

Architektur von morgen und die Betrachtungen zur Bauphysik

Hans-Peter Leimer
Am Forst 27
D-38302 Wolfenbüttel
e-mail: bbs-wf@seenetz.com

Zusammenfassung

Immer häufiger werden Bürogebäude gefordert, die definierte klimatische Verhältnisse garantieren, jedoch im Gegensatz zum Bürohausbestand auf technologisch andersartigen Konzepten beruhen. Neben repräsentativen Funktionen stellen sich diese Gebäude der Aufgabe, den Gesamtenergiebedarf und den CO₂-Ausstoß gegenüber vollklimatisierten Gebäuden zu reduzieren und dem Nutzer das Empfinden einer "natürlichen Belüftung" zu ermöglichen.

Dieser Gebäudetypus soll innerhalb einer umschließenden Gebäudehülle eine Binnenwelt erzeugen, die höchsten Ansprüchen an Komfort und Sicherheit genügt. Durch diese Bauweise können Standorte erschlossen werden, die schwierigen städtebaulichen Situationen (z.B. aufgrund von Schallimmissionen) gerecht werden. (1)

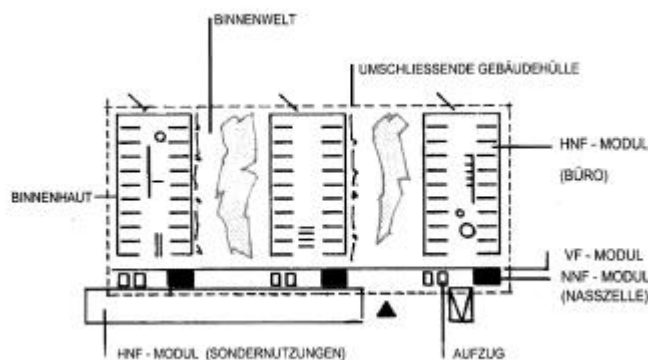


Bild 1 Company Typ, gehobener Standard

Ein Gebäudetyp der neuen Generation ist der Neubau der Landes-BauSparkasse in Hannover, der zur EXPO 2000 die Innovation der Gebäudetypologie unter dem Grundgedanken der EXPO *Mensch, Natur, Technik* darstellen soll.

Der Neubau der LBS in Hannover-Bemerode umfaßt vier 4-geschossige Verwaltungseinheiten als Kuben, die in ihrer Reihung durch Wintergärten voneinander getrennt sind. Die Kuben verfügen über ein Atrium, um das offene Kombibüros

angeordnet sind. Die gesamten Nutzungsbereiche, die Erschließungsflächen sowie die Atrien und Wintergärten sind von einer Stahlglasskonstruktion überdeckt.

Hinsichtlich der großen Verglasungsflächen der Klimahülle werfen sich somit Fragen zur sommerlichen Temperaturentwicklung ('sommerlicher Wärmeschutz') auf. Für eine klimatische Betrachtung ist die Kenntnis der vorliegenden Wärmeströme von Bedeutung. Hierbei sind die Wärmeverluste (i.d.R. aus Transmission -TV- und aus Lüftung -V-) sowie die Wärmegewinne (i.d.R. aus Solaren Gewinnen -SG- und aus sog. Innenwärme-komponenten, d.h. Personen und Geräte -IG-) zu berücksichtigen.

Das Raumklima wird im wesentlichen von den vier Komponenten, Raumlufttemperatur, relative Luftfeuchte, Raumluftgeschwindigkeit, Raumumschließungsflächentemperatur bestimmt.

Die sommerliche Temperaturentwicklung stellt sich aus den Wärmeströmen unter Hinzuziehung, z.B. der Wärmespeicherfähigkeit der Baustoffe, dar. Eine der entscheidenden Faktoren für die Temperaturentwicklung sind die solaren Energiegewinne, speziell verursacht durch den Gesamtenergiedurchlaßgrad g der Verglasung.

Entscheidend für die Behaglichkeit eines Menschen in einem Raum sind im Weiteren zusätzliche Parameter wie Aktivitätsgrad, Bekleidung, Aufenthaltsdauer, aber auch Bepflanzung und das Tageslicht.

Bestimmt wurde mit Hilfe einer *integralen Gebäudeplanung* das Temperaturverhalten in den Höfen, Atrien und Büros; Strömungssimulationsberechnungen der Höfe; Tageslichtsimulationsberechnungen der Büros; Feuchteverhalten der Bauteile unter Berücksichtigung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransportes; Schallschutz der Büros; Raumakustik der Hallen und Höfe.

1 Dynamische Gebäudesimulationsberechnungen

Für eine klimatische Betrachtung eines Gebäudes ist die Kenntnis der vorliegenden Wärmeströme, vorzugsweise in der instationären Betrachtung, von Bedeutung. Hierbei sind die Wärmeverluste (i.d.R. aus Transmission und Lüftung) sowie die Wärmegegewinne (i.d.R. aus Solaren Gewinnen und aus sog. Innenwärmekomponenten, z.B. Personen und Geräte) näher zu analysieren und zu berücksichtigen.

Die raumklimatischen Verhältnisse werden im wesentlichen von den vier Komponenten Raumlufttemperatur, relative Luftfeuchte, Raumluftgeschwindigkeit und Raumumschließungsflächentemperatur bestimmt.

Entscheidend für die Behaglichkeit eines Menschen in einem Raum sind auch zusätzliche Parameter wie Aktivitätsgrad, Bekleidung und Aufenthaltsdauer in diesem Raum.

Die Berechnungen wurden mit dem Programmsystem TRNSYS (= Transient System Simulation Program ^{2/}), ein Programm zur Simulation von thermischen Systemen unter instationären Bedingungen, das dynamische Effekte, die nach aktuellen Angaben zugrunde gelegt werden können, berücksichtigt, durchgeführt.

Die Variation der nachstehenden Randbedingungen, die das Bauwerk belasten, ermöglicht es einerseits die klimatische Beurteilung von Planungsmaßnahmen, als auch andererseits die Auswirkungen auf das Raumklima durchzuführen.

Klimadaten: Für die rechentechnische Betrachtung wurde das vom BMFT zusammengestellte Testreferenzjahr der Zone 2 -TRY 02-, entsprechend dem nord- und westdeutschen Tiefland, Wetterstation Hannover-Langenhagen, für die Vorgabe des Außenklimas zugrunde gelegt.

Gebäudemodell: Bei den Berechnungen wurde das Gebäude mit seinen Raumzonen in Hinblick auf seinen Standort in Hannover-Bemerode, Lage zur Flächennormale und Azimut, unter Berücksichtigung seiner Geometrie, der Bauteile und Baustoffe, der Nutzung und des Außenklimas als Modell für eine rechentechnische Klimasimulation abgebildet.

² Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin; "TRNSYS - A Transient Simulation Program", Wisconsin 1992

Baustoffe und Bauteile: Bei den Berechnungen werden die Baustoffe hinsichtlich ihrer Absorption (bei außenliegenden Bauteilen), ihrer Wärmeleitfähigkeit, ihrer Wärmespeicherfähigkeit, ihrer Absorption, Reflexion und Transmission (bei Verglasungen) berücksichtigt. Eine Verschattung der Verglasungen durch Dachüberstände, aber auch von angrenzenden Gebäudeteilen, z.B. Treppenhäusern, ist berücksichtigt worden!

Eine außenliegende Verschattung für die West-Büros wird ab einer Grenzstrahlung von $I_G \geq 200 \text{ W/m}^2$ angesetzt.

Behaglichkeit / Grenztemperatur / kritische Stunden: Es wurde für die Beurteilung der Behaglichkeit in den Raumzonen der PMV-Wert nach DIN EN ISO 7730 ermittelt. Es ergeben sich somit mittlere Grenztemperaturen für 'behaglich' 27°C für 'etwa warm' 29°C . Nach den allgemein anerkannten Behaglichkeitsmaßstäben wird empfohlen, daß die Raumtemperatur 26°C nicht überschritten werden soll. Diese Temperaturen sollten nicht bzw. nur kurz während einer Hitzeperiode überschritten werden, da ein Wohlbehagen ansonsten kaum möglich ist. In dem Maß der kritischen Stunden, d.h. die Anzahl der Stunden, in denen die Raumtemperatur oberhalb der Grenztemperatur liegt, wird dieser Wert erfaßt. Dieser soll selbstverständlich so gering wie möglich sein.

Gebäudenutzung: Durch die Nutzung eines Gebäudes treten teils erhebliche Einflüsse auf das klimatische Verhalten der Raumzonen auf. Hierbei sind vor allem innenliegende Wärmequellen sowie der Eintrag von Lüftungsluft und/oder Heiz- bzw. Kühlleistung maßgebend. Diese Einflüsse können sich je nach Jahreszeit positiv oder negativ auswirken. In der Simulationsberechnung wurde ein besonderes Lüftungskonzept in Ansatz gebracht.

1. Variante

- Zuluft der Büros über den Hof; Zuluft der Atrien und Kombizonen über mechanische Abluftanlage.
- Abluft der Büros, Atrien und Kombizonen über mechanische Abluftanlage durch Versorgungsstellen der Büros.

Allgemein

- Westbüros erhalten Zuluft über Außenluft (Fensterlüftung).
- Es wird hier von einem erforderlichen Luftstrom von $60 \text{ m}^3/\text{h}$ je Bürozelle bzw. Pers. nach DIN 1946 T2 ausgegangen.
- Eine Nachtentwärmung wird bei Überschreiten der Raumtemperatur im Büro "SÜD/Ebene3" von 20°C eingesetzt. In diesem Fall werden die Klappen der vertikalen Grünhoffassaden, die Bürofenster zum Hof sowie die RWA-Klappen im Bereich der Atrien geöffnet. Die RWA-Öffnungen im Bereich des Hofes bleiben geschlossen, um eine Luftbewegung durch die Büros zu erzwingen.

1.1 Simulationsrechnungen für den Sommerfall

Die Berechnungen wurden mit dem TRY 2 durchgeführt. Die ermittelten Temperaturen berücksichtigen somit einen repräsentativen Sommer-Zustand. Höhere Temperaturen, die z.B. im August 1997 zu verzeichnen waren oder eben geringere bei einem 'verregneten Sommer' sind natürlich in der Praxis möglich.

Unter Beachtung der oben beschriebenen Grenzwerte bezüglich einer erträglichen Nutzung des Gebäudes wurde die Entwicklung der Innentemperatur in den einzelnen Raumzonen ermittelt. Zu beurteilende Größe ist hier die Raumtemperatur bzw. bei den Bürozonen (BUE__) die empfundene Raumtemperatur (Mittelwert aus Luft- und Strahlungstemperatur).

Hierbei werden die maximale Raumtemperatur als absoluter Wert, sowie die Zeit oberhalb der Grenztemperaturen ermittelt. Beide Werte geben eine gute Aussage über die raumklimatischen Zustände und, bei Überschreitung der Grenztemperatur, ein Maß für die (Un-)Zumutbarkeit dieses Zustandes.

Die Temperaturentwicklung in den Grünhöfen für die unterschiedlichen Ebenen (-0= EG; -1,-2,-3 = 1.,2.,3. OG) ist in den nachfolgenden Bildern dargestellt.

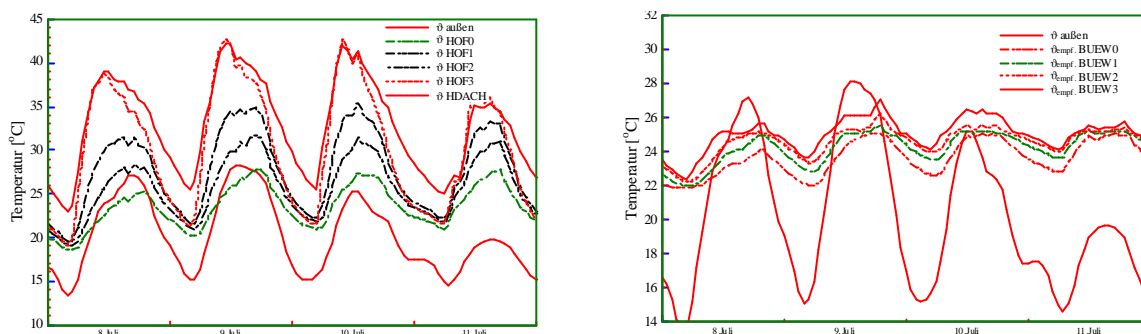


Bild 2 Temperaturverlauf Sommerperiode und Büro WEST / Vergleich der Ebenen

Die Bürozonen SÜD und NORD werden durch die direkte Lage an den Grünhof von dessen Temperaturverhalten durch Transmission und solare Wärmegewinne mit beeinflusst. Aufgrund der Arbeitstätigkeit in diesen Zonen ist hier besonderes Augenmerk auf die Temperaturentwicklung zu richten.

1.2 Simulationsrechnungen für den Jahresverlauf

In einer Jahresberechnung wurde insbesondere der Winter- und Übergangsfall untersucht. Hierbei wurde die Temperaturentwicklung im HOF betrachtet.

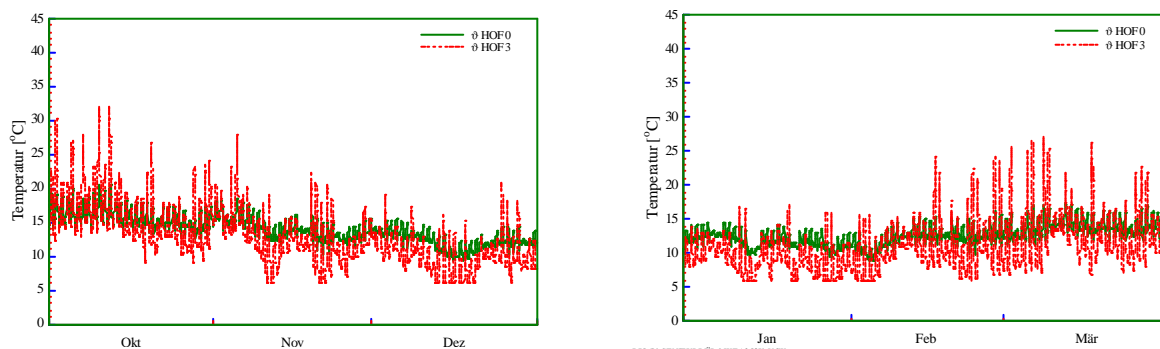


Bild 3 Temperaturverlauf HOF Okt - Dez und Jan - März

Die Berechnungen zeigen, daß in der Zone HOF-0 und -1 im Winter eine mittlere Temperatur von $> 10^{\circ}\text{C}$ erreicht wird. Die minimale Temperatur im Hof wird in der Zone DACH mit 0°C die maximale Temperatur in der Zone HOF -0 mit 12°C erreicht.

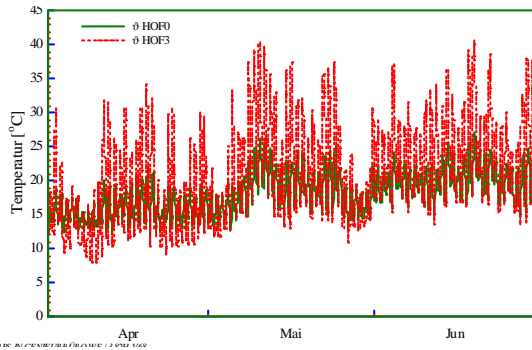


Bild 4 Temperaturverlauf HOF Apr - Juni

In der Zone HOF-0 und -1 beträgt die Temperatur in der Übergangsphase Frühjahr/Herbst $> 13^{\circ}\text{C}$.

2 Strömungssimulationsberechnungen

Die strömungstechnische Untersuchung wird mit dem Programmsystem FLOVENT durchgeführt. Die Strömungssimulation ermöglicht die Berechnung der Strömungs-, Temperatur- und Schadstoffverteilung des verglasten Baukörpers.

Das Programm berechnet die Raumluftbewegungen unter Verwendung der Erkenntnisse der 3-D-Strömungsberechnung (Computational Fluid Dynamics, CFD).

Die Fragen der Raumluftbewegung in der Abhängigkeit Belüftung der Grünhöfe, Be-, Entlüftung der Büros und Atrien / Kombizonen sollten untersucht werden.

Im Rahmen der Optimierung ist es so möglich, die Luftwechselraten zur Erhaltung des hygienischen Luftbedarfs zu bestimmen und damit verbunden die Lage und Größe der Lufteintritts- und Luftaustrittsöffnungen festzulegen.

2.1 Grundlagen

Außenluft: Dem Außenluftbereich der Modelle wurde ein statischer Druck von 1013,3 mbar und eine Außenlufttemperatur von $29,2^{\circ}\text{C}$ vorgegeben. Es herrscht Windstille.

Oberflächentemperaturen: Alle Bauteile, außer dem Bürotrakt im Hof und den Brüstungen und Wänden der exemplarischen Büroräume, wurden mit Oberflächentemperaturen versehen. Der Bürotrakt wurde adiabat betrachtet und dient nur als Strömungshindernis. Diese Oberflächentemperaturen wurden der thermischen Simulation entnommen. Durch diese Vorgehensweise konnte man sich eine Bauteildefinition über die entsprechenden Materialdaten in der Strömungssimulation ersparen.

2.2 Berechnungen

2.2.1 Durchströmung des Hofes

Das Gebäude, hier die Bereiche der Grünhöfe mit den angrenzenden Bürobereichen, wurde in 3-D abgebildet. Alle Gebäudeöffnungen wurde als 30° geöffnete Fenster, bzw. Dachklappen modelliert. Die Büroräume (Nord) sind durch ein geöffnetes Fenster mit dem Luftraum des Hofes verbunden. In jedem Büroraum befindet sich eine Abluftöffnung mit einem vorgegebenen Volumenstrom von $60\text{ m}^3/\text{h}$.

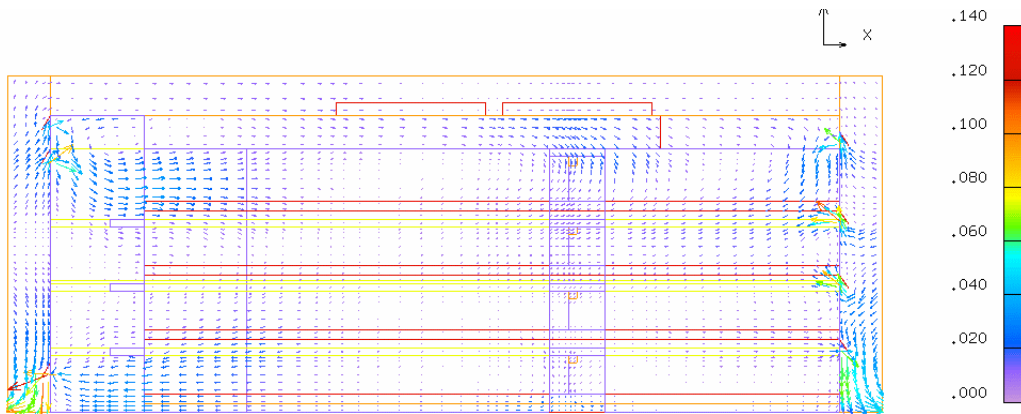


Bild 5 Vektordarstellung der Luftströmungen, geöffnete Fassaden, Ost-West Richtung

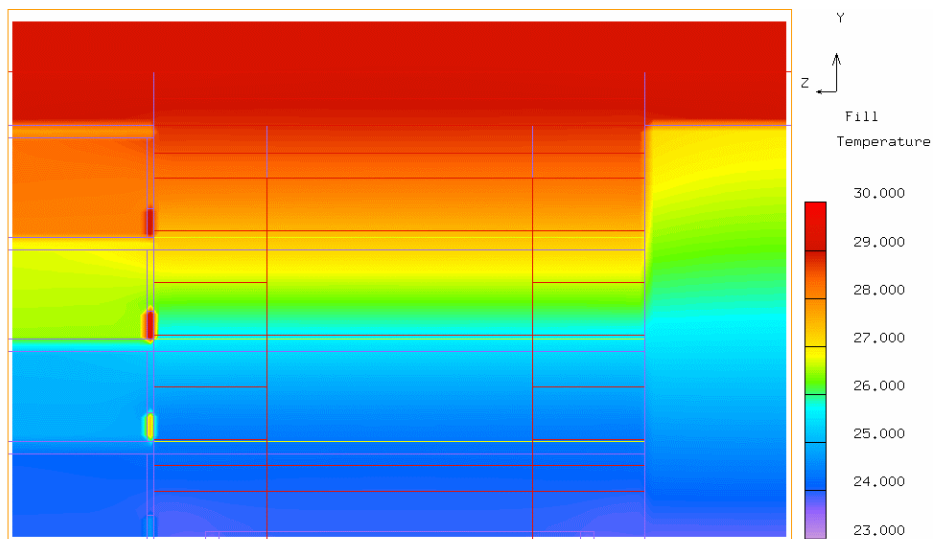


Bild 6 Temperaturdarstellung, geschlossene Fassaden, Nord - Süd Richtung

Durch die oberen Fensteröffnungen (Bild 5) der Ostfassade strömt Außenluft in den Hof ein. Dieser Luftstrom dringt ca. 17 m tief in das Gebäude ein. Diese Luft fällt langsam nach unten, kehrt um und strömt durch die untere Fensteröffnung der Ostfassade wieder aus.

Auf der Westseite dringt durch die oberen drei Fensteröffnungen Außenluft in den Hof. In der Höhe von etwa 9 m strömt diese Luft ca. 18 m tief in das Gebäude ein. Ein Teil der Luft fällt dabei wie auf der Ostseite langsam nach unten, kehrt um und strömt durch die unteren Fensteröffnungen der Westfassade wieder raus. Die restliche Luftmenge des Luftstroms wird nach oben gelenkt und bildet eine bis unter das Dach reichende 6 m hohe Luftwalze. Innerhalb dieser Walze dringt die Luft langsam nach außen, also nach Norden und Süden, und strömt durch die Öffnungen im Dach nach außen.

Es bilden sich keine lokalen turbulenten Verwirbelungen. Es treten keine Luftgeschwindigkeiten oberhalb der Behaglichkeitsgrenze von 0,2 m/s auf. Es stellt sich ein Gesamtluftwechsel von LW 1,3 h⁻¹ ein.

2.2.2 Luftaustausch mit den Büros

In dieser Variante sind alle Fassadenöffnungen geschlossen. Auf dem Boden befindet sich eine 0,4 m hohe U-förmige Begrenzung eines Grünbeetes. In dieser Begrenzung befinden sich jeweils zu den Bürogebäuden gerichtete vertikale Zuluftöffnungen. Der Gesamt-Zuluftvolumenstrom beträgt 5280 m³/h, genau wie die Summe der Abluftvolumenströme. Die Zulufttemperatur liegt bei 23,8 °C.

Die Strömungssituation ist aufgrund der Fassadenöffnungen hauptsächlich im Randbereich interessant. In der Raummitte kann angelehnt an die dargestellte Situation von einer laminaren, von weniger Störfaktoren beeinflussten Luftströmung ausgegangen werden.

Die Lufttemperaturen der unteren drei Büroräume (Bild 6) entsprechen der jeweiligen Lufttemperatur des Hofes in den mittleren Geschosshöhen. Das oberste Büro liegt leicht oberhalb der Lufttemperatur des Hofes in der entsprechenden Höhe. Die geringen Luftgeschwindigkeiten mit einem Gesamt-Luftwechsel von LW 0,7 h⁻¹ im Hof werden bestätigt. In den Büroräumen treten keine Luftgeschwindigkeiten oberhalb der Behaglichkeitsgrenze auf.

In den unteren drei Büros strömt die Luft jeweils an der Ober- und Unterkante des offenen Fensters in die Räume. Der obere Luftstrom fließt unter der Decke entlang zur Abluftöffnung. Der untere Luftstrom strömt über den Fußboden zur Wand, steigt dort auf und bildet eine Walze. Im obersten Büro strömt Luft nur durch den oberen Teil des Fensters in das Büro. Dieser auch in den anderen Büroräumen vorhandene Luftstrom wird verstärkt durch die natürliche Luftwalze, die sich oberhalb beider Bürogebäude ausbildet. Die Luft strömt unter der Wand entlang zur gegenüber liegenden Wand, fällt herab und strömt zurück Richtung Fenster.

3 Feuchtetechnische Untersuchungen in den Grünhöfen

Das in der Vorplanung berücksichtigte Lüftungskonzept basiert auf einer Frischluftversorgung verschiedener Bürobereiche über die Grünhöfe. Die geplante intensive Begrünung in diesem Bereich verursacht zusätzliche hohe Feuchtelasten infolge der Bewässerung/Verdunstung. Die freigesetzten Feuchtemengen unterliegen jahreszeitlichen Schwankungen und erreichen im Sommer ein Maximum.

Die in den Bürobereichen anfallenden Wärmelasten sollen mit Kühldecken abgeführt werden. Die Leistungsfähigkeit von Kühldecken wird jedoch im wesentlichen durch die Raumlufftfeuchte begrenzt. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Feuchteentwicklung in den Grünhöfen, sowie deren Einfluß auf das Raumklima in den Bürobereichen zu bestimmen.

Abhängig von den zu erwartenden Luftwechselraten kann unter Berücksichtigung der Außenluftkonditionen und der Verdunstungsmenge die relative Raumlufftfeuchte in den Grünhöfen, die Zuluft der Bürobereiche, berechnet werden.

3.1 Entwicklung der relativen Raumlufffeuchte in den Lichthöfen

Die absolute Raumlufffeuchte kann in Abhängigkeit von Zuluftparametern, Verdunstungsmenge und Luftwechsel näherungsweise mit folgendem Ansatz der Massebilanz berechnet werden:

$$m_{\text{H}_2\text{O,ab}} = m_{\text{H}_2\text{O,zu}} + m_{\text{H}_2\text{O,Verdunstung}} \quad x_i = x_a + \frac{m_{\text{H}_2\text{O, Verd}}}{V_{\text{LW}}}$$

Die Verdunstungsmenge kann mit folgendem Ansatz abgeschätzt werden:

$$m_{\text{H}_2\text{O,Verdunstung}} = \sigma * \Delta p_{\text{H}_2\text{O}} \epsilon A$$

Verdunstungsfaktor und die Verdunstungsfläche A sind von der Vegetation abhängig und damit nicht exakt bestimmt. Für den Extremfall, $p_{\text{max}} = 1,2 \text{ kPa}$, muß nach Aussage des Grünflächenplaners mit einer Bewässerungsmenge von $2,5 \text{ l/m}^2\text{d}$ gerechnet werden. Durch die lineare Abhängigkeit zum Partialdruckgefälle kann daraus ein Verdunstungskoeffizient von $\sigma = 13 \text{ [kg/m}^2\text{h]}$, bezogen auf die Differenz der absoluten Luftfeuchte (xi) und der Feuchtegehalt der Grenzschicht an der Verdunstungsfläche (xo) ermittelt werden:

$$x_i = \frac{x_a + x_0 + \left[\frac{\sigma * A}{rL * V * n} \right]}{1 + \left[\frac{\sigma * A}{rL * V * n} \right]}$$

$x_{0,\text{max}} = x_s (\vartheta_i)$ entspricht der feuchten Oberfläche

$x_{i,\text{min}} = x_s (\vartheta_i = 30^\circ\text{C}, \phi = 50\%)$

In der Wetterlastfallrechnung werden folgende Extremklimata berücksichtigt.

1. schwülwarmer Sommertag, bewölkt, während der Bewässerungsphase
2. warmer Sommertag, bedeckt, während der Bewässerungsphase
3. kalter Wintertag, sonnig, während der Bewässerungsphase
4. Nacht, Übergangszeit, während der Bewässerungsphase

Wetter-Lastfall	ϑ_a [°C]	ϕ_a [%]	x_a [g/kg _{Luft}]	ϑ_i [°C]	ρ_L [kg/m³]	x_o [g/kg _{Luft}]	Luftwechselzahl n [1/h]			
							0,50	1,00	3,00	5,00
							ϕ_i [%]			
1,00	25,00	85,00	20,50	26,00	1,20	22,00	97,00	96,00	94,50	94,00
2,00	20,00	50,00	7,40	22,00	1,20	17,00	77,00	67,00	54,50	51,00
3,00	-10,00	70,00	1,00	6,00	1,10	6,00	56,00	nur minimaler Luftwechsel		
4,00	10,00	75,00	5,90	10,00	1,10	7,70	88,00	nur minimaler Luftwechsel		

Tabelle I Abschätzungen der Feuchteentwicklung in den Grünhöfen

Bereits bei Außentemperaturen über 18°C stellt sich in den Grünhöfen aufgrund der geplanten üppigen Vegetation eine sehr hohe Luftfeuchte ein. Auch bei einer größtmöglichen Luftwechselrate ist dieser "Gewächshauseffekt" nicht zu verhindern.

Wetterfall 3 zeigt die Möglichkeit eines Tauwasserausfalls an der Verglasung und der Fassadenkonstruktion im Bereich von Wärmebrücken. Wasser tropft hierbei vom Glasdach in den Lichthof ab.

3.2 Entwicklung der relativen Raumlufffeuchte in den Büros

Das Konzept sieht eine Kühlung der Bürobereiche durch den Einsatz von Kühldecken vor. Daraus resultieren Einschränkungen an die Oberflächentemperaturen und damit an die Leistung des Systems.

Unter Berücksichtigung geminderter Feuchtelasten (50%) in den Grünhöfen liegt die relative Raumlufffeuchte in den Grünhöfen an Tagen mit Kühlbedarf im Bereich von 75%. Die Kühlleistung der Decken wird dadurch auf folgenden Wert beschränkt:

$$P_{\text{Kühlung}} = \alpha \cdot A \cdot [\vartheta_i - \vartheta_{\text{Taupunkt}}] \quad \text{mit} \quad \alpha = 7,7 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \quad \vartheta_i = 26^\circ\text{C} \quad \vartheta_{\text{Taupunkt}} = 23^\circ\text{C}$$

Die flächenbezogene Leistung der Kühldecke wird damit durch die hohe relative Feuchte der Zuluft aus den Grünhöfen auf ca. 20 W/m², bei üblichem Leistungsansatz von 75 W/m² beschränkt.

3.3 Auswirkungen auf das Lüftungskonzept

Die Begrünung der Grünhöfe bedingt einen erhöhten Feuchtegehalt der Luft. Diese kann deshalb nicht zur Frischluftversorgung der Büroräume genutzt werden.

Um den energetischen und optischen Vorteil der offenen Glasarchitektur im geplanten Umfang nutzen zu können, ist eine Umkehr des Lüftungskonzeptes erforderlich. Die Frischluftversorgung der Büros erfolgt über eine zentrale Zuluftanlage. Die Abluftentsorgung erfolgt über die Lichthöfe.

4 Thermisches und hygrisches Verhalten

Im Folgenden soll das thermische und hygrische Verhalten der Fassaden zum Grünhof untersucht werden. Dabei werden die in der Klimasimulationsberechnung ermittelten Klimata in den Höfen und Büros als Außen- bzw. Innenklima für die Berechnung angesetzt.

4.1 Grundlagen des Programms

Im Gegensatz zur rein stationären, diffusionstechnischen Berechnung eines Bauteils nach DIN 4108 können mit dem thermischen und hygrischen Simulationsprogramm WUFI der Fraunhofer Gesellschaft -Institut für Bauphysik- auch instationäre, sorptive und kapillarleitende Prozesse berücksichtigt werden.

Hierbei werden als Randbedingungen der Berechnung die meteorologischen Daten wie Temperatur, Strahlung, Regen/Schlagregen, relative Luftfeuchte nach eigenen Angaben oder nach Testreferenzjahren auf das Bauteil bezogen. Die Raumklimadaten, Temperatur und relative Feuchte, werden auf das Bauteil aufgebracht und die Feuchteentwicklung im Bauteil während einer oder mehrerer Jahresperioden dargestellt. Konvektive Einflüsse

könne jedoch nicht dargestellt werden, da diese meist schwer zu erfassen und selten ein-dimensional sind.

Für die Simulation wurden die Klimaparameter der Berechnungsergebnisse der Klimasimulationsrechnung über den Berechnungszeitraum von 4 Jahren angesetzt.

Im Nachfolgenden werden die zu beobachtenden Effekte beschrieben:

Schicht	Wassergehalt		Bemerkung
	[kg/m ³]	[M-%]	
Funierschichtholz zum Hof	40-79	10-19.7	Jahreszeitliche Schwankungen von $\Delta u = \pm 5\%$
Gipskartonplatte zu den Büros	2.5-10.5	0.2-1.2	Geringe jahreszeitliche Schwankungen

Tabelle II Feuchtetechnische Berechnungen der Fassaden zum Grünhof

Die Berechnungen haben gezeigt, daß die Baustoffe ihren Feuchtehaushalt gemäß der anliegenden Luftfeuchten regeln.

In der Holzschicht liegen die jahreszeitlich Schwankungen des Wassergehalts bei $\Delta u = \pm 5$ M-%. Der maximale Wassergehalt liegt bei $u = 19.7$ M-% und damit unterhalb der nach DIN 68800 geforderten Größe von $u \leq 20$ M-%.

Der Wassergehalt in der Gipskartonplatte schwankt zwischen 0.2 und 1.2 M-% und liegt im Bereich der Ausgleichsfeuchte.

5 Tageslichttechnische Berechnungen

Hinsichtlich der großen Verglasungsflächen mußte aus Gründen des sommerlichen Wärmeschutzes eine Sonnenschutzverglasung geplant werden. Hieraus resultiert eine Reduzierung der Tageslichtausleuchtung für die Pflanzen sowie in den Büros.

5.1 Anforderungen

Tageslicht in den Büros: Für Arbeitsräume sollte nach DIN 5034 eine ausreichende Helligkeit durch Tageslicht erreicht werden. Der Tageslichtquotient sollte auf einer waagerechten Bezugsebene in 0.85 m Höhe über dem Fußboden in halber Raumtiefe und in 1 m Abstand von den beiden Seitenwänden die folgenden Werte einhalten ≥ 0.9 % im Mittel, ≥ 0.75 % am ungünstigeren dieser Punkte.

Künstliches Licht in den Büros: Nach DIN 5035 und Arbeitsstättenrichtlinie ist für Büroräume mit tageslichtorientierten Arbeitsplätzen ausschließlich in unmittelbarer Fensternähe eine Nennbeleuchtungsstärke von $E_n = 300$ lx erforderlich.

Lichtverhältnisse für die Pflanzen: Für Pflanzen werden Anforderungen an den Lichtanspruch gestellt. Dabei ist vorrangig die für die Photosynthese aktive Strahlung im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 720 nm von Bedeutung. Diese Strahlung wird auch PAR (= Photosynthetic Active Radiation) Strahlung genannt.

Für Pflanzen in Grünhöfen ist weniger eine hohe Stoffproduktion als vielmehr der Erhalt und der minimale Zuwachs der Pflanze wünschenswert. Nach Hoffmann [3] wird für die erforderliche Strahlungsstärke die folgende Einteilung getroffen:

- Pflanzenarten mit geringen Lichtansprüchen 2 W PAR/m² (500 lx)
- Pflanzenarten mit mittleren Lichtansprüchen 4 W PAR/m² (1000 lx)
- Pflanzenarten mit hohen Lichtansprüchen 6 - 8 W PAR/m² (1500 - 2000 lx)
- Pflanzenarten mit sehr hohen Lichtansprüchen 10-12 W PAR/m² (2500 - 5000 lx)

Verglasungsart: Für die Verglasung der vertikalen Außenwandflächen und im Dachbereich wurde eine Sonnenschutzverglasung angesetzt. Die Innenfassade erhält eine Isolierverglasung. Die Kennwerte für die Sonnenschutzverglasung, Interpane -ipasol natura 66/34- betragen $\tau = 0.66$ für die Verglasung zwischen Büro und Hof $\tau \sim 0.80$.

Oberflächen: Die lichttechnischen Eigenschaften der Oberflächen wurden den Baustoffen entsprechend angegeben.

5.2 Beleuchtungsstärke bedeckter Himmel

Es wurde die Beleuchtungsstärke im Hof für den Bereich der bodendeckenden Pflanzen, in einer Höhe von 0.80 m und für die Baumkronenhöhe von 8.0 m bestimmt, die sich infolge eines bedeckten Himmels einstellt. Die Beleuchtungsstärke ist dabei für den 15. eines jeden Monats in [klx] angegeben. Um die für die Pflanzen typische Kenngröße von [W PAR/m²] zu erhalten, werden die Beleuchtungsstärken mit dem Faktor 4 multipliziert. Die monatlichen minimalen und maximalen Beleuchtungsstärken sind für einen Tag um 12.00 Uhr für die Ebenen 8.0 m im Jahresverlauf aufgezeigt.

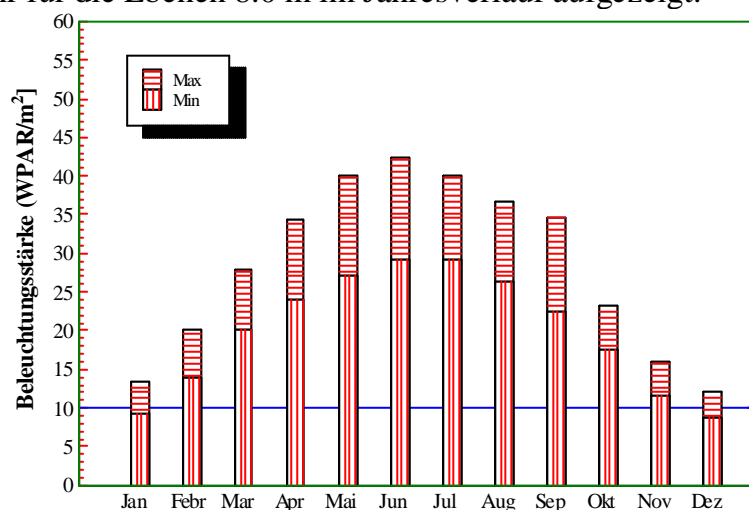


Bild 7 Minimale und maximale Beleuchtungsstärken im Hof (h = 8.0 m) für den 15. eines Monats

Die minimalen Beleuchtungsstärken ergeben sich in der Nähe des eingestellten Büros im Ostteil des Hofes, die maximale Beleuchtung befindet sich im Bereich der Hof - Westseite. Für die Ebene von 0.8 m zeigt sich, daß der Grenzwert von 10 W PAR/m² für sehr hohen Lichtanspruch im Ostteil des Hofes von November bis Februar, an der Westseite nur im Dezember unterschritten wird. In 8.0 m Höhe wird der Grenzwert geringfügig an

3 S. Hoffman, Beurteilung von Wärme- und Sonnenschutzgläsern hinsichtlich ihrer Eignung für die Innenraumbegrünung; Gartenbautechnische Informationen Heft 45, Institut für Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover

der Ostseite des Pflanzenbeetes unterschritten, in Hofmitte und an der Ostseite ist die Grenzgröße von 10 W PAR/m² eingehalten.

5.3 Lichtverhältnisse in den Büros

Für die lichttechnische Untersuchung in den Büros wurden die ungünstigsten Räume im EG (Ebene 0), je ein Nord- und ein Süd-Raum betrachtet. Der Tageslichtquotient D nach DIN 5034 wurde für die Büroräume für einen bedeckten Himmel in einer Höhe von h = 0.85 m bestimmt.

Es berechnen sich die Tageslichtquotienten für das Büro SÜD und NORD zu 0,5 %. Die Ergebnisse zeigen, daß der erforderlichen Werte von 0.75 % bzw. 0.9 % in den untersuchten Büros aufgrund der Geometrie und Bepflanzung **nicht** eingehalten werden. Der erforderliche Tageslichtquotient von 0.9 % in den Büros wird in Abhängigkeit von der Hoftiefe ab einer Höhe von 2.0 m bis 4.5 m erreicht, d.h. in der Ebene 0 erhält nur das erste Büro an der Westseite eine ausreichende Tageslichtbeleuchtung. In Ebene -2 verfügen alle Büros über ein ausreichendes Tageslichtangebot.

5.4 Diffuses Tageslicht

Hierbei wird die auftreffende Tageslichthelligkeit in [lx] bei einem bedeckten Himmel berechnet. Bezugsebene ist hier die Arbeitsfläche im Büro (h = 0.85 m).

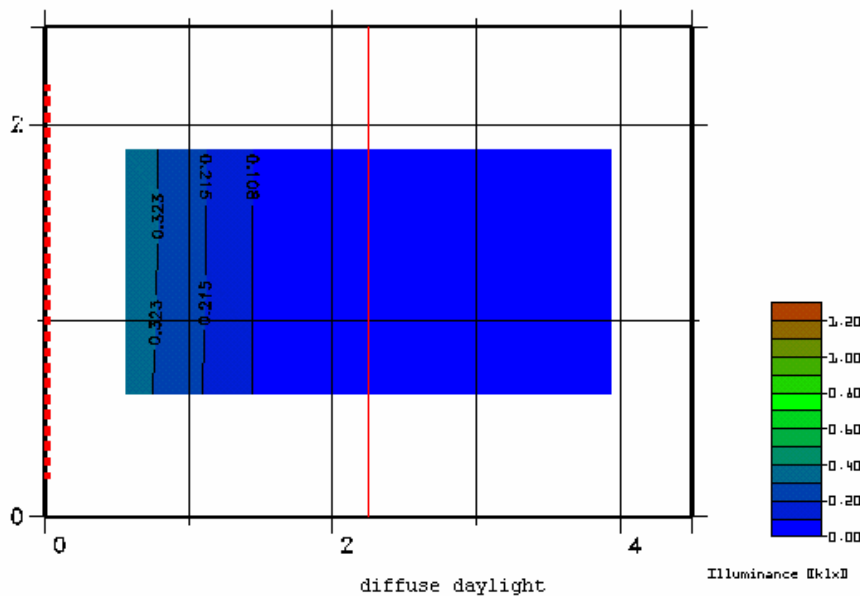


Bild 8 Verlauf Tageslichtstärke Büro EG – Nord

Für die Süd- und Nordbüros wurden über das Jahr die Raumtiefen ermittelt, bis zu der eine Beleuchtungsstärke von 300 lux vorhanden ist. Die Ergebnisse zeigen Büro SÜD = 0.8 (Jan) - 1.5 m (Juli), Büro Nord = 0.8 - 1.4 m.