wesentlich die Fenster zum nooR für die Beleuchtung und Ausleuchtung des 72-Fuß-Saales sind. Die beiden Fenster zur Loggia tragen nur unwesentlich zur Beleuchtung bei, scheinen aber die Tiefe des Raumes gleichmäßig auszuleuchten. Die Türen sind, wie die Messung zeigt, ein wesentliches Element zur Beleuchtung des Raumes bei Sonnenlicht. Im geschlossenen Zustand zeigt sich am Raumende ein deutlicher Abfall der Beleuchtungsstärke. Die Glanzeigenschaften des Bodens und seine teilweise gerichteten Reflexionseigenschaften traten bei Sonnenlicht deutlich zu Tage.

3.2.5.3.2 Messung 2: Beleuchtungsstärken in der Loggia

Die Messungen wurden an einem Vormittag durchgeführt. Der Himmel war vollständig bedeckt. Die Meßorte können dem Anhang entnommen werden. Der Referenzpunkt lag, wie bei Messung 1 beschrieben, auf der Brüstung der Loggia. Da an einem Tag mit völlig bedeckten Himmel gemessen wurde, sind die Messungen

mit 1 nur bedingt vergleichbar. Eine zeitgleiche Messung im 72-Fuß-Saal konnte nicht durchgeführt werden, da die elektrische Beleuchtung aus Sicherheitsgründen („zu dunkel“) nicht ausgeschaltet werden konnte.

Auswertung der Messung : Die Farbgebung der Loggia, insbesondere die dunkle Holzdecke ,scheinen einen Großteil des einfallenden Lichtes zu absorbieren und zu einem deutlichen Abfall der Beleuchtungsstärke zu führen.

3.2.5.3.3 Messung 3: Beleuchtungsstärken im nooR

Die Messungen wurden an einem Vormittag durchgeführt. Der Himmel war klar, mit vereinzelt Wolken. Die Meßorte können der Abbildung entnommen werden.

Der Referenzpunkt lag bei der Messung West-Ost (Richtung der Messung) im direkten Sonnenlicht. Die Höhe des Referenzpunktes lag bei ca. 80cm, die übrigen Messungen wurden auf einer Höhe von ca. 1m ausgeführt. Bei der Messung Süd-Nord wurde der Referenzpunkt Mitte Tür im Durchgang zum Garten gewählt.

Das Beibehalten des ersten Referenzpunktes war auf Grund der Anwesenheit einer Touristengruppe nicht möglich.

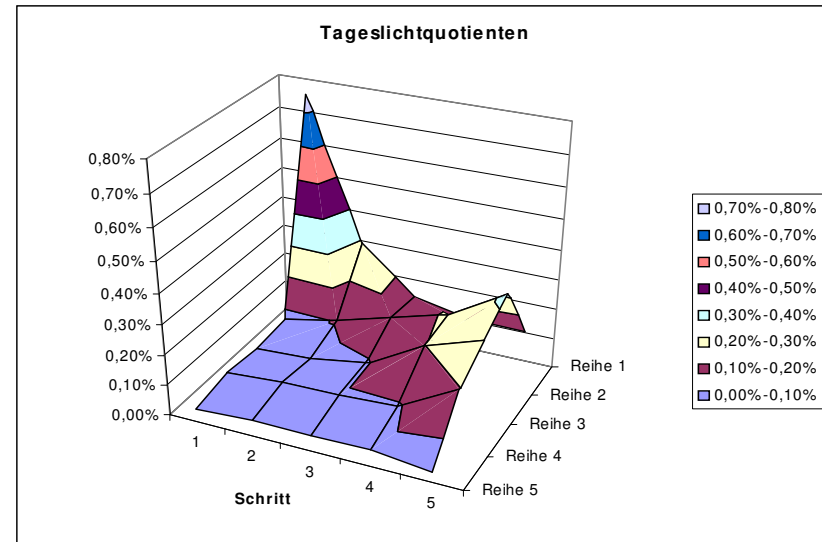


Abbildung 3.2.32: Messungen im 72-Fuß-Saal (Reihe 1 West in der Achse der geöffneten Tür, Reihe 2 Achse Fenster „West“ zur Loggia , Reihe 3 Achse des mittleren Fenster zum nooR, Reihe 4 Achse Fenster „Ost“ zur Loggia, Reihe 5 Ost in der Achse der geschlossenen Tür; alle Messungen in Süd-Nord Richtung)

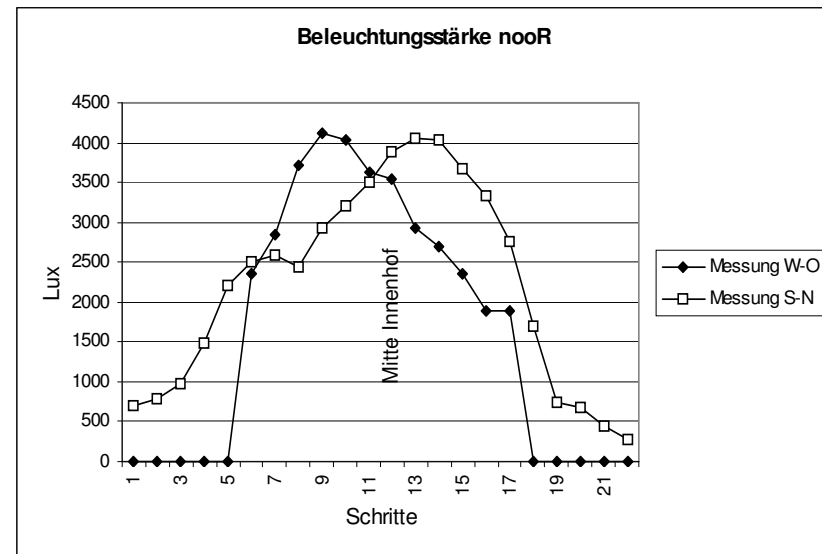


Abbildung 3.2.33: 10 Messung im nooR

Auswertung der Messung:
Deutlich ist der Einfluß des direkten Sonnenlichtes auf das Messergebnis zu sehen. Die Kurve ist nach Westen verschoben. Die helle Farbgebung scheint eine gute Verteilung des in den noon einfallenden Lichtes zu gewährleisten (vgl. **Abbildung 3.2.33**).

3.2.5.3.4 Messungen 4: Transmission eines Fensters

Die Messungen wurden an einem Vormittag durchgeführt. Die Meßorte können der Abbildung entnommen werden. Die Messung kann auf Grund ihres Aufbaues und der Meßbedingungen nur einen groben Anhaltswert für den Transmissionsgrad der Verglasung liefern.

Auswertung der Messung:
Die gemessenen Transmissionsgrade von ca. 54 % bis 64% im unteren Bereich des Fensters im OG I im Bereich der Treppe entsprechen dem visuellen Eindruck. Weitergehende Aussagen können auf Grund der Art und Weise der Messung nicht gemacht werden.

3.2.5.3.5 Messungen 5: Spektrale Messungen von verschiedenen Oberflächen

Die Messungen wurden an einem Vormittag durchgeführt. Die Meßorte können der Abbildung entnommen werden. Zum Einsatz kam ein Photospektrometer SP 64 der Firma X-Rite. Eine photographische Dokumentation im OG I konnte auf Grund einer fehlenden Genehmigung der Behörde nicht durchgeführt

werden. Bei den Messungen wurde versucht, durch eine vorhergehende rein visuelle Beurteilung repräsentative Meßorte auszuwählen. Eine Messung der Decke, sowie sonstiger Holzoberflächen war nicht möglich.

Auswertung der Messung:
Wie zu erwarten, sind die über allen Wellenlängen gemittelten Reflexionswerte, wie in **Abbildung 3.2.34** dargestellt, sehr niedrig. Die

Werte für den Travertin im Hof stellen einen Mittelwert zwischen den Messungen der hellen und dunklen Stellen dar. In den vor Ort gemachten Photographien wirkt der Boden dunkler als bei der visuellen Beurteilung, was vor allem an den mit Schmutz gefüllten Poren und Löchern im Stein zu liegen scheint. Die Wände im 72-Fuß-Saal scheinen neu gestrichen zu sein, da die Oberfläche in der Struktur und Abnutzung von den Umgängen bzw. sonstigen

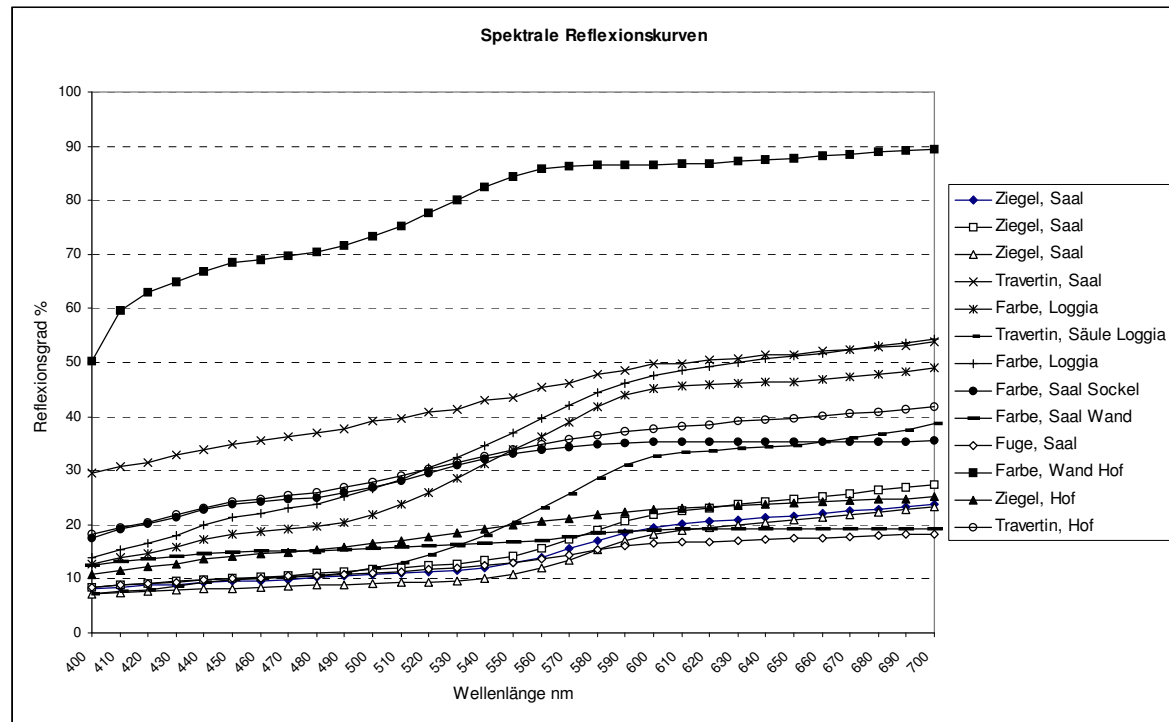


Abbildung 3.2.34: gemessene Reflexionseigenschaften von Baumaterialien im Palazzo Piccolomini.

Räumen abweicht. Die Farbgebung scheint sich aber an die originale Farbgebung (Umgang) anzulehnen. Der Boden ist durch den Besucherverkehr entsprechend verschmutzt bzw. abgenutzt.

In der Tabelle werden die gemessenen Werte, Werten aus der Literatur gegenübergestellt. Die im nooR gemessenen Werte erscheinen mit einem Reflexionsgrad von 83% als zu hoch. Eine Wiederholung der Messung konnte aus technischen Gründen nicht durchgeführt werden.

3.2.5.4 Vergleichende Computersimulation der untersuchten Räume

Das Modell

Das für die Simulation generierte Modell basiert auf den Aufmaßen und Angaben in PIEPER (1997k). Es wurden folgende Vereinfachungen vorgenommen (vgl. Anhang E):

- die Geometrie ist rein rechteckig,
- Fensterstöcke und Türzargen wurden nicht modelliert,
- Butzenglasscheiben als einfache Glasscheibe modelliert,
- die Decke im 72-Fußsaal wurde vereinfacht als flache Decke modelliert,
- es wurde keine Umgebung modelliert,

- die Gewölbe im Erdgeschoß wurden nicht modelliert,
- der Obergeschoß II Grundriß wurde vereinfacht modelliert (nur Umgang),
- das Erdgeschoß wurde nur im nooR-Bereich modelliert,
- Wandbemalungen, sowie Einrichtungsgegenstände wurden nicht modelliert, bzw. nachgebildet.

Folgende Belichtungssituationen wurden untersucht:

- Belichtung mit einem bedeckten Himmel,
- Belichtung mit Sonne, zum Vergleich mit den gemessenen Werten.

Bewertung der Simulation:

Vergleicht man die mit Rayfront für den 72-Fuß-Saal berechneten Beleuchtungsstärken mit den gemessenen Werten, so stimmt die Verteilung der Werte gut überein. Die größten Abweichungen finden sich in Wandnähe und in den Eckbereichen des Raumes.

Der Lichteinfall durch den Hof wird in der Berechnung überschätzt. Eine Erklärung dafür kann neben möglichen Problemen mit der Variation der Beleuchtungsstärke des Himmels, auf Grund von leichter Bewölkung, auch in der Definition der Fensterscheiben begründet sein. Die Fenster wurden vereinfacht ohne Rahmen und die Fens-

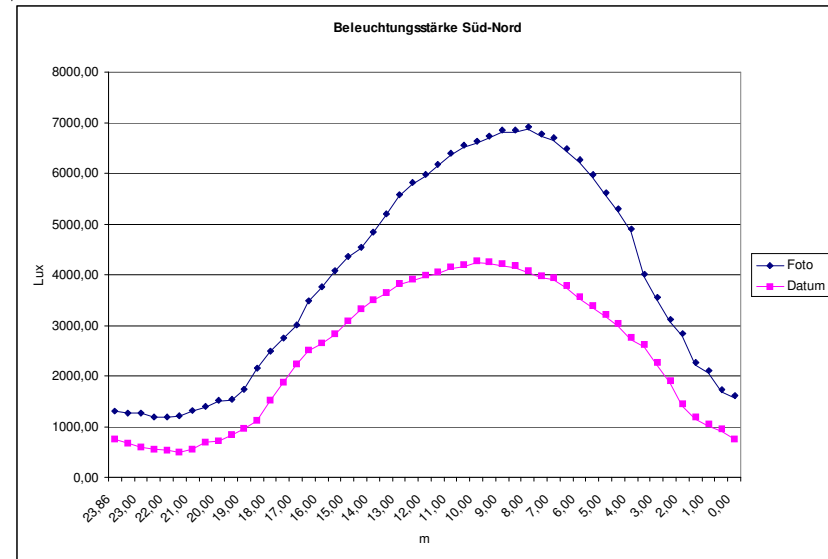


Abbildung 3.2.35: Simulation mit Datumseingabe (Datum) und mit nach Abbildung 3.2.44 korrigiertem Lichteinfall entlang der Süd-Nordachse (Foto).

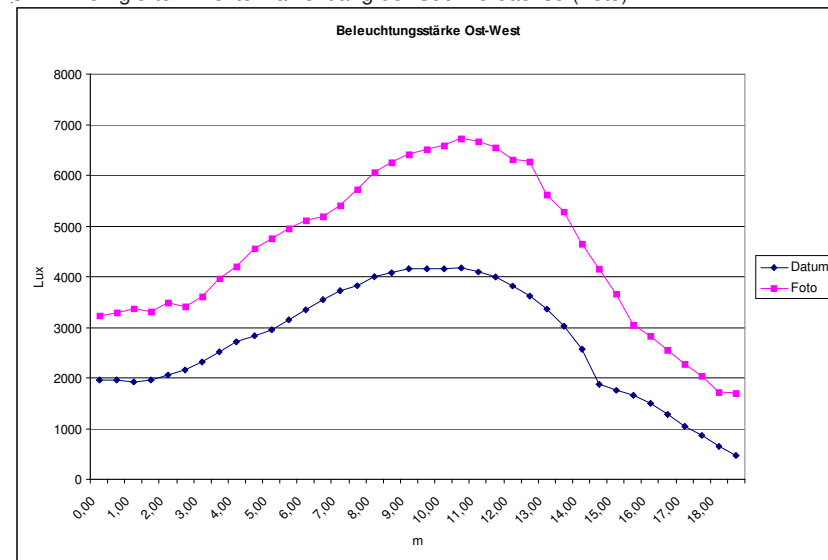


Abbildung 3.2.36: Simulation mit Datumseingabe (Datum) und mit nach Abbildung 3.2.44 korrigiertem Lichteinfall entlang der Ost-Westachse (Foto).

terscheiben als einfache Glasscheiben ohne Unterteilung in einzelne verschiedenfarbige Einzelscheiben, die mit Bleistegen verbunden sind, modelliert.

Auch die Definition der Glasscheiben ohne Unterteilung für das Programm „mkillum“ kann leichte Abweichungen der Ergebnisse begründen.

Die Unterschätzung der Beleuchtungsstärken im Türbereich, kann durch die Definition in Rayfront, durch eine Glasscheibe mit 100% Transmission verursacht sein. Ein weiterer Grund dürfte der fehlerhaft gemessene Reflexionsgrad von 83% der Wandoberflächen im nooR sein, der als zu hoch eingeschätzt wird.

In den **Abbildungen 3.2.26, 37-46** der Simulationen kann man sehr deutlich sehen, daß die Fenster zum nooR das Licht sehr tief in den Raum bis an die gegenüberliegende Wand werfen. Die Tageslichtquotienten bleiben entlang der Fensterachsen relativ konstant. Allgemein sind die Beleuchtungsstärken für die heutigen Anforderungen an einen Arbeitsraum zu gering. In den angrenzenden Räumen ist die Belichtungssituation durch die nach außen liegenden Fenster deutlich besser, wobei zu beachten ist, daß hier keine Umgebung mitmodelliert wurde. Der 72-Fuß-Saal erhält sein

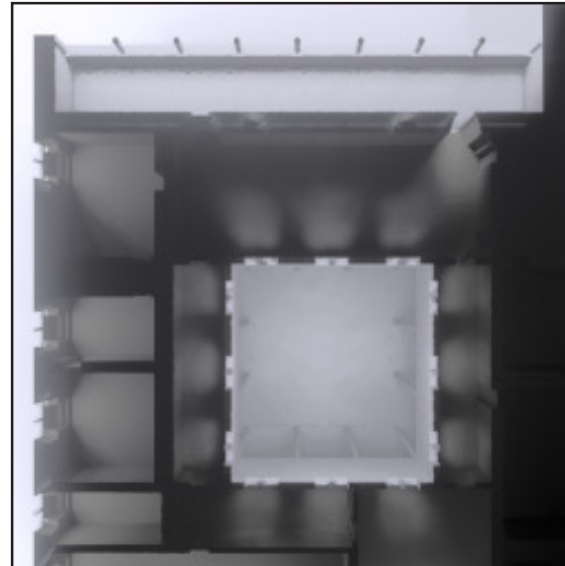
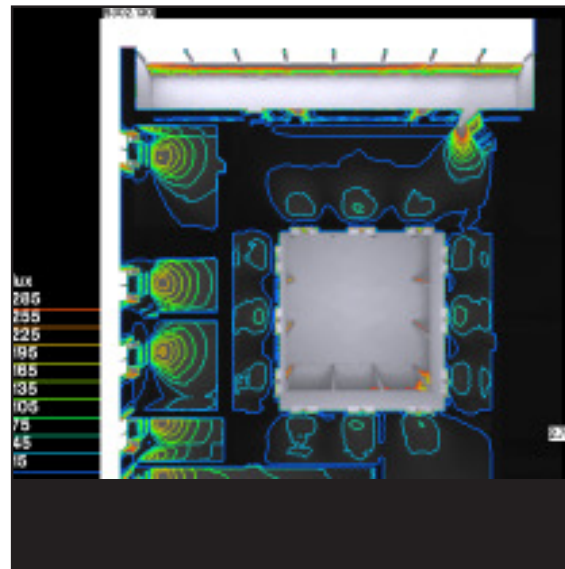


Abbildung 3.2.37: Horizontaler Schnitt OG I, bedeckter Himmel

Abbildung 3.2.39: Horizontaler Schnitt OG I, bedeckter Himmel (Beleuchtungsstärken)



< Norden

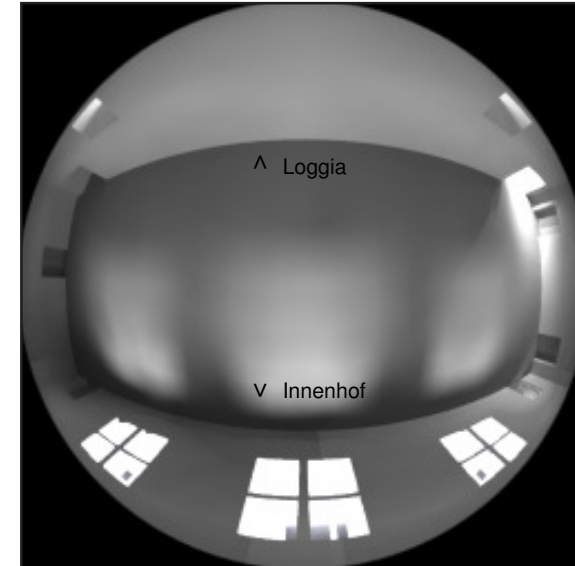
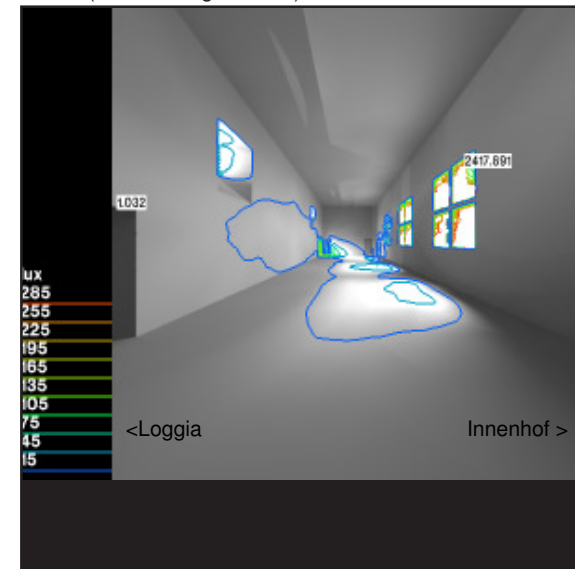


Abbildung 3.2. 38: Fish-eye Blick von der Decke in den 72-Fuß-Saal, bedeckter Himmel

Abbildung 3.2. 40: Blick von Ost nach West 72-Fuß-Saal, Sonne (Beleuchtungsstärken)



Licht direkt durch den nooR, die hoch liegenden Fenster zur Loggia tragen nur wenig bis überhaupt nicht zur Belichtung bei.

Die Beleuchtungsstärken in der Loggia nehmen sehr deutlich von 44,96% auf 6,75% im Wandbereich zur Loggia ab. Mit Sonne allerdings, wie bei den Messungen, erreicht der Tageslichtquotient einen maximalen Wert von 98,87% und fällt dann auf 2,68% steil ab. Deutlich kann die Beleuchtungsstärke durch ein Öffnen der Türen zur Loggia beeinflusst werden, wobei hier im Wesentlichen

nur die Randbereiche betroffen sind.

Es ist zu vermuten, daß dieser Raum hauptsächlich für Beratungen und weniger für Schreibearbeit genutzt wurde.

Insofern ist das gedämpfte Lichtniveau als Lichtmilieu mit dem Eindruck von Kühle und Abgeschiedenheit zu verstehen.

Erstaunlich ist, daß Papst Pius II. die Belichtungssituation so überschwenglich lobt, wo doch die gemessenen Werte und die Ergebnisse der Simulation eher auf ein als

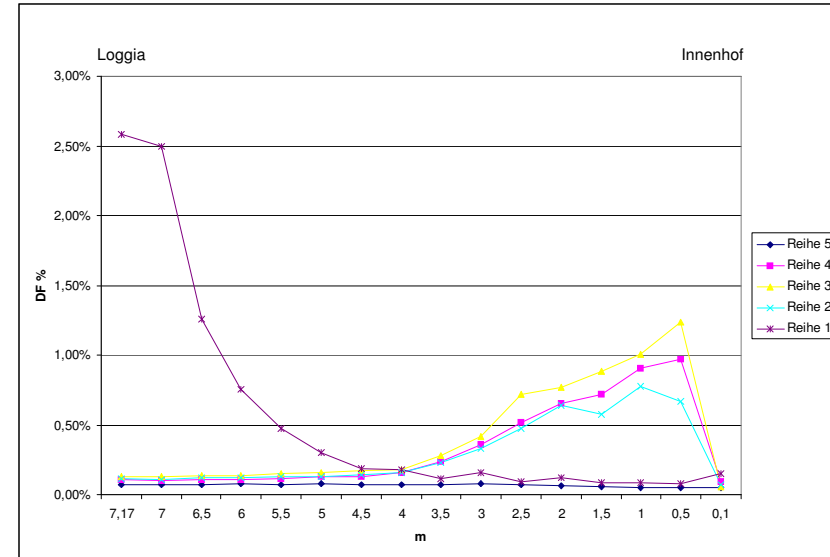


Abbildung 3.2.42 : Berechnung 72-Fuß-Saal, standard overcast sky (Rayfront)

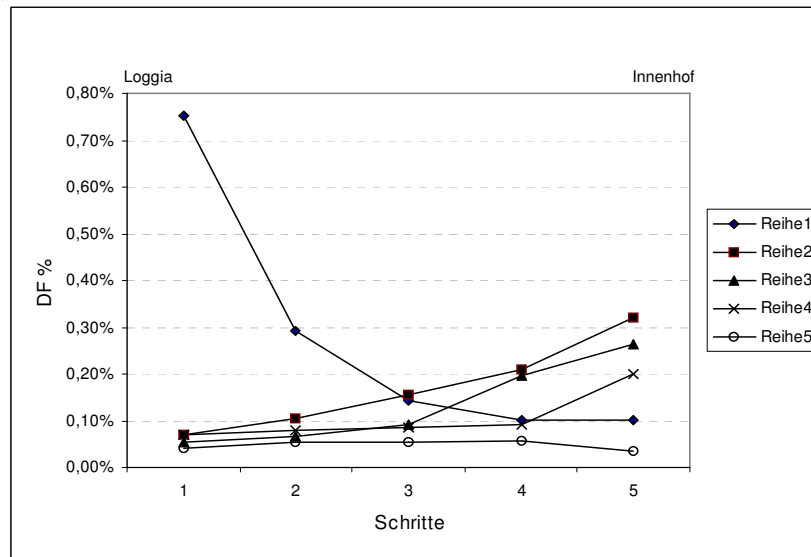


Abbildung 3.2.41: Messung im 72-Fuß- Saal (1Schritt entspricht 1m)

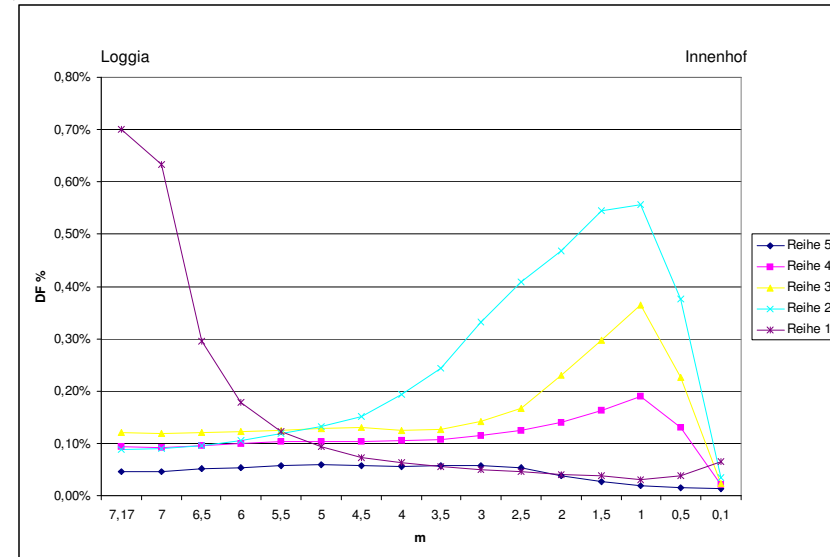


Abbildung 3.2.43: Berechnung 72-Fuß-Saal, Sonne am 26.04 (Rayfront)

dunkel zu bezeichnendes Lichtniveau hindeuten.

Die Simulationsergebnisse im nooR selbst (Abbildung 3.2.35,36,44-46) erscheinen relativ plausibel, auch wenn es zu Abweichungen kommt. Gründe für die Abweichungen können sein, die Vereinfachung der Geometrie des Umgangs, da durch die Substitution des Gewölbes mit Bögen durch eine gerade Decke mit Sturz, die Beleuchtungswerte im Bereich des Umgangs herabgesetzt sind. Dies ist bedingt durch die geringere Reflexion der Ecken im Vergleich zu einem Gewölbe.

Die Auswirkung der Sonneneinstrahlung in den nooR und die Aus-

wirkung auf den 72-Fuß-Saal kann in **Abbildung 3.2.42- 43** an Hand der Unterschiede in Reihe 2 im Bereich der nooR-Fenster deutlich gezeigt werden. Die Beleuchtungsstärke bei Sonne ist durch die direkt bestrahlte Wand, im Gegensatz zu einem bedeckten Himmel, deutlich sichtbar angehoben.

Wird die Beleuchtungssituation entsprechend der **Abbildung 3.2.44** in der Simulation nachgebildet und die am Referenzpunkt gemessenen Beleuchtungswerte von 70.00 lux erreicht, ergeben sich zu hohe Werte für die Beleuchtungsstärken entlang der nooR-Achsen.

Dies dürfte in dem zu hohen Reflexionsgrad für die Hofwände



Abbildung 3.2.44: Belichtungssituation des nooR zum Zeitpunkt der Messungen

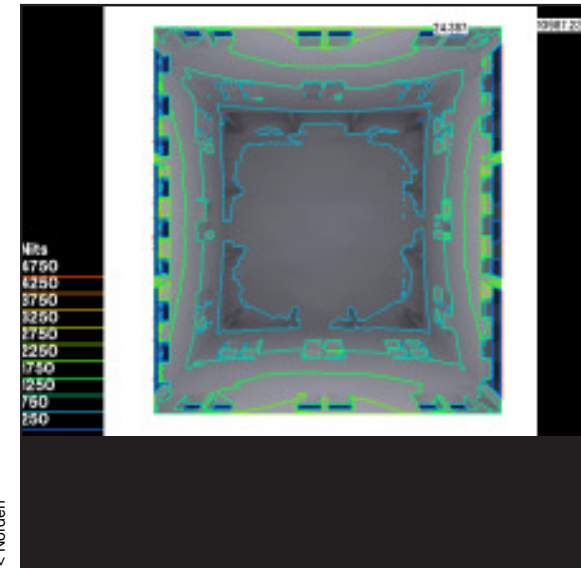
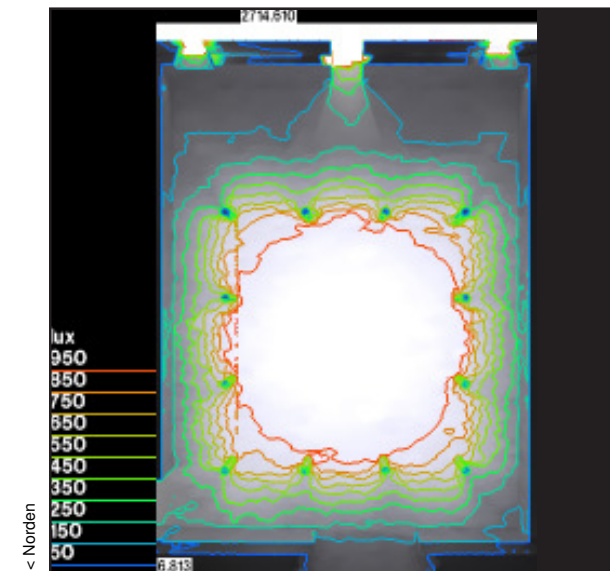


Abbildung 3.2.45: Blick aus Traufhöhe in den nooR (standard overcast sky)

Abbildung 3.2.46: Schnitt durch den nooR im EG (standard overcast sky)



begründet sein (fehlerhafte Messung). Das Fehlen der durch die Fenster im 3. Stock verursachten Reflexion kann nach MISCHLER 2003 durch den Berechnungsalgorithmus des back-ward-tracing bedingt sein.

Der Einsatz von „mkillum“ könnte evtl. Abhilfe schaffen, aber auch zu weiteren Fehlern bei der Berechnung der Beleuchtungsstärken in den Räumen führen.

Der private Wohnraum (I 10 bei PIEPER 1997) des Papstes weist einen im Vergleich zum 72-Fuß-Saal höheren Wert der mittleren Beleuchtungsstärke, nämlich 0,77% im Vergleich zu 0,24%, auf. Hier kommt vor allem das relativ große Fenster im Vergleich zum Raum zum Tragen, sowie der in Realität nicht vorhandene unverbaute Himmel. Für die Büroarbeit des Papstes dürfte dieser Raum vor allem in der Nähe des Fensters wesentlich besser geeignet gewesen sein, als der 72-Fuß-Saal, vor allem auch auf Grund eines maximalen Tageslichtquotienten von 4,64%.

3.2.6 Meyer's Hof

3.2.6.1 Meyer's Hof als Beispiel für einen Berliner Hinterhof

Während die Häuser in Olynth Standardhäuser für gleichberechtigte Bürger waren, der Palazzo Piccolomini die Residenz eines Papstes, gilt Meyer's Hof in Berlin (**Abbildung 3.2.47**) als Negativbeispiel für einen nooR. Meyer's Hof mit seinen sechs Höfen wird gemeinhin als Beispiel für den sogenannten Berliner „Hinterhof“ gesehen, einer auf Gewinn und Nutzwert optimierten Bebauung, die keine Rücksicht nimmt auf die Bedürfnisse der Bewohner nach Licht und Luft.

Der nooR scheint einzig durch (Minimal-) Vorschriften (Feuerwehr etc.) geformt, wie es Hegemann in „Das steinerne Berlin“ beschreibt. Wie klischeebehaftet diese Aussagen sind, wurde in „Das Berliner Mietshaus ...“ Band 1 bis 3 von GEIST et al. (1980) ausführlichst dargelegt.

Die folgenden Ausführungen und Darlegungen basieren auf dem von GEIST et al. (1980) zusammengestellten Datenmaterial. Wesentlich für das Interesse an Meyer's Hof und die Tatsache, daß er als Synonym für das Berliner Mietshaus mit unerträglichen

Hinterhofsituationen steht, sind unter anderem folgende Umstände: Der Gebäudekomplex wird zeitweise von bis zu 2000 Menschen bewohnt (GEIST et al. 1980a). Nach dem Tod des Eigentümers beginnt ein kontinuierlicher Prozeß der Vernachlässigung des Bauunterhalts der Gebäude GEIST et al. (1980b). Reportagen, sowie Berichte fokussieren das Interesse auf Meyer's Hof.

Die Einordnung der Höfe in die bauliche Umgebung, die Typologisierung wurde bereits bei GEIST et al. (1980c) ausführlich behandelt.

Die **Abbildung 3.2.48** gibt einen Eindruck von der Wirkung der hintereinander gereihten Durchfahrten auf die Wahrnehmung von Meyer's Hof.

Betrachtet man allerdings die Planung, stellt man fest, daß Meyer's Hof durchaus nicht die maximal mögliche Dichte aufweist, da der Gebäudeabstand statt erlaubter 5,53m, doppelt so groß ist, nämlich 11,07m. So dürften eine Vielzahl kleinerer nooR mit wahrscheinlich viel schlechteren Belichtungs- und Belüftungssituationen bestanden haben (vgl. die bei GEIST et al. 1980d abgedruckten Grundrisse und Lagepläne).

Warum diese „minimalistischen“ nooR nicht zum Synonym der Ber-

liner Höfe wurden, könnte an folgenden Gründen gelegen haben:

- geringere Gewerbedichte (Lärm, Luftverschmutzung),
- Nutzung nur als Wohnhof,
- weniger plakativ (nur mit einem extremen Weitwinkelobjektiv zu fotografieren; hier stellt sich die Frage nach der Verfügbarkeit solcher Objektive und der Reproduktion. Insofern könnte ein größerer nooR besser bildlich darstellbar gewesen sein als ein kleiner.).

Hauptprobleme der damaligen Wohnsituationen dürften allerdings, Überbelegung, Feuchtigkeit und die (fehlenden) Sanitäreinrichtungen gewesen sein.

Ebenso sind die vielfach verbreiteten Kellerwohnungen mit minimaler Belichtung, Belüftung und erheblichen Feuchteproblemen ein Grund für den schlechten Ruf der Berliner Hinterhöfe, obwohl Kellerwohnungen generell keine hof-typischen Wohnungsformen sind und auch in sonstigen Gebäuden keine sinnvolle Wohnnutzung zuließen.

Insofern leidet allgemein der Ruf des nooR, nicht nur auf Grund einer schlechten oder falschen Dimensionierung, sondern vor allem an bauphysikalischen Problemen (Durchfeuchtung, Kondenswasser) und einer falschen Nutzung von Räumen.

Betrachtet man die Belichtungs- und Belüftungssituation von Meyer's Hof im Vergleich zu anderen Gebäuden mit nooR und Musterbeispielen (GEIST et al. 1980e) aus der damaligen Zeit, fällt Folgendes auf:

- die Anforderungen an die Hoftiefe werden übererfüllt (doppelte geforderte Tiefe),
- es gibt keine „Berliner (Eck)-Zimmer“,
- die Höfe werden nur zum Teil von Nachbargebäuden begrenzt und sind teilweise an den Seiten offen,
- die Fenstergröße variiert mit der Geschoßhöhe,
- ein relativ hoher Gewerbeanteil,
- die Orientierung der Höfe,
- lt. GEIST et al. (1980f) richtet sich die Anlage von Meyer's Hof nach einem Entwurf für einen Musterbau, die Sanitäreinrichtungen orientieren sich



Abbildung 3.2.47
Die Meyer's Hof aus der Luft um 1930
(GEIST et al. 1980)

am (vorbildlichen) englischen Standard,

- Mieter ziehen entsprechend ihrer finanziellen Möglichkeiten im Meyer's Hof um, z.B. von einem der Hinterhäuser in das Vorderhaus, oder umgekehrt. Die Wohnanlage schien zumindest den Mietern im gewissen Sinne als attraktiv.

Bei der Betrachtung der Belichtungssituation in den bei GEIST et al. (1980g) abgedruckten Berliner Wohnungen (**Abbildung 3.2.49-50**) fällt auf, daß viele der gehobenen Wohnungen, entsprechend dem damaligem Zeitgeschmack, dunkel möbliert waren. Dieser Raumeindruck ist bedingt durch die Möblierung, stark gemusterte Stoffe und teilweise dunkel gestrichene Wänden und Decken. Ob die Vorhänge zur Vermeidung einer Überbelichtung des Films bei den photographischen Aufnahmen zugezogen wurden, oder allgemein aus Gründen des Sichtschutzes oder zum Schutz der Stoffe (ausbleichen) kann nicht nachvollzogen werden.

Einfachere Wohnungen scheinen dagegen aus Mangel an Geld einfacher, bzw. auch heller ausgestattet worden zu sein. Da im Meyer's Hof ein relativ hoher Gewerbeanteil festzustellen ist, kann vermutet werden, daß die Produktions-

bedingungen als gut angesehen wurden.

3.2.6.2 Computersimulation der Belichtungsverhältnisse in ausgewählten Räumen und Bewertung der Ergebnisse

Basis für die Simulationen sind die bei GEIST et al. (1980h) veröffentlichten Grundrisse und Schnitte (vgl. Anhang E- Grundriß und Schnitt mit Lage der untersuchten Räume und Meßpunkte).

Für die Simulationen wurden dabei folgende Vereinfachungen, abweichend von dem Originalgebäude, getroffen. Die Maueröffnung für die Fenster ist gleich der verglasten Fläche.

Die Kastenfenster, sowie Fensterbretter wurden nicht modelliert. Ebenso wurden keine Vorhänge oder sonstige Möblierung in die Untersuchungen mit einbezogen. Dachüberstände wurden nicht berücksichtigt. Auch wurden nicht in die Modellbildung miteinbezogen die Strukturen der Maueroberfläche, Türöffnungen, unterschiedliche Farbgebungen.

Um die Tageslichtverteilung in den verschiedenen Stockwerken zu beurteilen, wurden Simulationen mit bedecktem Himmel nach CIE mit 10.000lux wie bei MARDALJEVIC (1998) beschrieben, durchgeführt.

Abbildung 3.2.48

Blick in die Höfe. Die im Hintergrund sichtbare Uhr zeigt ungefähr halb zwölf an; man beachte die Lichtsituation, bzw. Schattenwurf, um 1910.

(GEIST et al. 1980)



Abbildung 3.2.49

Gehoben ausgestattete Berliner Wohnung mit dunkler Möblierung, um 1910.

(GEIST et al. 1980)



Abbildung 3.2.50

Wohnung als Arbeitsplatz, einfache Verhältnisse; helle Raumausstattung, um 1910.

(GEIST et al. 1980)



Als Variante für die Untersuchung wurde der Abstand der Häuser von 11.1m auf den damaligen minimalen Abstand von 5.55m reduziert. Da je nach Möblierung mit Teppichen, Wandbespannungen, Farbe die Reflexionseigenschaften der Innenraumoberflächen stark variieren können, wurden folgende Reflexionseigenschaften der Flächen angenommen:

Böden	20%
Decken	50%
Innenmauern	40%
Außenmauerwerk	30%

Eine Untersuchung der Sensitivität der Ergebnisse auf veränderte Reflexionseigenschaften hat nicht stattgefunden.

Die Berechnungsgitter beginnen jeweils 10 cm von der Innenmauer entfernt, bezogen auf das Erdgeschoß unabhängig von den sich nach oben verjüngenden Wandstärken. Eine Untersuchung der Ergebnisse auf Sensitivität für eine Verschiebung des Berechnungsgitters, insbesondere für Maximal- und Minimalwerte in unterschiedlichen Räumen, wurde nicht durchgeführt.

Für die Berechnungen wurden folgende Räume untersucht: Straßengebäude Raum 3 Erdgeschoß bis Dachgeschoß, sowie im Erdgeschoß und Obergeschoß 4, Raum 1 und 4. Im Rückgebäude

(auch als Quergebäude bezeichnet) wurden untersucht vom Erdgeschoß bis zum Dachgeschoß Raum 8, im Erdgeschoß und Obergeschoß 4 die Räume 1 und 9.

Betrachtet man das Erdgeschoß (Tabelle 3.2.9,10; Abbildung 60-67) so fällt auf, daß bei einer Hoftiefe von 11,1m der durchschnittli-

che Tageslichtquotient zwischen 0,25% im Quergebäude Raum 1 und 0,4% im Raum 9 liegt. Hier zeigt sich ganz deutlich die Auswirkung der Einschränkung des unverbauten Himmelsanteils durch den nooR und die Trennwand zum nächsten Grundstück. Im Raum 8 liegt der mittlere Tageslichtquotient bei 0,31%. Ebenfalls zu dem gerin-

gen Tageslichtquotienten trägt die kleinteilige Raumstruktur und die Trennwand in Fenstermitte bei. Trotzdem werden in den Räumen in Fensternähe Tageslichtquotienten von 2,05% bis 2,56% erreicht. Setzt man einen Tageslichtquotient von 0,5% als Minimum für Wohnräume an (vgl. Tabelle 3.2.3), wird dieser bei 9,26%

Tabelle 3.2.9: Simulationsergebnisse Tageslichtfaktoren (DF%) für 11,1m und 5,55m nooR-Tiefe, sowie Anteile am Berechnungsgitter in Prozent

	Mittelwert		Max.		Min.		DF>0,5%		DF>1%		DF nooR	DF nooR
	11,1	5,5	11,1	5,5	11,1	5,5	11,1	5,5	11,1	5,5	11,1	5,55
EG, Raum 8, Quergebäude	0,31	0,13	2,18	0,45	0,12	0,08	11,11	0,00	8,89	0,00	31,08	16,87
EG, Raum 3, Straßengebäude	0,34	0,14	2,75	0,50	0,11	0,10	12,50	2,08	8,33	0,00		
OG 1, Raum 8, Quergebäude	0,45	0,18	3,52	0,90	0,12	0,10	20,00	4,44	11,11	0,00	38,19	21,88
OG 1, Raum 3, Straßengebäude	0,52	0,21	4,28	1,27	0,12	0,10	22,22	8,33	11,81	1,39		
OG 2, Raum 8, Quergebäude	0,60	0,28	4,42	1,94	0,13	0,11	24,44	13,33	15,56	4,44	48,22	30,57
OG 2, Raum 3, Straßengebäude	0,68	0,33	5,51	2,72	0,12	0,11	29,86	13,19	16,67	8,33		
OG 3, Raum 8, Quergebäude	0,82	0,58	5,47	4,15	0,14	0,13	40,00	24,44	20,00	13,33	60,60	44,53
OG 3, Raum 3, Straßengebäude	0,96	0,68	6,68	5,24	0,15	0,13	43,06	29,86	28,47	20,83		
OG 4, Raum 8, Quergebäude	0,94	0,81	5,99	5,41	0,18	0,14	44,44	37,78	22,22	20,00	76,00	65,72
OG 4, Raum 3, Straßengebäude	1,10	0,95	7,30	6,72	0,18	0,16	52,78	41,67	34,03	27,08		

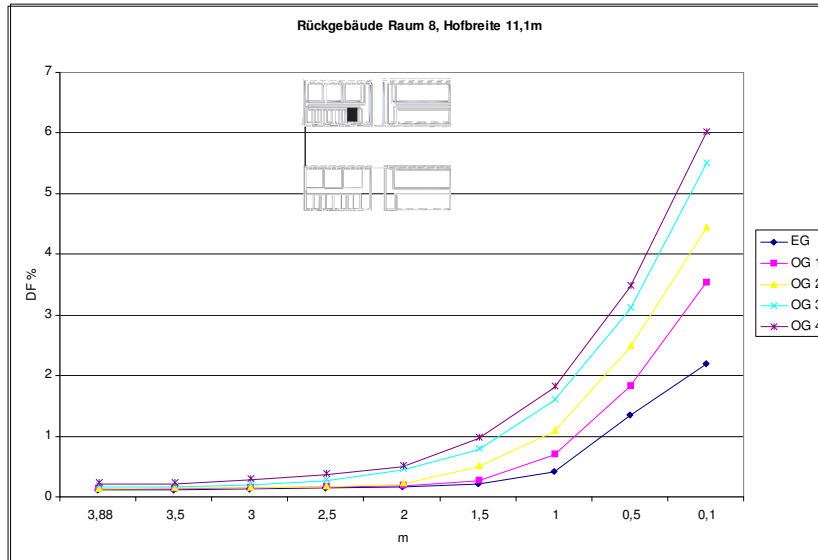


Abbildung 3.2.51: Tageslichtquotient Raum 8, Gebäudeabstand 11,1m

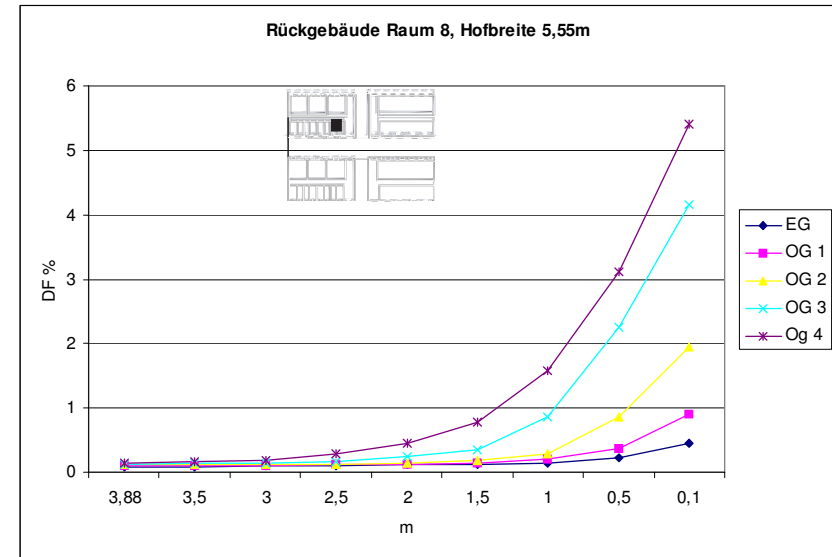


Abbildung 3.2.52: Tageslichtquotient Raum 8, Gebäudeabstand 5,55m

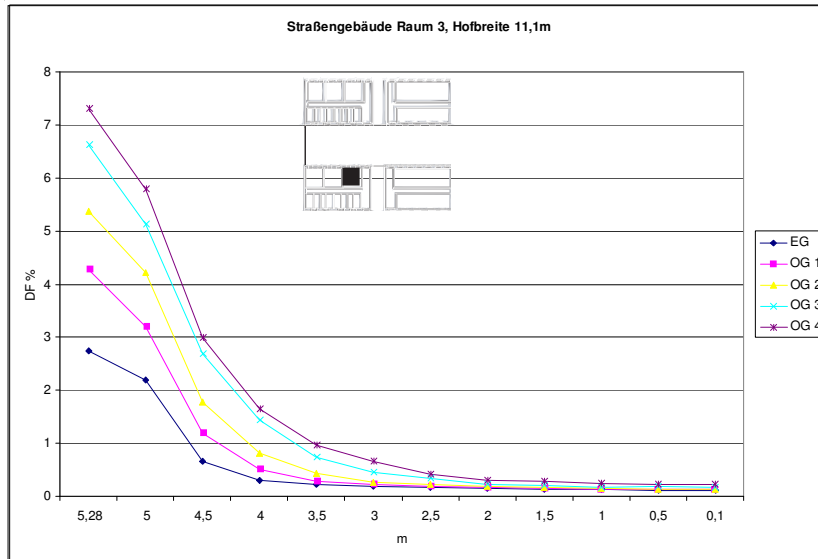


Abbildung 3.2.53: Tageslichtquotient im Raum 3, Gebäudeabstand 11,1m

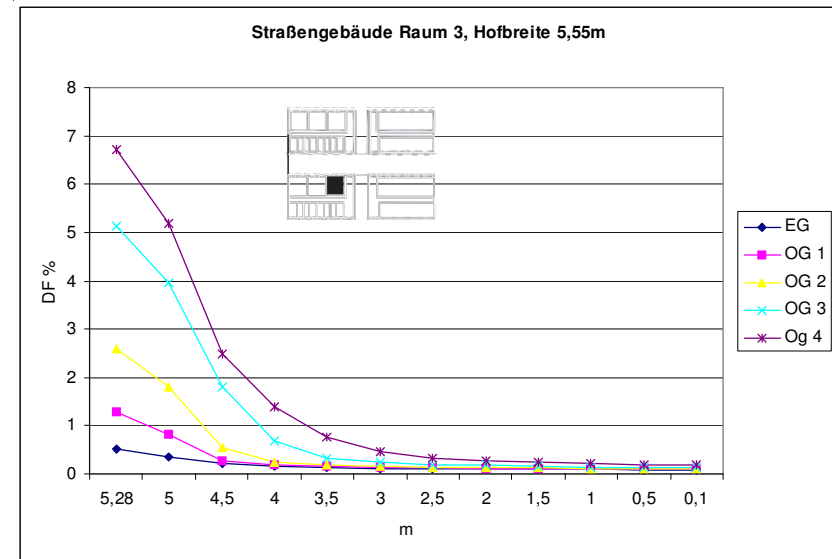


Abbildung 3.2.54: Tageslichtquotient im Raum 3, Gebäudeabstand 5,55m

bzw. 16,85% der Messpunkte im Berechnungsgitter erreicht.

Vergleicht man nun diese Werte mit den ermittelten Werten für einen Gebäudeabstand von 5,55m, so wird für den Raum 8 ein maximaler Tageslichtquotient von 0,45% erreicht und ein Mittel von 0,13%. Betrachtet man die im Straßengebäude zum nooR hin orientierten Räume, stellt man fest, daß die Tageslichtquotienten im Erdgeschoß im Mittel nur minimal 0,05%, größer (Raum 1) bzw. um 0,05% kleiner sind (Raum 8). Dies kann durch die unterschiedlichen Raumtiefen und den dadurch stärker abfallenden Tageslichtquotienten erklärt werden.

Generell sind aber die maximalen Tageslichtquotienten von 2,41% bis 2,87% größer als in den kleinen Räumen des Rückgebäudes. Ein Tageslichtquotient von > 1%, wie er für Arbeitsräume anzustreben ist, wird in Raum 8 Rückgebäude an 8,07% der Messpunkte erreicht, im Straßengebäude an 10,75% der Messpunkte.

Im Obergeschoß 4 von Straßen- und Rückgebäude wird dagegen ein Mindestwert von 0,5% an 42,59 % (Raum 1, Quergebäude) bis 65,63% (Raum 4, Straßengebäude) der Messpunkte erreicht, ein Mindestwert von 1% allerdings nur

Tabelle 3.2.10: Zusammenfassung Simulationsergebnisse für unterschiedliche Gebäudeabstände und verschiedene Stockwerke

		EG	Og 1	Og 2	Og 3	Og 4
Mittelwert DF % Hof 11,1		31,08	38,19	48,22	60,60	76,00
Ausnutzung Raum / nooR	Raum 3	1,09%	1,36%	1,41%	1,58%	2,76%
	Raum 8	1,00%	1,18%	1,24%	1,35%	1,24%
Mittelwert DF % Hof 5,55		16,87	21,88	30,57	44,53	65,72
Ausnutzung Raum / nooR	Raum 3	0,83%	0,96%	1,08%	1,53%	1,45%
	Raum 8	0,77%	0,82%	0,92%	1,30%	1,23%

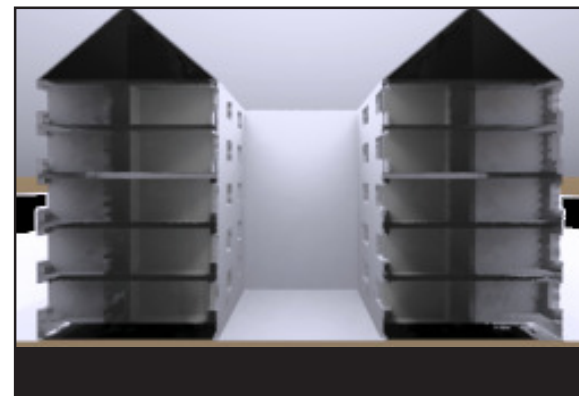


Abbildung 3.2.56: Schnitt durch Gebäude mit Gebäudeabstand 11,1m

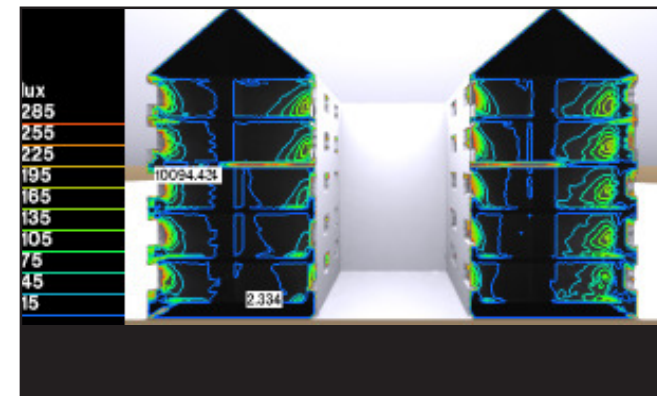


Abbildung 3.2.57: Schnitt durch Gebäude mit Gebäudeabstand 11,1m, Beleuchtungsstärken

bei 18,52 % (Raum 1, Rückgebäude) bis 39,98% (Raum 4, Straßengebäude). Vergleicht man die Schnittbilder (**Abbildung 3.2.61-68**) für das Erdgeschoß und Obergeschoß, jeweils mit einem Gebäudeabstand von 5,55m und 11,1m, wird die Verteilung der geringen Beleuchtungsstärken sichtbar. Die Räume mit zum großen Teil unverbautem Himmel weisen dagegen, wie zu erwarten, eine entsprechend gute Verteilung auf.

Betrachtet man die Auswirkung der unterschiedlichen Fenstergrößen und Stockwerkshöhen an Hand des Raumes 3 im Straßengebäude und 8 im Quergebäude, kann folgendes gesagt werden (vgl. **Tabelle 3.2.9,10; Abbildung 3.2.51-67**): Während die Mindestwerte relativ unabhängig von Höhenlage, Fensterhöhe und Stockwerkshöhe sind, zwischen 0,12% bis 0,18% für Raum 8 im Rückgebäude (nooR-Tiefe 11,1m) und zwischen 0,11% bis 0,18% für Raum 3 im Straßengebäude, weichen die Maximalwerte, je nach Lage, deutlich ab. Hier ist ein Abfall vom Maximalwert beim Rückgebäude von im Obergeschoß 4 (Raum 8) von 5,99% auf 2,18% und von 7,3% auf 2,75% beim Raum 3 im Straßengebäude zu beobachten. Die Mittelwerte steigen dagegen im Raum 8 (Rückgebäude) und Raum 3 (Straßengebäude) um jeweils ca. 0,15 Pro-

zentpunkte von Stockwerk zu Stockwerk. Der größte Sprung findet zwischen Obergeschoß 2 und 3 mit ca. 25 Prozentpunkten statt. Hier scheint insbesondere die geringere Raumhöhe im Obergeschoß 3 bei gleicher Fenstergröße und dem größeren Anteil an unverbautem Himmel eine entscheidende Rolle gespielt zu haben. Ansonsten scheinen die unterschiedlichen Stockwerkshöhen und Fenstergrößen keine weiteren signifikanten Auswirkungen auf die Verteilung der Beleuchtungsstärken in den unterschiedlichen Stockwerken gehabt zu haben.

Das Verhältnis von Mittelwert Tageslichtquotient Raum zu nooR auf gleicher Höhe zeigt, daß die Ausnutzung des vorhandenen Lichtes mit der Stockwerkshöhe zunimmt. Bei einem Gebäudeabstand von 11,1m nimmt im Raum 3 (Straßengebäude) die Ausnutzung vom Erdgeschoß zum Obergeschoß 4 ca. um das 2,5 fache zu, bei Raum 8 (Rückgebäude) nur um das 1,2- fache. Gleiches gilt für einen Gebäudeabstand von 5,55m, hier nimmt die Ausnutzung bei Raum 3 um das 1,7- fache zu, im Raum 8 allerdings um das 1,6- fache. Insofern funktioniert der kleine Raum 8 besser, je kleiner der nooR ist, wobei allerdings die Tageslichtquotienten im allgemeinen so gering

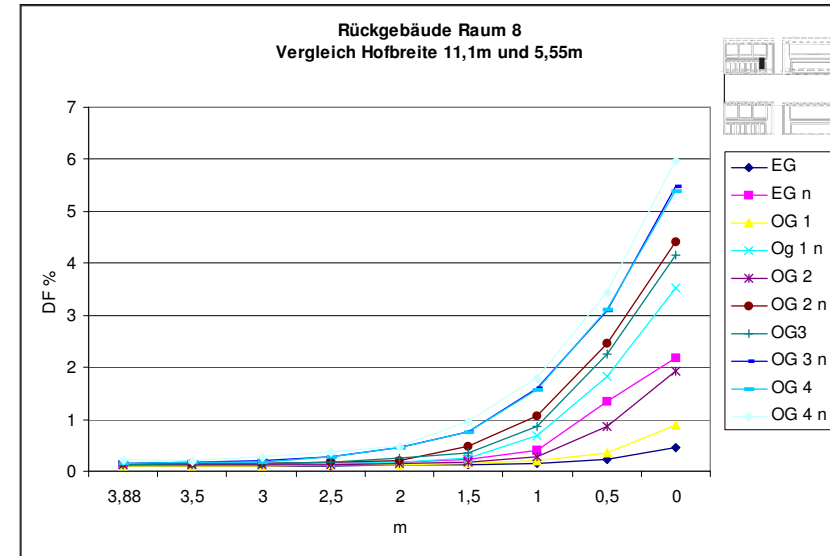
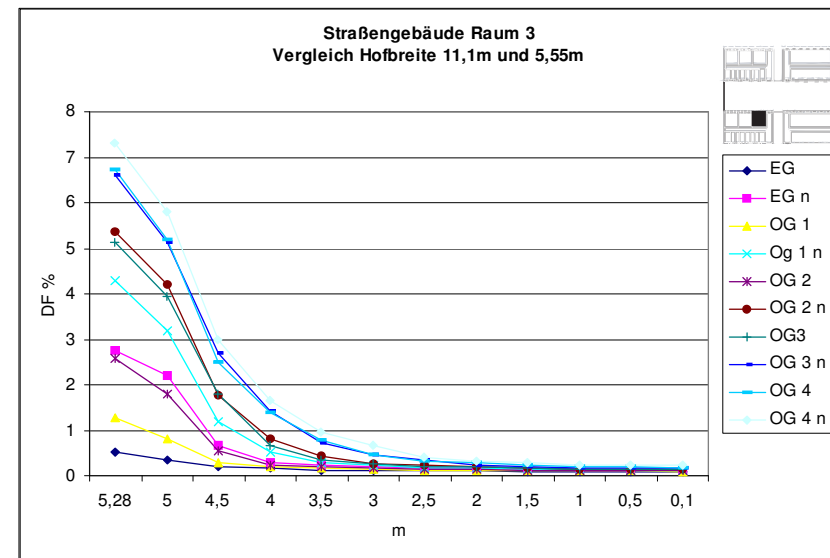


Abbildung 3.2.58 (oben): Tageslichtquotient Raum 8, Vergleich unterschiedliche Gebäudeabstände

Abbildung 3.2.59 (unten): Tageslichtquotient im Raum 3, Vergleich unterschiedliche Gebäudeabstände



sind, daß diese Überlegung an sich hinfällig ist.

Unter dem tageslichttechnischen Aspekt kann man aus den durchgeführten Simulationen schließen, daß Meyer's Hof durchaus eine gelungene Planung darstellt. Die Verdopplung des Gebäudeabstandes auf 11,10m erweist sich für die Belichtung als überaus vorteilhaft. Die größeren Räume, die gewerblich genutzt worden sind, weisen deutlich höhere Tageslichtquotienten auf, entsprechen zwar nicht den heutigen Anforderungen, können aber unter den damaligen Voraussetzungen wohl als gut belichtet eingestuft werden. Auch die Wohnräume weisen zum Teil befriedigende Tageslichtquotienten auf.

Allerdings sind auf Grund der gemachten Erläuterungen zur Simulation die Ergebnisse sicherlich als leicht überhöht einzuschätzen, da durch Vorhänge als Sichtschutz und Tendenz zu einer dunklen Wohnungsausstattung die Tageslichtquotienten wohl stärker abgefallen sein dürften als in der Simulation.

Dies macht sich vor allem in den unteren Stockwerken bemerkbar, da hier der Zenitlichtanteil sehr gering ist und wie in **Abbildung 3.2.56** und **57** deutlich zu sehen, auf Grund der Verbauung relativ steil in die

Räume einfällt und eine entsprechende Verteilung in die hinteren Raumbereiche benötigt um diese adäquat zu beleuchten.

Auch mangelhafter Bauunterhalt mit stark verschmutzten Fassaden dürfte die Lichtausbeute nochmals verringert haben.

Manche Kritik an Meyer's Hof und seinen Hinterhöfen scheint nicht in der Planung derselben begründet zu sein, sondern eher im, wie erwähnt, mangelhaften Bauunterhalt, sowie in politisch und sozial motivierten Überlegungen.

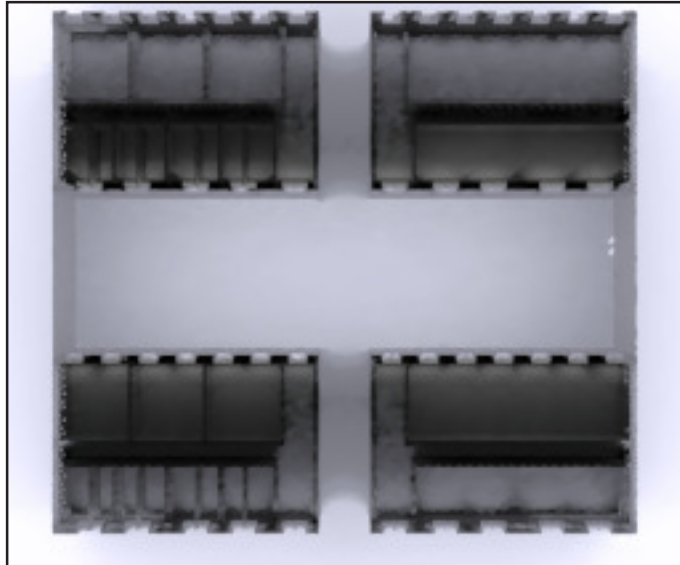


Abbildung 3.2.60: Erdgeschoß; Gebäudeabstand 11,1m.

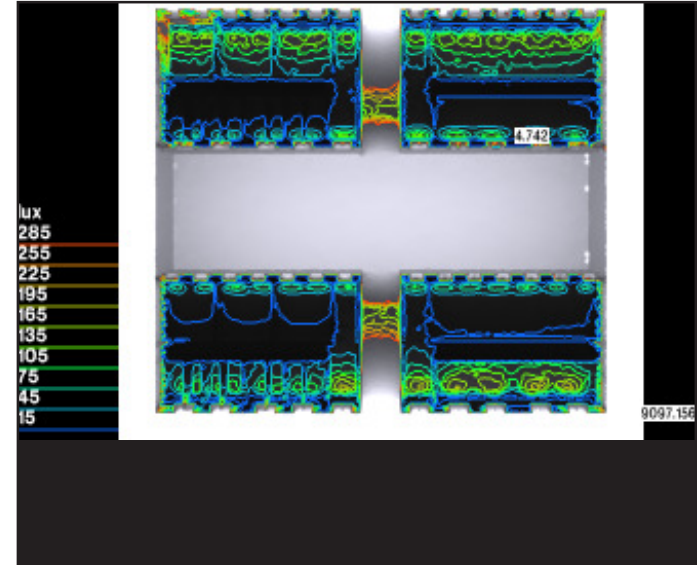


Abbildung 3.2.61 : Erdgeschoß; Gebäudeabstand 11,1m.

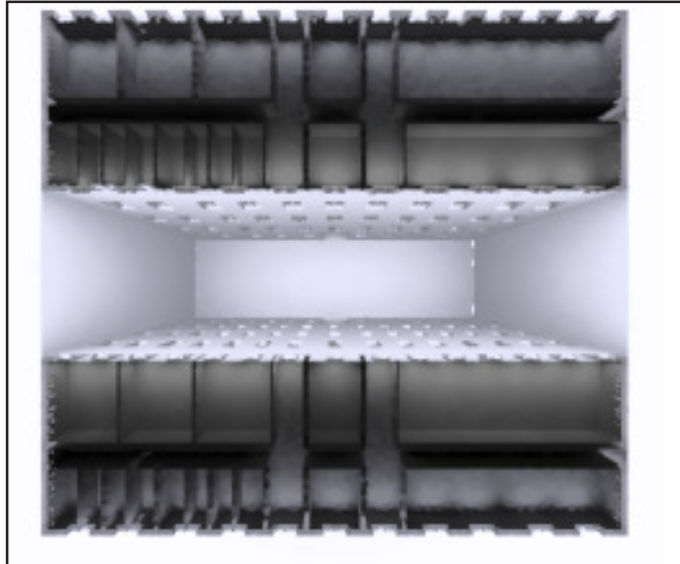


Abbildung 3.2.62 : Obergeschoß; Gebäudeabstand 11,1m.

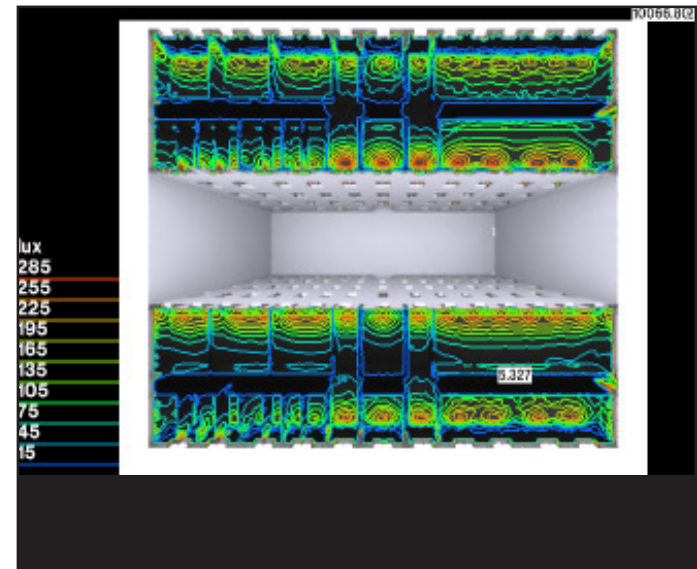


Abbildung 3.2.63: Obergeschoß; Gebäudeabstand 11,1m.

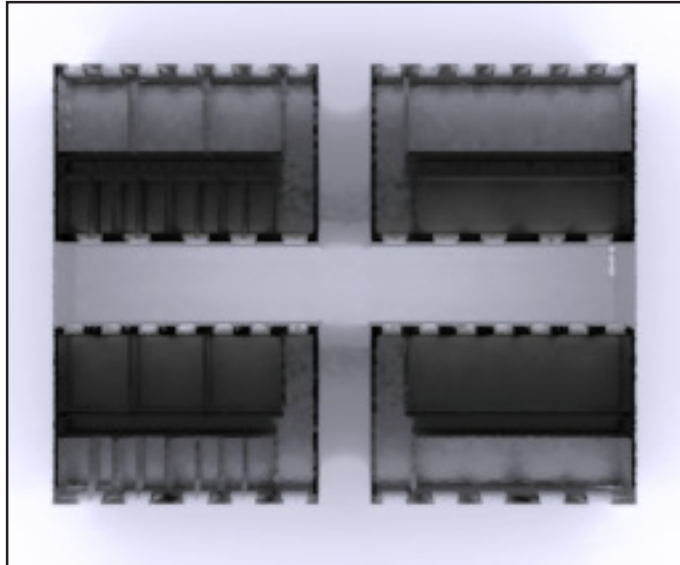


Abbildung 3.2.64: Erdgeschoß; Gebäudeabstand 5.55m

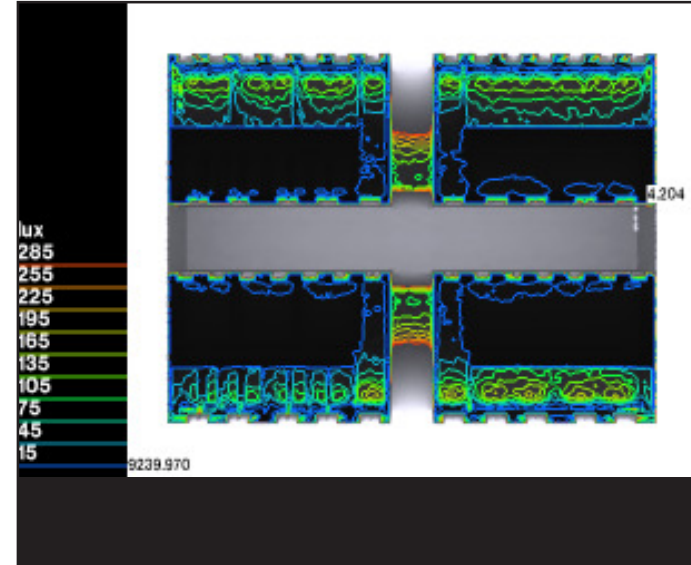


Abbildung 3.2.65: Erdgeschoß; Gebäudeabstand 5,55m

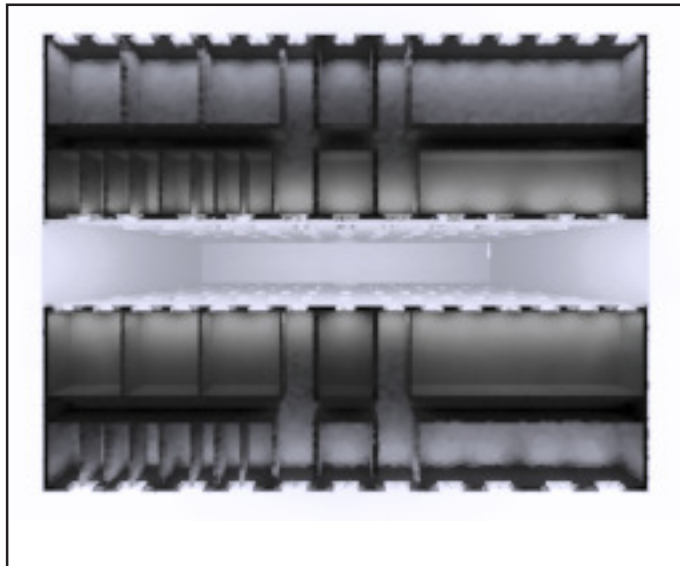


Abbildung 3.2.66: Obergeschoß 4; Gebäudeabstand 5.55m

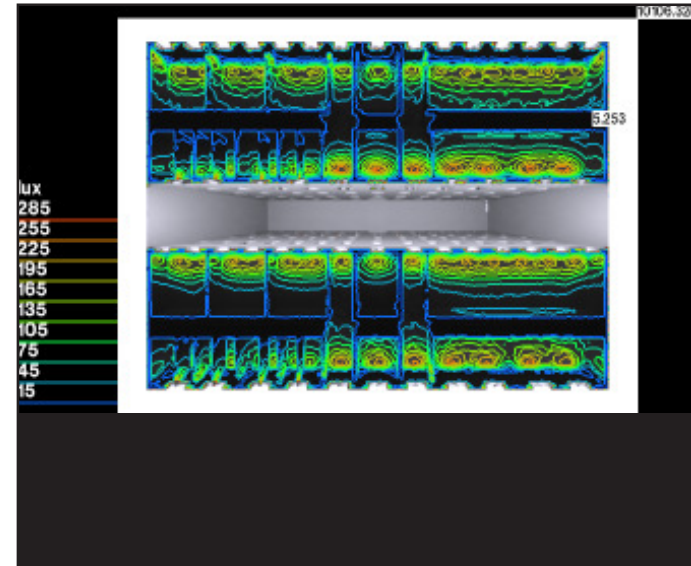


Abbildung 3.2.67: Obergeschoß 4; Gebäudeabstand 5,55m

3.2.7 Zusammenfassung der Untersuchung zur Tageslichtnutzung

Vergleicht man die Belichtung der Gebäude verschiedener Epochen an Hand der ausgewählten Räume, ergibt sich ein gemischtes Fazit.

Erstaunlicherweise ist die Belichtung im 72-Fuß-Saal des Palazzo Piccolomini am schlechtesten bezogen auf den Hof- und Raumindex. Obwohl in Olynth dem oikos (Raum =4) eine Vorhalle vorgeschaltet ist und vom nooR nur durch eine Tür Licht in den Raum fällt, weist er bessere Werte auf als der 72-Fuß-Saal im Palazzo Piccolomini. Offene Türen als zusätzliche Belichtungsquelle scheinen somit in beiden Fällen wesentlich für eine im unseren Sinne ausreichende Belichtung. Gründe für das gute Abschneiden des oikos bei der Belichtung dürfte vor allem die kompakte Raumgeometrie und die vielfältigen Lichtquellen sein, also Kamin, Fenster und Tür zum nooR. Allerdings darf der Lichteinfall durch die Fenster nicht überschätzt werden, er ermöglichte höchstens ein dämmriges Lichtmilieu. Es ist zu vermuten, daß die Fenster hauptsächlich zur Belüftung und als eine Art Grundbeleuchtung fungierten. Daß in Olynth der Hofindex besser abschneidet als

der Raumindex liegt an der Einbeziehung der Umgebung in die Simulation mit den geringen Abstand zu den Nachbarhäusern. Für die tatsächliche Belichtung durch die Fenster ist der Abstand und die Höhenlage der Nachbargebäude von entscheidender Bedeutung. Der bei HOEPFNER et al. (1986e) abgebildete Stadtplan legt diese Vermutung nahe, da im Stadtgebiet zwischen Südtor und Osttor ein Höhenunterschied von ca. 30m besteht.

Der nooR selbst funktioniert in Olynth gut, wie die Untersuchung der Indices mit drei verschiedenen Varianten zeigt. Bei Variante 1 dient als Bezugsobjekt ein erdgeschossiger nooR, bei Variante 2 ist das Rückgebäude erhöht und bei Variante 3 ist der nooR 2-geschossig.

Beim Palazzo Piccolomini erstaunt das schlechte Abschneiden, gerade wegen des Lobes von Papst Pius II. Der nooR selbst schneidet beim Schachtindex relativ gut ab, es wäre somit auf der Ebene des 72-Fuß-Saales genügend Licht vorhanden. Einschränkend ist hinzuzufügen, daß der gemessene Reflexionsgrad der Wandoberfläche im nooR als zu hoch eingeschätzt wird. Weitere Gründe für das schlechte Abschneiden dürften sein, die dunklen Wandoberflächen, die

dunkle Balkendecke und der relativ große Raum.

Allerdings war auch der persönliche Eindruck vor Ort, bei strahlendem Sonnenschein, wie bei bedecktem Himmel, daß der Saal und der Palazzo dunkel wirkten. Im Sommer und bei Hitze mag dieser Eindruck angenehm und mit Kühle assoziiert werden, im Winter

oder Herbst mag dies eher einen düsteren Eindruck hervorrufen. Die Schwärmerei Papst Pius II. kann man vielleicht verstehen, wenn man annimmt, daß es in früheren Bauten noch viel dunkler war. Möglich ist, daß die nach Funden rekonstruierten Fenster nicht oder nur teilweise den Originalfenstern entsprechen - in Farbe und

Tabelle 3.2.11: Vergleich der Indices der untersuchten Gebäude

	Raumindex	Hofindex	Schachtindex
Typenhaus, Olynth			
Raum 4, nooR	2,70	9,57	68,33 76,63 114,48
Palazzo Piccolomini, Pienza			
72-Fuß-Saal, nooR	2,06	4,36	80,79
Meyer's Hof, Berlin Gebäudeabstand 11,1m			
Erdgeschoß Raum 3, nooR	8,24	19,88	124,82
Erdgeschoß Raum 8, nooR	7,24	15,20	

Transmission - und der Lichteindruck stark verfälscht ist.

Überraschend ist das Belichtungspotential von Meyer's Hof. Bei regelmäßigem Bauunterhalt und hohem Reflexionsgrad der Wandflächen dürften, auch für unsere Verhältnisse, ansprechende Beleuchtungsstärken erzielt worden sein, obwohl Vorhänge zum Schutz der Privatheit einen beachtlichen Teil der Fenster verdunkelt haben. Das gute Abschneiden von Meyer's Hof in Bezug auf den Schachtindex überrascht indes und kann nicht nur durch die Durchfahrten erklärt werden. Trotz mehrmaliger Simulation und Neuaufbau konnte allerdings kein anderes Ergebnis erzielt werden.

Die Indices, die hier vorgeschlagen und zur Bewertung herangezogen wurden, haben eine interessante Beurteilung und Vergleich der unterschiedlichen Gebäude ermöglicht. Für weitere Untersuchungen sollten die Indices aber grundsätzlich auf ihre Verwendbarkeit überprüft werden.

So ist abschließend zu sagen, daß weitere Studien und Untersuchungen der Parameter notwendig sind um das spezifische

Belichtungspotential von Gebäuden mit nach oben offenen Räumen zu klären, auch im Hinblick auf baugeschichtliche Entwicklung und Bedeutung der Belichtung mit Tageslicht.

Interessant erscheint dies, um die historischen Entwicklungen und das Verständnis ehemaliger Raumsituationen und deren Nutzungen zu verstehen und beurteilen zu können.

Daß der nooR als nicht überglaster Raum heute noch von Bedeutung ist, obwohl ein Trend sicherlich zu überglasten nooR weist, soll folgendes Zitat aus SCHMITZ 2003 „Tageslicht im Atrium“ belegen: „In den ausgewerteten Fällen zeigt sich jedoch die Tendenz, dass Innenhöfe (nicht überglaste nooR A.d.A.) keine geringere Akzeptanz als der Außenraum genießen. Angesichts der ursprünglichen Form der Atrien (ohne Überdachung) ist möglicherweise in der Kultivierung der Innenhofform auch für Bürogebäude eine Alternative zum Atrium gegeben.“

4. Ergebnis der Arbeit

Im 1 Teil der Arbeit wurde der nooR als eigenständiger Raum definiert und eine Vielzahl von Parametern für eine Bewertung identifiziert.

Teil 2 untersuchte die Möglichkeiten zur Parameterselektion und Operationalisierung im Hinblick auf das klimatische Verhalten.

Im Teil 3 wurden das Belüftungspotential mit Hilfe einer Literaturrecherche untersucht. Die dazu verwendeten Parameter wurden dargestellt und Hinweise für eine weitergehende Parametrisierung gegeben.

Es wurden die darin enthaltenen Ansätze zur Operationalisierung und Probleme der Störparameter sowie das mögliche Kofundieren von Parametern angesprochen. Bei der Analyse des Belüftungspotentials wurden, in der Art, ähnlich einem Erkundungsexperiment, unterschiedliche Gebäude untersucht, um auf die Problematik der Nutzeranforderung und Beurteilung einzugehen.

Faßt man die Ergebnisse der einzelnen Teilbereiche zusammen, stellt man fest, daß die Beurteilung eines nooR stark von der Funktion und vom Umfeld abhängig sein muß. Eine allgemeine für jede Fragestellung sinnvolle Parameter-

selektion ist nicht möglich, genauso wie eine allgemeine Operationalisierung.

Auf Grund der Komplexität ist eine statistische Versuchsplanung anzuraten. Die hier dargestellten Sachverhalte können dabei Grundlage für die Versuchsplanung sein und einen ersten Hinweis auf die Parameterwahl, bzw. Eingrenzung darstellen.

Anhang

Einleitung	2
Anhang A.1 Tabellen Hauptteil und Anhang	
Tabelle a.1 Charakteristika von nach oben offenen Räumen	3
Tabelle a.2 nooR-Typen und ihre Zuordnung zu Gruppen	7
Tabelle a.3 Eingabe Parameter für die durchgeführten Simulationen in Rayfront	8
Tabelle a.4 Bauelemente und -materialien	9
Tabelle a.5 Olynth, Auswahl von Räumen die zum Weben genutzt wurden,	10
 Tabellen zum Haupttext Fortsetzung	
Tabelle 1.3.1 (Klimaparameter mit möglicher Operationalisierung)	11
Tabelle 1.3.2 (Parameter des geographischen, baulichen und wirtschaftlichen Kontextes mit möglicher Operationalisierung)	13
Tabelle 1.3.3 (Gebäudeparameter mit möglicher Operationalisierung)	15
Tabelle 1.3.4 (Parameter Nutzung Gebäude mit möglicher Operationalisierung)	20
Tabelle 1.3.5 (Parameter des nooR mit möglicher Operationalisierung)	21
Tabelle 1.3.6 (Parameter Nutzung nooR mit möglicher Operationalisierung)	24
 Anhang A.2 Anmerkungen zum Hauptteil	
1. Ansätze zur Bewertung des Klimas von nach oben offenen Räumen	26
2. Datenerhebung und Verfahren um das Lüftungsverhalten eines nooR zu ermitteln	28
3. Der nach oben offene Raum in Olynth	35
4. Belichtung, Bauphysik und Komfort in der Antike	37
5. Zusammenstellung von Hinweisen auf ein bauphysikalisches Grundverständnis in der Antike	38
6. Der Palazzo Piccolomini	39
 Anhang A.3 Literaturnachweis: Tabellen Hauptteil, Anhang und Anmerkungen	
Literaturnachweis Tabellen Hauptteil, Anhang	41
Literaturnachweis Anmerkungen	44
 Anhang B Zeichentabelle und Abkürzungen	
.....	50
 Anhang C Literaturverzeichnis Hauptteil	
Teil 1	54
Teil 2	56
Teil 3	57
 Anhang D Abbildungsnachweis mit Literaturverzeichnis	
.....	66
 Anhang E Pläne	
Olynth	68
Palazzo Piccolomini	69
Meyer's Hof	70

Einleitung

Der Anhang gliedert sich wie folgt:

Im Anhang A1 sind Tabellen (a.1 bis a.5) die den Text im Hauptteil ergänzen und weitergehend erläutern. Außerdem werden Tabellen (1.3.1 bis 1.3.6) aus dem Hauptteil fortgesetzt, um eine umfassende Auflistung zu erzielen.

Im Anhang A2 werden Punkte, die im Hauptteil nur angeschnitten werden konnten, aber durchaus für die Argumentation und für das Verständnis notwendig sind, eingehend erläutert, um eine fundierte Argumentation im Hauptteil zu ermöglichen bzw. das Vorgehen zu begründen, oder auch um weitere Anknüpfungspunkte zu schaffen.

Im Anhang A3 sind die Literaturnachweise von Anhang A1 und A2 zusammengefasst, um Überschneidungen mit dem Hauptteil zu vermeiden.

Im Anhang B finden sich die Zeichentabellen und Abkürzungen für die gesamte Arbeit.

Im Anhang C befindet sich das Literaturverzeichnis für den Text des Hauptteils.

Im Anhang D befindet sich der Abbildungsnachweis mit einem eigenen Literaturverzeichnis.

Im Anhang E befinden sich die Pläne für die im Teil 3 der Arbeit untersuchten Gebäude.

Anhang A.1
Tabellen Hauptteil und Anhang

Tabelle a.1:
 Charakteristika von nach oben offenen
 Räumen

Typ	Charakteristika	regionale Verbreitung, regionale Typen mit besonderer Bedeutung	Zeit
Gartenhof	Bepflanzung mit Zier- und Nutzpflanzen (Versorgungsfunktion), Zierpflanzen in tropischen oder auch warmtrockenen Klimata, häufig auch als Wohnhof, Bepflanzung zur Klimatisierung	China, Japan, islamischer Kulturkreis	
Burghof	in Burganlagen, oftmals auch mehrere nooR, entsprechend der Verteidigungsanlagen hintereinander, nooR-Typ eng mit Burgtyp verbunden, unregelmäßige Form, z.B. Abschnittsburgen	weltweit	z.B. in Europa z.Z. des Mittelalters
Gefängnishof	gut einsehbar, meist mit hohen Wänden oder Lochfassaden, begrenzter Raum, harter Bodenbelag, Ziel Bewegung der Gefangenen im Freien ohne Fluchtmöglichkeit bei optimaler Kontrolle	weltweit	
Bauernhof (vgl. Vierseithof)	von vier Gebäuden (Mauern) gebildeter nooR, verschließbarer Arbeitsraum; meist bestehend aus Wohnhaus mit Wirtschaftsteil, sowie Stallungen und Lagergebäuden	regionale Typen, z.B. Vierseithof in Bayern	
Block(hof)	Abstandsfläche, oftmals Abstellfläche (Garagen), oder Gartenbereich für erdgeschossige Wohnungen, uneinheitliche Bebauung, teilweise Baulücken, Zugang über Durchfahrten	vor allem im europäischen Bereich ab Ende 19. Jahrhunderts, durch Abreißen der Hintergebäude, aber auch 13. -15. Jahrhundert	
Hinterhof	oftmals durch Nachverdichtung von (offener) Blockbebauung entstandener nooR (Bodenausnutzung, Spekulation), z.T. mehrere nooR hintereinander, durch überbaute Zufahrten erschlossen, Grenzen der Verdichtung z.B. Anfahrtsflächen für Feuerwehr, Bauvorschriften; Vorderhaus repräsentativ; Begriff des H. zur sozialen Charakterisierung genutzt	in Berlin und den Industriestädten Englands	vor allem Mitte 19. Jh. bis zur Zeit der industriellen Revolution, Wirtschaftsliberalismus
Wirtschaftshof	meist bei Schloß- oder Palastanlagen, aber auch bei Wohnhäusern; ist den Hauptgebäuden vorgelagert, dient als Arbeitsraum oder zur Versorgung, oder Vorraum von Stallungen und Remisen, beim franz. Hoteltyp u.a. gleichzeitig auch Ehrenhof; bauliche Gestalt durch Funktion geprägt.	siehe Ehrenhof	siehe Ehrenhof
Ehrenhof /cour d'honneur	Hauptgebäude mit Wirtschaftsflügeln sowie Mauer als Abschluß zur Straße, der Hof liegt vor dem Gebäude, welches so von der Straße wegückt, enge Verbindung mit Wirtschaftshof, oftmals in einer Bauform zusammengefaßt, Empfangshof	vor allem in Frankreich	ab Mitte 16. Jahrhundert, Barock

Tabelle a.1 (Fortsetzung):
Charakteristika von nach oben offenen
Räumen

Typ	Charakteristika	regionale Verbreitung, regionale Typen mit besonderer Bedeutung	Zeit
Arkadenhof/ Säulen/ Laubenhof	mit Säulen / Bögen (über Säulen und Pfeilern) umstandener nooR, teilweise auch mehrgeschoßig	in Medresen, Karawansereien, Schloßbau	u.a. italienische Renaissance
Palasthof	nooR in einem Stadtpalast, zentraler nooR, dient der Repräsentation, Erschließung (Achsalität), Licht- führung, Fassaden zum nooR geöffnet, Prunkräume im piano nobile, Erdgeschoß meist als Lager und Arbeitsraum genutzt, z.T. in Verbindung mit einem repräsentativen Treppenhaus, in der Hochrenaissance oftmals auch achsialsymmetrisch	vor allem in Italien	ab 13. Jahrhundert
Schloßhof	unterschiedliche Ausprägung, vom Lichthof bis zum Platz ähnlich einem Ehrenhof in der Anlage, allerdings nicht mit der Bedeutung eines Palasthofes in Italien zu vergleichen, teilweise mehrere nooR zur Organisation und Belichtung der Gebäude (Blocksystem) notwendig	überwiegend in Frankreich, französischer Einflußbereich	ab der Renaissance, vor allem aber ab dem Barock weit verbreitet
Kreuzgang	verbindendes und vermittelndes Element zwischen Kirche und Klosterbauten unterschiedlicher Ausprägung, meist quadratisch / rechteckiger Umgang (ingeschoßig) mit Säulen und einem zentralen Garten mit Brunnen	Verbreitung christlicher Klöster weltweit	ab ca. 300 n. Chr.
Klosterhof	siehe Kreuzgang, Wirtschaftshof, teilweise mit Säulen und Arkaden, aber auch wie Wirtschaftshöfe; im Barock mehrgeschoßige Anlagen	weltweit, entsprechend der religiösen Ausrichtung	ab ca. 300 n. Chr.
Paradies	nooR mit Säulen vor einer Kirche (vgl. auch Narthex)	Verbreitung bei christl. Klöster, Kirchen	ab ca. 300 n. Chr.
Tempelhof	nooR vor einem Tempel, oftmals für gemeinschaft- liche Feiern, Rituale und Opferhandlungen, bei größeren Tempelanlagen sind z.T. mehrere nooR hintereinander angeordnet	weltweit	
Moscheenhof	der Moschee vorgelagert mit umlaufender Arkadenreihe	im islamischen Kulturkreis	
Arbeitshof	Ausführung handwerklicher Tätigkeiten, sowie Tätigkeiten die dem landwirtschaftlichen Bereich zu- zuordnen sind, Einbauten im nooR zur Ausführung der handwerklichen Tätigkeiten		

Tabelle a.1 (Fortsetzung):
Charakteristika von nach oben offenen
Räumen

Typ	Charakteristika	regionale Verbreitung, regionale Typen mit besonderer Bedeutung	Zeit
Arbeitshof	Ausführung handwerklicher Tätigkeiten, sowie Tätigkeiten die der Landwirtschaft zuzuordnen sind, Einbauten im nooR (z.B. Ofen) häufig zur Ausführung der handwerklichen Tätigkeiten	weltweit	
Wohnhof	enge Verzahnung von Gebäude und nooR, im islamischen Bereich, wie auch in der Antike hauswirtschaftliche Tätigkeit im nooR z.B. Kochen, Weben	z.B. in mediterranen und warm trockenen Gebieten, in gemäßigten / kalten Klimaten nur im Sommer	
Peristyl	Säulenhalle um einen nooR, teilweise zur tangentialen Erschließung von Räumen, nooR mit Gartenelementen, Wasser, Übergangszonen, auch Vorhof einer christlichen Basilika	Griechenland, im antiken Rom oft dem Atrium nachgeschaltet als privater Gartenhof	
Lichthof	dient zur Belichtung von Räumen in tiefen Gebäuden, Größe und Ausführung je nach Gebäudetyp, oftmals in Gebäuden mit mehreren nooR	weltweit	
Lichtschacht	dient der Belichtung einzelner Räume, wie z.B. Küchen etc. endet oftmals unvermittelt in der Decke von Räumen, teilweise auch Fenster zum Lichtschacht	weltweit	
Atrium	Oberlichtraum, Wohnhof des römischen Privathauses zu dem sich die Wohnräume hin orientieren, ursprünglich Herdraum später Repräsentationsraum, Unterscheidung der einzelnen Typen nach Vitruv entsprechend der Dachform	Verbreitung im römischen Einflußgebiet	
Schulhof / Pausenhof	teilweise von Mauern, Gebäuden umgebener nooR, läßt sich wahrscheinlich von frühen Universitätsbauten, die sich an der Klosterarchitektur anlehnten, ableiten	weltweit	
Quadrangle	rechteckiger nooR von Gebäuden umschlossen, oftmals Teil eines größeren Gebäudekomplexes z.B. in den frühen Universitäten Oxford oder Bologna; Vorbild Klosterbauten	England, Italien von da als Typ für Universitätsanlagen weltweit verbreitet	ab Mitte 14. Jahrhundert
Vierseithof	rechteckiger nooR umgeben von Wirtschaftsgebäuden (Stall, Lager, Remisen) und einem Wohngebäude	regionaler Typ, Verbreitung im süddeutschen Raum	

Tabelle a.1 (Fortsetzung):
Charakteristika von nach oben offenen
Räumen

Typ	Charakteristika	regionale Verbreitung, regionale Typen mit besonderer Bedeutung	Zeit
Innenhof	mehrgeschoßig, teilweise mit Arkaden, Loggia und Säulen in allen Geschossen oder nur Erdgeschoß, wird zum Teil zur Erschließung genutzt, mit Flügelbauten an den Seiten zur Erschließung von Vorder- und Rückgebäude; teilweise wie Lichthof. Bei repräsentativen Gebäuden aufwendig gestaltet (Säulen, Arkaden); Nutzung in warm / trockenen Gegenden als Wohnhof, ansonsten häufig als Arbeitshof	Verbreitung weltweit, oft in Bürgerhäusern, z.T. nachträglich repräsentativ gestaltet. Typisch z.B. für Innstädte in Bayern. Repräsentative Gestaltung v.a. in mittelalterlichen Palästen in Italien; typisch auch im islamischen Kulturkreis	ab dem 13. Jh.
Vorhof	nooR nur als Durchgang oder Arbeitsraum (halböffentlich/ privat) genützt; auch repräsentativen Räumen, Gebäuden, bzw. nooR vorgeschaltet	antikes Griechenland, Frankreich	
Kulthof	meist an Kulthandlungen ausgerichtet, teilweise erhabene Bereiche für Opferhandlungen, teilweise nur dreiseitig umbaut	weltweit	

Tabelle a.2:
nooR-Typen und ihre Zuordnung zu
Gruppen

	Zuordnung z.B.:
Gruppe der Gartenhoftypen	nooR mit Nutzgarten
	nooR mit Ziergarten
Gruppe der funktionalen Typen	Gefängnishof
	Burghof
	Wirtschaftshof
	Hinterhof
	Blockhof
	Lichtschacht
	Lichthof
	Schulhof
Gruppe der repräsentativen Typen	Arbeitshof
	Arkadenhof
	Säulenhof
	Peristylhof
	Palasthof
	Schloßhof
	Hof mit Wasserspielen
Gruppe der sakralen Typen	Ehrenhof
	Kreuzgang
	Tempelhof
	Paradis
	Kulthof
Gruppe der Wohntypen	Moscheenhof
	Atrium
Gruppe der Aufenthaltstypen	Wohnhof
	Schulhof
Gruppe der Hybridhöfe	Arbeitshof
	Wirtschafts-/ Ehrenhof
	Arbeits- / Wohnhof
Gruppe der offenen Plätze	Garten - / Wohnhof
	Stadtplatz
	Schrankenplatz
	Rathausplatz
	Marktplatz
	Dorfplatz
Gruppe der geschlossenen Plätze	Agora
	Schloßplatz
Gruppe der Einfriedungen	Forum
	Schulhof
	Friedhof

Tabelle a.3 : Eingabe Parameter für die durchgeführten Simulationen in Rayfront

Menüpunkt	Parameter	Eingabe	Anmerkung
Coordinates	longitude, latitude, time zone	entsprechend der geographischen Lage des Gebäudes	
Orientation	model x - axis deviation from east	nur für Himmel mit Sonne	
Preprocess parameter settings	ambient division ambient supersampling ambient bounces	512 256 2	
Special rendering settings	siehe Handbuch	Standardvorgabe	keine Auswirkung auf die Berechnungsergebnisse
Simulation settings	quality detail variability	medium medium medium	
	indirect penumbras zone type	none false interior	auch im Außenbereich wurde die Einstellung interior verwendet um dunkle Bereiche nicht aufzuhellen
	zone width zone length zone height	abhängig von der Berechnung	beeinflusst ambient resolution
	image oversampling backfaces light sources calculate	automatic - 2-fach visible visible Radiance / Irradiance	
	ambient resolution ambient accuracy ambient division ambient supersampling ambient bounces direct jittering direct threshold	abhängig von den Zonen 0.1- 0.2 1024 512 2-4 0.7 0.05	Überschreiben der oben angegebenen Angaben der simulation settings um optimales Simulationsergebnis zu erzielen
Sky setup	solar position	solar azimuth = 0.0 solar height = 45°	standard overcast sky nach Ward et al. (1998)
	sky settings ground settings	default settings	
	gensky parameter	cloudy sky average ground reflectance 0.2 sky turbidity 2.75 horizontal diffuse irradiance 55.9 default solar radiance	die sky turbidity wird bei einem overcast sky ignoriert

Tabelle a.4: Bauelemente und -materialien (Hoepfner 1999, Goulding et al. 1986, Baker et al. 1998, Hentschel 1994, Freymuth 1994, Compagnon 2000)

Bauelement	Raum	Material	Reflexionsgrad
Fußbodenaufbauten			5 - 30 %
	allgemein	Lehmestrich, aber nicht für Höfe, Badezimmer, Andrones	
	nooR	Steinziegel- bzw. Ziegelsplitt, aber auch Steinböden, Mosaiken, wasserdichte Estriche; in Olynth 25% der Höfe mit Lehmböden, 50% mit Kopfsteinpflaster, aber auch Kieselmosaiken	
	Andrones	Mosaiken, oder Estriche mit Steinzusatz	
	Baderäume	gebrannte Lehmziegel, Steinplattenböden, wasserdichter Estrich	
Wände			30-70%
	allgemein	Lehmziegelbau verputzt mit Lehm, weißer Kalkanstrich	
		oder Naturstein je nach regionalem Vorkommen,	
	Andrones	eingefärbte Stuckierungen auf Kalk- oder Gipsbasis	
Türen			5-20%
	allgemein	Holz mit Bronze oder Eisenbeschlägen	
Fenster			5-20%
	allgemein	Holz, Fensterladen, keine "Verglasung"; Form als Opaion (Schlitzfenster), ansonsten wie Türkonstruktion. Beschläge anspruchsvoll, Mischformen Tür und Fenster, wahrscheinlich eigenes Handwerk, Verglasung erst ab 2. Jh. v. Chr., in Griechenland aber unbekannt	
Dach			
	allgemein	Deckenbalken rechteckig z.B. 29/26cm; bei städtischem Reihenhaus, Bauunternehmer und eigenes Zimmerhandwerk notwendig	
Dachdeckung			
	allgemein	Dachziegel flach oder Mönch und Nonne, ab ca. 8 Jh. v.Chr.	
Treppen			
	allgemein	nicht repräsentativ gestaltet, aus Holz bzw. Kragsteinen	
Kamin , Rauchfang			
	unterschiedliche Lösungen	z.B. Kamin der auch als Lichtschacht diente (Cahill 2001) oder offener Rauchabzug durch Öffnungen im OG	

Tabelle a.5: Olynth, Auswahl von Räumen die zum Weben genutzt wurden, nach CAHILL (2002), erweitert durch die Untersuchungen an einem Typenhaus.

Haus	Raum	Raumtyp	Anzahl Webgewichte	Lichtquelle	DF	Bewertung
(CAHILL 2001)	(CAHILL 2001)	(CAHILL 2001)	(CAHILL 2001)	(CAHILL 2001)	Autor	Autor
A -1	i	Raum	7	nooR		
A 10	b	N. Raum	24	unsicher		nicht vergleichbar
A 11	d	Raum	25	nooR		nicht vergleichbar
A 8	d	pastas	7	nooR / Pastas		nicht vergleichbar
A iv 9	a	N. Raum	31	Schacht b		nicht vergleichbar
A iv 9	g	S. Raum	71	nooR		nicht vergleichbar
A v 2	a	N. Raum	15	unsicher		
A v 4	d	Pastas Raum	18	neben Pastas, dim		
A v 5	h	Exedra	18	neben nooR		nicht vergleichbar
A v 6	b	N. Raum	9	N Wand ?		
A v 9	e	Raum	24	neben nooR		nicht vergleichbar
A v 9	h	Raum	22	neben nooR		nicht vergleichbar
A v 9	j	Raum	18	neben nooR		nicht vergleichbar
A v 9	m	Exedra	19	neben nooR		nicht vergleichbar
A vi 2	c	Pastas	12	nooR / pastas		
A vi 4	e	Küche	5	Kamin	0,11%	Raum 4, Belichtung durch Kamin und nooR
A vii 1	h	nooR	12	nooR		
A vii 3	b	N. Raum	15	kein pastas, neben nooR ?		
A vii 4	b	N.Raum	23	Kamin nebenan	0,25%	Raum 2, Belichtung durch nooR
A vii 4	i	nooR	16	nooR	38,59%	
A vii 6	j	Küche	7	Kamin		
A vii 9	c	Raum	8	N.Raum ?		nicht vergleichbar
A vii 10	h	nooR	7	nooR		
A viii 1	k	Raum	32	Exedra, Küche offen zum nooR ?		nicht vergleichbar
A viii 7	b	N.Raum	50	Cache, Weben ?		
A viii 7	d	Pastas	247	nooR / Pastas/ cache		
A xi 10	c	Küche	57	Kamin		nicht vergleichbar
B vi 5	h	Pastas	19	nooR / Pastas	4,99%	
B vi 9	m	nooR	8	nooR		
B vii 2	g	Pastas	9	nooR / Pastas		
D v 6	b	Raum	14	unsicher		nicht vergleichbar
ESH	h	Raum	39	Kamin West		
H. Komödianten	K	Laden	67	Raum wahrscheinlich nicht zum Weben		nicht vergleichbar
H. d. vielen Farben	a	N.Raum	41	Lichtschacht	0,11%	Raum 4, Belichtung durch Kamin und nooR
S. Villa	a	N.Raum	7	unsicher, Fenster zur Straße ?		
V. Bronze	i	Küche	6	Kamin		nicht vergleichbar
Villa CC	d	Raum	43	unsicher		nicht vergleichbar

Tabelle 1.3.1 : Klimaparameter mit möglicher Operationalisierung

	Klassifikation	
01.	Klimazone	keine kaltes Klima gemäßigtes Klima trockenes Klima warm- feuchtes Klima weitere
02.	Klimatyp nach Köppen	
03.	Mesoklima	kein Stadt- Wald- Wiesen - Seengebiet Gebirge weitere
04.	Mikroklima	kein Straße Park weitere
	Spezifikation Klima	
05.	Lufttemperatur °C	>-15 -15 bis -10 -10 bis -5 -5 bis 0 0 bis 5 5 bis 10 10 bis 20 20 bis 25 über 25
06.	Erdbodentemperatur (50cm)	z. Zt. freibleibend
07.	Globalstrahlung	<0 0-100 100-200 200-400 400-600 600-700 >700W/m ²
08.	direkte Sonneneinstrahlung (ab 120W/m ² Sonnenschein I)	0 0-120 120-200 200-400 400-600 600-700 >700W/m ²
09.	diffuse Sonnenstrahlung	0 0-120 120-200 200-400 400-600 600-700 >700W/m ²
10.	reflektierte Sonneneinstrahlung	0 0-120 120-200 200-400 400-600 600-700 >700W/m ²
11.	langwellige Ausstrahlung der Erdoberfläche	< -400W -400 bis -300W -300W-200W -200bis -100W -100W -0 >0W/m ²
12.	langwellige Einstrahlung der Erdoberfläche	<0 0 - 100 100- 200 200-300 300 - 400 >400 W/m ²
13.	Sonnenscheindauer	0 0-1h 1-4h 4-6h 6-8h 8-12h 12-16h >16h
14.	Beleuchtungsstärke / Leuchtdichte direkt, diffus	0-100 1000 5000 20.000 50.000 100.000 lux
15.	Bewölkungsgrad	0 1/8 2/8 3/8 4/8 5/8 6/8 7/8 8/8 nicht erkennbar
16.	Trübungsfaktor Linke - Trübungsfaktor	0 1 2 3 4 5 6 7 >7
17.	Luftverschmutzung	keine gering mittel hoch weitere
18.	Windstärke /-geschwindigkeit	0-1,5 1,5-4 4-8 8-12m/s

Tabelle 1.3.1 (Fortsetzung): Klimaparameter mit möglicher Operationalisierung

	Spezifikation Klima	
19.	Windrichtung	keine Nord Ost Süd West weiter
20.	Turbulenzgrad	kein gering mittel hoch weitere
21.	Luftdruck	z.Zt. freibleibend
22.	Niederschlagsmenge Niederschlagsintensität Niederschlagstage	0-200 200-400 400-600 800-1000 1000-1200 1200-1400 >1400mm (/a) z.Zt. freibleibend
23.	Niederschlagsart	Schnee Eisregen Regen Niesel Nebel weitere
24.	relative Luftfeuchte	0-30% 30-40 40-50 50-60 60-70 größer 70
25.	absolute Feuchte	z.Zt. freibleibend
26.	Dampfdruck	z.Zt. freibleibend
27.	Wärmestrahlung der Umschließungsflächen	keine geringer gleich größer weitere
	Spezifikation Zeit	
28.	Dauer / Zeitraum	Sekunde Minute Stunde Tag Monat Jahr
29.	Jahreszeit	Frühjahr Sommer Herbst Winter
30.	Wert	Minimum Maximum Mittelwert

Tabelle 1.3.2 : Parameter des geographischen, baulichen und wirtschaftlichen Kontextes mit möglicher Operationalisierung

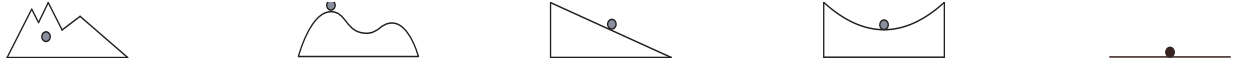

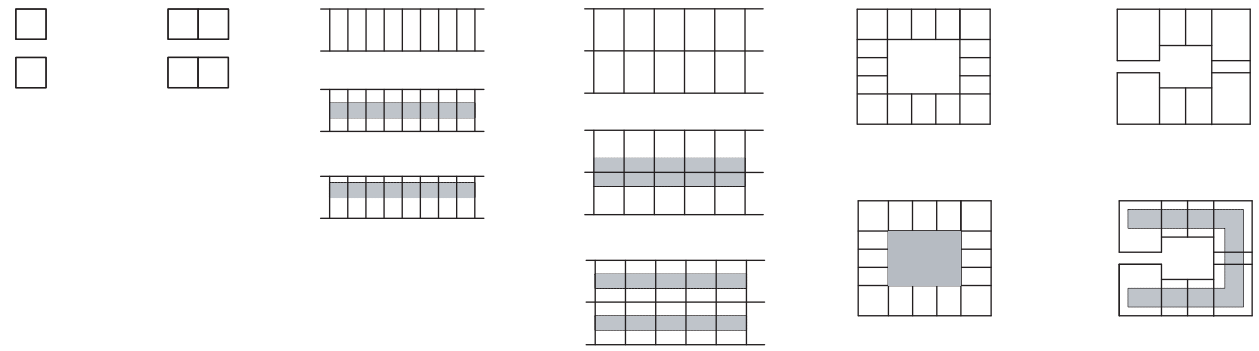
	Klassifikation	
1.	Koordinaten	(Geographie) Breitengrade Längengrade
2.	Höhe über NN	keine gering mittel hoch weitere bis 100m bis 200m bis 500m bis 1000m bis 2000 über 2000m weitere
3.	Topographischer Kontext	kein Kuppellage Hanglage Tallage Ebene Gebirge Seelage Meerlage Flußlage weitere Beispiele: 
4.	Städtebaulicher Kontext	kein City Stadt Dorf Siedlung sprawl low rise high density weitere Beispiele: 
5.	Bauweise Gebäudekontext(überwiegen- de Bauweise und typische Lage von nooR)	keine Einzelhäuser Doppelhäuser Reihenhäuser Hausgruppe Blockbebauung Hochhäuser Insula weitere Beispiele: 
6.	Wirtschaftlicher Kontext	keine Sammler und Jäger Nomadentum Agrargesellschaft Industriegesellschaft Dienstleistungsgesellschaft weitere
7.	Baugeschichtliche Einordnung / geschichtliche / Kunstgeschichtliche Einordnung	keine z.B. Antike Renaissance Moderne weitere

Tabelle 1.3.2 (Fortsetzung): Parameter des geographischen, baulichen und wirtschaftlichen Kontextes mit möglicher Operationalisierung




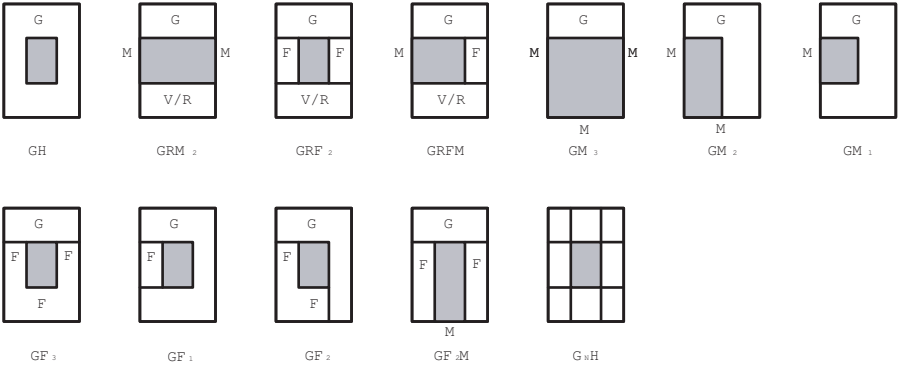
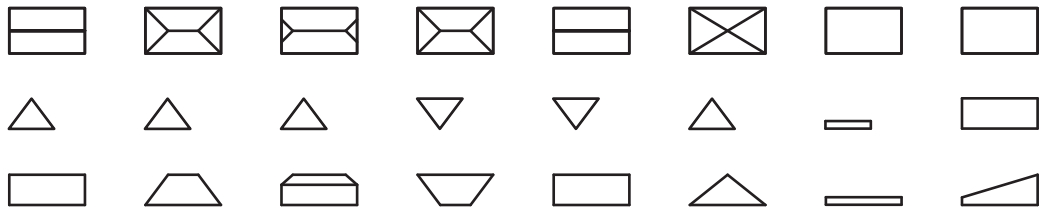

	Spezifikation	
08.	Geographische Lage	Beschreibung möglich, zur Zeit nicht vorgesehen
09.	Landnutzung baulich	versiegelte Fläche Industriegebiet Gewerbegebiet Wohngebiet Kleinsiedlungsgebiet reines Wohngebiet Mischgebiet allgemeines Wohngebiet Kerngebiet Dorfgebiet weitere
10.	Art der Bebauung in Bezug auf Gebäudegröße / -höhe	keine homogen heterogen weitere Beispiele: 
11.	Gebäudereihung	keine frei Raster Addition (ein-, zwei-, dreidimensional weitere) Substraktion weitere Beispiele: 
12.	Musterbildung	z. Zt. freibleibend
13.	Gebäudekontext nah	Beispiele: 
14.	Größe Gebäudekontext (z.B. Block oder Länge und Breite einer Hauszeile durch Straßen begrenzt)	keine gering mittel groß weitere
15.	Durchschnittliche Gebäudehöhe (Trauf- oder Firsthöhe)	0 3 6 12 15 18 21 weitere
16.	Maximale /minimale Gebäudehöhe (Firsthöhe)	keine gering mittel groß weitere
17.	Grad der Überbauung (GRZ)	0 0,2 (Kleinsiedlungen) 0,4 (Dorf- und Mischgebiete) 0,6 (Wohngebiete) 0,8 (Gewerbe- und Industriegebiete) 1 (Kerngebiete)
18.	Zahl der Gebäude/ Grundstück	0 1 2 3-6 weitere
19.	Geschossflächenzahl (GFZ)	0,2-1 1-1,6 1,6 3 >3
20.	Vegetationszone	z.Zt. freibleibend
21.	Vegetationskontext	kein Wasser Wald Ackerfläche Wiese Park Garten Brachfläche Flächen für Tierhaltung Gartenbegleitgrün weitere
22.	Vegetationstage ($t > 5^\circ\text{C}$)	z.Zt. freibleibend

Tabelle 1.3.3 : Gebäudeparamter mit möglicher Operationalisierung

	Klassifikation	
1.	Gebäudetyp I (Hauptgebäude)	kein Block freistehendes Haus Back to Back Reihenhaus Kirche Tempel Kloster Sakralbau Herrschaftsbau Festungsbau Verwaltungsbau Industrie- / Gewerbebau Hochhaus Flachbau Mietshaus Laubenganghaus Terrassenhaus Punkthaus Wohnhochhaus Hochhaus weitere
2.	Grundrißtyp	kein GH GRMH GRFH2 GRFH GM3 weitere Beispiele: 
3.	Konstruktion	kein Rahmenbau Skelettbau Massivbau Schottenbau selbsttragend weitere
4.	Dachtyp (Hauptgebäude / überwiegend)	kein Satteldach Walmdach Krüppelwalm Grabendach Flachdach Pultdach weitere Beispiele: 
5.	Lage Gebäude / nooR zu Gelände	keine über Gelände gleiche Ebene unter Gelände weitere Beispiele: 

G= Gebäude, H= nooR, M= Mauer, F= Flügelbau, V= Vordergebäude, R= Rückgebäude

Tabelle 1.3.3 (Fortsetzung): Gebäudeparameter mit möglicher Operationalisierung




	Spezifikation allgemein	
6.	baugeschichtliche Einordnung	
7.	Erbaut / Epoche der Auswertung	z.B. 3000 v.Chr. 1500 n.Chr. weitere
8.	Gebäudeform Grundriß	keine rund rechteckig dreieckig polygonal polymorph weitere Beispiele: 
9.	Gebäudeform Schnitt	Beispiele: 
10.	Grundfläche Gebäude	keine klein mittel groß weitere
11.	Grundfläche Gebäude und nooR	keine klein mittel groß weitere
12.	Gebäudevolumen	keine klein mittel groß weitere
13.	Gebäudevolumen zu nooR-Volumen	keine klein mittel groß weitere
14.	Abtreppung Gebäude	keine Hauptgebäude / Nebengebäude weitere Beispiele: 
15.	Orientierung	keine Nord Ost Süd West weitere
16.	Addierbarkeit (siehe auch baulicher Kontext)	keine eindimensional zweidimensional weitere
17.	Erweiterbarkeit (siehe auch baulicher Kontext)	keine eindimensional zweidimensional weitere
18.	Anzahl nooR	0 1 2 3 weitere

Tabelle 1.3.3 (Fortsetzung): Gebäudeparameter mit möglicher Operationalisierung




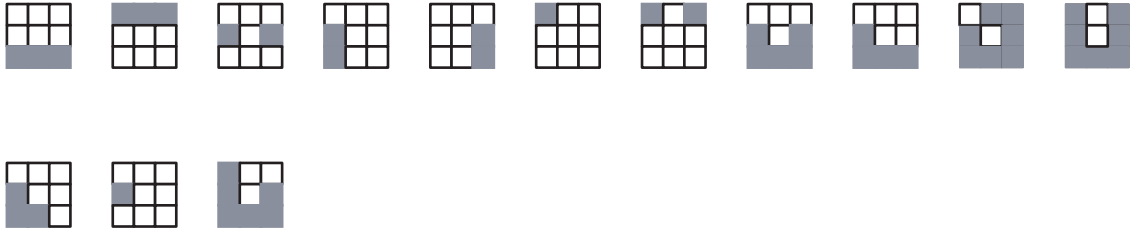
	Spezifikation allgemein	
19.	Lage nooR	keine zentral dezentral linear angefügt umschlossen weitere Beispiele: 
20.	Dachform	Erstellung Schlüssel siehe Matrix Dachform
21.	typische Dachformen nooR-Gebäude (Hauptdachebene)	siehe Punkt 4
22.	typische Dachformen nooR-Gebäude (Nebendachebene)	siehe Punkt 4
23.	Dachfläche / -rand (siehe auch Hof)	kein stetig unstetig weitere Beispiele: 
24.	Dachebenen/ Traufebenen	keine 1 2n 2h 3n 3h 3nh weiter 1= durchgehende Trauf/ Firstlinie, 2n = Hauptdach und Nebendach mit 2 First- / Trauflinien, 2h Hauptdach und abgesetzte Überdachung der Randzone nooR, etc.
25.	Traufebene Hauptgebäude	Beispiele: 
26.	Traufebene Nebengebäude	Beispiele: 

Tabelle 1.3.3 (Fortsetzung): Gebäudeparameter mit möglicher Operationalisierung


	Spezifikation allgemein	
27.	nooR- Traufebene	Beispiele: 
28.	Dachneigung	0-3° 3-15 15-25 25-30 30-50 50-60 60 - 89°
29.	Proportion (Höhe/ Breite)	keine 6:1 5:1 4:1 3:1 2:1 1:1 1:2 1:3 1:4 1:5 1:6 1:8 1:9 1:10 1:11 weitere
30.	Dimension (Höhe)	keine 3m 6m 9m 12m 15m 18m 21 24m weitere
31.	Anzahl der Geschosse	keine 1 2 3 4 5 6 7 > weitere
32.	Durchgang Anzahl	keine 1 2 3 weitere
33.	Durchgang (Wegeführung)	keiner gerichtet ungerichtet weitere
34.	Öffnung der Fassade zum Hof	keine 10% 25% 50% 75% 100%
35.	Anzahl der Nutzungseinheiten / Wohnungen	keine 1 2 3-5 5-10 >10 weitere
36.	Anzahl der Räume	keine -3 -10 -20 über 20 weitere
37.	Verhältnis der Haupträume zu Nebenräumen	keines überwiegende Haupträume gleich überwiegend Nebenräume weitere
38.	Differenzierung der Räume entsprechend der Nutzung	keine gering mittel hoch weitere
39.	Spezifikation Bauweise	
40.	Bauart	keine schwer leicht weitere
41.	Aufbau Wand (Schichten)	keine monolithisch mehrschichtig weitere
42.	Schwerpunkt WD	keine außen mittig innen weitere
43.	Schwerpunkt Dampfsperre	keine außen mittig innen weitere
44.	Material (überwiegend)	kein Holz Ziegel Lehm Stahl Glas weitere
45.	Feuchtegehalt Baustoffrelative Feuchte %	kein gering mittel hoch weitere z.B.: 0-5 5-10 10-20 20-40 40-60 >60
46.	Oberfläche	keine rau glatt weitere
47.	Reflexionsgrad kurzwellig	kein gering mittel hoch weitere z.B.: 0-10 10-30 30-50 50-70 70-90 90 -100%
48.	Reflexionsgrad langwellig	kein gering mittel hoch weitere z.B.: 0-10 10-30 30-50 50-70 70-90 90 -100%
49.	Absorptionsgrad kurzwellig	kein gering mittel hoch weitere z.B.: 0-10 10-30 30-50 50-70 70-90 90 -100%
50.	Absorptionsgrad langwellig	kein gering mittel hoch weitere z.B.: 0-10 10-30 30-50 50-70 70-90 90 -100%
51.	Transmissionsgrad kurzwellig	kein gering mittel hoch weitere z.B.: 0-10 10-30 30-50 50-70 70-90 90 -100%
52.	Transmissionsgrad langwellig	kein gering mittel hoch weitere z.B.: 0-10 10-30 30-50 50-70 70-90 90 -100%
53.	Emissionsgrad langwellig	kein gering mittel hoch weitere z.B.: 0-10 10-30 30-50 50-70 70-90 90 -100%
54.	Farbe	keine rot grün blau weiß schwarz weitere
55.	Wärmeübergang Konvektion	kein gering mittel hoch weitere

Tabelle 1.3.3 (Fortsetzung): Gebäudeparamter mit möglicher Operationalisierung

	Spezifikation Bauweise	
56.	Wärmeübergang Strahlung	kein gering mittel hoch weitere z.B: 0-0.25 0.25-0.5 0.5-3 3-4 4-5 5-6 >6 W/(m²K)
57.	Wärmeleitfähigkeit	kein gering mittel hoch weitere z.B: 0-0.05 0.05 -0.1 0.1-0.5 0.5-1.0 1.0-1.5 1.5-2.5 2.5 -5.0 > 5.00 W/mK
58.	Wärmespeicherfähigkeit (J/(m²K)) Wärmekapazität Wärmeeindringkoeffizient (J/(m²Ks0.5))	keine gering mittel hoch weitere z.B: 0-1000 1000-2000 2000-4000 > 4000 J/(kg K)
59.	Schichtspeicherkoefizient	z.Zt. freibleibend
60.	Strahlungsausnützung	keine gering mittel hoch weitere
61.	Temperaturdurchgriff	kein gering mittel hoch weitere
62.	speicherwirksame Schichtdicke	keine gering mittel hoch weitere
63.	Einstrahlungsdurchgriff	kein gering mittel hoch weitere
64.	Fugendurchlaßkoeffizient	z.Zt. freibleibend
65.	Spezifikation Haustechnik	
66.	Heizung Heizleistung	keine offenes Feuer Ofen Heizung dezentral Heizung zentral weitere
67.	Kühlung Kühlleistung	keine natürliche Klimagerät weitere
68.	Lüftung Lüftungsvolumen (m³/h Person)	keine natürliche mechanische weitere z.B.: <10 10-20 20-30 30-40 40-60 >60
	Spezifikation Lasten / Verluste	
69.	innere Wärmelasten W/m²	keine gering mittel hoch weitere 0-5 5-10 10-20 40-60 60-80 80-100 > 100
70.	Personenwärmelast	keine gering mittel hoch weitere
71.	Beleuchtungswärmelast	keine gering mittel hoch weitere
72.	Maschinenwärmelast	keine gering mittel hoch weitere
73.	äußere Wärmelasten	keine gering mittel hoch weitere
74.	Transmissionswärmelasten	keine gering mittel hoch weitere
75.	Strahlungslasten	keine gering mittel hoch weitere
76.	Wärme- und Stofflasten	keine gering mittel hoch weitere
77.	Verteilung Wärme- und Stofflasten	keine gleichmäßig zum nooR nicht zum nooR weitere
78.	Lüftungsbedarf	0,5-1 1-5 5-10 10-20 20-40 >50ach
79.	Transmissionsverluste	keine gering mittel hoch weitere
80.	Lüftungsverluste	keine gering mittel hoch weitere
81.	Strahlungsverluste	keine gering mittel hoch weitere
82.	Verluste allgemein (Energieaufwand)	keine gering (nur temporär beheizt mit Strahlungswärme) mittel hoch (kontinuierliche Heizung bei geringem U- Wert) weitere

Tabelle 1.3.4: Parameter Nutzung Gebäude mit möglicher Operationalisierung

	Klassifikation Nutzung	
1.	Art der Nutzung (Hauptnutzung)/ Funktion	keine Wohnhaus Mixed Use Schule Hochschule Heim (Kinderheime, Schulheime) Büro Warenhaus Fabrik Markthalle Gehöft (landwirtschaftliche Gebäude incl. Wohn-, Wirtschafts-, Lagergebäude) Parkhaus Gaststätte Lagerhaus Krankenhaus Museum Moschee Kloster Tempel weitere
2.	Spezifikation Nutzung allgemein	
3.	Anzahl der Nutzungseinheiten	keine 1 2 3 bis 6 bis 20 weitere
4.	Verhältnis Hauptnutzung zu Nebennutzung	kein ¼ ½ ¾ 1 weitere
5.	Nebennutzung	vergleiche Hauptnutzung
6.	Raumarten (überwiegend)	keine Büro- Wohn- Labor- Ausstellungsraum Lager Aufenthalt gemischt weitere
7.	Spezifikation Nutzungsprofil	
8.	Anwesenheit/ Zeitraum der Nutzung	keine temporär halbtags ganztags 24h weitere
9.	Gleichzeitigkeitsfaktor	kein ¼ ½ ¾ 1 weitere
10.	Anzahl der Nutzer	keine 1-5 5-12 -50 über 50
	Spezifikation Nutzeranforderungen	(allgemein / zum nooR)
11.	Nutzeranforderung (Schwerpunkt)	ästhetisch, funktional, ökonomisch, ökologisch bauphysikalisch
12.	ästhetische Anforderungen	z.Zt. freibleibend
13.	funktionale Anforderungen	z.Zt. freibleibend
14.	ökonomische Anforderungen	z.Zt. freibleibend
15.	ökologische Anforderungen	z.Zt. freibleibend
16.	bauphysikalische Anforderungen allgemein	keine gering mittel hoch weitere
17.	visuelle Anforderungen	keine gering mittel hoch weitere
18.	Belichtungsklasse	keine Tageslicht Tageslicht / Verdunklungsmöglichkeit Nacht / Dunkelheit weitere
19.	Thermische Anforderungen (Temperaturkonstanz / Toleranz)	keine gering mittel hoch weitere
20.	Lufttemperatur	keine gering mittel hoch weitere
21.	Temperatur umschließender Flächen	keine gering mittel hoch weitere
22.	Luftfeuchte	keine gering mittel hoch weitere
23.	Windgeschwindigkeit	keine gering mittel hoch weitere
24.	Lufthygienischer Komfort	keine gering mittel hoch weitere
25.	Lärm	keine gering mittel hoch weitere

Tabelle 1.3.5: Parameter des nooR mit möglicher Operationalisierung







	Klassifikation Hof	
1.	nooR-Typ	kein Platz Hof Atrium Innenhof Schacht weitere
2.	Erweiterung nooR	keine Umgang Iwan Galerie weitere Beispiele: 
3.	Schnitttyp nooR (Kombinationsmöglichkeiten)	kein U T L E V H weitere Beispiele: 
4.	Bauelemente im nooR	keine Treppe Überdachung Brunnen Garten Zisterne weitere
	Spezifikation allgemein	
5.	nooR-Form, Grundriß	keine rund rechteckig dreieckig polygonal polymorph weitere Beispiele: 
6.	nooR-Form, Schnitt	keine rund rechteckig dreieckig polygonal polymorph weitere Beispiele: 
7.	vertikale Lage nooR	Beispiele: 
8.	nooR-Volumen	kein gering mittel groß weitere
9.	Hauptvolumen	kein gering mittel groß weitere
10.	Nebenvolumen	kein gering mittel groß weitere
11.	Dachlinie / Abwicklung nooR	keine gerade fallend/steigend unregelmäßig weitere Beispiele: 
12.	Oculusfläche	kein gering mittel groß weitere

Tabelle 1.3.5 (Fortsetzung): Parameter des nooR mit möglicher Operationalisierung




	Spezifikation allgemein	
13.	mittlere Fläche (Fläche auf halber Höhe)	keine gering mittel groß weitere
14.	Grundfläche	keine gering mittel groß weitere
15.	Oberfläche nooR	keine gering mittel groß weitere
16.	Fassadenfläche nooR	keine gering mittel groß weitere
17.	Orientierung	keine Nord Ost Süd West Zwischenwert weitere
18.	Proportion	keine 2:1 1:1 1:2 1:3 1:4 weitere
19.	Dimension	keine 3m 6m 9m 12m 15m 18m 21m weitere
	Spezifikation Bauelemente	
20.	Anzahl der Bauelemente mit Verzahnung Gebäude zu nooR	keine 1 2 3 4 5 6 weitere
21.	Art der Einbauten mit Verzahnung	keine Garagen Abstellräume Herde Feuerstätten Toiletten Technikräume weitere
22.	Treppe	keine 1 2 3 weitere
23.	Loggia/ überdeckter Gang/ Galerie/ Arkaden	keine einseitig beidseitig dreiseitig umlaufend weitere
24.	Einbauten im nooR	keine Garage Abstellräume Herde Feuerstätten Toiletten Technikräume weitere
25.	Überdachung	keine teilweise mobil ganz weitere
26.	Überdachung (vertikale Lage)	keine $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{3}{4}$ 1 weitere Beispiele: 
27.	Form der Überglasung nooR	siehe auch Gebäude Beispiele: 
28.	Schutz vor klimatischen Einflüssen	kein Sonne (Wärme) Wind (Kälte) weitere
29.	Lage der Bauelemente Grundriß (Einbauten ohne/ mit Verzahnung nooR zu Gebäude)	keine Wandmitte Ecke freistehend weitere Beispiele: 
30.	Bauelement an wie vielen Fassaden	keine 1 2 3 4 weitere
31.	Bauelement in Geschossen	keines 1 2 3 4 weitere

Tabelle 1.3.5 (Fortsetzung): Parameter des nooR mit möglicher Operationalisierung

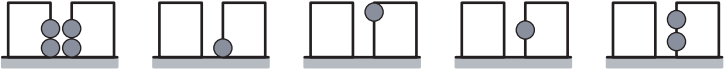

	Spezifikation allgemein	
32.	Schnitt Bauelement	kein EG 1.OG 2.OG 3.OG weitere Beispiele: 
33.	Versiegelung/ Bodenbelag	kein wasserdurchlässig dicht weitere
34.	Wasserflächen	keine gering mittel groß weitere
35.	Lage Vegetation	keine Wand Boden Luftraum weitere Beispiele: 
36.	Vegetation	keine gering (Topfpflanzen) mittel (Kletterpflanzen) hoch (Baum / Garten) weitere
	Spezifikation Bauweise	
37.	Albedo Hof	keines gering mittel hoch weitere
38.	weitere siehe Gebäude	
39.	Kennzahlen	
40.	Oculus zu Grundfläche	kein kleiner größer gleich weitere
41.	Nebenvolumen zu Hauptvolumen	kein kleiner größer gleich weitere
42.	Oberfläche Gebäude zu Oberfläche Hof	kein kleiner größer gleich weitere
43.	Oculusfläche zu nooR Volumen	kein kleiner größer gleich weitere
44.	Oberfläche nooR zu Volumen	kein kleiner größer gleich weitere
45.	Fassadenfläche nooR zu Volumen	kein kleiner größer gleich weitere
46.	Gebäudevolumen zu nooR Volumen	kein kleiner größer gleich weitere
47.	Luftwechselvolumen Gebäude / nooR Volumen	kein kleiner größer gleich weitere

Tabelle 1.3.6: Parameter Nutzung nooR mit möglicher Operationalisierung

	Klassifikation Nutzung	
1.	Art der Nutzung (Hauptnutzung) / Funktion	keine Aufenthalt Erschließung Pufferzone Arbeitsraum Versorgung Gebäude (Licht/ Luft) Repräsentation weitere
	Spezifikation Nutzung allg.	
2.	Schwerpunkt der Nutzung	kein Gebäude nooR weitere
3.	Funktion für Gebäude	keine Erschließung Belichtung Belüftung thermischer Puffer weitere
4.	Sozialer Charakter	keiner privat halb privat/öffentlich öffentlich weitere
5.	Orientierung (Haupt-) Räume	keine nooR Straße weitere
6.	Anzahl der Nutzungseinheiten zum Hof orientiert	keine 1 2 3 bis 6 bis 20 weitere
7.	Raumarten (überwiegend) zum Hof orientiert	keine Haupträume Nebenräume Büro- Wohn- Labor- Ausstellungs- Naßräume Lager Aufenthalt weitere
8.	Horizontale / vertikale Erschließungsfunktion	keine gerichtete ungerichtet weitere
	Spezifikation Nutzungsprofil	
9.	Anwesenheit / Zeitraum der Nutzung	keine temporär halbtags ganztags 24h weitere
10.	Gleichzeitigkeitsfaktor	kein ¼ ½ ¾ 1 weitere
11.	Anzahl der Nutzer	keiner 1-5 5-12 -50 über 50
	Spezifikation Nutzeranforderungen	(allgemein / zum Hof)
12.	Nutzeranforderung (Schwerpunkt)	keine ästhetisch funktional ökonomisch ökologisch bauphysikalisch
13.	ästhetische Anforderungen	z.Zt. freibleibend
14.	funktionale Anforderungen	z.Zt. freibleibend
15.	ökonomische Anforderungen	z.Zt. freibleibend
16.	ökologische Anforderungen	z.Zt. freibleibend
17.	bauphysikalische Anforderungen	keine gering mittel hoch weitere
18.	visuelle Anforderungen	keine gering mittel hoch weitere
19.	Belichtungsklasse	keine Tageslicht Tageslicht/ Verdunklungsmöglichkeit Dunkelheit weitere
20.	Thermische Anforderungen (Temperaturkonstanz / Toleranz)	kein gering mittel hoch weitere

Tabelle 1.3.6 (Fortsetzung): Parameter Nutzung nooR mit möglicher Operationalisierung

	Spezifikation Nutzungsprofil	
21.	Lufttemperatur	keine gering mittel hoch weitere
22.	Temperatur umschließender Flächen	keine gering mittel hoch weitere
23.	Luftfeuchte	keine gering mittel hoch weitere
24.	Windgeschwindigkeit	keine gering mittel hoch weitere
25.	Lufthygienischer Komfort	kein gering mittel hoch weitere
26.	Lärm	kein gering mittel hoch weitere
27.	CO2 Konzentration (Verhältnis Straße zu nooR)	keine geringer gleich höher weitere
28.	Kühlen der angrenzenden Räume(Verdunstung)	ja nein weitere

Anhang A.2 Anmerkungen zum Hauptteil

1. Ansätze zur Bewertung des Klimas von nach oben offenen Räumen

Folgende Ansätze wurden als Arbeits-hypothese entwickelt:

Klimamodifikationskapazität

Die klimatische Modifikationskapazität ist die Möglichkeit das Klima durch bauliche Maßnahmen in einem definierten Bereich zu modifizieren.

Die klimatische Modifikationskapazität kann ausgedrückt werden:

$$KM = Ak - (Ak - Mk) / Ak - K$$

wobei

Ak = Außenklima (z.B. Außentemperatur)

Mk = modifiziertes Klima (z.B. Innenraumtemperatur)

K = Komfortklima (die für komfortabel erachtete Temperatur)

KM = Klimatische Modifikationskapazität (kann auch zeitlich gemittelt werden oder für Zeitintervalle getrennt ermittelt; z.B. Komforttemperatur 20°C tagsüber, nachts nur 15°C. Die zeitliche Basis, sowie der Komfortmaßstab sind darzulegen)

Gradkonzept

Basierend auf den Überlegungen zu Heizgradtagen (vgl. Recknagel et al. 1999) wird für den nooR ein ähnliches Konzept entwickelt um einen Vergleich unterschiedlicher nooR- Formen zu ermöglichen. Das nooR-Gradkonzept wird für folgende Klimafaktoren aufgestellt:

Temperatur, natürliche Belichtung und Belüftung.

• nooR Gradkonzept Temperatur (= nGT)

Das Konzept soll darüber Auskunft geben, inwieweit sich ein nooR als Aufenthaltsraum eignet. Ziel ist, mögliche Nutzungszeiträume unterschiedlicher nooR zu ermitteln.

$$nGT = \sum_{i=1}^z (t_i - t_a) \omega \phi$$

z = Beurteilungszeitraum, in Anzahl von Tagen, meist ein Jahr

t_{i-1} = mittlere Temperatur im nooR entsprechend den Anforderungen 1 bis i, wobei z.B. die Anforderung 1 bedeutet eine nooR Temperatur tagsüber von ≥ 20 °C, nachts ≥ 15 °C, Anforderung 2 eine Temperatur $\geq 12 - 15$ °C und Anforderung 3 eine Temperatur ≥ 7 °C. Anforderung 4 bedeutet eine Temperatur ≤ 28 °C.

Die Temperatur ist die Lufttemperatur

t_a = mittlere Außentemperatur eines Tages, z.B. bei Anforderung 1 allerdings aufgespalten in mittlere Außentemperatur tagsüber und nachts.

ω = ist ein Faktor, der den Einfluß von Speichermassen berücksichtigt, alternativ kann auch t_i , die mittlere Temperatur, als Mittel von Lufttemperatur und mittlerer Temperatur der umschließenden Oberflächen gesehen werden, in diesem Fall entfällt ω

ϕ = ist ein Faktor, der berücksichtigt, daß an Tagen mit $t_i \geq$ größer den Anforderungen, durch Regen oder Sturm, eine Benutzung des nooR nicht oder nur eingeschränkt möglich sein kann.

• nooR Gradkonzept Belichtung (=nGB)

Gibt Auskunft, an wie vielen Tagen die Nutzung von Sonnenlicht in einem nooR ein gewünschtes Niveau unterschreitet.

$$nGB = \sum_{i=1}^z (\text{Lux } i - \text{Lux } a) \omega$$

z = Beurteilungszeitraum, in Anzahl von Stunden, meist auf ein Jahr und den in Lux i beschriebenen Anforderungen bezogen
 t_{i-1} = mittlere Beleuchtungsstärke nooR entsprechend der Anforderungen 1 bis i, wobei die Anforderung 1 bedeuten könnte Be-

leuchtungsstärke ≥ 2000 Lux in der Zeit von 8 bis 17 Uhr
 t_a = mittlere Beleuchtungsstärke einer Stunde

ω = ist ein Faktor, der Trübungsfaktoren und Bewölkung berücksichtigt

• nooR Gradkonzept Lüftung (=nGL)

Das Konzept soll darüber Auskunft geben, über welchen Zeitraum ein nooR ein gefordertes Lüftungsvolumen erbringen kann.

$$nGL = \sum_{i=1}^z (V_i - V_a) \omega \phi$$

z = Beurteilungszeitraum, Anzahl von Tagen, meist ein Jahr

V_{i-1} = mittleres gefordertes Lüftungsvolumen entsprechend den Anforderungen 1 bis i, wobei die Anforderung 1 bedeutet, daß ein Lüftungsvolumen ≥ 10 ach
 V_a = mittleres Lüftungsvolumen eines Tages bei der Anforderung 1 erfüllt wird.

ω = ist ein Faktor, der Schwankungen im Lüftungsvolumen berücksichtigt, z.B. auf Grund lokaler Gegebenheiten.

Wesentlich um eine Vergleichbarkeit der Resultate zu gewährleisten ist, daß die zum Vergleich herangezogenen Ergebnisse auf den gleichen Anforderungen basieren. Eine Erweiterung der angeführten Anforderungen ist allerdings noch nötig, kann aber im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden.

Klimatische Relevanz eines Parameters:

Gibt an, wie sehr ein Faktor oder ein Parameter die klimatische Optimierung/ Verhalten des Gebäudes oder auch des nooR beeinflusst. Die Veränderung eines Parameters führt zu einer allgemeinen Veränderung des Komforts. Z.B. die Auswirkung eines Parameters, der geringe Auswirkungen auf das Klima hat, jedoch das Gebäudeklima prägt. Zu beachten ist, daß die klimatische

Relevanz sich immer auch auf ein Klima bezieht. So ist die klimatische Relevanz z.B. des U-Wertes in kalten Klimaten erheblich, im mediterranen Bereich teilweise unerheblich.

Allgemeines klimatisches Potential eines Faktors, Parameters:

gibt an, inwieweit das Klima durch diesen Faktor/ Parameter maximal modifiziert werden kann,

wie ein Faktor bei optimalem Einsatz ein Klima modifizieren kann (siehe auch **Abbildung 1.1**).

Erreichte klimatische Optimierung:

gibt an, wie gut ein Gebäude das Klima modifiziert, bezogen auf eine Komfortdefinition.

Klimatische Kopplung:

Gibt an, ob ein Parameter sowohl Gebäude als auch den nooR beeinflusst, und inwieweit sich die Auswirkung des Parameters auf nooR und Gebäude trennen lassen.

Klimaadaptation:

Beschreibt, wie gut sich ein Gebäude dem Klima anpaßt und ein komfortables Wohn-/ Nutzungsklima erzeugt. Oder anders ausgedrückt, ob die Klimamodifikationskapazität in bestimmten Zeiträumen besser als in anderen ist. Es wird unterschieden in:

- Sommeradaptation, d.h. das Gebäude/ nooR entspricht im Sommer den Komfortkriterien (z.B. kein Heizen oder Kühlen notwendig),
- Winteradaptation, d.h. das Gebäude/ nooR ist für die Nutzung im Winter optimiert (z.B. minimaler Energieeinsatz),
- Herbst-/ Frühjahrsadaptation oder Übergangsadaptation, z.B. Wintergärten,
- Jahresadaptation, das Gebäude/ nooR ist das ganze Jahr über optimal an das Klima angepaßt,
- technische Klimaadaptation, d.h. die Komfortkriterien werden v.a. durch den Einsatz von Energie erzielt.

Es kann noch zwischen folgenden Komfortkriterien unterschieden werden:

- wissenschaftliche Kriterien z.B. nach FANGER 1972.
- zeitlich kulturelle Kriterien, d.h. Kriterien, die zu einer bestimmten Zeit in einem Kulturkreis gültig waren und als gesund/ komfortabel galten, z.B. so sollten im antiken Griechenland Kinder der Kälte ausgesetzt werden, da dies der Abhärtung dient. Zur Unterscheidung kann noch herangezogen werden, ob sich die Adaption auswirkt auf
- Gebäude,
- nooR,
- oder Gebäude und nooR.

Folgende Klassifizierung kann hierfür verwendet werden

1. Schlüssel z.B.:

B für Gebäude/ Bauwerk,
H für Hof,

I für Gebäude und Hof (I wie Innenhof),

2. Schlüssel z.B.:

A für Adaption und ein Kleinbuchstabe für Sommer (s), Winter (w), Herbst/ Frühjahr (ü), „das ganze Jahr“ (g) oder technische Adaption (t), so z.B. BAs oder BawHAü

Bewertung des Klimas (Verteilungskurve)

Verteilung der Tage entsprechend ihrer thermischen Bewertung und Auswirkung des nooR .

Je nach Klima ergibt sich so eine entsprechender Graph. Durch einen nooR kann diese Verteilung positiv oder auch negativ beeinflusst werden (vgl. **Abbildung 1.2**).

Weitere Konzepte

Zu überlegen ist, ob nicht auch die Konzepte der Eindringtiefe, Durchgriff etc. die z.B. für Außenwände Verwendung finden, auf den nooR übertragen werden können. Dabei wird der nooR durch ein „homogenes Ersatzmaterial“ beschrieben, welches die wesentlichen Eigenschaften umfaßt. So ist

denkbar, die Speicherfähigkeit des nooR durch die Speicherkapazität der umgebenden Wände, des Luftvolumens und einer spezifischen Luftwechselrate zu bestimmen. Die Wärmeleitfähigkeit könnte in ähnlicher Weise bestimmt werden.

Eindringtiefe

(vgl. KELLER 1997a)

Gibt an wieviel Wärme bei einer Temperaturänderung in den nooR eindringt. Die Wärmemenge ist umso größer, je größer die „Wärmeleitfähigkeit“ des nooR ist. Die Wärmeleitfähigkeit des nooR bestimmt sich aus der Speicherkapazität des nooR (Luft-Gebäudevolumen) und der spezifischen Luftwechselrate. Je größer die Temperaturleitfähigkeit, desto kürzer ist die Zeitkonstante.

Temperaturleitfähigkeit ist umso größer, je kleiner das volumenbezogene Wärmespeichervermögen und je größer die Wärmeleitfähigkeit ist.

Durchgriff

(vgl. KELLER 1997b)

Auswirkung einer Parameterschwankung auf den nooR.

Amplitudendämpfung

(vgl. KELLER 1997c)

Einstrahlungsausnutzung

Gibt an, wieviel Prozent der eingehenden kurzwelligigen oder langwelligigen Strahlung vom nooR absorbiert wird. Einfluß hat die Geometrie des nooR, Materialien und der Wärmeübergangswiderstand (R) an die Umgebung (je größer der R, desto mehr Wärmeleitung kann in die Schicht eindringen).

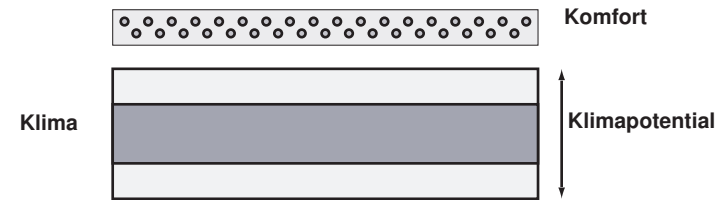


Abbildung a.1.1: Klimatisches Potential (Schema mit einem klimatischen Potential, welches nicht groß genug ist, das Klima so zu modifizieren, daß es komfortabel wird).

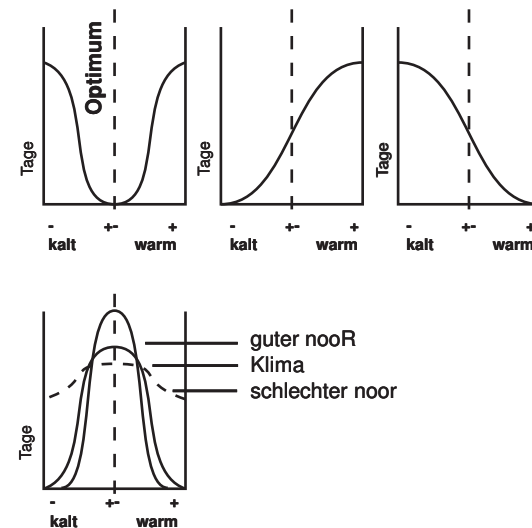


Abbildung a.1.2: Verteilung (Hypothese) Komforttage; von links nach rechts als Beispiel: kontinentales Klima mit einer geringen Anzahl von, als komfortabel bewerteten Tagen bei vielen heißen und kalten Tagen; warmes Klima mit überwiegend zu heißen Tagen, kaltes Klima mit vielen kalten Tagen; mediterranes Klima mit einer Vielzahl komfortabler Tage; sowie Auswirkung eines nooR auf die Verteilung.

2. Datenerhebung und Verfahren um das Lüftungsverhalten eines nooR zu ermitteln

Zur Ermittlung des Lüftungsverhaltens können unterschiedliche Verfahren und Methoden herangezogen werden:

1. durch Messungen an Bauwerken in Feldversuchen,
2. durch Untersuchungen an Modellen, im Windkanal,
3. durch theoretische Überlegungen, Modellbildung, Computersimulationen,
4. Benutzerbefragungen.

Um das Lüftungsverhalten zu bestimmen kann mit den angeführten Verfahren entweder der nooR an sich untersucht werden oder auch der nooR und das Außenklima. Wird der nooR ohne Berücksichtigung des Außenklimas untersucht, ergeben sich folgende Schwierigkeiten:

- es können keine Aussagen getroffen werden, wie das Außenklima den nooR beeinflusst,
- oder wie der nooR Bereiche des Außenklimas modifiziert.

Insofern ist es von Bedeutung, das Außenklima zu bestimmen und zu parametrisieren. Bei der Untersuchung der Strömungsvorgänge sind primär die Windgeschwindigkeit und Windrichtung, sowie das Geschwindigkeitsprofil von Interesse. Als Problem ergibt sich hierbei, daß die Windgeschwindigkeit und -richtung stark vom Ort und Zeitpunkt der Messung abhängig ist. Während bei Windkanaluntersuchungen und bei Simulationen mit stationären Verhältnissen und /oder bekannten Randbedingungen gearbeitet werden kann, ist bei Feldmessungen immer von instationären Verhältnissen auszugehen. Diese Prämisse bedingt eine entsprechende Bewertung und Auswertung der Messergebnisse, um den Einfluß einzelner Parameter zu beurteilen. Dies gilt auch für die Bewertung von

z.B. der Lufttemperatur und Schadstoffanteile etc..

Für eine klimatologische Untersuchung und Bewertung müssen demnach parametrisiert werden (vgl. KERSCHGENS 1999a):

- Strahlungsbilanz,
- Speichertherme,
- anthropogene Wärmeproduktion,
- aerodynamische Rauigkeiten städtischer Strukturen.

Um die Anströmung, Überströmung und Durchströmung des nooR zu beurteilen, ist also eine genaue Kenntnis und Bewertung der Umgebung und des nooR notwendig. Dazu muß auf entsprechende Literatur, Planunterlagen, vergleichbare Untersuchungen, Tabellenwerke mit Stoffkennwerten etc. zurückgegriffen werden, oder entsprechende Messungen und/ oder Simulationen durchführen.

Eine Zusammenfassung unterschiedlicher Herangehensweisen, um das Lüftungsverhalten großer Räume zu bestimmen, findet sich bei HEISELBERG et al. (1998).

Messungen vor Ort, Feldstudien

Um das Strömungsverhalten eines nooR messtechnisch zu erfassen, ist es notwendig, kontinuierliche Messungen über einen längeren Zeitraum an repräsentativen Meßorten durchzuführen. Gründe hierfür sind, daß

- je nach Witterung und Jahreszeit die Messung nur eingeschränkte Aussagen über das weitere Verhalten möglich macht,
- Veränderungen der Strömungsgeschwindigkeit im Sekundenbereich liegen, Speichereffekte aber im Stunden- und Tagesbereich,
- überwiegend instationäres Verhalten des nooR,
- vielfältige Ursachen für die gemessenen Werte.

Der genaue Meßaufbau ist abhängig vom Ziel der Untersuchung, Dimension des

nooR, Witterungslage und den zur Verfügung stehenden Mitteln.

Mögliche Verfahren zur Ermittlung des Strömungsverhaltens, Lüftungsverhalten eines nooR sind u.a.:

- Messung der Windgeschwindigkeit und -richtung innerhalb und außerhalb des nooR,
- zusätzliche Bestimmung des Turbulenzgrades im Aufenthaltsbereich für Komfortuntersuchungen,
- Messung der Luftwechselrate mit Hilfe von Tracergasen oder Rauchgasversuchen.

Zusätzlich sollten die angeführten Messungen durch entsprechende meteorologische Messungen (OTTE 1999a; vgl. auch VDI 1985a,b, VDI 1988, VDI 3786) ergänzt werden, um eine Beurteilung der Strömungsverhältnisse sowie deren Ursachen zu ermöglichen. Dabei ist zu bedenken, daß sich gerade bei geringen Windgeschwindigkeiten die typischen Merkmale des nooR-Klimas zeigen.

Um einen nooR meßtechnisch zu erfassen und die einzelnen Einflußgrößen abschätzen zu können, sollten neben Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Luftwechselrate folgende Größen in entsprechender zeitlicher und räumlicher Auflösung gemessen werden (**Tabelle 2.1**):

- Lufttemperatur und -feuchte,
- Oberflächentemperatur,
- Strahlungsgewinne und -verluste (lang- und kurzweilig) des nooR,
- Verteilung der solaren Strahlungsgewinne, Bedeckungsgrad,
- Schadstoffe (z.B. CO, CO₂).

Ferner sollte bekannt sein, die anthropogenen Wärmeströme (Wärmeverluste zum nooR), stationäre, instationäre Vorgänge wie z.B. das Öffnen von Fenstern, Betriebszeiten von Heizungs- und Lüftungsanlage, physikalische Eigenschaften der Baumaterialien und die Geometrie des nooR. Die Visualisierung von Strömungsvorgängen kann z.B. durch Rauch oder Seifenblasen erfolgen.

Die angegebenen Meßverfahren und/ oder -geräte sind eine Auswahl und sollen für die elektronische Datenerfassung geeignet sein. Um Meßfehler, Bedienungsfehler und instrumentenspezifische Fehler (Meßgenauigkeit, Auflösung und Rundungsfehler bei digitaler Ausgabe) gering zu halten, sind baugleiche Geräte zu verwenden. Grundlegende Anforderungen an Meßgeräte siehe DIN-VDI-Taschenbuch 332 und 333 oder auch RECKNAGEL et al. (1999a); SOCKEL (1984a), HEISELBERG et al. (1998a), OKE (1987a). Desweiteren könnten phänologische Beobachtungen (Vegetation) und wirkungsbezogene Meßverfahren (Bioindikation) mit einbezogen werden (Koch 1999).

Aus den gewonnenen Daten kann je nach räumlicher und zeitlicher Auflösung abgeleitet werden:

- der Einfluß der Strahlung auf das Strömungsverhalten im nooR,
- Temperaturverteilung in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit,
- Verteilung von Schadstoffen,
- Komfort im Aufenthaltsbereich des nooR
- Lüftungsmöglichkeiten (Luftwechselrate)
- Bereiche guter und schlechter Durchlüftung,
- Einfluß des Strömungsverhaltens auf die Wärmeverluste der angrenzenden Gebäude,
- mikroklimatisches Verhalten.

Nachteile und Probleme bei Messungen an einem Gebäude, nooR und Umgebung (Feldmessung) sind u.a.:

- zeitliche Grenzen für Messungen, Zugänglichkeit, Kosten, Messung erst am fertigen Gebäude möglich,
- Auswahl der zu messenden Parameter,
- Erfassung von Parametern und Gewichtung (Auflösung stadträumlicher Strukturen),
- generell die enorme Anzahl der möglichen den nooR beeinflussenden Parameter,
- ständig wechselnde Randbedingungen,

- Probleme bei der Reproduzierbarkeit, kein Test von Gebäudevarianten möglich,
- Bestimmung eines repräsentativen Bereiches für eine Messung von Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Turbulenzgrad,
- stadtklimatologische Besonderheiten, welche das Mikroklima der Umgebung prägen, sind nur bei schwachwindigen Strahlungswetterlagen (geringe Luftdruckgegensätze und geringer Bedeckungsgrad) deutlich meßbar,
- Lage der Referenzmessungen zur Bestimmung des Außenklimas (z.B. kann je nach Windrichtung das Geschwindigkeitsprofil des Windes stark variieren), notwendige Bewertung der Umgebung, beruhend auf Erfahrung, Kenntnis, vorangegangenen Untersuchungen, Windkanaluntersuchungen oder auch Computersimulationen,
- Zahl der Referenzpunkte (räumliche und zeitliche Auflösung); Vergleich nooR Klima mit Klima der unterschiedlichen Fassaden-seiten, oder nooR mit allgemeiner Umgebung des Gebäudes. Je nach Messmethode ist nur eine begrenzte Anzahl von Messpunkten möglich, ohne das nooR- Klima oder andere Messeinrichtungen zu beeinflussen. Zugänglichkeit von Messpunkten (Sensor, Meßgerät) muß gewährleistet sein. Wirtschaftlichkeit der Messung, Kosten für Messungen und Datenerfassung,
- unterschiedliche Meßanordnung und zeitliche Auflösung der Messungen je nach Fragestellung notwendig, z.B. Speichereffekte und Veränderung der Strömungsgeschwindigkeit,
- unterschiedliche Ansprechzeiten von Sensoren,
- Messungen (Geräte und Sonden) können Einfluß auf den Messwert haben,
- unterschiedliche Parameter können gleiche Auswirkungen haben (thermischer Auftrieb oder erzwungene Strömung ursächlich für Luftwechselrate),

- Identifizierung von Anomalien bei der Bewertung von Meßergebnissen,
- keine Varianten möglich, aufwendiger Ortswechsel der Meßeinrichtung, nur bei bestehenden Objekten,
- bei Tracergasversuchen ist u.a. die Zustimmung der Anlieger problematisch, der Einsatz von Gasen, eine gleichmäßige Einbringung des Gases und die Vermischung mit nooR Luft.

Vorteile:

- Messungen vor Ort, zeigen die Komplexität,
- Beurteilung einer realen Situation,
- Verifizieren von Simulationen und Windkanaluntersuchungen.

Modelluntersuchungen, Windkanaluntersuchungen (physikalische Modellierung)

Zur Untersuchung des Strömungsverhaltens von nooR im Modellmaßstab stehen vor allem zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

Die Untersuchung im Windkanal mit Schwerpunkt windinduziertes Strömungsverhalten und „salt water tests“ mit Schwerpunkt thermische Strömungen (HEISELBERG et al. 1998b) oder Schlierenverfahren (SETTLES 2001).

Wesentlicher Vorteil von Windkanalmessungen und sonstigen Modelluntersuchungen im Vergleich zu Feldmessungen ist, daß die zu untersuchenden Parameter und deren Anzahl, sowie die Randbedingungen eindeutig festgelegt werden können. Für die Messungen von Windgeschwindigkeit etc. gelten die gleichen Aussagen zur Messungsgenauigkeit und Meßgerätewahl wie schon erwähnt. Typische Maßstäbe für Modelle in Windkanälen sind z.B. 1:100 bis 1:1000 (SOCKEL 1984b). Durch die Wahl fester Randbedingungen ist es möglich stationäres Verhalten z.B. eingeschwungene Zustände zu untersuchen.

Die Modellgesetze (Ähnlichkeitskriterien z.B. Reynoldszahl) müssen eingehalten werden um die Übertragbarkeit des Strömungsverhaltens (Wirbelbildung) auf die Natur zu gewährleisten.

Ähnlichkeitskriterien sind u.a. die Reynolds-Zahl- Ähnlichkeit, geometrische Ähnlichkeit, Strouhal- Zahl- Ähnlichkeit, Jensen- Zahl- Ähnlichkeit oder bei Wärmeübergang Nusselt- Zahl, oder bei hydraulisch rauher Strömung Quotient von Nusselt- und Reynolds-Zahl.

Für die innere Region eines großen Raumes sind wesentlich die Reynolds-Zahl, Archimedes-Zahl und Prandtl-Zahl einzuhalten (HEISELBERG et al. 1998c).

Bei der Ähnlichkeit der Vorgänge in der Grenzschicht ist auf die Verteilung der Temperatur und des konvektiven Überganges bzw. des Strahlungsüberganges zu achten. Für die damit verbundenen Schwierigkeiten für große nooR siehe unter anderem HEISELBERG et al. (1998).

Für Messungen an Gebäudemodellen ist ein Grenzschichtwindkanal notwendig, welcher die unteren Bereiche einer neutral geschichteten atmosphärischen Grenzschichtströmung (ca. 300m -600m hoch) nachbilden kann.

Hierbei ist von besonderer Bedeutung, das Windprofil und die Turbulenzstruktur nachzubilden (SOCKEL 1984c). Weitere Anforderungen an Windkanal und Modell siehe auch SOCKEL (1984).

Untersuchungsmethoden für den nooR (vgl. SOCKEL 1984d, BAUMÜLLER 1999, PRANDTL et al. 1993a, HEISELBERG et al. 1998d):

- Sichtbarmachung des Strömungsfeldes/ Ausbreitung von Schadstoffen durch Rauch im nooR, Dokumentation durch Photographie oder Videoaufzeichnung, bedingte Aussage über Schadstoffkonzentration,
- Windgeschwindigkeitsmessung durch Sanderosion z.B. für Durchgänge oder Loggien im nooR,

- Messung mit Hitzdrahtanemometer, LASER- Doppler- Anemometer zur Bestimmung von Windgeschwindigkeiten im nooR, Profile, Verteilung, Komfortbetrachtungen, Turbulenzgrad,
- Tracergasversuche zur Ausbreitung von Schadstoffen und Gerüchen (Fortluftausbreitung) und Messung von Konzentrationen im nooR, punktgenaue Auflösung in der unmittelbaren Nähe der Schadstoffquelle möglich, Verweilzeitmessungen,
- Druckmessungen, dimensionslose Druckbeiwerte,
- Sand- Erosionsmethode zur Bestimmung des Fußgängerkomforts im Straßenraum, in Durchgängen und im nooR. Typisches Vorgehen: während der Untersuchung von 12 Windrichtungen und ca. 6 Geschwindigkeitsstufen wird die Sandabtragung durch Photographie (digital oder analog) aufgezeichnet,
- Photographie von Dichteunterschieden (z.B. bei Konvektionsströmungen) mit Hilfe der Schlierenphotographie.

Nachteile bei Messungen an Modellen in Windkanaluntersuchungen:

- begrenzte Möglichkeiten, Auftriebsströmungen zu simulieren, die durch Temperaturunterschiede auftreten (solare Einstrahlung),
- meist nur unzureichende Möglichkeiten, thermische Strömungen und windinduzierte Strömungen gleichzeitig zu simulieren (Wind und solare Einstrahlung),
- Einschränkungen durch Ähnlichkeitsbedingungen (z.B. Reynolds-Zahl bei gerundeten Körpern),
- Auswahl eines repräsentativen Windprofils für städtische Umgebungen und Simulation der Struktur des Windes, kurzzeitige Richtungsänderungen nicht simulierbar,
- Definition der Umgebung und deren physikalischen Eigenschaften,
- aufwendige Technik, Grenzschichtwindkanal,
- teuer, zeitlich aufwendig, geringe Verfügbarkeit (örtlich/ zeitlich),

- nur von erfahrenem Personal zu bedienen,
- nur bestimmte Maßstäbe, begrenzte Skalierbarkeit,
- meist nur neutrale Temperaturschichtungen darstellbar,
- Untersuchung mit geringen Windgeschwindigkeiten schwer möglich (MATZ-ARAKIS 2001a),
- die Analyse von zeitabhängigen Phänomenen ist nicht möglich (HEISELBERG et al. 1998e).

Vorteile sind u.a.:

- Test von Varianten sehr einfach,
- sehr realistische Ergebnisse,
- definierte Randbedingungen,
- durch Nachbau der Umgebung sehr exakte Ergebnisse möglich,
- wissenschaftlich anerkannt, hohe Genauigkeit,
- teilweise geringerer Mitteleinsatz als bei Messungen,
- Ergebnisse durch Bilder anschaulich darstellbar,
- physikalisches Modell im Windkanal dient oft zur Validierung von numerischen Modellen,
- schon im Planungsstadium möglich,
- durch dimensionslose Kennzahl Übertragbarkeit der Ergebnisse gesichert,
- Grenzschichtwindkanal z.B. in Frankreich in Nantes, Simulation aller Wetterbedingungen möglich, Schnee, Hagel, Regen, Sonneneinstrahlung bis 1KW/m², Temperaturen zwischen -15°C bis + 50°C (DANIELS 1995a).

Messungen an Modellen bei „salt water tests“.

Nachteile:

- windinduzierte Strömungen nur bedingt nachbildbar bei gleichzeitiger Simulation von thermischen Vorgängen (Ähnlichkeitszahlen),
- Austrittspunkt und Verteilung der Salzlösung bei flächigen Wärmeströmen schwierig, wie z.B. besonnte Fassade.

Vorteile:

- Simulation von thermischen Strömungen (Auftrieb) durch unterschiedliche Dichte möglich, z.B. Rauchausbreitung.

Modellbildung, Computersimulationen

Für die Untersuchung des Strömungsverhaltens sind prinzipiell theoretische Überlegungen, mathematische Modelle, überschlägige Berechnungen oder exakte Lösungen möglich. Grundlagen dafür sind u.a. Navier-Stokes-Gleichungen, sowie Bilanzgleichungen und die Gleichungen zum Wärmetransport. Hierauf basierend sind alle Strömungsvorgänge im nooR beschreibbar, allerdings sind diese Gleichungssysteme auf Grund ihrer Komplexität nur noch mit Hilfe von Computern zu lösen.

Exakte Lösungen bestehen nur für einfache Modelle wie z.B. überströmte Platten etc.. Überschlägige Berechnungen, empirische Abschätzungen basieren häufig auf Messungen, Modelluntersuchungen oder starken Vereinfachungen der mathematisch-physikalisch korrekten Ansätze. So etwa bei der Analyse von nooR Räumen mit dimensionslosen Kenngrößen, z.B. die Reynoldszahl etc. Nachteile können sein:

- Begrenzung der Anzahl der möglichen Parameter bei der direkten Berechnung von Strömungsvorgängen, Berechnung teilweise nur mit Hilfe von Computern möglich oder Benutzung von Faustformeln ohne konkrete Aussage und geringer räumlicher und zeitlicher Auflösung,
- Definition der Umgebung und deren physikalischer Eigenschaften,
- numerische Realisierung der partiellen Differentialgleichungen zur Berechnung von Strömungsvorgängen für Impuls, Masse, Kontinuität, sensibler und latenter Energie sowie Luftbeimengungen (KERSCHGENS 1999b, Massmeyer 1999) ist aufwendig (vgl. einschlägige Literatur, z.B. JISCHA (1982) Problem der einzuhaltende Rand-

bedingungen, nur für wenige Fälle exakt lösbar.)

- Komplexität der Vorgänge,
- unzureichende Datensammlung zur Auswertung, zum Vergleich, zur Aufstellung vereinfachter empirischer Formeln.

Vorteile sind u.a.:

- Grundsätzliche Lösungsansätze für jeden nooR,
- Modellbildung, Berechnung oder Modellierung,
- Systematisierung, Überschlagsrechnungen,
- Auswertung der Messergebnisse, Verallgemeinerung und Bewertung,
- Basis für Berechnungsprogramme,
- bereits in der Planungsphase möglich.

Computersimulationen zur Untersuchung des Strömungsverhaltens von Gebäuden sind heute zum Teil verbreitet. Gründe hierfür sind unter anderem, daß beliebige Geometrien, Varianten und Strömungssituationen mit relativ geringem Aufwand (Kosten) an einem handelsüblichen PC mit Standardsoftware simuliert werden können.

Weitere Vorteile sind, daß eine beliebige Anzahl von Parametern getestet werden kann, unterschiedliche Algorithmen leicht zu testen und zu implementieren sind. Auch können beliebige Geometrie und Varianten (Skalierbarkeit) untersucht werden. Dadurch können teure Windkanaluntersuchungen oder aufwendige Meßreihen entfallen.

Modelle ohne explizite Auflösung der städtischen Strukturen sind nicht für die Analyse eines nooR geeignet. Größtmögliche räumliche Auflösung kann durch Verwendung von CFD- Programmen, die z.Zt. immer mehr auch Strahlungs- und Speichervorgänge berücksichtigen, oder durch Kopplung mit Gebäudesimulationsprogrammen erreicht werden. Mikroskalige Klimamodelle wie z.B. envimet scheinen aber durchaus auch vielver-

sprechend für die Simulation von nooR zu sein.

Diese Programme basieren auf den gleichen Grundlagen wie CFD- Programme, allerdings mit einer anderen rechnerischen Schwerpunktsetzung (vgl. numerische Simulation mit mikro- und mesoskaligen Modellen, sowie Modelle ohne und mit expliziter Auflösung der urbanen Strukturen KERSCHGENS 1999c).

Sogenannte „zonal flow models“ wie bei HEISELBERG et al. (1998) beschrieben erscheinen auf Grund der unbekannteren Austauschcharakteristik zwischen nooR und Umgebung nur bedingt geeignet für die Simulation von Vorgängen im nooR.

CFD Programme, die Geschwindigkeit, Temperatur und weitere Strömungseigenschaften vorhersagen können, sind für die Simulation von nooR am besten geeignet. Für eine Einführung in CFD-Programme siehe unter anderem auch HEISELBERG et al. (1998).

Grundsätzlich ist bei Simulationen zu beachten, daß nur simuliert wird was modelliert ist. Das bedeutet, Vereinfachungen können zur Unterschätzung wichtiger Parameter führen. Simulationsergebnisse zeigen häufig eine enge Verknüpfung zwischen Algorithmus (entwicklerabhängig) und Nutzereingabe wie z.B. Berechnungsgitter und Parameterwahl (benutzerabhängig). Die CFD -Simulation, d.h. Randbedingungen, Gleichungssysteme und Genauigkeiten müssen auf ein Ziel hin optimiert werden. Je nach Ziel, z.B. thermische Simulation, Kühllastenberechnung oder Wärmebedarf und Komfortvorhersagen sind andere Parameter für eine aussagekräftige Simulation entscheidend.

Wesentlich bei der Durchführung von CFD-Simulationen ist, sich der verschiedenen Randbedingungen und Grenzen des ausgewählten Verfahrens bewußt zu werden (vgl. u.a. HEISELBERG et al. 1998f). Die CFD Simulation der Strömung (Auftrieb,

Turbulenz, Windgeschwindigkeit, Wärmeübergang) kann nicht von den Strahlungsvorgängen, Wärmeleitung und Wärmespeicherung getrennt betrachtet werden (MOSEER et al. 1995). HEISELBERG et al. (1998gf) zeigt für große Räume, daß es bei Vernachlässigung des Strahlungsaustausches zwischen den Oberflächen bei Stratifikationseffekten und Temperaturverteilungen zu erheblichen Fehleinschätzungen kommen kann.

Die Berücksichtigung von Strahlungseffekten führt vor allem zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Temperatur in großen Räumen. Die bei MOSEER et al. (1995) und SCHILD et al. (1995) beschriebenen Vorgehensweisen für die Simulation von Strömungen im überdeckten nooR kann, nach Ansicht des Autors, auch als Richtlinie für nicht überdeckte nooR verstanden werden, da hier zum einen auf grundsätzliche Probleme und Grenzen der CFD-Simulation eingegangen wird (Modellbildung), zum anderen die Notwendigkeit beschrieben wird, thermischen Effekten mehr Rechnung zu tragen.

CFD-spezifische Beschränkungen und Grenzen sind u.a.:

- die Berechnung der Strömungsvorgänge basiert auf der Lösung der Navier-Stokes-Gleichungen,
- die Navier-Stokes-Gleichungen sind ein Gleichungssystem aus nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen zur Lösung von Massen-, Impuls- und Energieerhaltungssätzen. Durch dieses Gleichungssystem können alle Strömungen vollständig beschrieben werden,
- analytische Lösungen dieses Gleichungssystems sind auf Grund des nichtlinearen Charakters nur für wenige Fälle möglich. Aus diesem Grund müssen vor allem numerisch-iterative Lösungswege angewendet werden, wobei auch empirische Ansätze mit einbezogen werden. Die dabei verwendeten Algorithmen und empirischen Ansätze weisen unterschiedliche Schwachstellen auf (siehe auch VERSTEEG et al. 1995, ANDERSON 1995).

Insofern kann bei CFD-Simulationen eine enge Zusammenarbeit mit den Programmentwicklern nur empfohlen werden, um algorithmusabhängige Fehler zu vermeiden oder entsprechend der Aufgabenstellung angemessene und geeignete Programme zu verwenden. Erläuterungen zu Innenraumströmungen finden sich u.a. bei AWBI (1995) und SCHILD (1995).

Für die Güte der Berechnung von Strömungsvorgängen im nooR kann die Turbulenzmodellierung herangezogen werden, da der nooR eine höchst inhomogene Geschwindigkeitsverteilung aufweist, mit z.B. einem Hauptwirbel und relativ kleinen Wirbeln in den Eck- und Aufenthaltsbereichen. Je nach Fragestellung, wie z.B. Wärmeübergang im Dachbereich mit hohen Geschwindigkeiten und Totbereichen, wie Ecken oder Galerien, oder Fragen zum thermischen Komfort, ergeben sich hier hohe Anforderungen an das CFD-Programm. Grundsätzliche Überlegungen zur Turbulenzmodellierung und Eignung für große Räume finden sich bei HEISELBERG et al. (1998h).

Eine direkte Simulation der Wirbel bis zur Reibungslänge (entspricht dem Bruchteil eines Millimeters) mit einer Gittergröße kleiner einem Millimeter wird in naher Zukunft auf Grund der hohen Anforderungen an die Rechen- und Speicherleistung nicht möglich sein. Für die unterschiedlichen Methoden siehe z.B. SCHMID (1985a), SCHLICHTING (1997a), HAUPT (2001a). Methoden zur Simulation der turbulenten Strömung sind u.a. k - ϵ -Modelle nach LAUNDER et al. 1972, ein Wirbel-Viskositätsmodell, wobei k die turbulente kinetische Energie für die Wirbelentstehung und ϵ die Dissipationsrate, also das Abklingen der Turbulenz steuert. Die unterschiedlichen Turbulenzmodelle werden unter anderem nach der Anzahl der zusätzlichen Transportgleichungen aufgeteilt in 0-Gleichungsmodelle, 1-Gleichungsmodelle, 2-Gleichungsmodelle, Mehr-Gleichungsmodelle und Reynoldsspannungsmodelle.

Ein allgemein bekannter Nachteil dieser Modelle ist, daß sie nur für Strömungen mit ausgebildeter Turbulenz gelten, was insbesondere zu Problemen bei natürlicher Konvektion (SCHILD 1995) führt. Bei lokalen niedrigen Reynoldszahlen, also in der Nähe von Wänden in der ausgebildeten Grenzschicht, sind sie nur bedingt gültig und werden gesondert modelliert. Da das Standard- k - ϵ -Modell nur im durchweg turbulenten Bereich gültig ist, nicht im wandnahen Bereich, in dem viskose Effekte vorherrschen, versucht man durch logarithmische Wandfunktionen (semi-empirisch), Low-Re-Modelle oder Zwei-Schichten-Modelle zu lösen. Bei den Wandfunktionen wird der laminare Bereich der Grenzschicht (angenähert durch eine lineare Geschwindigkeitsverteilung), sowie der turbulente Bereich (logarithmische Geschwindigkeitsverteilung) berücksichtigt. Wesentlich ist für die Gültigkeit die Beachtung des dimensionslosen Wandabstandes. Diese Problematik wird je nach Software unterschiedlich gelöst. So ist bei Wandfunktionen eine Verfeinerung des Gitters zur Wand hin notwendig.

Weitere Modelle sind u.a. k - ϵ - der renormalisierten Gruppe (RNG) YAKHOT 1986 oder auch Reynolds-Stress-Modell LAUNDER et al. (1972).

Bei Large-Eddy-Simulationen (DEARHOFF 1970) werden größere Wirbel mit Auswirkungen auf die Strömung direkt berechnet, kleinere Wirbel durch ein empirisches Modell. Im Gegensatz zu k - ϵ -Modellen ist eine sehr feine Gitter- und Zeitauflösung notwendig, die die Anwendbarkeit dieses Verfahrens beschränkt. Weitere Modelle, Vergleich der Modelle und Einführung in die Problematik finden sich bei SCHLICHTING (1997b). Für die Auftriebsmodellierung wird oft das Boussinesq-Modell (Beschreibung siehe z.B. SCHLICHTING 1997c) wegen seiner numerischen Stabilität verwendet. Allerdings wird hier am stärksten vereinfacht.

Wie HAUPT (2001b) beschreibt, ist für ein Konvergieren der Lösung die Gittertopologie von entscheidender Bedeutung. Dabei sollte vor allem bei der Modellierung von Feinheiten auf eine „stetige und allmähliche Größenänderung“ (HAUPT 2001) geachtet werden. So muß möglichst ein numerisches Verfahren verwendet werden, welches gitterunabhängige Lösungen liefert, das heißt, daß eine Verfeinerung oder eine Änderung des Gitters zu keiner Veränderung der Ergebnisse führt. Kritisch sind hier vor allem die wandnahen Bereiche, da hier der Wärmeübergang stattfindet.

Basierend auf einer Auswertung von Artikeln (siehe **Tabelle 3.1.2 im Text**) zum Strömungsverhalten von nooR sind verschiedene Problembereiche zu beachten. Obwohl die Artikel sich zum Teil auf überdeckte nooR beziehen, dürfte eine Übertragung der Resultate auf nooR, auf Grund der zu erwartenden niedrigen Windgeschwindigkeiten im nooR und einer teilweisen Trennung vom Außenklima, möglich sein. Auch handelt es sich hierbei, aus Sicht des Autors, anscheinend um grundsätzliche Probleme einer CFD-Simulation. Obwohl die verwendeten Artikel zum Teil älteren Datums sind, zeigt die Arbeit von HAUPT (2001), daß es sich vielfach um grundsätzliche Probleme handelt, die zwar heute besser gelöst werden, aber die immer noch relevant sind.

Zu beachten bei Simulation ist u.a.:

a) im Bereich der Modelleingabe

- Auswahl der Parameter, Auflösung der Strukturen (Dachform, Fassadenstruktur etc.),
- 2-dimensionale Modelle sind nur bedingt aussagekräftig und führen nach SHAO et al. (1993) zu völlig unrealistischen Aussagen,
- Definition der Umgebung (Größe, Detaillierungsgrad etc.) und deren physikalische Eigenschaften,
- geometrische Symmetrien sind nicht mit Strömungssymmetrien gleichzusetzen (vgl.

LEMAIRE 1993, HAUPT 2001c) z.B. bei SHAO et al. (1993),

- Modellierung von Wandrauhigkeiten (vgl. SCHILD et al. 1995), "kleine Wandrauhigkeiten" mit Wiederanlegen der Strömung können als Oberflächenrauhigkeit modelliert werden (SCHILD et al. 1995), wobei die Wärmeübertragung vergrößert wird,
- größere Vorsprünge führen zum Ablösen der Strömung und sollten auch modelliert werden, vgl. auch HEISELBERG et al. (1994i).

b) im Bereich der Berechnungsalgorithmen

- Modellierung allgemein (halbempirisch), Berechnung (Rechenaufwand),
- Computersimulationen sind von der theoretischen Modellbildung und Nachbildung durch Algorithmen abhängig. Die Programme können nur Lösungen bieten, welche die Lösungsalgorithmen ermöglichen etc., d.h. Kenntnis der mathematischen Modelle zur Fehlerabschätzung notwendig,
- Validierung der Berechnungsalgorithmen (durch Messungen, Windkanalstudien etc.) für die jeweilige Situation,
- Berechnung von Umströmung und Druckverteilung (Ermittlung meist im Windkanal notwendig),
- numerische Stabilität der Algorithmen, Konvergieren der Lösung, schnelleres Konvergieren bedingt häufig eine Vereinfachung der Berechnung,
- verschiedene Wirbelgrößen im nooR, z.B. Hauptwirbel im Zentralbereich des nooR, Nebenwirbel vor allem in Eckbereichen und Galeriebereichen erfordern im Allgemeinen eine unterschiedliche rechnerische Behandlung der Wirbel (Turbulenzmodelle, Auflösung) und je nach Fragestellung ein unterschiedliches Herangehen z.B. Berechnung des Wärmeübergangs etc.,
- problematisch sind Zugscheinungen zu simulieren, da bei geringen Windgeschwindigkeiten die numerischen Instabilitäten stark zunehmen,
- Berücksichtigung, Berechnung des Strahlungsaustausches zwischen den Ober-

flächen, insbesondere auch die solare Einstrahlung und die sich daraus ergebenden unterschiedlichen Oberflächen-temperaturen, da dadurch die Strömung und Temperaturverteilung beeinflusst werden. Zur Auswirkung unterschiedlicher Verteilung solarer Gewinne (gleichmäßige Verteilung auf alle Flächen, nur direkte Einstrahlung ohne Reflexion, sowie mit einer gerichteten und 2 diffusen Reflexionen) auf die Temperatur eines überdeckten nooR siehe SCHILD et al. (1995),

- Verbindung der CFD -Simulation mit der thermischen Gebäudesimulation.

c) im Bereich der Festlegung wesentlicher Parameter für die Simulation

1) allgemein

- um Rechenzeit zu minimieren/ wirtschaftlich zu gestalten, sind Vereinfachungen notwendig (Modellierung statt Berechnung),
- Entscheidung, ob stationär oder instationär zu rechnen ist, das heißt, ob sich in einem nooR stationäre Bedingungen einstellen oder ob grundsätzlich von instationären Vorgängen auszugehen ist. Bestimmung der Zeitkonstante nach BEJAN 1984, HAUPT 2001d, SCHILD et al. 1995,
- je nach Fragestellung unterschiedliche Anforderungen an die Genauigkeit (thermische Simulation, Komfort, sowie die erlaubte Toleranz und damit Anforderung an die Gittertopologie, numerische Methode, Turbulenzmodellierung),
- bei einer Betrachtung der Wärmeübertragung im nooR sind zu beachten: Strömung, Strahlung, Wärmeleitung in den Materialien, Wärmespeicherung, je nach CFD-Programm sind hier weitere Programme zur Berechnung einzusetzen und mit dem CFD-Programm zu verbinden, um die unterschiedlichen Wege der Wärmeübertragung zu berücksichtigen,
- unterschiedliche Zeitkonstanten der Vorgänge vgl. MOSER et al. (1989), LAWSON (1980), Strömungsvorgänge mit Zeitspannen von Bruchteilen einer Sekunde, Speichervorgänge mit Phasenverschiebungen bis zu 12h, d.h. unterschiedliche zeitli-

che und räumliche Auflösung des Problems (Simulation, Gittergröße, Zeitschritte) und des Berechnungsgitters je nach Anforderung (Mittelwerte, Maximalwerte etc.) MOSER et al. (1995),

- thermischer Komfort, da hier neben Windgeschwindigkeit und Turbulenzgrad vor allem auch Strahlungsasymmetrien von Bedeutung sind (vgl. FANGER 1972), d.h. eine entsprechende Auswahl der Randbedingungen muß erfolgen,
- Randbedingungen sind sorgfältig zu wählen, wie z.B. Wandtemperatur, Wärmestrom, U-Faktoren, da hierdurch die Lösung beeinflusst wird; je nach CFD Programm ist der Einsatz eines thermischen Simulationsprogramms zur Ermittlung der oben genannten Parameter sinnvoll (SCHILD et al. 1995).

2) Auftriebströme

- Auftriebströmungen sind im Allgemeinen schwer zu simulieren, da kleine treibende Kräfte zu numerischen Instabilitäten führen können (COOK et al. 1997). Auch die von HAUPT (2001) durchgeführten Untersuchungen scheinen dies zu bestätigen,
- Bestimmung des Wärmeüberganges (Wand/ Luft), da hiervon die Auftriebsströmungen in einem nooR abhängen (MOSER et al. 1995).

3) Turbulenzmodelle

- Auswahl eines geeigneten Turbulenzmodelles,
- Wandmodelle sind teilweise auf bestimmte Einsatzgebiete beschränkt, da sie z.T. für erzwungene Konvektion und voll ausgebildete Turbulenzen entwickelt wurden (MOSER et al. 1995), was zu stark gitterabhängigen Resultaten führt, Einsatz von adäquaten Modellen wichtig, vgl. YUAN et al. (1993, 1994a, 1994b),
- nach MOSER et al. (1995) können k-ε-Modelle mit entsprechenden Auftriebsgleichungen und Wandfunktionen realistische Ergebnisse liefern,

- Turbulenzmodelle, die sowohl im Zentrum des nooR, wie auch in Wandnähe gültig sind (vgl. SCHILD et al. 1995),
- Low- Reynolds- Number K-ε turbulence models sind u.a. von CHEN et al. (1990) für große Räume mit Auftriebsströmungen vorgeschlagen worden. siehe auch Zusammenfassung SCHILD et al. (1995).

4) Gitter (vgl. allgemein HEISELBERG et al. 1998)

- Gittertopologie z.B. nach BORTH et al. (1994),
- Gitterabhängigkeit von Lösungen (Einsatz gitterunabhängiger Wandfunktionen),
- der Gitterabstand von der Wand ist u.a. auf Basis der Theorie über die natürliche Konvektion zu dimensionieren (vgl. SCHILD et al. 1995),
- die Dicke der Grenzschicht variiert mit der Wandhöhe, die Gittertopologie muß bei Bedarf darauf abgestimmt werden. Da ein zu grobes Gitter den Wärmeübergang unterbewertet, ein zu feines Gitter den Wärmeübergang aber überbewertet (bei kε- Modellen), da hier die erste Gitterzelle innerhalb des laminaren Bereiches der Grenzschicht liegt und deshalb eine turbulente Strömung in diesem Bereich angenommen wird (SCHILD et al. 1995).

5) sonstige Probleme

Ergebnisauswertung „Manipulierbarkeit“ der Ergebnisse durch „eindrucksvolle“ Bilder.

Tabelle a.2.1: Meßgrößen, Meßverfahren, etc.

	Meßgröße		Meßort	Meßgeräte / Meßverfahren	Anmerkung
1	Lufttemperatur VDI 3786 Blatt 3	°C	2m über Grund oder nach Bedarf, Ort des Interesses	elektrische Sensoren mit einer entsprechenden zeitlichen Auflösung Pt100 (Widerstandssensoren), NTC (Thermistoren), NiCr-Ni -Sensor (Thermoelemente)	schnelle Ansprechzeit (t99), Genauigkeit von Sensor und Gerät beachten; guten Luftaustausch zwischen Fühler und Umgebungsluft sicherstellen (Zwangsbelüftung), bei gleichzeitigem Schutz vor kurz- und langwelliger Strahlung
2	(Luft-) Feuchte (relative, absolute, Taupunkt) VDI 3786 Blatt 4	%rF, g/m ³ , °C td	je nach Bedarf, bzw. Ort des Interesses, ansonsten 2m über Boden	kapazitive Messungen, Psychrometer nach Frankenberger	Schutz vor Strahlung, Regen, Staub und starkem Wind, aber ausreichende Belüftung
3	Wind- / Luftgeschwindigkeit VDI 3786, Blatt 2	m/s	Windgeschwindigkeit allgemein (10m über Grund oder Störniveau alternativ einige Meter über mittlerem Dachniveau) je nach Anwendung	Flügelradanemometer, Rotationsanemometer (ab ca. 0,2m/s bis 100m/s), oder siehe auch unten Windgeschwindigkeit, thermische Anemometer; Hitzedraht-Anemometer Laser- Doppler Geräte (LDA =Laser-Doppler Anemometer) meist nur im Laborbetrieb einsetzbar, teuer, ähnliches gilt für PV (Particle- image - velocimetry); Ultraschallanemometer (kurzzeitige Fluktuationen in allen Richtungen meßbar); Strömungsprofile indirekt über mehrere MesspunkteSODAR (sonic-detecting- and ranging) Vertikalprofile von Windrichtung und -geschwindigkeit, inklusive Vertikalkomponenten (Auflösung ca. 10 bis 20 m)SODAR / RASS zusätzlich vertikales Profil der Lufttemperatur; Lidar (light detecting and ranging) Radarwindprofiler Messung mit elektromagnetischen Wellen, Auflösung 150 bis 300m	zeitliche Auflösung, Anlaufgeschwindigkeit und Wahl des Geschwindigkeitsbereiches, Ansprechzeit, Richtungsempfindlichkeit, (zur Auswertung und zeitlichen Auflösung, Mittelwertbildung siehe u.a. Heiselberg et al. 1998)
4	Turbulenzgradmessung DIN 1946 Teil 2, VDI 2080		je nach Bedarf, bei Komfortmessungen		
5	Windrichtung, Anströmrichtung (Windvektor siehe auch Windgeschw. Ultraschallanemometer) VDI 378 Blatt 2	° (in Grad)	wie Windgeschwindigkeit, oder nach Bedarf	Windfahne mit Windrichtungsgeber, Vektorwindfahne, Orthogonal-Propelleranemometer	geringe Einstellzeit, Dämpfungsverhältnis, hohe Auflösung, Vermeidung der gegenseitigen Beeinflussung der notwendigen Windgeschwindigkeitsmessung am gleichen Ort
6	Oberflächentemperatur ALMEMO 2002	°C	Messungen am Objekt nach Bedarf	1) Kontaktmessung mit Oberflächenfühler 2) berührungslos (Infrarotmessung)	1) wie Lufttemperatur mit entsprechenden Fühlergeometrieanforderungen an Messobjekt: hohe Wärmekapazität, glatte Oberfläche, lange Ansprechzeit, Erreichbarkeit des Meßortes; Anforderung an Fühler: geringe Masse und thermische Trägheit 2) Infrarot-Thermometer; Thermographie Anforderungen : Kenntnisse der Emissionsgrade des gemessenen Objekts, keine Störgrößen wie Staubschmutzpartikel oder Feuchtigkeit (Dampf / Regen), mißt nur die oberste Schicht (Staub oder Raureif !)

Tabelle a.2.1: Fortsetzung

	Meßgröße		Meßort	Meßgeräte / Meßverfahren	Anmerkung
7	langwellige Strahlungsbilanz VDI 3786 Blatt 5	W/m ²	2-3m über Boden, oder nach Bedarf	Strahlungsbilanzmeßgerät	
8	kurzwellige Strahlung (Globalstrahlung) VDI 3786 Blatt 5	W/m ² h	möglichst ohne Horizonteinschränkung, nach Bedarf	Globalstrahlung: Pyranometer, Albedometer direkte Sonnenstrahlung: Pyrheliometer Sonnenscheindauer: Sonnenscheindauer-Sensor	evtl. Messung der Globalstrahlung ausreichend; eine Bildokumentation der besonnten Flächen ist zu empfehlen um thermische Strömungseffekte und ihre Auswirkung auf das Strömungsverhalten zu beurteilen; evtl. Ergänzen der Bildokumentation durch eine Infrarotthermographie
9	Druckverteilung SOCKEL 1984	Abs. Druck (Pabs), Differenz- druck (DP) in Pa, mPa, mbar, bar	je nach Bedarf im Bereich von Öffnungen	zur Messung des Lüftungspotenzials angrenzender Räume und Lüftungsrichtung	
10	Schadstoff- konzentrationen OTTE 1999	je nach Bedarf CO, CO ₂ , etc. in ppm etc.	je nach Bedarf, insbesondere im Bereich von Zuluftöffnungen	je nach Meßgröße z.B. Gaschromatographen, Sensoren, Sammelröhrchen	Kenntnis der möglichen Quellen, chemischer Vorgänge (Messung von CO ₂ in Verbindung mit frischen kalkhaltigen Putzen!!). Vermeiden von Störgrößen
11	Luftwechselrate VDI 4300 Blatt 7 Entwurf	Luftwechsel- rate pro Stunde	Luftvolumen nooR	Gaschromatograph, etc. , bei Rauch Bildokumentation Luftwechselrate pro Stunde durch Tracergas mit der Konzentrations-Abklingmethode, Konstant-Injektionsmethode, Konstant-Konzentrationsmethode oder Rauchgasversuche	Tracergas darf nicht oder nur bedingt in der freien Atmosphäre vorhanden sein, darf nicht mit Baustoffen etc. reagieren (CO ₂ und Kalk), keine Freisetzung durch antropogene und sonstige Quellen, gesundheitlich unschädlich, unschädlich für die Umwelt (Treibhausgas z.B. Methan), leicht meßbar an verschiedenen Orten. Das Meßverfahren darf den normalen Luftwechsel so wenig wie möglich beeinträchtigen. Beim Abdecken eines nooR für die Konzentrationsabklingmethode ist die Anlaufzeit zu beachten bis sich das normale Strömungs- bild im nooR entwickelt und die Veränderung des Strömungsbildes durch das Abdecken. Empfehlenswert ist die Konstant-Injektionsmethode. Weitere Überlegungen, Probleme zu Tracergasmessungen in großen Räumen siehe Heiselberg et al. (1998)
12	Strömungsvorgänge HEISELBERG 1998			Rauchausbreitung oder durch Seifenblasen (z.B. mit Helium gefüllt), Dokumentation mit Videokamera oder Fotoapparat)	Durchführung und Möglichkeit der Geschwindigkeits- messung siehe u.a. Heiselberg et al. 1998,
13	Kaltluftabfall Zug- erscheinungen HEISELBERG 1998			Visualisierung durch Rauch. Messtechnisch durch Messung von Strömungsrichtung, Turbulenzgrad Lufttemperatur und Luftgeschwindigkeit	

3. Der nach oben offene Raum in Olynth

Wie bei AULT (1999) dargelegt, ist das „Hofhaus“ typisch für den Mittelmeerraum auf Grund seiner Angemessenheit gegenüber dem Klima und den sozialen Bedürfnissen. Laut den Angaben bei AULT (1999a) und den dort angeführten Quellen liegt die nooR-Größe bei bis ca. 25 % überbauten Fläche. Für Olynth werden dabei von CAHILL (2001a) von ca. 3% (10 bis 15m²) bis zu 35% (ca. 100m²) des gesamten Hausbereiches angegeben. Eine grobe Auswertung der bei HOEPFNER et al. (1986) publizierten Gebäuden ergab folgendes Ergebnis (siehe auch **Abbildung a.3.1**): Die nooR -Größe in Piräus lag bei ca. 27m² im Mittel, bei einer ungefähren Hausgröße von 238m², welches ca. 23% entspricht, allerdings ohne Zugangsbereich nur um die 12%. In Olynth schwankt die nooR Größe zwischen 6% und 20%, mit einem Mittelwert von ca. 12%. Auffällig ist, daß Typen Häuser mit 15% (min. 12%, max. 16%) größere nooR haben als normale Häuser. Des weiteren fällt auf, daß bei Häusern die vergrößert werden, die nooR -Größe konstant bleibt (Haus AV6), die Hausgröße aber auf ca. das 1,5 fache ansteigt. Bei Teilungen der Häuser nimmt generell die nooR -Größe absolut ab (E-X7), bleibt aber relativ gesehen konstant. Bei der Einrichtung von Läden (AVI8 und AIV9) fällt auf, daß die nooR -Größe sich verkleinert, bei einer Werkstatteverweiterung aber der nooR sich vergrößert (AVI18).

In Priene liegt die durchschnittliche nooR -Größe bei ca. 16% mit ca. 6% als Minimum und 34% als Maximum, bei einer durchschnittlichen absoluten Größe von 30m². Bei Haus 33 nimmt die relative nooR -Größe bei steigender Hausgröße (von ca. 200m² auf über 1000m²) beständig von 30% auf 10% ab, wobei allerdings ein zusätzlicher Wirtschaftshof entsteht.

Generell liegt die nooR-Größen bei den untersuchten nooR im Normalfall zwischen 10m² und 50m², die relativen Größen liegen bei 10% bis 20% der Grundstücksfläche. Dies läßt darauf schließen, daß es sich um ein anerkanntes Verhältnis von nooR zu Gebäude handelt, welches die vorhandenen Ansprüche und Anforderungen erfüllt.

Die Funktionen des nooR stehen bei AULT (1999b), bzw. ZIMMER (1999) in enger Verbindung mit der ländlichen Nahrungsmittelproduktion und bäuerlichen Elementen (Einfahrt für Wagen, Stallungen für Pferd oder Esel).

Als typische Tätigkeiten, die im nooR-Raum ausgeführt werden, werden bei AULT (1999c) genannt die Vorbereitung von Nahrungsmitteln, Kochen, die Bearbeitung der Wolle, das Weben, Waschen und das Trocknen von Kleidern. Die Ausführung dieser Tätigkeiten ist im nooR stark witterungsabhängig.

Den flankierenden Portiken werden bei AULT et al. (1999d) ideale Arbeitsbedingungen zugeschrieben. Im nooR untergebracht waren Brunnen, Zisternen und Gruben zur Sammlung von Haushaltsmüll.

Neben den hauswirtschaftlichen Tätigkeiten mit leicht beweglichem Mobiliar wie Weberahmen oder auch Herd, wurden häusliche Gewerbetätigkeiten nachgewiesen (AULT 1999e). Nach CAHILL (2001b) wurde auch im Pastas und in den an den Hof angrenzenden Räumen (Haus A v 9) gewoben. In Olynth wurde unter anderem Zeus Herkeios (Herkos = Zaun, Umschließung) im Hof verehrt, daneben gab es noch kleinere tragbare Altäre (AULT 1999f).

Generell kommt es im Laufe der Zeit nach HOEPFNER et al. 1999 zu einer Aufwertung des nooR durch unterschiedliche Architekturelemente, sowie durch Stuckdekor in den Umgängen, womit der Hof zum „>>Signifikant<< für die Organisation des

dahinterliegenden Haushalts.“ wird (AULT 1999g).

Interessant erscheint der Hinweis bei AULT (1999h), daß nooR durch das Aufhängen von Vorhängen zwischen den Säulen unterteilt wurden. Hier stellt sich die Frage, ob Stoffe als Toldos verwendet und z.B. über den nooR als Sonnensegel gespannt wurden.

Ebenso ist zu überlegen, ob diese Vorhänge Bereiche für Männer und Frauen im nooR trennten oder den Pastas und die dort ausgeübten Tätigkeiten vor Unwettern schützten.

Zur Belichtungssituation in einem griechischen Haus mit nooR und der daraus re-

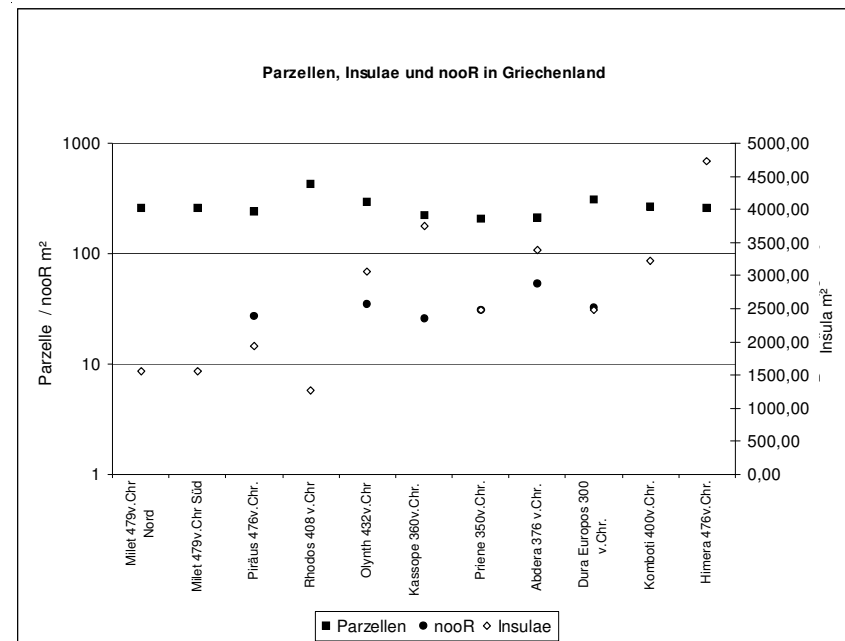
sultierenden räumlichen Organisation stellt CAHILL (2001c) folgende Thesen auf:

- der nooR und zugeordnete Räume und andere gut belichtete Räume waren Arbeitsräume und Lichtquellen für weitere Räume,
- Räume, die gut belichtet waren (durch Fenster oder nooR), waren eher nicht private Räume, im Gegensatz zu dunkleren Räumen,
- nooR und Pastas sind die das Haus formenden Elemente (Licht und Erschließung).

Untersucht man die Belichtungsmöglichkeiten ergeben sich folgende Möglichkeiten zur Belichtung eines griechischen Hauses:

- Fenster, Türen,
- nooR,

Abbildung a.3.1: Auswertung der bei Hoepfner et al. (1986) publizierten nooR



- Raum - Schacht - Komplex bestehend aus einem Raum und einem zugeordneten „Kamin-Lichtschacht“, der durch Säulen vom angrenzenden Raum getrennt war, vgl. CAHILL (2001), evtl. abdeckbar gegen Regen, fehlender Entwässerung, leicht zu öffnen als Rauchabzug.

Da die Fenster nach außen relativ klein waren (Orraon) oder z.B. in städtischen Situationen zum Teil auch nicht möglich waren, scheint der nooR die hauptsächliche Quelle zur Belichtung eines griechischen Hauses zu sein.

CAHILL (2001e) schlägt für Olynth zur Art und Lage der Fenster nach außen kleine hoch über dem Boden liegende Fenster vor, wie sie auf Keramiken (vgl. **Abbildungen** im Hauptteil) dargestellt werden.

Eine besondere Stellung nimmt in Olynth der „Rauchabzug“ ein. Nach CAHILL (2001f) dient er als Kamin und Rauchfang oder als Aufbewahrungsort für Küchen- und Haushaltsgeräte (Haus der vielen Farben CAHILL 2001g), aber auch als Lichtschacht. CAHILL (2001h) schlägt, auf Grund von Funden, das Zentrum der hauswirtschaftlichen Tätigkeiten im Haus der Farben in einem Raum mit einem Lichtschacht vor.

Als Fenster, im Sinne von vertikal gelegenen Lichtöffnungen, könnten gedient haben:

- offene Fenster und Türen (= Löcher),
- temporär offene Fenster und Türen, die z.B. je nach Größe mit Läden verschlossen, oder mit Wolle zugestopft wurden,
- Türen mit einem zu öffnenden oberen Teil,
- durchscheinende Materialien in Fensterrahmen (Alabaster, Edelsteine etc.),
- Stoff ölgetränkt über einen Rahmen gespannt,
- Papier ölgetränkt über einen Rahmen gespannt,
- Marmor dünn geschnitten (lt. CAHILL 2002i wurden dünne Marmorplatten in einem Andron gefunden; vermutete Verwendung als Wandverkleidung oder Regal). Die Lichttransmission annähernd bestimmt nach

EHRlich 1998a von weißem Marmor (Thassos, Stärke 1cm, eine Seite sägerauh, andere Seite poliert) liegt bei ca. 1,3%.

Die archäologischen Funde legen als allgemein üblich temporär zu öffnende Fenster und Türen zur Belichtung nahe (vgl. im Hauptteil **Abbildung 3.2.10-13**). Nach Sonnenuntergang wurde offenes Feuer oder Lampen zur Beleuchtung der Räume eingesetzt (HOEPFNER et al. 1999, 1986).

4. Belichtung, Bauphysik und Komfort in der Antike

Um ein Verständnis vom Kenntnisstand und den Anforderungen der Griechen an ihre gebaute Umgebung zu bekommen, wurden verschiedene Texte ausgewertet. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse - auch wenn sie nicht zeitgleich mit dem Untersuchungsobjekt in Olynth sind - sollen einen ungefähren Einblick in das damalige Verständnis der gebauten Welt im Hinblick auf astronomische Kenntnisse und Belichtung geben.

Untersucht man die griechische Literatur unter dem Aspekt der Bauphysik, läßt sich feststellen, daß hier zwar kein explizites theoretisches Wissen zu Wärmetransport, Lüftungsverhalten etc. vorhanden war, aber durchaus empirisch und pragmatisch gehandelt wurde. So schreiben ARISTOTELES (Politik-a) und HIPPOKRATES (Ausgewählte Schriften -a) über die Orientierung und Anlage von Städten, um eine möglichst gesunde Wohnumgebung zu gewährleisten. Die Orientierung der Stadt und der Gebäude zur Sonne und die Berücksichtigung der Winde sind ein wesentlicher Aspekt der Planung. Dies wird bei ARISTOTELES (Politik -b) als gemeinschaftliches Ziel definiert und über Überlegungen zur Sicherheit gestellt.

Während der Lage der Städte ein Einfluß auf die Gesundheit der Bürger zugebilligt wird, wird das einzelne Haus und seine Eigenschaften nicht als maßgeblich eingestuft. Dies mag darauf zurückzuführen sein, daß das Raumklima nur gering bis gar nicht vom Stadtklima abweicht oder die Leute sich vorwiegend im Freien aufhielten oder das Haus für weitere gesundheitliche Probleme verantwortlich war, die dem allgemeinen Klima angelastet wurden. HIPPOKRATES (Ausgewählte Schriften -b) empfiehlt zwar dem Arzt auf die klimatischen Faktoren (Winde, geographische Lage, Jahreszeit etc.) und die Lebensweise der Menschen

zu achten, für das Auftreten von Krankheiten und für Charaktereigenschaften hält er aber das allgemeine Klima oder die Witterung verantwortlich.

Dabei ist es erstaunlich, wie genau er bestimmte Witterungen und das Auftreten bestimmter Krankheiten korreliert. Hinweise, daß eine Bauweise bestimmte Krankheiten fördert, wurden nicht gefunden.

Die Verbindung zwischen Klima, Charaktereigenschaften und Überlegungen, daß sich Wärme und Kälte im Körper selbständig ausgleichen, geht sogar bei ARISTOTELES (Politik; Erziehung der Kinder -c) soweit, zu empfehlen, Kinder an die Kälte zu gewöhnen, da dies für die Ausbildung von guten Charaktereigenschaften sinnvoll ist und Kinder sowieso ein Übermaß an Wärme besitzen. Insofern dürfte der Hinweis von ARISTOTELES (Politik -d) auf Hippodamus, daß er auch im Sommer warme Kleidung trug, durchaus spöttisch gemeint sein.

Neben diesen eher allgemeinen Aussagen lassen sich auch Aussagen zum (thermischen) Wohlbefinden finden. Bei XENOPHON (Die sokratischen Schriften -a) wird das Leben auf dem Land im Winter geschätzt, weil es warme Bäder und reichlich Feuer gibt, dagegen im Sommer angenehm kühl ist. Hier wurde mehr oder weniger unbewußt die Klimaveränderung durch die gebaute Umwelt („urbane Hitzeinsel“) beschrieben.

Auch die Orientierung des Hauses nach Süden zur Sonne und die Abschirmung gegen die kalten Nordwinde, sowie der gezielte Einsatz der Verschattung mit dem Ziel ein angenehme Behausung zu haben, sprechen für ein gewisses bauphysikalisches Grundverständnis und Wissen.

Obwohl der Mensch bei XENOPHON (Die sokratischen Schriften -b) bedeckte Räume braucht zur Aufzucht der Kinder, zur Bereitung von Brot oder die Herstellung von

Wolle, schwächt der Aufenthalt und die Arbeit im Haus den Menschen (= Mann).

So scheint ein Zwiespalt zu herrschen zwischen der Forderung nach einem angenehmen Haus, in dem man sich zu jeder Jahreszeit wohl fühlt, und der Tatsache, daß Abhärtung wichtig für die Charakterbildung ist.

Die Räume im Haus sollten bei XENOPHON (Die sokratischen Schriften -c) entsprechend ihren bauphysikalischen Charakteristika, trockene Räume für das Getreide, kühle Räume für den Wein, helle Räume für die Arbeit, genutzt werden, Wohnräume im Sommer kühl und im Winter warm sein.

Die weniger widerstandsfähige Frau braucht das Haus, der Mann kommt besser mit den Widrigkeiten des Klimas zurecht, ist ein wesentlicher Grundgedanke. XENOPHON (Die sokratischen Schriften -d) geht davon aus, daß der Hausherr sich mit den klimatischen Besonderheiten und den Anforderungen an die Bauweise, um ein optimales Klima zu erreichen, auskennt, da er hierin seine Frau unterrichtet.

Der Hinweis von ARISTOTELES (Kleine naturwissenschaftlichen Schriften; Über Alter und Jugend, Leben und Tod -a), daß Menschen vom Kohler Rauch Kopfschmerzen bekommen und oft sterben, deutet darauf hin, daß Räume soweit abgedichtet werden konnten (Türen und Fenster), daß es zu einem gefährlichen Anstieg von Schadstoffen in den Räumen kommen konnte (Rauchgasvergiftung).

Das Prinzip der Kühlung durch Verdunstung wird bei ARISTOTELES (Kleine naturwissenschaftlichen Schriften; Über Alter und Jugend, Leben und Tod -b) für das Kühlen von Pflanzen beschrieben.

Bei PLATON (Der Staat -a) wird die Adaption des Auges an bestimmte Helligkeitszustände zur Erläuterung eines Sachverhaltes benutzt.

In HOMERS Odyssee wird die Nutzung griechischer Häuser beschrieben. So setzte sich Odysseus zum Herd in den Staub, oder stieg aus der Badewanne und setzte sich

auf einen Sessel nieder, Atreus' Sohn schlief im Inneren des hohen Hauses oder zum Schlafen benutzte er Felle von Schafen und Ziegen. War es zu dunkel, wurden Feuertöpfe in der Halle aufgestellt, oder gar auf den Boden gekippt und zusätzliches Holz, damit es warm und hell wurde. Große Gewebe waren in der Halle aufgestellt, allerdings war es nötig Waffen vor dem Rauch zu schützen.

Selbstverständlich sind diese unterschiedlichen Hinweise auf ein bauphysikalisches Grundverständnis, und Heizungs- Klimatechnik kein Beweis für eine weitreichende Auseinandersetzung mit bauphysikalischen oder klimatischen Fragen im Zusammenhang mit Gebäuden, geben aber einen hilfreichen Einblick in das damalige Verständnis, welches wahrscheinlich vor allem pragmatisch geprägt war.

Die hier genannten und durchaus auch hypothetischen Argumente für eine überlegte (wissenschaftliche) und nicht nur empirische Planung, geben Anlaß zur Vermutung, daß im Bereich der Belichtung von Räumen ein gewisses Grundverständnis für Schattenwurf, Lichtlenkung, Verteilung und Auswirkung auf den Wärmehaushalt eines Hauses vorhanden waren.

Ob hier nur nach der Methode trial and error vorgegangen wurde oder die Erkenntnisse durch theoretische Überlegungen, Modellbau oder wissenschaftlich methodische Untersuchungen zustande kamen, kann hier nicht geklärt werden.

5. Zusammenstellung von Hinweisen auf ein bauphysikalisches Grundverständnis in der Antike:

- Bestimmung von Sonnenwendepunkt, Tagundnachtgleiche mit Hilfe eines Gnomons (einfache Sonnenuhr) durch Anaximander von Milet (610-540 v.Chr.) (BARTELS et al. 2001)
- Von Thales von Milet 5.Jh. v.Chr. wird behauptet, daß er 548 v.Chr. eine Sonnenfinsternis vorausgesagt hat. Milet war der Endpunkt einer Handelsstraße aus dem Orient (BARTELS et al. 2001); Begriff des Winkels erstmalig bei Thales von Milet.
- Aristoteles (384 -322 v.Chr.) schreibt über Hippodamus von Milet (5 Jh. v. Chr.) „er wollte obendrein im Hinblick auf die gesamten Naturfragen als bewandert gelten.“ (Zweites Buch; Staatsverfassung des Hippodamus, ARISTOTELES 1989e). Dies kann als Hinweis auf die Ausbildung eines Architekten als Generalisten gedeutet werden, der das damalige Wissen kannte und umzusetzen versuchte, ohne ein Spezialist zu sein.
- Modelle eines reich ausgestatteten Androns mit Fensteröffnungen als Grabbeigabe, welches zur Beurteilung von Licht und Schattenwirkung eingesetzt werden konnte, sowie für die Entscheidungsfindung über die Ausstattung (vgl. Abbildung bei HOEPFNER et al. 1999a).
- Die Entwicklung und Realisierung einer Streifenstadt mit Typenhäusern wie z.B. Olynth (HOEPFNER et al. 1986; Einwendungen CAHILL 2001j) ist sicher kein Zufall, sondern das Resultat einer Planung, die zur Umsetzung und Überzeugung der Mitbewohner einer logischen und überzeugenden Argumentation bedarf. Dazu könnten Modelle und Skizzen gedient haben (vgl. auch Papyrus 2406, 2 Jh. n.Chr. mit Hausgrundriß HOEPFNER et al.

1999b bzw. auch HOEPFNER et al. 1999c, Haus 1 Orraon, wo auf Grund der komplizierten Durchdringungen und Dachform ein Modellbau für notwendig erachtet worden ist). Die Entscheidung für ein bestimmtes Typenhaus kann wahrscheinlich nicht nur mit dem demokratischen Verständnis „für jeden das selbe Haus“ begründet werden, sondern bedurfte einer bewußten Entscheidung, bei welcher Vorteile und Nachteile gegeneinander abgewogen wurden. HIPPOKRATES (1994c) und VITRUV (1964a) weisen auf die Bedeutung der Ausrichtung von Städten in Bezug auf Sonne und Wind hin und die aus einer schlechten Lage resultierenden Krankheiten, beziehen sich aber nicht auf das einzelne Haus. Auch die Tatsache daß ARISTOTELES (1993a) in „Der Staat der Athener“ über Amtsträger schreibt, die sich um die bauliche Ordnung und Einhaltung von Bauvorschriften kümmerten, weist auf eine staatliche Regelung der Bautätigkeit hin. Das einzelne Haus, Lage oder Ausbildung werden nicht - zumindest bei HIPPOKRATES (460 -370 v.Chr.) als krankheitsauslösend betrachtet. Dies mag vielleicht darin begründet sein, daß sich das Innenraumklima nur unwesentlich vom Außenklima unterschied und nicht als Auslöser für Krankheiten identifiziert wurde. Bei VITRUV (1964b), vgl. Tabelle 3.2.12, finden sich Ratschläge zur Orientierung einzelner Räume, um dort Tätigkeiten auszuführen oder Sachen zu lagern, aber keine Hinweise wie Gebäude das Klima beeinflussen oder die Gesundheit erhalten. Insofern liegt der Gedanke nahe, daß es sich bei den Typenhäusern um eine Art Musterhülle für einen Bebauungsplan handelte, welcher in individueller Variation ausgeführt wurde und nachbarschaftliche Belange regelte. Hier scheint eher die

Hülle (als für die Stadt und ihr Erscheinungsbild prägend) vorgegeben, als die Innenaufteilung. Das trotzdem häufig gleiche oder sehr ähnliche Grundrisse zu finden sind, liegt sicherlich an den bei CAHILL (2001k) geäußerten Vermutungen der flexiblen Raumnutzung, aber auch an den physischen Grenzen der Hülle und einer spezialisierten Bauwirtschaft, die wohl die „Serienfertigung“ bevorzugte. Der Gedanke der Typisierung darf nicht vom Hausgrundriß (und Individuum) gedacht werden, sondern von der Gemeinschaft Stadt als äußere Hülle. Ein nahezu einheitlicher Grundriß ist somit eher Resultat einer Typenhülle und -bauweise. Die Ausrichtung einer Stadt nach Süden und Umsetzung einer Streifenstadt zeugen von Vermessungskenntnissen und einem Verständnis, bzw. Kenntnisse der Astronomie / Sonnenbahn (vgl. HOEPFNER et al. 1999d).

- Hipparchos von Nikaia, 160-125 v.Chr., (BARTELS et al. 2001); mathematische Methoden zur Beschreibung der Sonnenbahn, Kenntnis der babylonischen Astronomie aus dem 4.Jh. v. Chr. zur Bestimmung der Tagundnachtgleiche; Sternenkatalog
- aus der Optik bekannt waren das Reflexionsgesetz (mathematisch), perspektivische Verkürzung geometrisch bestimmbar (BARTELS et al. 2001), z.B. bei Aristoteles Sehstrahlen, Euklid Linearperspektive, Anfänge der Optik. Abhandlungen über die Perspektive der Theaterdekoration (Bühnenbild), Brennspiegel bei Archimedes (BARTELS et al. 2001).
- VITRUV (1964c): „Ferner wird, wenn man die Optik beherrscht, von bestimmten Stellen des Himmels das Licht richtig in die Gebäude geleitet.“ Dies weist darauf hin, daß es ein Verständnis für die Leuchtdichtenverteilung am Himmel gab.

- Sonnenuhren (Messen der Schattenlänge und Richtung), vgl. auch später VITRUV (1964d), 84 v.Chr. bis 27 n.Chr., Bau von Uhren durch Architekten (Analemma = Aufriß , geometrisch-mechanisches Verfahren zur Projektion der Schatten- und Stundenlinien, verschiedene Auffangflächen von Sonnenuhren (BARTELS et al. 2001), d.h. vom Architekten wurde ein Verständnis für die Ausrichtung von Gebäuden als selbstverständlich angesehen. VITRUV (1964e) verweist immer wieder auf die historischen Wurzeln seiner Abhandlungen.
- Ptolemaios Claudius, ca. 100 - 170, (BARTELS et al. 2001), u.a. auch Theorie des Sehens, Sinnestäuschungen, Gesetze der Reflexion, Berechnung und Zusammenfassung der Erkenntnisse von Euklid (306-283 v.Chr.), Archimedes (285 -212 v.Chr.) und Heron. Geräte zur Messung der Brechung, Geometrie des Lichts insbesondere Schlagschatten (BARTELS et al. 2001) und astronomische Messgeräte z.B. Dioptra zur Bestimmung des scheinbaren Mond- und Sonnendurchmessers im Bogenmaß, Armillarsphäre / Armillarastrolab (bei Ptolemaios), Sonnenuhren (BARTELS et al. 2001)

6. Der Palazzo Piccolomini

Da Tageslicht nicht nur für eine gute Belichtung verantwortlich, sondern oftmals auch eine unerwünschte Wärmequelle ist, fordern VITRUV (1964) und ALBERTI (1991), (siehe Tabelle 3.1.12) Räume ihrer Anforderung an Belichtung und Wärmehaushalt im Gebäude zu orientieren. Diese Kenntnisse wurden auch beim Palazzo Piccolomini berücksichtigt, wie **Tabelle 3.2.12** zeigt.

Es ist für eine Analyse der Belichtung von besonderem Interesse, daß sowohl bei VITRUV (1964), wie auch bei ALBERTI (1991) differenzierte Empfehlungen zur Gestaltung von Fenstern geben werden, abhängig von der Aufgabe, also Belichtung und/ oder Belüftung, sowie Orientierung der Fassade und Nutzung der Räume.

In beiden Schriften wird erkannt, daß der Himmel unterschiedliche Beleuchtungsdichten aufweist und auch zwischen direkter und indirekter Belichtung unterschieden werden muß. Auf Grund der Vorzüge für die Belichtung und zugfreie Belüftung erscheinen hoch gelegene Fenster bevorzugt worden zu sein, die Möglichkeit des Ausblicks erscheint eher zweitrangig. Fensterscheiben werden bei beiden nicht erwähnt. Ob dies nun bedeutet, daß es Fensterscheiben im heutigem Verständnis nicht gab oder nicht Angelegenheit des Architekten waren und den Möbeln zugeordnet waren, wurde nicht weiter untersucht.

Zur Bedeutung und zum Verständnis des nooR geben Zitate von VITRUV (1964) und ALBERTI (1991) Aufschluß. So gibt VITRUV (1964f) sehr genaue Anweisungen, wie ein nooR und die daran angrenzenden Räume zu gestalten sind, und was dabei zu beachten ist (aus: Von der Anlage der Höfe ... und deren Größenmaßen):

„ 1. Die Hofräume sind in 5 Arten unterschieden, die nach ihrer Gestalt tuskanisch, korinthisch, viersäulig, trauflos

und überdeckt genannt werden. ...2. ...Diese (= trauflose Höfe, Anmerkung des Autors) sind ganz besonders bei Winterwohnungen sehr vorteilhaft, weil ihre nach oben gerichteten Compluvien die Beleuchtung der Speisesäle nicht behindern. ... Ganz überdeckte Hofräume aber macht man dort, wo die Spannweite nicht groß ist und in dem oberen Stockwerk geräumige Wohnungen gebaut werden. ... 6. Die Lichtöffnung des Compluviums soll nicht weniger breit als 1/4, nicht mehr als 1/3 der Atriumbreite gelassen werden; die Länge soll in proportionalem Verhältnis zur Länge des Atriums gemacht werden. ...10. ... Rechts und links haben sie (kyzikenische Säle, A.d.A) türähnliche Fensteröffnungen, so daß die Gäste von den Speisefas aus einen Blick ins Grüne haben. Ihre Höhe wird mit 1 1/2 Breite bestimmt. ... 11.Und die Fenster werden leicht angelegt werden können, wenn sie nicht durch hohe (gegenüberliegende) Mauern verdunkelt werden können. Wenn aber ihre Anlage durch enge Straßen oder andere zwingende Umstände verhindert wird, dann wird der Fall eintreten, daß durch Erfindungsgabe und Scharfsinn (des Baumeisters) von den Symmetrien etwas abgezogen oder ihnen etwas hinzugefügt wird, so daß eine schöne Wirkung erzielt wird, die der nicht unähnlich ist, die sich bei genauer Beachtung der wirklichen Symmetrien ergibt.“

Auch ALBERTI (1991b) betont die Wichtigkeit des nooR, den er als „sinus“, in der deutschen Übersetzung als „Schoß“, bezeichnet. Allerdings beschränkt er sich dabei hauptsächlich auf das Belichtungspotential:

„ Von allen der erste Teil des Hauses ist jener, welcher Deiner Meinung nach Haushof oder Atrium heißt. Ich werde ihn „Schoß“ (sinus) nennen. ... Es wird also der „Schoß“ der vornehmlichste Teil sein, auf welchen alle übrigen Gemächer, wie auf das öffentliche Forum die Gebäude, münden; woher sie auch nicht nur einen sehr bequemen Zugang, sondern auch am geeignetsten eine

vorzügliche Belichtung erhalten dürften. Daraus erhellt, daß jeder „Schoß“ einen geräumigen, offenen, würdigen und bequem gelegenen Raum für sich in Anspruch nimmt.“

Auf Grund der hier dargelegten Zitate und dem Interesse Papst Pius II. an seinem Bau kann davon ausgegangen werden, daß beim Entwurf und Bau des Palazzo die Schriften Albertis und Vitruvs entsprechend berücksichtigt wurden. Nach PIEPER (1997d) hat sich Pius II. 1459 (aktenkundig belegt) ein Vitruvexemplar ausgeliehen. Die von PIEPER (1997e) dargelegte Ausrichtung des Schattenwurfes der Kirche auf die Piazza ist ein weiterer Hinweis, daß hier alle zur Verfügung stehenden Kenntnisse der damaligen Zeit für eine entsprechende Belichtungssituation angewendet worden sind. Dabei kann angenommen werden, daß nicht nur die Kirche, sondern auch der Papst -Palast entsprechend durchdacht wurde. PIEPER (1997f,d) schreibt, daß der Urheber des Bauprogramms Pius II. selbst ist, als Berater Nikolaus von Kues fungierte und die astronomischen Berechnungen eventuell unter Mithilfe des Astronoms Toscanelli, eines Spezialisten für Sonnenuhren, durchgeführt wurden.

Als weiterer Berater gilt Alberti (PIEPER 1997g), der den Rang eines päpstlichen Abbreviator und das Amt eines Bullaren innehatte. PIEPER (1997h) weist auch auf die Verbindung zu den Schriften Filaretos hin. Die Bedeutung des Lichtes in der Mythologie und der Kirche im Zusammenhang mit den Bauten Pius II. wird bei PIEPER (1997j) wiederholt dargelegt. Somit ist die gute Belichtung der Gebäude, die Pius II. so sehr lobt, nicht nur symbolisch, sondern auch praktisch zu bewerten. Übertrieben könnte formuliert werden, daß da wo der Papst wohnt, das Licht (der Erkenntnis) ist und die gute Beleuchtungssituation ermöglicht ihm das Studium und die Erkenntnis.

So scheint nicht nur die städtebauliche Situation einmalig für die damalige Zeit, sondern auch das Streben einen komfortablen Palazzo zu bauen. Während das Äußere des Palastes in der Bau- und Kunstgeschichte auf Grund seiner vielen Brüche eher als zweitrangig eingestuft wird (z.B. DURM 1903), welches bei PIEPER (1997k) allerdings widerlegt wird, so scheint das Streben nach Komfort und die Umsetzung um so bedeutsamer. PIEPER (1997l) schreibt, „Bequemlichkeit ist also die wesentliche Neuerung. Diese Einrichtungen der Comodita lassen sich ausnahmslos auch im Palazzo Piccolomini nachweisen, der den Florentiner Palästen in der Bequemlichkeit damit sicherlich ebenbürtig, in der Entwicklung der Haustechnik sogar noch überlegen sein dürfte.“

Es gab in jedem Zimmer einen Kamin, eine Wasserversorgung im Trennsystem. Wichtig ist auch der bereits oben angedeutete Unterschied zwischen dem Palazzo Piccolomini und alten gotischen (nach alter Bauart errichteten) Palästen, bei denen es Pius II. an Licht und Bequemlichkeit fehlte.

Die Neuerungen im Palazzo faßt PIEPER (1997m) wie folgt unter Zuhilfenahme eines Zitates von Wilch zusammen:

„Zunächst jedoch ist der Palazzo Piccolomini die Vollendung des Typus: Die charakteristischen Neuerungen, die zur Entwicklung der Florentiner Palastarchitektur geführt haben, die in verschiedenen früheren Bauwerken ansatzweise zu beobachten sind, werden hier in der Bearbeitung eines einzigen Projektes zusammengebracht, weiterentwickelt und vollendet.

Dies gilt zuallererst für den Bautypus als Ganzes. Das quadratische Hofhaus mit innenliegender säulengestützter Arkadenhalle, deren Stammbaum in ziemlich direkter Folge aus den Peristylhöfen der Antike abzuleiten ist,³⁹⁰ wird nun in der für die Frührenaissance charakteristischen Weise

im Grundrißgefüge gestrafft, in den Umrissen orthogonalisiert und insgesamt ins Monumentale erhoben.“

Zur Raumabfolge und Nutzung des Palazzo Piccolomini schreibt PIEPER (1997n):

„Der Besucher betritt den Palast durch das Hauptportal - also vom Corso, nicht von der Piazza her - und gelangt so direkt in den großen Innenhof, um den herum Gästeappartements und vor allem verschiedene Speisesäle für unterschiedliche Jahreszeiten angeordnet sind.

Dieser Bereich des Palastes dient also neben seiner Empfangs- und Verteilerfunktion den größeren Festlichkeiten und Banketten, die halb im Freien, halb im Gebäude stattfanden. ... Diejenigen Gäste, denen die Ehre zuteil wurde, zum privaten Empfang vorgelassen zu werden oder gar in der Nähe des Papstes ein Gästeappartement zu beziehen, führte Pius vom Hauptportal direkt über die große Treppe rechts vom Eingang nach oben.“

Anhang A3

Literaturnachweis: Tabellen Hauptteil, Anhang und Anmerkungen

Tabellen Hauptteil, Anhang

Tabelle 2.1

Oke, T.R. 1987:
Boundary layer climates. Second edition, Reprint 2000. London. Routledge. S. 262-303.

Mayer H. 1986:
Zielsetzung und Konzeption des Forschungsvorhaben STADTKLIMA BAYERN. Mitt. Geogr. Gesellschaft München, **71**. S. 21-39.

Tabelle 2.4 und 2.5

VDI 3787, Blatt 2 1998:
Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt und Regionalplanung. Teil 1: Klima. Berlin.

Tabelle 3.1.1

Alvarez, S.; Sanchez, F.; Molina; J.L. 1998:
Air flow pattern at courtyard. In: Proceedings of Plea '98. Lisbon. S. 503-506.

Gandemer, J. 1975:
Wind Environment around Buildings: Aerodynamic concepts. Proceedings of the Fourth International Conference on Windeffects on Buildings and Structures. Heathrow.

Hall, D.J.; Walker, S.; Spanton A.M. 1999:
Dispersion from courtyards and other enclosed spaces. Atmospheric Environment, **33**. S. 1187-1203.

Moriske H.-J.; Turowski 1998:
Erfassung und Verteilung von Kraftfahrzeugimmissionen in Innenhofbereichen verschiedener Gebäudestrukturen. Gesundheitsingenieur, **6**, S. 289-344.

Murakami, S.; Shoda, T.; Kobayashi, N. 1975:
Wind effects on air flows in half-enclosed spaces. In: Proc. of the 4th International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures. Heathrow.

Walker, R.R., Shao, L.; Wooliscroft, M. 1993:
Natural ventilation via courtyards: theory and measurements. In: Proceedings 14th AVIC Conference. Copenhagen. S. 235-250.

Sharples, S.; Bensalem, R. 2001:
Airflow in courtyard and atrium buldings in the urban environment: Wind tunnel study. Solar Energy, **70**, No. 3. S. 237-244.

Shao, L.; Walker, R.R.; Wooliscroft, M. 1993:
Natural ventilation via courtyards: the application of CFD. In Proceedings 14th AVIC Conference, Copenhagen. S. 393-403.

Tabelle 3.2.2

Aries, P.; Duby, G. (Hg.) 2000:
Geschichte des privaten Lebens. Band 1 - 5. Lizenzausgabe. Augsburg.

Cahill, N. 2001:
Household and City Organization at Olynthus. New Haven.

Geist, J.F.; Kürvers, K. 1980:
Das Berliner Mietshaus. 3 Bände. München

Hegemann, W. 1992:
Das steinerne Berlin. Nachdruck. Braunschweig / Wiesbaden

Hoepfner, W.; Schwandner E.-L. 1986:
Wohnen in der klassischen Polis I: Haus und Stadt im klassischem Griechenland. München.

Hoepfner, W. 1999:
Geschichte des Wohnens. Band 1: 5000 v.Chr. - 500 n.Chr.. Vorgeschichte, Frühgeschichte, Antike. Stuttgart.

Pieper, J. 1997:
Pienza. Der Entwurf einer humanistischen Weltsicht. Stuttgart/London.

Thorton, P. 1991:
The Italian Renaissance Interior:1400-1600. New York.

Tabelle 3.2.3

Freytmuth, H. 1994:
Licht. in: Lutz, P.; Jenisch, R.; Klopfer, H.; et al. 1994. Lehrbuch der Bauphysik. 3. neubearb. und erw. Auflage. Stuttgart. S. 397-460.

Randall, T. 1996:
Environmental Design. London.

Smith, B.J.; Phillips, G.M.; Sweeney, M. 1994:
Environmental Science. London.

Yannas, S. 1994:
Solar Energy and Housing Design. Volume 1: Prinziplles, Objectives, Guidelines. London

Tabelle 3.2.6

Vitruv, zitierte Ausgabe:

Vitruv 1964: Zehn Bücher über Architektur. Übersetzung Fensterbusch, C. Darmstadt.

Vitruv 1964a:

ebenda. S. 25.

Vitruv 1964b:

ebenda. S. 31.

Vitruv 1964c:

ebenda. S. 35.

Vitruv 1964d:

ebenda. S. 415.

Vitruv 1964e:

ebenda. S. 289.

Vitruv 1964f:

ebenda. S. 331

Tabelle 3.2.7

Alberti, zitierte Ausgabe:

Alberti, L. A. 1991: Zehn Bücher über die Baukunst. Übersetzung Theuer M.. Nachdruck 1991, 1. Auflage Wien 1912. Darmstadt.

Alberti, L. A. 1991a:

ebenda. S. 21.

Alberti, L. A. 1991b:

ebenda. S. 57.

Alberti, L. A. 1991c:

ebenda. S. 57.

Alberti, L. A. 1991d:

ebenda. S. 57.

Alberti, L. A. 1991e:

ebenda. S. 58.

Alberti, L. A. 1991f:

ebenda. S. 58.

Alberti, L. A. 1991g:

ebenda. S. 58.

Alberti, L. A. 1991h:

ebenda. S. 58.

Alberti, L. A. 1991i:

ebenda. S. 58.

Alberti, L. A. 1991j:

ebenda. S. 58.

Alberti, L. A. 1991k:

ebenda. S. 58-59.

Alberti, L. A. 1991l:

ebenda. S. 59.

Alberti, L. A. 1991m:

ebenda. S. 59.

Alberti, L. A. 1991n:

ebenda. S. 224.

Tabelle 3.2.8

Alberti, zitierte Ausgabe:

Alberti, L. A. 1991: Zehn Bücher über die Baukunst. Übersetzung Theuer M.. Nachdruck 1991, 1. Auflage Wien 1912. Darmstadt.

Alberti, L. A. 1991a:

ebenda. S. 48.

Alberti, L. A. 1991b:

ebenda. S. 285.

Alberti, L. A. 1991c:

ebenda. S. 285,286.

Vitruv, zitierte Ausgabe:

Vitruv 1964: Zehn Bücher über Architektur. Übersetzung Fensterbusch, C. Darmstadt.

Vitruv 1964a:

ebenda. S. 41ff.

Vitruv 1964b:

ebenda. S. 41ff.

Vitruv 1964c:
ebenda. S. 41ff.

Vitruv 1964d:
ebenda. S. 41ff, 281.

Vitruv 1964e:
ebenda. S. 41, 281.

Sonstige Tabellen Text Autor

Tabellen Anhang

Tabelle a.2.1

Almemo 2002:
ALMEMO-Handbuch, Für alle Messgeräte. 3. Auflage. Holzkirchen.

DIN-VDI- Handbuch 332 1999:
Umweltmeteorologie. Meteorologische Messungen. Teil 1: Wind, Temperatur, Feuchte und Niederschlag. Berlin.

DIN-VDI- Handbuch 333 1999:
Umweltmeteorologie. Meteorologische Messungen. Teil 2.: Globalstrahlung, Lufttrübung, visuelle Wetterbeobachtung und agrarmeteorologische Meßstationen. Berlin.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998:
Ventilation of Large Spaces in Buildings. Analysis and Prediction Techniques. IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems, Annex 26: Energy Efficient Ventilation of Large Enclosures. S. 157-190.

Koch, E. 1999:
Wirkungsbezogene Meßverfahren. in Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.): Meteorologische Messungen in Stadtgebieten. in: Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung. Zweite, vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin. S.307-316.

Otte, U. 1999:
Meteorologische Messungen in Stadtgebieten. in: Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung. Zweite, vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin. S. 289-316.

VDI 3787, Blatt 2 1998:
Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt und Regionalplanung. Teil 1: Klima. Berlin.

VDI 3787, Blatt 3 1998:
Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt und Regionalplanung. Teil 1: Klima. Berlin.

VDI 3787, Blatt 4 1998:
Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt und Regionalplanung. Teil 1: Klima. Berlin.

VDI 3787, Blatt 5 1998:
Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt und Regionalplanung. Teil 1: Klima. Berlin.

Tabelle a.4

Baker, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K. 1998:
Daylighting in Architecture: A European Reference Book. Reprint. Commission of European Communities, Directorate-General XII for Science Research and Development.

Compagnon, R.; Green, C. 2000:
Adeline 3. Plink User's Manual. Switzerland. S. 25-27.

Freymuth, H. 1994:
Licht. in: Lutz, P.; Jenisch, R.; Klopfer, H.; et al. 1994. Lehrbuch der Bauphysik. 3. neubearb. und erw. Auflage. Stuttgart. S. 397-460.

Goulding, J.R.; Lewis, J.O.; Steemers T.C. 1986:
Energy in Architecture: The European Passive Solar Handbook. Commission of European Communities, Directorate-General XII for Science Research and Development.

Hentschel, H.-J. 1994:
Licht und Beleuchtung: Theorie und Praxis der Lichttechnik. 4., neubearbeitete Auflage. Heidelberg.

Hoepfner, W. 1999:
Geschichte des Wohnens. Band 1: 5000 v.Chr. - 500 n.Chr.. Vorgeschichte, Frühgeschichte, Antike. Stuttgart. S. 525ff.

Tabelle a.5

Cahill, N. 2001:
Household and City Organization at Olynthus. New Haven. S. 176.

Literarnachweis Anmerkung

Alberti, zitierte Ausgabe:

Alberti, L. A. 1991: Zehn Bücher über die Baukunst. Übersetzung Theuer M.. Nachdruck 1991, 1. Auflage Wien 1912. Darmstadt.

Alberti, L. A. 1991a:
ebenda. S. 68. 2. Buch, 1. Kap.

Alberti, L. A. 1991b:
ebenda. S. 273. 5. Buch, 17. Kap.

Anderson, J.D. 1995:
Computational Fluid Dynamics. New York.

Aristoteles, zitierte Ausgaben:
Aristoteles 1989: Politik. Übersetzung Schwarz, F.F.. Stuttgart.

Aristoteles: Politik -a.
ebenda. S. 320ff.

Aristoteles: Politik -b.
ebenda. S. 345ff.

Aristoteles: Politik -c.
ebenda. S. 365-368.

Aristoteles: Politik -d.
ebenda. S. 130

Aristoteles: Politik -e.
ebenda. S. 130/8-130.

Aristoteles 1993: Der Staat der Athener. Übersetzung Dreher, M.. Stuttgart.

Aristoteles 1993: Der Staat der Athener -a.
ebenda. S. 82/80,(2).

Aristoteles 1997: Kleine naturwissenschaftlichen Schriften. Übersetzung Dönt, E.. Stuttgart

Aristoteles: Kleine naturwissenschaftlichen Schriften. -a.
ebenda. S. 71.

Aristoteles: Kleine naturwissenschaftlichen Schriften. -b.
ebenda. S. 154.

Ault, B.A. 1999:
Die klassische >>Aule<<. Höfe und Freiraum. in: Geschichte des Wohnens. Band 1:
5000 v.Chr. - 500 n.Chr.. Vorgeschichte, Frühgeschichte, Antike. Stuttgart. S. 537-544.

Ault, B.A. 1999a:
ebenda. S. 537.

Ault, B.A. 1999b:
ebenda. S. 541.

Ault, B.A. 1999c:
ebenda. S. 540.

Ault, B.A. 1999d:
ebenda. S. 540.

Ault, B.A. 1999e:
ebenda. S. 542.

Ault, B.A. 1999f:
ebenda. S. 543.

Ault, B.A. 1999g:
ebenda. S. 544.

Ault, B.A. 1999h:
ebenda. S. 544.

Awbi H.B. 1995:
Ventilation of Buildings. London.

Baker, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K. 1998:
Daylighting in Architecture: A European Reference Book. Reprint. Commission of
European Communities, Directorate-General XII for Science Research and
Development.

Bartels, K.; Huber, L. (Red.) 2001:
Lexikon der Alten Welt. Band 1 -3. Ungekürzte Lizenzausgabe. Düsseldorf.

Baumüller, J. 1999:
Windkanal. in: Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.): Stadtklima und
Luftreinhaltung. Zweite, vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin. S. 379ff.

Bejan, A. 1984:
Convection Heat Transfer. New York.

- Borth, J.; Suter, P. 1994:
Influence of mesh refinement on the thermal prediction of turbulent air flow in rooms. Roomvent '94, Proceedings of Fourth International Conference, Vol. 1. S. 137-148.
- Cahill, N. 2001:
Household and City Organization at Olynthus. New Haven.
- Cahill, N. 2001a:
ebenda. S. 78ff.
- Cahill, N. 2001b:
ebenda. S. 74ff, 169ff.
- Cahill, N. 2001c:
ebenda. S. 74ff, insb. 76ff.
- Cahill, N. 2001d:
ebenda. S. 153, 154ff.
- Cahill, N. 2001e:
ebenda. S. 76.
- Cahill, N. 2001f:
ebenda. S. 153ff.
- Cahill, N. 2001g:
ebenda. S. 90.
- Cahill, N. 2001h:
ebenda. S. 89ff.
- Cahill, N. 2001i:
ebenda. S. 130.
- Cahill, N. 2001j:
ebenda. S. 221.
- Cahill, N. 2001k:
ebenda. S. 78.
- Chen, Q.A.; Moser, A.; Huber, A. 1990:
Prediction of buoyant, turbulent flow by a low-Reynolds-number k-ε model. ASHREA Transactions, 96(1). S. 564-573.
- Compagnon, Andrea 2000:
Intelligente Glasfassaden; Material, Anwendung, Gestaltung. Basel.
- Cook M.J.; Lomas K.J. 1997:
Guidance on the use of computational fluid dynamics for modelling buoyancy driven flows. Proceedings of Building Simulation '97, IBSPA, Vol. III.
- Daniels, K. 1995:
Technologie des ökologischen Bauens. Basel.
- Daniels, K. 1995a:
ebenda S. 81.
- Deardorff, J.W. 1970:
A numerical study of three-dimensional turbulent channel flow at large Reynolds numbers. Journal of Fluid Mechanics, 42.
- DIN-VDI- Handbuch 332 1999:
Umweltmeteorologie. Meteorologische Messungen. Teil 1: Wind, Temperatur, Feuchte und Niederschlag. Berlin.
- DIN-VDI- Handbuch 333 1999:
Umweltmeteorologie. Meteorologische Messungen. Teil 2.: Globalstrahlung, Lufttrübung, visuelle Wetterbeobachtung und agrarmeteorologische Meßstationen. Berlin.
- Durm, J. 1903:
Die Baustile. Historische und technische Entwicklung. Handbuch der Architektur. Zweiter Teil. 5. Band: Die Baukunst der Renaissance in Italien. Stuttgart. S.150ff.
- Ehrlich, C. 1998:
Lighting Analysis. in: Ward, G.W.; Shakespeare, R. 1998: Rendering with Radiance : The Art and Science of Lighting Visualization. San Francisco, CA.
- Ehrlich, C. 1998a:
ebenda. S. 308-309.
- Fanger, P.O. 1972:
Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. New York.
- Freymuth, H. 1994:
Licht. in: Lutz, P.; Jenisch, R.; Klopfer, H.; et al. 1994. Lehrbuch der Bauphysik. 3. neubearb. und erw. Auflage. Stuttgart. S. 397-460.
- Goulding, J.R.; Lewis, J.O.; Steemers T.C. 1986:
Energy in Architecture: The European Passive Solar Handbook. Commission of European Communities, Directorate-General XII for Science Research and Development.

Haupt, W. 2001:
Zur Simulation von auftriebsinduzierten Innenraumströmungen. Dissertation. Kassel.

Haupt, W. 2001a:
ebenda. S. 11ff.

Haupt, W. 2001b:
ebenda. S. 25ff.

Haupt, W. 2001c:
ebenda. S. 14ff.

Haupt, W. 2001d:
ebenda. S. 79.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998:
Ventilation of Large Spaces in Buildings. Analysis and Prediction Techniques. IEA
Energy Conservation in Buildings and Community Systems, Annex 26: Energy Efficient
Ventilation of Large Enclosures.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998a:
ebenda. S. 121ff.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998b:
ebenda. S. 136ff.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998c:
ebenda. S. 197ff und insb. S. 104.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998d:
ebenda. S. 135ff.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998e:
ebenda. S.4 40.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998f:
ebenda. S. 22ff und 157ff.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998g:
ebenda. S. 121ff.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998h:
ebenda. S. 123.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998i:
ebenda. S. 121-134.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998j:
ebenda. S. 121-134.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998k:
ebenda. S. 55ff.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998l:
ebenda. S. 67ff.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998m:
ebenda. S. 67ff und 75ff.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998n:
ebenda. S. 97ff. insb. 104-108.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998o:
ebenda. S. 81ff.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998p:
ebenda. S. 40.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998q:
ebenda. S. 77ff.

Hentschel, H.-J. 1994:
Licht und Beleuchtung: Theorie und Praxis der Lichttechnik. 4., neubearbeitete Auflage.
Heidelberg.

Hoepfner, W.; Schwandner E.-L. 1986:
Wohnen in der klassischen Polis I: Haus und Stadt im klassischen Griechenland.
München.

Hoepfner, W. 1999:
Geschichte des Wohnens. Band 1: 5000 v.Chr. - 500 n.Chr.. Vorgeschichte,
Frühgeschichte, Antike. Stuttgart.

Hoepfner, W. 1999a:
ebenda. S. 147.

Hoepfner, W. 1999b:
ebenda. S. 453.

Hoepfner, W. 1999c:
ebenda. S. 395-411.

Hoepfner, W. 1999d:
ebenda. S. 216, insb. 285.

Homer, zitierte Ausgabe:
Homer 1986: Die Odyssee. Übersetzung Schadewaldt, W.. Hamburg.

Hippokrates, zitiert Ausgabe:
Hippokrates 1994: Ausgewählte Schriften. Übersetzung Diller, H..Stuttgart.

Hippokrates: Ausgewählte Schriften. -a.
ebenda. 123-160.

Hippokrates: Ausgewählte Schriften. -b.
ebenda. 123-160.

Hippokrates 1994: Ausgewählte Schriften. -c
ebenda. S. 123-160. II 12-92.

Jischa, M. 1982:
Konvektiver Impuls-, Wärme- und Stoffaustausch. Braunschweig.

Kerschgens, M.J. 1999:
Modellierung. in Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.): Meteorologische Messungen in Stadtgebieten. in: Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung. Zweite, vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin.

Kerschgens, M.J. 1999a:
ebenda. S.333.

Kerschgens, M.J. 1999b:
ebenda. S. 332-353.

Kerschgens, M.J. 1999c:
ebenda. S. 332-353, insb. 348-349.

Keller, B. 1997:
Klimagerechtes Bauen: Grundlagen - Dimensionierung - Beispiele. Stuttgart. S.29ff

Keller, B. 1997a:
ebenda. S. 56ff.

Keller, B. 1997b:
ebenda. S. 91.

Keller, B. 1997c:
ebenda. S. 91.

Koch, E. 1999:
Wirkungsbezogene Meßverfahren. in Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.): Meteorologische Messungen in Stadtgebieten. in: Helbig, A.; Baumüller, J.;

Kerschgens, M.J. (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung. Zweite, vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin. S.307-316.

Launder, B.; Spalding, D. 1972:
Mathematical Modelles of Turbulence. New York.

Lawson, T.V.; Penwarden, A.D. 1975:
The effects of wind on people in the vicinity of buildings. Proceedings of the Fourth International Conference on Windeffects on Buildings and Structures. Heathrow.

Lawson, T.V. 1980:
Windeffects on Buildings. Volume 1- 2.London. Applied Science Publishers LTD.

Lawson, T.V. 1980a:
ebenda. S.210ff

Lawson, T.V. 1980b:
ebenda. S.183ff

Lee, D.O. 1991:
Urban-Rural Humidity Differences in London. Int. Journal Climatol., 11. S. 577-582.

Lemaire A.D. (Hrsg.) 1993:
Room air and contaminant flow, evaluation of computational methods. TNO Building and Construction Research. Delft.

Massmeyer, K. 1999:
Modelle zur Simulation der Ausbreitung von Luftbeimengungen. in Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.): Meteorologische Messungen in Stadtgebieten. in: Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung. Zweite, vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin. S. 353-378.

Matzarakis, A. 2001:
Die thermische Komponente des Stadtklimas. Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg, Nr. 6. Freiburg.

Matzarakis, A. 2001a:
ebenda. S. 34-36.

Moser, A.; Off, F.; Schälin, A.; et al. 1995:
Numerical Modeling of Heat Transfer by Radiation and Convection in an Atrium with Thermal Inertia. ASHREA Transactions: Symopsia. SD-95-14-4. S. 1136-1143.

Otte, U. 1999:
Meteorologische Messungen in Stadtgebieten. in: Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung. Zweite, vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin. S. 289-316.

- Otte, U. 1999a:
ebenda. S. 291.
- Oke, T.R. 1987:
Boundary layer climates. Second edition, Reprint 2000. London. Routledge.
- Oke, T.R. 1987a:
ebenda. S. 339ff.
- Otte, U. 1999:
Meteorologische Messungen in Stadtgebieten. in: Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung. Zweite, vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin. S. 289-316.
- Otte, U. 1999a:
ebenda. S. 291.
- Otte, U. 1999b:
ebenda. S. 289ff.
- Platon, zitierte Ausgabe
Platon 1999: Der Staat. aus: Bertam, M. (Red.) 1999: Schlüsselwerke der Philosophie. (CD-ROM). Berlin.
- Platon: Der Staat -a.
ebenda. S. 413.
- Prandtl, L.; Oswatitsch, K.; Wieghart, K. 1993:
Führer durch die Strömungslehre. 9. verbesserte und erweiterte Auflage 1990, korrigierter Nachdruck. Braunschweig.
- Prandtl, L.; Oswatitsch, K.; Wieghart, K. 1993b:
ebenda. S. 597ff.
- Pieper, J. 1997:
Pienza. Der Entwurf einer humanistischen Weltsicht. Stuttgart/London.
- Pieper, J. 1997a-f:
ebenda. S. 164.
- Pieper, J. 1997b-g:
ebenda. S. 33.
- Pieper, J. 1997c-h:
ebenda. S. 214ff.
- Pieper, J. 1997d-j:
ebenda. S. 26ff.
- Pieper, J. 1997e-k:
ebenda. S. 145.
- Pieper, J. 1997f-l:
ebenda. S. 145.
- Pieper, J. 1997g-m:
ebenda. S. 146.
- Pieper, J. 1997h-n:
ebenda. S. 148.
- Recknagel, H., Sprenger, E., Schramek, E.R. 1999:
Taschenbuch für Heizung + Klima, Technik 2000. 69 Auflage, München.
- Recknagel, H., Sprenger, E., Schramek, E.R. 1999c:
ebenda S. 277ff.
- Schild, P.G.; Tjelflaat, P.O.; Aiulfi, D. 1995:
Guidelines for CFD Modeling of Atria. ASHREA Transactions: Symposia. SD-95-18-5. S. 1311-1332.
- Schlichting, H.; Gersten, K. 1997:
Grenzschicht-Theorie. 9. Auflage. Berlin.
- Schlichting, H.; Gersten, K. 1997a:
ebenda. S. 614ff.
- Schlichting, H.; Gersten, K. 1997b:
ebenda. S. 533ff.
- Schlichting, H.; Gersten, K. 1997c:
ebenda. S. 96.
- Schmid, W.J. 1985:
Numerische Simulation laminarer und turbulenter Strömungen mit Rezirkulation am Beispiel der überströmten quadratischen Kavität. Dissertation. München.
- Schmid, W.J. 1985a:
ebenda. S. 28ff.
- Settles, Gary S. 2001:
Schlieren and Shadowgraph Techniques; Visualizing Phenomena in Transparent Media, Berlin.

Shao, L.; Walker, R.R.; Wooliscroft, M. 1993:
Natural ventilation via courtyards: the application of CFD. In Proceedings 14th AVIC
Conference, Copenhagen. S. 393-403.

Socket, H. 1984:
Aerodynamik der Bauwerke. Braunschweig.

Socket, H. 1984a:
ebenda. S. 121ff.

Socket, H. 1984b:
ebenda. S. 120-123ff.

Socket, H. 1984c:
ebenda. S. 117-128.

Socket, H. 1984d:
ebenda. S. 123-128.

Versteeg, H.; Malasekera, W. 1995:
An Introduction to Computational Fluid Dynamics. Harlow

VDI 3787, Blatt 2 1998:
Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima
und Lufthygiene für die Stadt und Regionalplanung. Teil 1: Klima. Berlin.

VDI 3787, Blatt 2 1998:
Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima
und Lufthygiene für die Stadt und Regionalplanung. Teil 1: Klima. Berlin.

Vitruv, zitierte Ausgabe:
Vitruv 1964: Zehn Bücher über Architektur. Übersetzung Fensterbusch, C. Darmstadt.

Vitruv 1964a:
ebenda. S. 45-53. 1.Buch, 4.Kap.

Vitruv 1964b:
ebenda. S. 256-269. 6.Buch, 1.Kap.

Vitruv 1964c:
ebenda. S. 25ff.

Vitruv 1964d:
ebenda. S. 445-455. 8.Buch, Kap. 8.

Vitruv 1964e:
ebenda. S. 21-37. 1.Buch, Kap.1,2.

Vitruv 1964f:
ebenda. S. 273-281. 6. Buch, 3. Kap.

Xenophon, zitierte Ausgabe:
Xenophon 1956: Die Sokratischen Schriften: Memorabilien / Symposion / Oikonomikos /
Apologie. Übersetzung Bux, E.. Stuttgart.

Xenophon: Die Sokratischen Schriften. - a
ebenda. S.254ff.

Xenophon: Die Sokratischen Schriften. - b
ebenda. S.261.

Xenophon: Die Sokratischen Schriften. - c
ebenda. S.268.

Xenophon: Die Sokratischen Schriften. - d
ebenda. S.268ff.

Yakhot, V.; Orszag, S.A. 1986:
Renormalization Group Analysis of Turbulence. I. Basic Theory; J. Sci. Comp., 1.

Yuan, X.; Huber, A.; Schälin, P. et al. 1992:
New wall functions for numerical simulations of air flow pattern in rooms. Roomvent '92,
Proceedings of Third International Conference, Vol. 1.S. 75-91.

Zimmer, G. 1999:
Handwerkliche Arbeit im Umfeld des Wohnens. in: Geschichte des Wohnens. Band 1:
5000 v.Chr. - 500 n.Chr.. Vorgeschichte, Frühgeschichte, Antike. Stuttgart. S. 561-575.

Anhang B

Zeichentabelle und Abkürzungen

Textliche Abkürzungen:

=	=	entspricht, ist gleichbedeutend
≠	=	entspricht nicht oder ist ungleich
+	=	positiv
-	=	negativ
≤	=	kleiner gleich, entspricht gerade der Anforderung oder erfüllt sie nicht
<	=	kleiner, erfüllt die Anforderung nicht
≥	=	größer gleich, entspricht gerade der Anforderung oder übertrifft sie
>	=	größer, erfüllt die Anforderung
°	=	Winkelangabe in Grad
%	=	Prozent

Abkürzungen

Ak	=	Aussenklima (z.B. Aussentemperatur)
Arb.StättV.	=	Arbeitsstättenverordnung
CFD	=	computational fluid dynamics
CIE	=	Internationale Kommission für Beleuchtung
EG	=	Erdgeschoß
ff	=	folgende Seiten
DG	=	Dachgeschoß
G	=	gemäßigtes Klima
GF	=	Grundfläche des nooR
GF	=	Gebäude-Flügelgebäude-Komplex (Schlüssel)
GFM	=	Gebäude-Flügelgebäude-Mauer-Komplex (Schlüssel)
GFZ	=	Geschoßflächenzahl
GH	=	Gebäude-Hof-Komplex (Schlüssel)
GM	=	Gebäude-Mauerkomplex (Schlüssel)
GRFM	=	Gebäude-Rückgebäude-Flügelgebäude-Mauerkomplex (Schlüssel)
GRM	=	Gebäude-Rückgebäude-Mauer-Komplex (Schlüssel)
GRZ	=	Grundflächenzahl
Hrsg.	=	Herausgeber
HV	=	Hauptvolumen eines nach oben offenen Raumes
HW	=	Hauptwirbelzone
K	=	Kaltes Klima
Ko	=	Komfortklima (die für komfortabel erachtete Temperatur)
KM	=	Klimatische Modifikationskapazität (kann auch zeitlich gemittelt werden oder für Zeitintervalle getrennt ermittelt werden; z.B. Komforttemperatur 20°C tagsüber, nachts nur 15°C. Die zeitliche Basis sowie der Komfortmaßstab sind darzulegen).
max.	=	maximal
Max.	=	Maximum
min.	=	minimal
Min.	=	Minimum
MF	=	mittlere horizontale Fläche des nooR
Mk	=	modifiziertes Klima (z.B. Innenraumtemperatur)
NA	=	Nutzeranforderung

nooR	=	nach oben offener Raum
NV	=	Nebenvolumen eines nach oben offenen Raumes
NW	=	Nebenwirbelzone
OF	=	Fläche des oculus
OG	=	Oberschoß (in römischer Ziffer die Anzahl)
p.	=	Seite bei englischsprachiger Literatur
S.	=	Seite
ubl	=	urban boudary layer
ucl	=	urban canopy layer
UV	=	Übergangsvolumen eines nach oben offenen Raumes
WF	=	warm-feuchtes Klima
WMO	=	Weltorganisation für Meteorologie
WT	=	warm-trockenes Klima

Zeichen

a	=	Jahr (annum)
a	=	Wärmeübergang in W/m^2K
a c	=	Wärmeübergang Konvektion (convection) in W/m^2K
a r	=	Wärmeübergang Strahlung (radiation) in W/m^2K
A	=	Fläche in m^2
AC	=	air changes (Luftwechselrate) in 1/h
ach	=	AC
AR _i	=	aspect ratio, Verhältnis von Höhe zu Tiefe eines nooR für Strömungen nach HALL et al. (1999)
AR _t	=	aspect ratio, gebildet aus Länge mal Weite durch das Quadrat der Höhe nach BAKER et al. (1998)
b	=	Wärmeeindringkoeffizient in $J/m^2Ks^{0.5}$
B	=	Breite in Meter
cd	=	Candela
c _p	=	spezifische Wärmekapazität der Luft bei konstantem Druck in J/kgK
°C	=	Grad Celsius
°Ctd	=	Taupunkt in °C
C _{i,t,x}	=	Regionalklima-Anteil großräumiges Wetter, Witterung, Klima und lufthygienische Hintergrundbelastung bei der Wetterlage i zur Zeit t am Ort x in der Stadt
D	=	diffuse kurzwellige Strahlung in W/m^2
DF %	=	Tageslichtquotient bzw. -faktor in %
e	=	Dampfdruck
E	=	Beleuchtungsstärke in lux
Ea	=	gleichzeitige Beleuchtungsstärke der unverbauten Himmelskugel in lux
Eh	=	Beleuchtungsstärke horizontal in lux
Ep	=	Beleuchtungsstärke auf einer horizontalen Bezugsfläche im Raum in lux
Eu	=	Euler-Zahl
φ	=	ist ein Faktor der berücksichtigt, daß an Tagen mit $t_i \geq$ größer den Anforderungen, durch Regen oder Sturm ein Benutzung des nooR nicht oder nur eingeschränkt möglich sein kann.
g	=	Schwerebeschleunigung in m/s
g	=	Energiedurchlassgrad (gesamt)
Gr	=	Grashof-Zahl
h	=	Stunde
H	=	Höhe in m

J	= Joule
k_H	= turbulenter Diffusionskoeffizient für Wärme
K	= Temperatur in Kelvin bezogen auf absolut Null
K^*	= kurzwellige Strahlungsbilanz in W/m^2
$K\uparrow$	= reflektierte Globalstrahlung (Albedo) in W/m^2
$K\downarrow$	= Globalstrahlung (direkte und diffuse Strahlung) in W/m^2
K_V	= turbulenter Diffusionskoeffizient
l	= Länge in m
I	= direkte Strahlung an die Erdoberfläche in W/m^2
L	= Leuchtdichte in cd/m^2
L	= Länge in m
$L\uparrow$	= die vom Boden abgegebene langwellige Strahlung 4 bis 100 μm in W/m^2
$L\downarrow$	= langwellige Gegenstrahlung von Wasser und Aerosolen in W/m^2
L^*	= langwellige Strahlungsströmebilanz in W/m^2
$L_{i,t,x}$	= Lokalklima-Anteil Einflüsse durch die natürliche, d.h. nicht urbane, Bodenbedeckung und durch die topographischen Einflüsse bei der Wetterlage i zur Zeit t am Ort x in der Stadt
lux	= Beleuchtungsstärke
L_V	= Verdunstungswärme
$\Delta L_{H,S}^*$	= langwellige Strahlungsbilanz von Stadt und nooR
m	= Meter
mm	= Niederschlagsmenge in mm
m^2	= Quadratmeter
m^3	= Kubikmeter
$m^3/hPerson$	= (notwendige Frisch)- Luftzufuhr in m^3 pro Person und Stunde
m/s	= Windgeschwindigkeit in Meter pro Sekunde
$M_{i,t,x}$	= Meßwert oder berechneter Wert einer meteorologischen oder lufthygienischen Größe bei der Wetterlage i zur Zeit t am Ort x in der Stadt
n	= Luftwechselzahl in Luftwechsel pro Volumeneinheit und Stunde
$N_{i,t,x}$	= nooR-Anteil Einfluß durch den nooR und umgebende Gebäude bei der Wetterlage i zur Zeit t am Ort x in der Stadt
nGB	= nooR Gradkonzept Belichtung
nGT	= nooR Gradkonzept Temperatur
Nu	= Nusselt-Zahl
p	= Luftdruck
q	= spezifische Feuchte
QL	= Lüftungswärmeverluste in W/m^2K
QT	= Transmissionswärmeverluste in W/m^2K
Q^*	= Strahlungsbilanz in W/m^2
Q_E	= latente Wärme (Verdunstung, Kondensation) in J
Q_F	= antropogener Energiestrom
Q_H	= sensible Wärme (fühlbar) in J
Q_G	= Bodenwärmestrom
ΔQ_A	= horizontale Advektion von fühlbarer und latenter Wärme
ΔQ_S	= Änderung Wärmespeicherung in einer Luftschicht / Baumaterial
r	= Reflexionsgrad von 0 bis 1, alternativ in %
rF	= relative Luftfeuchte in %
R	= Wärmedurchlasswiderstand in m^2K/W
ppm	= parts per million
P_{abs}	= Absolutdruck in Pa, mPa/mbar, bar
Pe	= Péclet-Zahl

Pr = Prandtl-Zahl
 ΔP = Differenzdruck in Pa, mPa/mbar, bar
 Re = Reynolds-Zahl
 svf = sky view factor von 0-1
 SVF = sky view factor von 0-1
 t = Zeit in a, h, s
 t = Temperatur in °C
 t_a = Außentemperatur in °C
 t_a = mittlere Außentemperatur eines Tages, z.B. bei der Anforderung 1 allerdings aufgespalten in mittlere Außentemperatur tagsüber und nachts.
 $t_{i,1-i}$ = mittlere Temperatur im nooR entsprechend den Anforderungen 1 bis i
 t_i = Innentemperatur in °C
 t_{nooR} = Temperatur im nooR in °C
 T = Tiefe eines nooR (Höhe)
 T = Temperatur
 T = Transpiration
 T = Wellenperiode
 T_L = Trübungsfaktor nach Linke
 T_s = Bodentemperatur in °C
 TTI = Tätigkeitsabhängiger-Tageslicht-Index
 U = Wärmedurchgangskoeffizient in W/m²K
 $U_{i,t,x}$ = Stadtklima-Anteil; Einflüsse durch die eigentliche Urbanisierung bei der Wetterlage i zur Zeit t am Ort x in der Stadt
 V = Windgeschwindigkeit
 V = Raumvolumen in m³
 ω = ist ein Faktor, der den Einfluß von Speichermassen berücksichtigt, alternativ kann auch die t_i die mittlere Temperatur als Mittel von Lufttemperatur und mittlere Temperatur der umschließenden Oberflächen gesehen werden - in diesem Fall entfällt ω
 W = Weite in Meter
 W = Watt
 W/m^2 = Watt pro Quadratmeter
 z = Beurteilungszeitraum, in Anzahl von Tagen, meist ein Jahr
 z_0 = Rauigkeitslänge

Griechische Buchstaben

α = Wärmeübergang in W/m²K
 α_a = Wärmeübergang außen
 α_i = Wärmeübergang innen
 α = Strahlungsterm kurzwellig
 $\delta\theta$ = potentielle Temperatur
 δz = Höhendifferenz
 ε = Emissionsvermögen
 λ = Wärmeleitfähigkeit in W/mK
 λ_s = Wärmeleitfähigkeit des Boden
 ρ = Luftdichte
 σ = Stefan-Boltzmann-Konstante
 $\Delta\theta$ = Temperaturdifferenz in K

Hinweis: Die Abkürzungen in 1.2 und 1.3 sind in den Textabschnitten, bzw. Tabellen und morphologischen Kästen erklärt, mit Ausnahme der angeführten Abkürzungen bzw. Formelzeichen. Gleiches gilt für Tabelle 3.1.8. Abkürzung die unter anderm zur Erstellung von Schlüsseln verwendet werden, sind mit „(Schlüssel)“ gekennzeichnet und werden nur im Zusammenhang mit Schlüsseln zur Beschreibung verwendet.

Anhang C

Literaturverzeichnis Hauptteil

Teil 1.

Grundsätzliche Überlegungen zur baulichen Form nach oben offener Räume

- Alvarez, S.; Sanchez, F.; Molina J.L. 1998:
Air flow pattern at courtyards. In: Proceedings of Plea '98 Lisbon. S. 503- 506.
- Baker, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K. 1998:
Daylighting in Architecture: A European Reference Book. Reprint. Commission of European Communities, Directorate-General XII for Science Research and Development.
- Bauwelt 1998:
11, Über die Höfe. 89. Jahrgang. Berlin.
- Benjamin, W. 1983:
Das Passagen-Werk. Frankfurt am Main.
- Bianca, S. 199:
Hofhaus und Paradiesgarten. Architektur und Lebensformen in der islamischen Welt. München
- Blaser, W. 1985:
Atrium. Lichthof seit fünf Jahrtausenden. Basel.
- Blaser, W. 1985:
Hofhaus in China. 2. Auflage . Basel
- Cagdas, G. 1996:
A shape grammar: the language of traditional Turkish houses. In: Environment and Planning B: Planning and Design, 23. S. 443-464.
- Chiou, S-C.; Krishnamurti, R. 1996:
Example Taiwanese traditional houses. In: Environment and Planning B: Planning and Design, 23. S. 191-216.
- DIN-VDI- Handbuch 332 1999:
Umweltmeteorologie. Meteorologische Messungen. Teil 1: Wind, Temperatur, Feuchte und Niederschlag. Berlin.
- DIN-VDI- Handbuch 333 1999:
Umweltmeteorologie. Meteorologische Messungen. Teil 2.: Globalstrahlung, Lufttrübung, visuelle Wetterbeobachtung und agrarmeteorologische Meßstationen. Berlin.

- Flade, A. 1993:
Wohnen und Wohnbedürfnisse im Blickpunkt. In: Harloff H.J. (Hrsg.). Psychologie des Wohnungs- und Siedlungsbaus. Göttingen. S. 45-55.
- Flade, A. 1993a:
ebenda. S. 47.
- Francescato, G.; Weidemann, S.; Anderson, J.R.; et al. 1979:
Residents' satisfaction in HUD-assisted housing: Design and management factors. US Department of Housing and Urban Development. Washigton, D.C.
- Gangler, A. 1993:
Ein traditionelles Wohnviertel im Nordosten der Altstadt von Aleppo in Nordsyrien. Tübingen-Berlin.
- Geist, J.F.; Kürvers, K. 1980:
Das Berliner Mietshaus. 3 Bände. München. Band 2, S. 231ff.
- Givoni B. 1998:
Climate Considerations in Building and Urban Design. New York.
- Goulding, J.R.; Lewis, J.O.; Steemers T.C. 1986:
Energy in Architecture: The European Passive Solar Handbook. Commission of European Communities, Directorate-General XII for Science Research and Development.
- Hall, D.J.; Walker, S.; Spanton, A.M. 1999:
Dispersion from courtyards and other enclosed spaces. In: Atmospheric Environment. 33. S. 1187-1203.
- Helbig, A.; Baumüller J.; Kerschgens M. J. (Hrsg.) 1999:
Stadtklima und Luftreinhaltung. 2. Auflage. Berlin.
- Helbig, A.; Baumüller J.; Kerschgens M. J. (Hrsg.) 1999a:
ebenda. S. 6ff.
- Herbert, T.; Sanders, I.; Mills, G. 1994:
African shape grammar: a language of linear Ndebele homesteads. In: Environment and Planning B: Planning and Design, 21. S. 453-476.
- Herzog, T. 2003:
Gebäudetypen, Arbeiten mit Studierenden. Darmstadt. insb. S. 10ff.
- Hoepfner, W. 1999:
Geschichte des Wohnens. Band 1: 5000 v.Chr. - 500 n.Chr.. Vorgeschichte, Frühgeschichte, Antike. Stuttgart.

- Hoepfner, W. 1999a:
ebenda. S. 18.
- Kluge, F. 1995:
Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache. Bearbeitet von Elmar Seebold. 23., erweiterte Auflage. Berlin.
- Knight, T.W. 1999:
Shape grammars: six types. In: Environment and Planning B: Planning and Design, 26. S 15-31.
- Köppen, W. 1900:
Versuch einer Klassifikation der Klimate vorzugsweise nach ihrer Beziehung zur Pflanzenwelt. Geographische Zeitschrift, 6. S. 593-611, 657-679.
- Lutz, P.; Jenisch, R.; Klopfer, H.; et al. 1994:
Lehrbuch der Bauphysik. 3. Neubearb. und erw. Auflage. Stuttgart.
- Maslow, A.H. 1973:
Psychologie des Seins. München.
- Meyers (Lexikonredaktion) 1999:
Meyers großes Taschenlexikon. Mannheim.
- Müller, W.; Vogel, G. 1989:
dtv-Atlas zur Baukunst. Band 1 und 2. 6 Auflage. München.
- Müller, W.; Vogel, G. 1989a:
dtv-Atlas zur Baukunst. Band 1 und 2. 6 Auflage. München. Band 1. S. 85.
- Oliver P. (editor) 1997:
Encyclopedia of vernacular architecture of the world. Volume I. Cambridge
- Oliver P. (editor) 1997a:
ebenda. Volume I. S. 63ff.
- Oliver P. (editor) 1997b:
ebenda. Volume I. S. 63ff.
- Pevsner, N.; Honour, H.; Fleming, J. 1987:
Lexikon der Weltarchitektur. Zweite, erweiterte Auflage, München.
- Randall, T. 1996:
Environmental Design, an introduction for architects and engineers. London: E&F Spon. S. 34.
- Rapoport, A. 1969:
House form and culture. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- Recknagel, H.; Sprenger, E.; Schramek, E.R. 1999:
Taschenbuch für Heizung + Klima, Technik 2000. 69 Auflage, München. S. 1ff, 1053ff.
- Reynolds, J.-S.2002:
Courtyards. Aesthetic, social, and thermal delight. New York
- Rudofsky, B. 1993:
Architektur ohne Architekten, Eine Einführung in die anonyme Architektur. 2. Auflage. Salzburg.
- Saxon, R. 1983:
Atrium Buildings, Development and Design. London: The Architectural Press.
- Schröder, P. 2000:
Die Klimate der Welt. Aktuelle Daten und Erläuterungen. Stuttgart. insb. S. 4ff.
- Virtuv, zitierte Ausgabe:
Vitruv 1964: Zehn Bücher über Architektur. Übersetzung Fensterbusch, C. Darmstadt. S. 272-279. 6. Buch, 3. Kap.
- Weinert, A.B. 1981:
Lehrbuch der Organisationspsychologie. München
- Wirth, E. 2001.
Die orientalische Stadt im islamischen Vorderasien und Nordafrika. Band 1 und 2. 2. Auflage. Mainz.
- Zwicky, F. 1989:
Entdecken, Erfinden, Forschen im Morphologischen Weltbild. 2. Auflage (Reprint). Glarus.
- Zwicky, F. 1989a:
ebenda. S.116ff.
- Zmarsly, E.; Kuttler, W.; Pethe, H. 1999:
Meteorologisch-klimatologisches Grundwissen, Eine Einführung mit Übungen, Aufgaben und Lösungen. Stuttgart.

Teil 2

Überlegungen zu den mikroklimatischen Eigenschaften nach oben offener Räume Literaturverzeichnis

Blennow, K. 1995:

Sky View Factors from High-Resolution Scanned Fish-eye Lens Photographic Negatives. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 12. S. 1357-1362.

Clark, J.A.; Follin, G.M. 1988:

A Simple „Equal area“ Calibration for Fisheye Photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 44. S. 19-25.

DIN 50019, Teil 1 1979:

Klimate und ihre technische Anwendung. *Technoklimate. Kennzeichnung und kartographische Darstellung der Freiluftklimate.*

Duffie, J.A.; Beckman, W.A. 1991:

Solar engineering of thermal processes. 2nd ed.. New York.

Fanger, P.O. 1972:

Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. New York.

Grimmond, C.S.B.; Potter, S.K.; Zutter, H.N.; et al. 2001:

Rapid Method to Estimate Sky-View Factors Applied to Urban Areas. *International Journal of Climatology*, 21. S. 903-913.

Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.) 1999:

Stadtklima und Luftreinhalteung. Zweite, vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin.

Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.) 1999a:

ebenda. S. 15ff.

Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.) 1999b:

ebenda. S. 15ff.

Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.) 1999c:

ebenda. S. 31.

Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.) 1999d:

ebenda. S. 23ff.

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998:

Ventilation of Large Spaces in Buildings. Analysis and Prediction Techniques. IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems, Annex 26: Energy Efficient Ventilation of Large Enclosures.

Holmer, B. 1992:

A Simple Operative Method for Determination of Sky View Factors in complex urban Canyons from Fisheye Photographs. *Meteorologische Zeitschrift*, 1. S. 236-239.

Höppe, P. 1984:

Die Energiebilanz des Menschen. Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Uni. München, 49.

Höppe, P. 1993:

Heat balance modelling. *Experientia* Vol. 49, No. 9, Basel. S. 741-746.

Jendritzky, G.; Menz, G.; Schirmer, H.; et al. 1990:

Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen. (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). *Beitrag der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover*, 114.

Jendritzky, G. 1992:

Wirkung von Wetter und Klima auf die Gesundheit des Menschen. In: HE Wichmann, Schilpköter HW, Fülgraff HW (Eds.): *Handbuch der Umweltmedizin*, Kap. VII-3. Landsberg.

Jendritzky, G.; Menz, G.; Schirmer, H.; et al. 1990:

Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponenten im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). *Beitr. d. Akad. f. Raumforschung u. Landesplanung, Hannover*.

Johnson, G.T.; Watson I.D. 1984:

The Determination of View-Factors in Urban Canyons. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 13. S. 329-335.

Johnson, G.T.; Watson, I.D. 1987:

Graphical Estimation of Sky View-Factors in Urban Environments. *Journal of Climatology*, 7. S. 193-197.

Keller, B. 1997:

Klimagerechtes Bauen: Grundlagen - Dimensionierung - Beispiele. Stuttgart. S.29ff

Lowry, W.P. 1977:

Empirical estimation of urban effects on climate: A problem analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 16. S. 129-35.

Mayer H. 1986:

Zielsetzung und Konzeption des Forschungsvorhaben STADTKLIMA BAYERN. *Mitt. Geogr. Gesellschaft München*, 71. S. 21-39.

ManRay 2003:

<http://mif.uni-freiburg.de/rayman>

Matzarakis, A. 2001:
Die thermische Komponente des Stadtklimas. Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg, Nr. 6. Freiburg.

Matzarakis, A. 2001a:
ebenda. S. 4.

Matzarakis, A. 2001b:
ebenda. S. 106ff.

Matzarakis, A. 2001c:
ebenda. S. 109.

Matzarakis, A. 2001d:
ebenda. S. 111.

Matzarakis, A. 2001e:
ebenda. S. 212ff.

Oke, T.R. 1987:
Boundary layer climates. Second edition, Reprint 2000. London. Routledge.

Oke, T.R. 1987a:
ebenda. S. 133ff, 351ff.

Oke, T.R. 1987b:
ebenda. S. 252ff.

Oke, T.R. 1981:
Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observation. Journal of Climatology, 11. S. 237-254.

Oke, T.R. 1982:
The energetic basis of the urban heat island. Quart. J. R. Met. Soc., 108. S. 1-24.

Oke, T.R.; Johnson, G.T., Steyn, D.G.; et al. 1991:
Simulation of surface heat islands under 'ideal' conditions at night. Part 2: Diagnosis of causation. Boundary-Layer Meteorology, 56. S. 339-358.

Recknagel, H.; Sprenger, E.; Schramek, E.R. 1999:
Taschenbuch für Heizung + Klima, Technik 2000. 69 Auflage, München. S. 13ff.

Saxon, R. 1983:
Atrium Buildings Development and Design. London. The Architectural Press Ltd. S. 85ff.

Siegel, R.; Howell, J.R. 1992:
Thermal radiation heat transfer. 3rd ed.. Washigton. Hemisphere Publishing Corporation. S. 237ff.

Steyn, D.G.; 1980:
The Calculation of View Factors from Fisheye-Lens Photographs. Atmosphere Ocean, 18. S. 254-258. Downsview Ontario

Trenkle, R. 1988:
The Absorption of Solar Energy in a Courtyard. Energy and Buildings, 11. S. 309-317.

VDI 3787, Blatt 2 1998:
Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt und Regionalplanung. Teil 1: Klima. Berlin.

Watson, I.D.; Johnson, G.T. 1987:
Graphical Estimation of Sky View-Factors in Urban Environments. Journal of Climatology, 7. S. 193-197.

WMO 1983:
Commission for Climatology and applications of Meteorology. Abridged final report 8th session. WMO -No. 600.

Teil 3

Durchlüftung und Tageslichtpotential

3.1 Strömungsvorgänge im und um den nooR

Ackermann, B. 1987:
Climatology of Chicago Area Urban-Rural Differences in Humidity. J. Clim. Appl. Meteorol., 26. S. 427 - 430.

Alvarez, S.; Sanchez, F.; Molina; J.L. 1998:
Air flow pattern at courtyard. In: Proceedings of Plea '98. Lisbon. S. 503-506.

Awbi H.B. 1995:
Ventilation of Buildings. London.

Beckröge, W. 1999a:
Windfeld. in: Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung. Zweite, vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin. S. 65.

Beckröge, W. 1999b:
ebenda. S. 53ff.

Beckröge, W. 1999c:
ebenda. S. 79.

- Beckröge, W. 1999d:
ebenda. S. 77ff.
- Beckröge, W. 1999e:
ebenda. S. 41ff.
- Beckröge, W. 1999f:
ebenda. S. 58ff.
- Beckröge, W. 1999g:
ebenda. S. 88.
- Beckröge, W. 1999h:
ebenda. S. 90.
- Bensalem, R.; Sharples S. 1998:
Natural ventilation and atrium buildings. In: Proc 2nd European Conference on Architecture, 4-8 December. Paris.
- Bejan, A. 1984:
Convection Heat Transfer. New York.
- Bruse, M. 1999:
Die Auswirkungen kleinscaliger Umweltgestaltung auf das Mikroklima. Entwicklung des prognostischen numerischen Modells ENVI-met zur Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung in städtischen Strukturen. Dissertation Universität. Bochum.
- Bühler H.-J. 2000:
Kondensation, Reif- und Eisbildung auf Wärmedämmverbundsystemen. In: Deutsches Architektenblatt, 11. S. 1434-1438.
- Chow, W.K. 1997:
On the use of time constants for specifying the smoke filling process in atrium halls. Fire safety journal, 28. S. 165-177.
- Chow, W.K. 1995:
A comparison on the use of fire zone and field models for simulating atrium smoke-filling processes. Fire safety journal, 25. S. 337-353.
- Choi, E.C.C. 1994:
Determination of wind-driven-rain intensity on building faces. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 51. S. 55-69.
- Cockroft, J.P.; Robertson, P. 1975:
The ventilation of Deep-Plan Buildings using Lightwells and Courtyards. Building Services Research Unit, University of Glasgow. Glasgow.
- Daniels, K. 1995:
Technologie des ökologischen Bauens. Basel.
- Daniels, K. 1995a:
ebenda S. 76.
- Daniels, K. 1995b:
ebenda S. 197.
- Daniels, K. 1995c:
ebenda S 576.
- Daniels, K. 1995d:
ebenda S. 183ff.
- Daniels, K. 1995e:
ebenda S. 74.
- Daniels, K. 1995f:
ebenda S. 171
- Deghan, A.A., Behnia, M. 1996:
Combined Natural Convection and Radiation Heat Transfer in a Discretely Heated Open Cavity. Journal of Heat Transfer, 118-1. S. 56-64.
- DIN 4108 :
Wärmeschutz im Hochbau. Berlin.
- DIN-VDI- Handbuch 332 1999:
Umweltmeteorologie. Meteorologische Messungen. Teil 1: Wind, Temperatur, Feuchte und Niederschlag. Berlin.
- DIN-VDI- Handbuch 333 1999:
Umweltmeteorologie. Meteorologische Messungen. Teil 2.: Globalstrahlung, Lufttrübung, visuelle Wetterbeobachtung und agrarmeteorologische Meßstationen. Berlin.
- Fanger, P.O. 1972:
Thermal comfort. New York. Copenhagen.
- Fanger, P.O.; Melnikov, A; Hanzawa, H.; et al. 1988:
Air turbulence and sensation of draught. Energy and Buildings, 12. S. 307 - 313.
- Feist, W. 1994:
Thermische Gebäudesimulation: kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze. Heidelberg. S. 279ff.

- Gandemer, J. 1975:
Wind Environment around Buildings: Aerodynamic concepts. Proceedings of the Fourth International Conference on Windeffects on Buildings and Structures. Heathrow.
- Grimmond, C.B.S; Oke T.R. 1999:
Aerodynamic Properties of Urban Areas Derived from Analysis of Surface Form. Journal of Applied Meteorology, 38. S. 1262-1290.
- Hajek, S. 1996:
Innenhöfe in old town houses in the Inn-Salzach region (east Bavaria): 4 case studies in Wasserburg am Inn, Performance and Potential. Master Dissertation. Architectural Association. London.
- Hall, D.J.; Walker, S.; Spanton A.M. 1999:
Dispersion from courtyards and other enclosed spaces. Atmospheric Environment. 33. S. 1187-1203.
- Hansell, G. O.; Morgan, H.P. 1994:
Design approaches for smoke control in atrium buildings. Building Research Establishment Report.
- Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.) 1999:
Stadtklima und Luftreinhaltung. Zweite, vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin.
- Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.) 1999a:
ebenda. S. 126.
- Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998:
Ventilation of Large Spaces in Buildings. Analysis and Prediction Techniques. IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems, Annex 26: Energy Efficient Ventilation of Large Enclosures.
- Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998a:
ebenda. S. 121ff.
- Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998b:
ebenda. S. 136ff.
- Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998c:
ebenda. S. 197ff und insb. S. 104.
- Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998d:
ebenda. S. 135ff.
- Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998e:
ebenda. S.4 40.
- Holmer, B.; Eliasson, I. 1999:
Urban-rural Vapour Pressure Differences and their Role in the Development of Urban Heat Islands. Int. J. Climatol., 19, p. 989 - 1009.
- Höppe, P. 1984:
Die Energiebilanz des Menschen. Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Uni. München, 49.
- Incropera, F.P.; DeWitt, D.P. 1996:
Fundamentals of heat and Mass Transfer. Fourth Edition. New York.
- Jendritzky, G.; Nübler, W. 1981:
A model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms. Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B, 29. S. 313-326.
- Jendritzky, G.; Sievers, U. 1987:
Human biometeorological approaches with respect to urban planning. In: Driscoll D Box EO (eds) Proc. 11th ISB Congress. S. 25-39. The Hague.
- Jendritzky, G.; Menz, G.; Schirmer, H.; et al. 1990:
Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). Beiträge d. Akad. f. Raumforschung und Landesplanung, Bd. 114. Hannover.
- Jischa, M. 1982:
Konvektiver Impuls-, Wärme- und Stoffaustausch. Braunschweig.
- Künzel, H. 2001:
Algen an Fassaden. In: Deutsches Architektenblatt, 11. S. 60-62.
- Lawson, T.V.; Penwarden, A.D. 1975:
The effects of wind on people in the vicinity of buildings. Proceedings of the Fourth International Conference on Windeffects on Buildings and Structures. Heathrow.
- Lawson, T.V. 1980:
Windeffects on Buildings. Volume 1- 2.London. Applied Science Publishers LTD.
- Lawson, T.V. 1980a:
ebenda. S.210ff
- Lawson, T.V. 1980b:
ebenda. S.183ff
- Lee, D.O. 1991:
Urban-Rural Humidity Differences in London. Int. Journal Climatol., 11. S. 577-582.

- Matzarakis, A. 2001:
Die thermische Komponente des Stadtklimas. Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg, Nr. 6. Freiburg.
- Matzarakis, A. 2001a:
ebenda. S. 47ff.
- Matzarakis, A. 2001b:
ebenda. S. 39ff.
- Matzarakis, A. 2001c:
ebenda. S. 40.
- Matzarakis, A. 2001d:
ebenda. S. 41ff.
- Matzarakis, A. 2001e:
ebenda. S. 212ff.
- Matzarakis, A. 2001f:
ebenda. S. 39.
- Matzarakis, A. 2001g:
ebenda. S. 146.
- Matzarakis, A. 2001h:
ebenda. S. 141ff.
- Mills, F.A. :
Case study of a fire engineering approach to a large, un-sprinklered, naturally ventilated atrium building. Ashrae Transactions Symposia. AT-01-11-4. S. 744-752.
- Moriske H.-J.; Turowski 1998:
Erfassung und Verteilung von Kraftfahrzeugemissionen in Innenhofbereichen verschiedener Gebäudestrukturen. Gesundheitsingenieur, 6. S. 289-344.
- Moser, A.; Off, F.; Schälin, A.; et al. 1995:
Numerical Modeling of Heat Transfer by Radiation and Convection in an Atrium with Thermal Inertia. ASHREA Transactions: Symposia. SD-95-14-4. S. 1136-1143.
- Murakami, S.; Shoda, T.; Kobayashi, N. 1975:
Wind effects on air flows in half-enclosed spaces. In: Proc. of the 4th International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures. Heathrow.
- Oke, T.R. 1976:
The Distinction between canopy and boundary layer urban heat islands. Atmosphere, 14. S. 268 - 277.
- Oke, T.R. 1987:
Boundary layer climates. Second edition, Reprint 2000. London. Routledge.
- Oke, T.R. 1987a:
ebenda. S. 274
- Oke, T.R. 1987b:
ebenda. S. 262ff.
- Oke, T.R. 1987c:
ebenda. S. 274.
- Oke, T.R. 1987d:
ebenda. S. 274
- Oke, T.R. 1987e:
ebenda. S. 267.
- Oke, T.R. 1987f:
ebenda. S. 242ff.
- Oke, T.R. 1987g:
ebenda. S. 242ff, 262ff.
- Oke, T.R. 1987h:
ebenda. S. 292.
- Oke, T.R. 1987i:
ebenda. S. 339ff.
- Otte, U. 1999:
Meteorologische Messungen in Stadtgebieten. in: Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerschgens, M.J. (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung. Zweite, vollständig überarbeitete und ergänzte Auflage. Berlin. S. 289-316.
- Otte, U. 1999a:
ebenda. S. 291.
- Plate, E. (Ed) 1982:
Engineering Meteorology. Studies in Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 1.
- Prandtl, L.; Oswatitsch, K.; Wieghart, K. 1993:
Führer durch die Strömungslehre. 9. verbesserte und erweiterte Auflage 1990, korrigierter Nachdruck. Braunschweig.
- Prandtl, L.; Oswatitsch, K.; Wieghart, K. 1993a:
ebenda. S. 314.

Recknagel, H., Sprenger, E., Schramek, E.R. 1999:
Taschenbuch für Heizung + Klima, Technik 2000. 69 Auflage, München.

Reynolds, J.S. 2002:
Courtyards Aesthetic, Social, and Thermal Delight. New York.

Reynolds, J.S. 2002a:
ebenda S.219ff

Rietschel, H.; Esdorn, H. (Hrsg.) 1994:
Raumklimatechnik. 1. Grundlagen. 16. Auflage. Berlin.

Roshko, A. 1955:
Some Measurements of Flow in a Rectangular Cutout. NACA TN 3488.
Schaelin, A.; Moser, A.; van der Mass J.; et al. 1996:
Application of air flow models as design tools for atria. In: Roomvent '96, Proceedings 5th
Int. Conference on Air Distribution in Rooms. S. 171-178.

Satoh, H.; Sugawa, O.; Kurioka 1996:
Modeling on temperature and ventilation induced by a model fire in an tall and narrow
atrium space. Thirteenth meeting of UJNR panel on fire research and safety. S.31-39.

Saxon, R. 1983:
Atrium Buildings Development and Design. London. The Architectural Press Ltd.

Saxon, R. 1983a:
ebenda. S. 93ff.

Saxon, R. 1983b:
ebenda. S. 101.

Schild, P.G.; Tjelflaat, P.O.; Aiulfi, D. 1995:
Guidelines for CFD Modeling of Atria. ASHREA Transactions: Symposia. SD-95-18-5. S.
1311-1332.

Schlichting, H.; Gersten, K. 1997:
Grenzschicht-Theorie. 9. Auflage. Berlin.

Schmid, W.J. 1985:
Numerische Simulation laminarer und turbulenter Strömungen mit Rezirkulation am
Beispiel der überströmten quadratischen Kavität. Dissertation. München.

Sharples, S.; Bensalem, R. 2001:
Airflow in courtyard and atrium buldings in the urban environment: Wind tunnel study.
Solar Energy, 70, No. 3. S. 237-244.

Shao, L.; Walker, R.R.; Wooliscroft, M. 1993:

Natural ventilation via courtyards: the application of CFD. In Proceedings 14th AVIC
Conference, Copenhagen. S. 393-403.

Socket, H. 1984:
Aerodynamik der Bauwerke. Braunschweig.

Socket, H. 1984a:
ebenda. S. 77.

Socket, H. 1984b:
ebenda. S. 83.

Socket, H. 1984c:
ebenda. S. 136ff, insbes. 137.

Socket, H. 1984d:
ebenda. S. 18ff, insb. 29.

Summers, P.W. 1964:
An Urban Ventilation Model Applied to Montreal. PhD. thesis. McGill university Montreal.

Tjelflaat, P.O.; Kvikne, S.A. 1992:
CFD simulations for evaluation of thermal comfort in sparsely occupied large rooms. In:
Roomvent '92, Proceedings of Third International Conference, DANVAK, 3. S. 307-332.

VDI 3787, Blatt 2 1998:
Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima
und Lufthygiene für die Stadt und Regionalplanung. Teil 1: Klima. Berlin.

Walker, R.R., Shao, L.; Wooliscroft, M. 1993:
Natural ventilation via courtyards: theory and measurements. In: Proceedings 14th AVIC
Conference. Copenhagen. S. 235-250.

Yoshiwara, M. 2001:
Convective Heat Transfer from Wall Surface of a cavity to the External Stream (Effects
of Temperatur Nonuniformity on the Wall Surface for Correlations of Heat Transfer
Model). JSME International Journal, Series B, 44-2. S. 262-273.

3.2 Untersuchung zur Tageslichtnutzung im und um den nach oben offenen Raum

Alberti, zitierte Ausgabe:
Alberti, L. A. 1991: Zehn Bücher über die Baukunst. Übersetzung Theuer M.. Nachdruck
1991, 1. Auflage Wien 1912. Darmstadt.

Alberti, L. A. 1991a:
ebenda. S. 68. 2. Buch, 1. Kap.

ALMEMO ® -Handbuch 2002:
ALMEMO ® HANDBUCH V5, Für alle ALMEMO ® Meßgeräte. 3. Auflage. Holzkirchen.

ArbStättV 1996:
Verordnung über Arbeitsstätten vom 20.03.1975 (BGB.I, S. 729 (Geändert durch die Verordnung zur Änderung der Arbeitsstättenverordnung vom 1982, geändert durch Verordnung vom 1. August 1983, geändert durch Artikel 4 zur EG- Rahmenrichtlinie Arbeitsschutz am 20.Dezember 1996.).

ARCH + 1996:
133, Europan 4, Die Generation X, Aachen.

Aries, P.; Duby, G. (Hg.) 2000:
Geschichte des privaten Lebens. Band 1 - 5. Lizenzausgabe. Augsburg.

Aries, P.; Duby, G. (Hg.) 2000a:
ebenda. Buch 2. S. 190ff.

Aries, P.; Duby, G. (Hg.) 2000b:
ebenda. Buch 2. S. 190ff.

Aristoteles, zitierte Ausgaben:
Aristoteles 1989: Politik. Übersetzung Schwarz, F.F.. Stuttgart.

Arndt, W. 1938:
Beeinträchtigung der Grundempfindung durch Blendung. in: Handbuch der Lichttechnik. Hrsg. R. Sewig. Berlin. Band. II, S. 574ff.

Baker, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K. 1998:
Daylighting in Architecture: A European Reference Book. Reprint. Commission of European Communities, Directorate-General XII for Science Research and Development.

Baker, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K. 1998a:
ebenda. S. 5.35-.

Baker, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K. 1998b:
ebenda. S. 5.45-.

Baker, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K. 1998c:
ebenda. S. 5.48-.

Baker, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K. 1998d:
ebenda. S. 5.35.

Baker, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K. 1998e:
ebenda. S. 5.49-50.

Baker, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K. 1998f:
ebenda. S. 3.1.

Bartels, K.; Huber, L. (Red.) 2001:
Lexikon der Alten Welt. Band 1 -3. Ungekürzte Lizenzausgabe. Düsseldorf.

Behling, S.; Behling, S. 1996:
Sol Power. Die Evolution der solaren Architektur. München-New York.

Billmeyer, F.W.; Saltzmann, M. 1993:
Grundlagen der Farbtechnologie. 2. Auflage. Göttingen.

Brockes, A.; Strocka, D.; Berger-Schunn, A. 1986:
Farbmessung in der Textilindustrie. Mitteilung für die Farbstoffe verarbeitende Industrie, 24. Jahrgang.

Cahill, N. 2001:
Household and City Organization at Olynthus. New Haven.

Cahill, N. 2001a:
ebenda. S. 202- und 221-.

Cahill, N. 2001b:
ebenda. S. 82.

Cahill, N. 2001c:
ebenda. S. 169.

Cahill, N. 2001d:
ebenda. S. 76.

Cahill, N. 2001e:
ebenda. S. 148ff.

Cahill, N. 2001f:
ebenda. S. 85.

Cahill, N. 2001g:
ebenda. S. 85.

Cahill, N. 2001h:
ebenda. S. 170.

Cahill, N. 2001i:
ebenda. S. 176.

DIN EN 12464-1:2003-03. Berlin

DIN 5035, Teil 2,09.90. Berlin

Durm, J. 1903:

Die Baustile. Historische und technische Entwicklung. Des Handbuchs der Architektur. Zweiter Teil. 5. Band: Die Baukunst der Renaissance in Italien. Stuttgart. S.150ff.

Ehrlich, C. 1998:

Lighting Analysis. in: Ward, G.W.; Shakespeare, R. 1998: Rendering with Radiance : The Art and Science of Lighting Visualization. San Francisco, CA.

Ehrlich, C. 1998a:

ebenda. S. 308-309.

Engels, F. 1977:

Die Lage der arbeitenden Klasse in England, München.

Fisch, J.; Khanh, T.Q. 2001:

Licht und Gesundheit: Aspekte der optischen Strahlung auf Menschen, strahlungsphysikalische und meßtechnische Konsequenzen. HIGHLIGHT Kompakt.

Fischer, U. 1995:

DIN 5034 löst tageslichttechnische Probleme. Teil 2. In: Licht. Heft 4. 47. Jahrgang. S.366-370.

Fördergemeinschaft Gutes Licht (Herausgeber) 1999:

Gutes Licht für Handwerk und Industrie. Heft 5. Frankfurt am Main.

Freymuth, H. 1994:

Licht. in: Lutz, P.; Jenisch, R.; Klopfer, H.; et al. 1994. Lehrbuch der Bauphysik. 3. neubearb. und erw. Auflage. Stuttgart. S. 397-460.

Freymuth, H. 1994a:

ebenda. S. 425.

Geist, J.F.; Kürvers, K. 1980:

Das Berliner Mietshaus. 3 Bände. München

Geist, J.F.; Kürvers, K. 1980a:

ebenda. Band 2. S. 208, 307ff.

Geist, J.F.; Kürvers, K. 1980b:

ebenda. Band 2. S. 389.

Geist, J.F.; Kürvers, K. 1980c:

ebenda. Band 2. S. 231, 267.

Geist, J.F.; Kürvers, K. 1980d:

ebenda. Band 2. S. 216,314,136,138ff.

Geist, J.F.; Kürvers, K. 1980e:

ebenda. Band 2. S. 221ff.

Geist, J.F.; Kürvers, K. 1980f:

ebenda. Band 2. S. 132.

Geist, J.F.; Kürvers, K. 1980g:

ebenda. Band 2.

Geist, J.F.; Kürvers, K. 1980h:

ebenda. Band 2. S. 138.

Görres, M. 2001:

Optimierung des Energieverbrauchs künstlicher Beleuchtung. In: Licht. Heft 6. 53. Jahrgang. S. 542-547.

Goulding, J.R.; Lewis, J.O.; Steemers T.C. 1986:

Energy in Architecture: The European Passive Solar Handbook. Commission of European Communities, Directorate-General XII for Science Research and Development.

Hentschel, H.-J. 1994:

Licht und Beleuchtung: Theorie und Praxis der Lichttechnik. 4., neubearbeitete Auflage. Heidelberg.

Hentschel, H.-J. 1994a:

ebenda. S. 63.

Hentschel, H.-J. 1994b:

ebenda. S. 44ff.

Hentschel, H.-J. 1994c:

ebenda. S. 44ff.

Hentschel, H.-J. 1994d:

ebenda. S. 47.

Hegemann, W. 1992:

Das steinerne Berlin. Nachdruck. Braunschweig / Wiesbaden.

Hoepfner, W.; Schwandner E.-L. 1986:

Wohnen in der klassischen Polis I: Haus und Stadt im klassischen Griechenland. München.

Hoepfner, W.; Schwandner E.-L. 1986a:
ebenda. S. 24-74.

Hoepfner, W.; Schwandner E.-L. 1986b:
ebenda. S. 66ff.

Hoepfner, W.; Schwandner E.-L. 1986c:
ebenda. S. 261ff, 28ff.

Hoepfner, W.; Schwandner E.-L. 1986d:
ebenda. S. 260.

Hoepfner, W.; Schwandner E.-L. 1986e:
ebenda. S. 35.

Hoepfner, W. 1999:
Geschichte des Wohnens. Band 1: 5000 v.Chr. - 500 n.Chr.. Vorgeschichte,
Frühgeschichte, Antike. Stuttgart.

Hoepfner, W. 1999a:
ebenda. S. 261.

Hoepfner, W. 1999b:
ebenda. S. 551.

Hoepfner, W. 1999c:
ebenda. S. 525 ff.

Hoepfner, W. 1999d:
ebenda. S. 395 ff.

Hoepfner, W. 1999e:
ebenda. S. 526, 534, 536ff.

Hoepfner, W. 1999f:
ebenda. S. 530.

Hoepfner, W. 1999g:
ebenda. S. 530ff.

Hoepfner, W. 1999h:
ebenda. S. 274ff.

Hoepfner, W. 1999i:
ebenda. S. 274.

Homer, zitierte Ausgabe:
Homer 1986: Die Odyssee. Übersetzung Schadewaldt, W.. Hamburg.

Hippokrates, zitiert Ausgabe:
Hippokrates 1994: Ausgewählte Schriften. Übersetzung Diller, H..Stuttgart.

Lutz, P.; Jenisch, R.; Klopfer, H.; et al. 1994:
Lehrbuch der Bauphysik. 3. Neubearb. und erw. Auflage. Stuttgart.

Mardaljevic, J. 1998:
Daylight Simulation. in: Ward, G.W.; Shakespeare, R. 1998: Rendering with Radiance :
The Art and Science of Lighting Visualization. San Francisco, CA. S. 356-390, insb.
S.356-358.

Mischler, G. 2003:
Persönliche Kommunikation zu verschiedenen Fragestellungen. Gars-München.

Murray, P. 1980:
Die Architektur der Renaissance in Italien. Stuttgart.

Murray, P. 1980a:
ebenda. S. 62.

Murray, P. 1980:
ebenda. S. 63.

Platon, zitierte Ausgabe
Platon 1999: Der Staat. aus: Bertam, M. (Red.) 1999: Schlüsselwerke der Philosophie.
(CD-ROM). Berlin.

Pieper, J. 1997:
Pienza. Der Entwurf einer humanistischen Weltsicht. Stuttgart/London.

Pieper, J. 1997a:
ebenda. S. 243.

Pieper, J. 1997b:
ebenda. S. 162 und 164.

Pieper, J. 1997c:
ebenda. S. 144ff.

Pieper, J. 1997d:
ebenda. S. 152.

Pieper, J. 1997e:
ebenda. S. 242.

Pieper, J. 1997f:
ebenda. S. 242.

Pieper, J. 1997g:
ebenda. S. 357.

Pieper, J. 1997h:
ebenda. S. 235, 238, 244.

Pieper, J. 1997i:
ebenda. S. 358ff.

Pieper, J. 1997j:
ebenda. S. 145ff, insb. 149.

Pieper, J. 1997k:
ebenda. S. 540ff.

Pohl, W. 2003:
Lichttechnische und bauphysikalische Eigenschaften von Tageslichtsystemen. WWW-
Download Bartenbach LichtLabor, April 2003.

Reynolds, J. S. 2002:
Courtyards: Aesthetic, Social, and Thermal Delight. New York.

Reynolds, J. S. 2002a:
ebenda. S. 179-.

Richter, M. 1980:
Einführung in die Farbmetrik. 2. Auflage. Berlin.

Schmitz, H.J. 2003:
Tageslicht im Atrium. Marburg.

Schmitz, H.J. 2003:
ebenda. S. 160.

Thornton, P. 1991:
The Italian Renaissance Interior:1400-1600. New York.

Thornton, P. 1991a:
ebenda. S.27ff.

Vitruv, zitierte Ausgabe:
Vitruv 1964: Zehn Bücher über Architektur. Übersetzung Fensterbusch, C. Darmstadt.

Ward, G.W.; Shakespeare, R. 1998:
Rendering with Radiance : The Art and Science of Lighting Visualization. San Francisco,
CA.

Ward, G.W.; Shakespeare, R. 1998a:
ebenda. S. 491-.

Ward, G.W.; Shakespeare, R. 1998b:
ebenda. S. 491-.

Ward, G.W.; Shakespeare, R. 1998c:
ebenda. S. 491-.

Ward, G.W.; Shakespeare, R. 1998d:
ebenda. S. 491-, insb. 567-575.

Xenophon, zitierte Ausgabe:
Xenophon 1956: Die Sokratischen Schriften: Memorabilien / Symposion / Oikonomikos /
Apologie. Übersetzung Bux, E.. Stuttgart.

Zimmer, G. 1999:
Handwerkliche Arbeit im Umfeld des Wohnens. in: Geschichte des Wohnens. Band 1:
5000 v.Chr. - 500 n.Chr.. Vorgeschichte, Frühgeschichte, Antike. Stuttgart. S. 561-575.

Anhang D

Abbildungsnachweis mit Literaturverzeichnis

Teil 1

Grundsätzliche Überlegungen zur baulichen Form nach oben offener Räume

Ansätze zur Unterscheidung und Einordnung nach oben offener Räume

Abbildung 1.1.1 Autor; Unterteilung Blickfeld nach LANG 1991, S. 86-91.
Abbildung 1.1.2-3 Autor

Faktoren die den nach oben offenen Raum in Form und Gestalt beeinflussen

Abbildung 1.2.1 Autor
Abbildung 1.2.2 Autor, nach MASLOW 1973
Abbildung 1.2.3-4 Autor

Morphologie

(Abbildungen in den morphologischen Kästen Autor)

Abbildung 1.3.1 bis 4 Autor

Teil 2

Überlegungen zu den mikroklimatischen Eigenschaften nach oben offener Räume

Abbildung 2.1 bis 5 Autor

Teil 3

Durchlüftung und Tageslichtpotential

Strömungsvorgänge im und um den nooR

Abbildung 3.1.1 SCHMID 1985, S. 11.
Abbildung 3.1.2 Autor, basierend auf SCHMID 1985, HEISELBERG et al. 1998, Oke 1987, S. 274.
Abbildung 3.1.3 Autor

Untersuchungen zur Tageslichtnutzung im und um den nach oben offenen Raum

Abbildung 3.2.1 Autor

Olynth

Abbildung 3.2.2 CAHILL 2002, S. 26.
Abbildung 3.2.3 Hoepfner et al. 1986, S. 44.
Abbildung 3.2.4 Hoepfner et al. 1986, S. 42.
Abbildung 3.2.5 CAHILL 2001, S. 170.
Abbildung 3.2.6 HOEPFNER et al. 1986, S. 261.
Abbildung 3.2.7 HOEPFNER et al. 1999, S. 534.
Abbildung 3.2.8 HOEPFNER et al. 1999, S. 533.
Abbildung 3.2.9 HOEPFNER et al. 1986, S. 66.
Abbildung 3.2.10 HOEPFNER et al. 1999, S. 533.

Abbildung 3.2.11 CAHILL 2002, S. 172.
Abbildung 3.2.12 bis 24 Autor

Palazzo Piccolomini
Abbildung 3.2.25 Autor
Abbildung 3.2.26 PIEPER 1997, S. 399.
Abbildung 3.2.27 Autor
Abbildung 3.2.28 PIEPER 1997, S.394.
Abbildung 3.2.29 PIEPER 1997, S.390.
Abbildung 3.2.30 bis 46 Autor

Meyer's Hof
Abbildung 3.2.47 GEIST et al. 1980, S. 388.
Abbildung 3.2.48 GEIST et al. 1980, S. 63.
Abbildung 3.2.49 GEIST et al. 1980, S. 482.
Abbildung 3.2.50 GEIST et al. 1980, S. 501.
Abbildung 3.2.51 bis 67 Autor

Literarnachweis Abbildungen

Baker, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K. 1998:
Daylighting in Architecture: A European Reference Book. Reprint. Commission of European Communities, Directorate-General XII for Science Research and Development.

Cahill, N. 2001:
Household and City Organization at Olynthus. New Haven.

Geist, J.F.; Kürvers, K. 1980:
Das Berliner Mietshaus. 3 Bände. München

Heiselberg, P.; Murakami, S.; Roulet, C.-A. 1998:
Ventilation of Large Spaces in Buildings. Analysis and Prediction Techniques. IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems, Annex 26: Energy Efficient Ventilation of Large Enclosures.

Geist, J.F.; Kürvers, K. 1980:
Das Berliner Mietshaus. 3 Bände. München

Hoepfner, W.; Schwandner E.-L. 1986:
Wohnen in der klassischen Polis I: Haus und Stadt im klassischen Griechenland. München.

Hoepfner, W. 1999:
Geschichte des Wohnens. Band 1: 5000 v.Chr. - 500 n.Chr.. Vorgeschichte, Frühgeschichte, Antike. Stuttgart

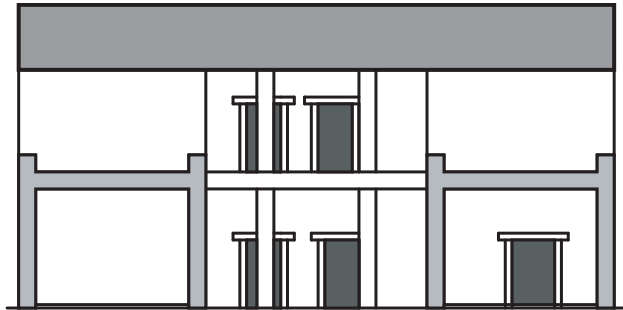
Lang, W. 1991:
Kleine ergonomische Datensammlung. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. 7. überarbeitete Auflage. Köln

Maslow, A.H. 1973:
Psychologie des Seins. München.
Oke, T.R. 1987:
Boundary layer climates. Second edition, Reprint 2000. London. Routledge.

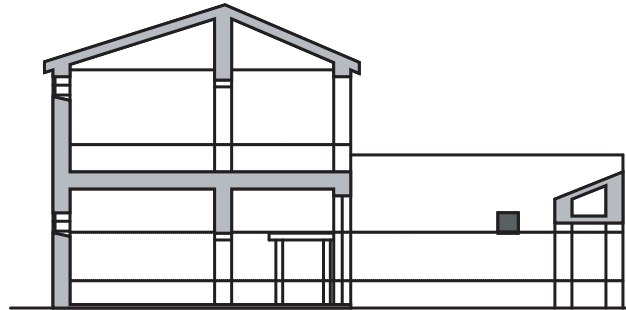
Pieper, J. 1997:
Pienza. Der Entwurf einer humanistischen Weltsicht. Stuttgart/London

Schmid, W.J. 1985:
Numerische Simulation laminarer und turbulenter Strömungen mit Rezirkulation am Beispiel der überströmten quadratischen Kavität. Dissertation. München.

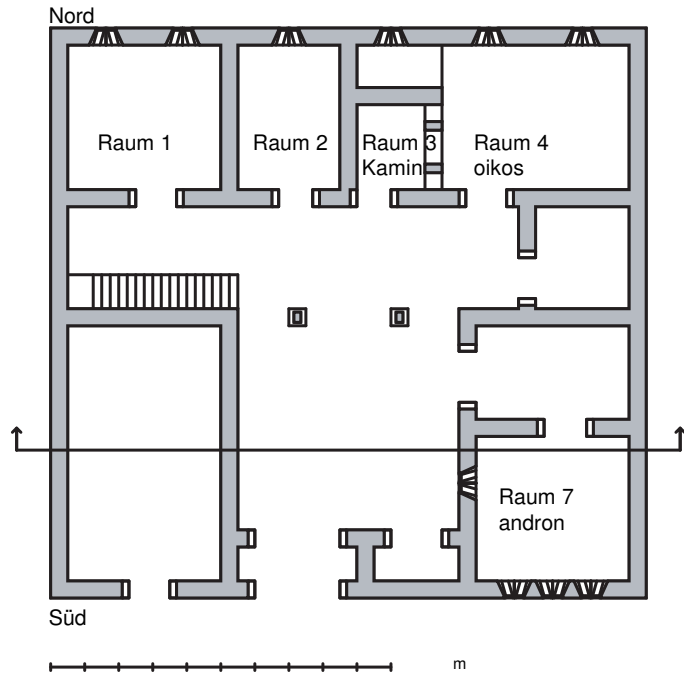
**Anhang E Pläne
Olynth**



Schnitt nooR- quer
Grundriß



Schnitt nooR- längs

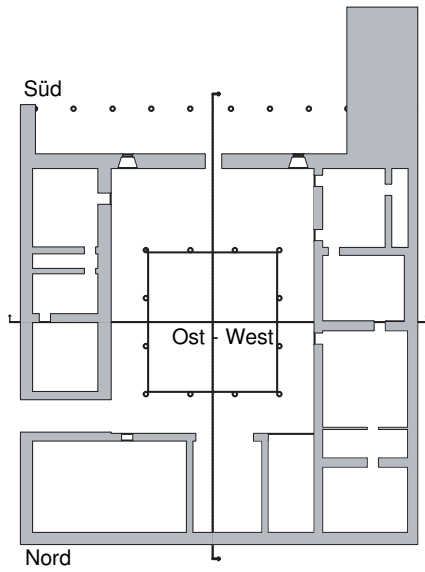


Detail Fenster

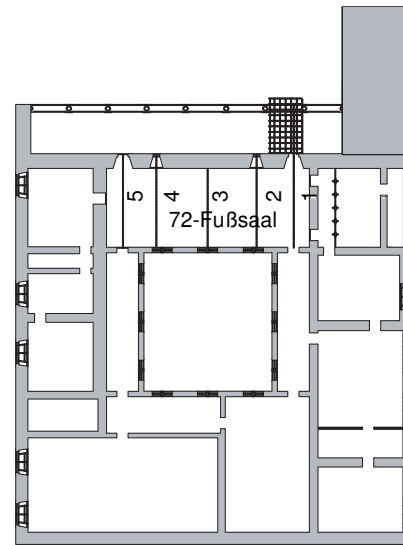


Zeichnung basiert auf den Angaben von :
Hoepfner, W.; Schwandner E.-L. 1986:
Wohnen in der klassischen Polis I: Haus
und Stadt im klassischem Griechenland.
München.

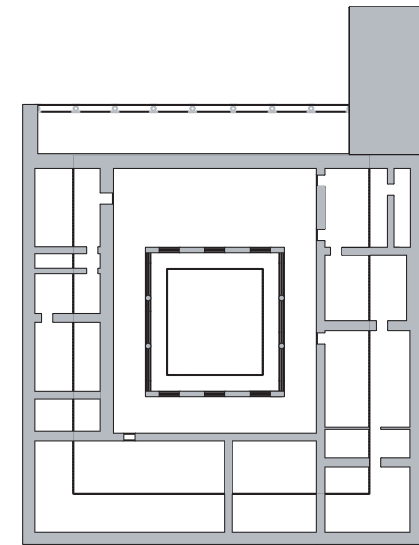
Palazzo Piccolomini



Grundriß Erdgeschoß



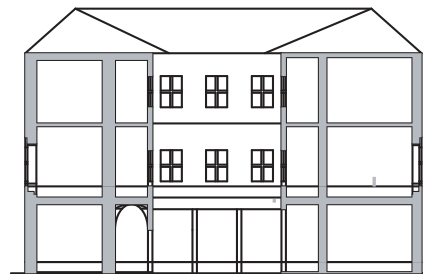
Grundriß Obergeschoß
(mit Angabe Meßborte)



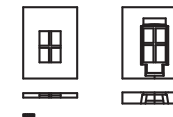
Dachgeschoß, Traufe



m
Schnitt Süd-Nord



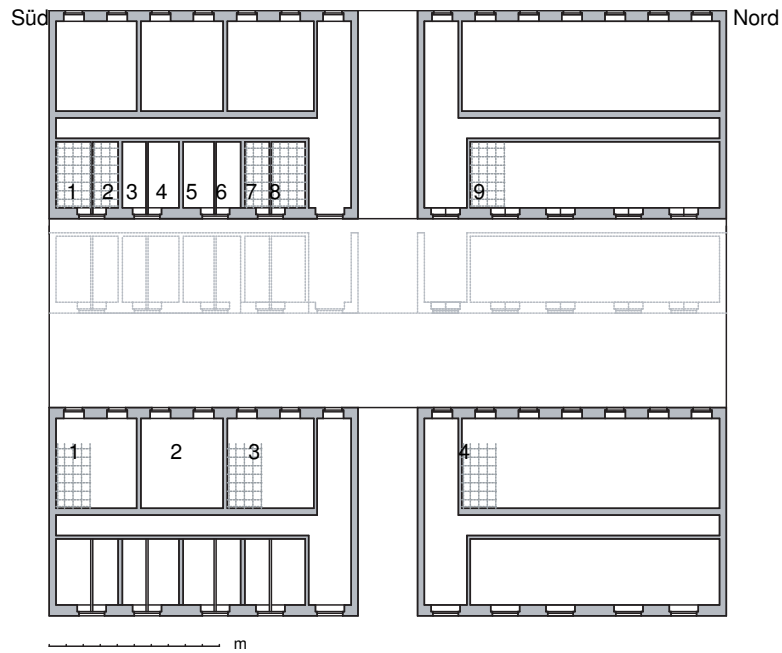
Schnitt Ost-West



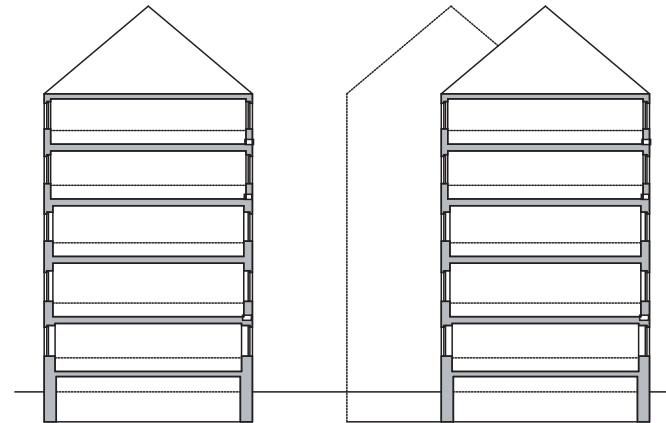
Detail Fenster

Zeichnung basiert auf den Angaben von :
Pieper, J. 1997:
Pienza. Der Entwurf einer humanistischen
Weltsicht. Stuttgart/London

Meyer's Hof.



Grundriß mit Abstand Rückgebäude 11,1m
Grundriß mit Abstand Rückgebäude 5,55m gestrichelt
(mit Angabe Meßorte und Raumbezeichnung)



Zeichnung basiert auf den Angaben von :
Geist, J.F.; Kürvers, K. 1980:
Das Berliner Mietshaus. 3 Bände.
München