

# Sunny Energy Building

ENERGYbase - Bürohaus der Zukunft

G. Rauhs, U. Schneider, A. Preisler

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**13/2009**

## **Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>  
oder unter:

Projektfabrik Waldhör  
Währingerstraße 121/3, 1180 Wien  
Email: versand@projektfabrik.at

# Sunny Energy Building

ENERGYbase - Bürohaus der Zukunft

DI Gregor Rauhs  
Wiener Wirtschaftsförderungsfonds/  
WWFF Business and Service Center GMBH

DI Ursula Schneider  
pos- architekten

Ing. Anita Preisler  
arsenal research

Wien, Juli 2008

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines beauftragten Projekts aus der Programmlinie *Haus der Zukunft* im Rahmen des Impulsprogramms *Nachhaltig Wirtschaften*, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde.

Die Programmlinie *Haus der Zukunft* intendiert, konkrete Wege für innovatives Bauen zu entwickeln und einzuleiten. Aufbauend auf der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus-Konzept soll eine bessere Energieeffizienz, ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, nachwachsender und ökologischer Rohstoffe, sowie eine stärkere Berücksichtigung von Nutzungsaspekten und Nutzerakzeptanz bei vergleichbaren Kosten zu konventionellen Bauweisen erreicht werden. Damit werden für die Planung und Realisierung von Wohn- und Bürogebäuden richtungsweisende Schritte hinsichtlich ökoeffizientem Bauen und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich demonstriert.

Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt dank des überdurchschnittlichen Engagements und der übergreifenden Kooperationen der Auftragnehmer, des aktiven Einsatzes des begleitenden Schirmmanagements durch die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik und der guten Kooperation mit der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft bei der Projektabwicklung über unseren Erwartungen und führt bereits jetzt zu konkreten Umsetzungsstrategien von modellhaften Pilotprojekten.

Das Impulsprogramm *Nachhaltig Wirtschaften* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert, aber auch elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# Inhaltsverzeichnis:

<b>1. KURZBESCHREIBUNG DES PROJEKTES</b> .....	<b>7</b>
1.1. MOTIVATION.....	7
1.2. INHALTE UND ZIELSETZUNGEN.....	7
1.3. METHODISCHE VORGEHENSWEISE .....	8
1.4. ERGEBNISSE .....	9
1.5. BRIEF DESCRIPTION OF THE PROJECT .....	10
<b>2. EINLEITUNG</b> .....	<b>12</b>
2.1. ALLGEMEINE EINFÜHRUNG IN DIE THEMATIK .....	12
2.2. BESCHREIBUNG DER VORARBEITEN ZUM THEMA .....	13
2.3. FOKUS/SCHWERPUNKTE DER ARBEIT .....	15
2.4. EINPASSUNG IN DIE PROGRAMMLINIE .....	16
2.5. KURZBESCHREIBUNG DES AUFBAUS DES ENDBERICHTS .....	16
<b>3. ZIELE DES PROJEKTES:</b> .....	<b>17</b>
3.1. BESCHREIBUNG DER ZIELE DIE IN DEM PROJEKT VERFOLGT WERDEN UND DARSTELLUNG, OB UND WIE DIESE ERREICHT WURDEN .....	17
<b>4. INHALTE UND ERGEBNISSE DES PROJEKTES:</b> .....	<b>21</b>
4.1. VERWENDETE METHODE UND DATEN .....	21
4.2. BESCHREIBUNG DES STANDES DER TECHNIK .....	29
4.3. BESCHREIBUNG DER NEUERUNGEN SOWIE IHRER VORTEILE GEGENÜBER DEM IST-STAND (INNOVATIONSGEHALT).....	30
4.4. BESCHREIBUNG DER PROJEKTERGEBNISSE .....	33
<b>5. DETAILANGABEN IN BEZUG AUF DIE ZIELE DER PROGRAMMLINIE:</b> .....	<b>38</b>
5.1. BEITRAG ZUM GESAMTZIEL DER PROGRAMMLINIE UND DEN SIEBEN LEITPRINZIPIEN NACHHALTIGER TECHNOLOGIEENTWICKLUNG .....	38
5.2. BESCHREIBUNG DER UMSETZUNGS-POTENZIALE FÜR DIE PROJEKTERGEBNISSE .....	39
<b>6. SCHLUSSFOLGERUNGEN ZU DEN PROJEKTERGEBNISSEN:</b> .....	<b>41</b>
6.1. WAS SIND DIE IN DEM PROJEKT GEWONNENEN ERKENNTNISSE FÜR DAS PROJEKTTEAM? .....	41
6.2. WIE ARBEITET DAS PROJEKTTEAM MIT DEN ERARBEITETEN ERGEBNISSEN WEITER? .....	43
6.3. FÜR WELCHE ANDEREN ZIELGRUPPEN SIND DIE PROJEKTERGEBNISSE RELEVANT UND INTERESSANT UND WER KANN DAMIT WIE WEITERARBEITEN? .....	44
<b>7. AUSBLICK/EMPFEHLUNGEN:</b> .....	<b>45</b>
7.1. WO LIEGEN DIE CHANCEN / SCHWIERIGKEITEN / RISIKEN BEI DER REALISIERUNG / UMSETZUNG IN RICHTUNG DEMONSTRATIONSPROJEKT? .....	45
7.2. EMPFEHLUNGEN FÜR WEITERFÜHRENDE FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSARBEITEN .....	45
<b>8. LITERATURVERZEICHNIS/ABBILDUNGSVERZEICHNIS/TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>46</b>
<b>9. ANHANG</b> .....	<b>46</b>
9.1. A1 SEB - ENDBERICHT DYNAMISCHE GEBÄUDESIMULATION-ARSENAL RESEARCH.DOC .....	46
9.2. A2 SEB - ENDBERICHT SIMULATIONEN PFLANZEBUFFER-ARSENAL RESEARCH.DOC.....	46
9.3. A3 SEB - ENDBERICHT STRÖMUNGSSIMULATION-ARSENAL RESEARCH.DOC .....	46





# 1. Kurzbeschreibung des Projektes

## 1.1. Motivation

Die Senkung des pro-Kopf-Verbrauchs an fossiler Energie und damit verbunden die Reduktion treibhausrelevanter Emissionen zählt zu den wichtigsten Herausforderungen unserer Gesellschaft zur Stärkung der Nachhaltigen Entwicklung. Damit die Attraktivität hoch-energieeffizienter Bauprojekte gesteigert wird, ist es wichtig, dass Demonstrationsobjekte vorhanden sind und hergezeigt werden können.

## 1.2. Inhalte und Zielsetzungen

Das vorliegende Projektvorhaben baut auf dem Forschungsprojekt „Sunny Research“ auf, in dem das Konzept eines sehr energieeffizienten Bürogebäudes entwickelt wurde. Darauf aufbauend wurde im Zuge dieses Projektes ein Bürogebäude, das sogenannte „ENERGYbase“, in einem integralen Planungsprozess gemeinsam mit ArchitektInnen, WissenschaftlerInnen und FachplanerInnen geplant und umgesetzt.

Das Gebäudekonzept basiert auf drei Säulen:

- Energieeffizienz
- Nutzung erneuerbarer Energieträger
- höchster NutzerInnenkomfort.



Abbildung 2 Foto ENERGYbase 2008 c. WWFF



Abbildung 1 Visual ENERGYbase Dez. 2006 c. WWFF

Bei der Entwicklung des vorliegenden Projektes wurde der vor allem im Wohnbau bereits bewährte Passivhausstandard am Typus eines Bürogebäudes angewandt. Erneuerbare Energie wird in Form von Erdwärme, und Solarenergie gewonnen.

Ein sehr wichtiger Aspekt des Projektes war das Energiemanagement. Untersucht wurde die Möglichkeit von Energiecontracting, wobei sich für dieses Projekt in Passivhausstandard herausstellte, dass statt Contracting vielmehr das Energiemanagement, das im Rahmen des Gebäudebetriebes durchgeführt wird, viel bedeutender für das Gebäude und seinen Energieverbrauch sind. Aus diesem Grund wurde an einem Konzept zur bestmöglichen Integration der speziellen Anforderungen des Energiemanagements in die Ausschreibung und in die Abwicklung des Gebäudebetriebes (Facility Managements) gearbeitet.

Ein Konzept zur Durchführung des Monitorings wurde von arsenal research erarbeitet, damit über eine lange Phase des Gebäudebetriebes die Funktionsweise überprüft und die Verbräuche an den richtigen Stellen gemessen werden. Daraus kann analysiert werden ob und wo es Potenziale zur Einsparung bzw. Verbesserung in den Haustechnikanlagen und auch im Facility Management gibt. Außerdem können Fehler oder auch Mängel im Betrieb erkannt und behoben werden

### **1.3. Methodische Vorgehensweise**

Die planlichen Voraussetzungen für die Umsetzung des Projektes ENERGYbase wurden im Zuge eines integralen Planungsprozesses von einem Team von mehr als 10 verschiedenen Planern und Konsulenten gemeinsam erarbeitet. In enger Zusammenarbeit von Architekt, Haustechnikplaner, Simulation und speziellen Konsulenten für die Themen Licht, Innenbegrünung, Grundwassernutzung, etc. wurde die Basis für dieses Innovative Projekt geschaffen. In normalen Planungsprozessen wird zuerst ein unabhängiger Gebäudeentwurf entwickelt, der dann von den Konsulenten für Passivhaustechnik und Bauphysik optimiert wird. Dabei wird jedoch die Grundkonzeption üblicherweise nicht in Frage gestellt, sondern lediglich Fenstergrößen verändert, Dämmstärken optimiert und mögliche Fassadenflächen für aktive Solarnutzung festgelegt. Bei energy base gab es von Anfang an u.a. die gemeinsamen Ziele, die Energie der Sonne maximal auszunutzen und mit Pflanzen die Luft zu befeuchten. Hier haben die Architekten die Angaben der Ingenieure hinsichtlich optimaler Neigung, Orientierung und Fläche der solaren Komponenten und optimaler Standorte für die Pflanzen in einen konsequenten Entwurf umgesetzt, der diese Parameter mit städtebaulichen und funktionalen

Kriterien zu einer nachhaltigen Einheit zusammensetzt. Diese Methode der integralen Planung ist für eine maximale Optimierung der Energieeffizienz unerlässlich.

#### **1.4. Ergebnisse**

Das Projekt ENERGYbase wurde im Juni 2008 fertig gestellt und ist seit Juli 2008 in Betrieb. Im Zuge der Arbeiten wurden wichtige Erkenntnisse über die einzelnen Technologien sowie deren Kombinationsfähigkeit gewonnen. Unter anderem wurden neue Erkenntnisse zu dem Thema Integration von Pflanzen in ein haustechnisches System in Form von Grünpuffern generiert.

Grundsätzlich konnte durch die Kombination unterschiedlichster Maßnahmen eine Energieeinsparung von ca. 80 % und eine Reduktion von ca. 200t/a CO<sub>2</sub> Emissionen gegenüber einem konventionellen Gebäude erreicht werden.

## 1.5. Brief description of the project

According to sustainable development one of the most vital challenges of our society is to reduce greenhouse gas emissions and decrease per capita consumption of fossil energy. In order to increase popularity of highly energy-efficient construction projects it is essential to have available reference projects.

This construction project relates to “sunny-research”, a research-project which has developed a concept of a highly energy-efficient office building. Based on “sunny-research” an office building called “ENERGYbase” was planned and initiated together by architects, scientists and specialist consultants in an integral planning process.

The building concept emphasises three cornerstones:

- ➔ Energy efficiency
- ➔ Application of renewable energy sources
- ➔ Highest level of comfort for occupants



ENERGYbase is an outstanding building due to its innovative architecture, advanced building technologies and the highest possible level of user comfort. The particularly low, cost-saving energy consumption in line with the passive house standard is completely covered by renewable, ecologically sustainable energy sources. ENERGYbase is exemplary in its ability to harmonize economic and ecological considerations in the construction of state-of-the-art office and commercial real estate.

Three main principles serve as the underlying basis for the passive house concept: insulation against the loss of heat, air-tightness, and controlled ventilation with heat recovery. The passive house standard is designed to achieve a higher level of building quality and greater user comfort with the least possible energy consumption and burden on the environment. ENERGYbase will serve as a reference project highlighting the compatibility of ecological and economic considerations in the construction of state-of-the-art commercial and office properties.

One of the innovative features of ENERGYbase is the exclusive use of renewable energies. The passive house standard makes it possible to keep energy

requirements at a particularly low level. The generated geothermal energy completely covers all heating and cooling needs. Furthermore, a 400m<sup>2</sup> photovoltaic facility located on the folded south facade of the building will also supply part of the total electricity requirements. The passive application of solar energy will also be implemented at ENERGYbase.

An innovative ventilation concept enables the integration of solar energy in summertime by means of solar cooling (solar sorption supported air conditioning), as well as the use of plants to ensure ecologically-friendly, controlled humidification in winter.

## 2. Einleitung

### 2.1. Allgemeine Einführung in die Thematik

Im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“ [www.hausderzukunft.at](http://www.hausderzukunft.at) des Impulsprogramms „Nachhaltig Wirtschaften“ (Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie) wurde vom Forschungsinstitut arsenal research und den Architekten pos architekten ZT KEG ein Gebäude- und Energiekonzept mit dem Titel „Sunny Research“ für ein modernes Gewerbegebäude erarbeitet.

Das Konzept beruht darauf, den Energieverbrauch zu minimieren, den verbleibenden Energiebedarf zum größten Teil durch Erneuerbare Energien im Gebäude zu decken, und dabei dem Nutzerkomfort einen deutlich höheren Stellenwert einzuräumen, als dies in konventionellen Bürogebäuden der Fall ist. Im Vergleich zu konventionellen Gebäuden sollte eine Energieeinsparung im Bereich von ca. 80% realisiert werden und die Komfortbedingungen für die Nutzer deutlich verbessert werden. Um dieses Ziel zu erreichen, werden zahlreiche Maßnahmen miteinander kombiniert. In mehreren Varianten wurde die Wirkweise der verschiedenen Maßnahmen in ihrer Kombination betrachtet, die Vor- und Nachteile analysiert, und daraus ein sinnvolles Gesamtmaßnahmenpaket zusammengesetzt.

- Hoher Dämmstandard (Gebäudehülle hat Passivhausstandard, hinsichtlich dämmung, Luftdichtigkeit und Wärmebrückenvermeidung)
- Verwendung energieeffizienter Bürogeräte und Systeme
- Wärme und Feuchterückgewinnung aus der Abluft
- Pflanzenpufferräume zur Luftfeuchteconditionierung
- Passive Solarnutzung für Beheizung und Belichtung
- Passive Kühlmaßnahmen durch Nachtlüftung und Bauteileaktivierung
- Photovoltaiknutzung mit gleichzeitiger Verwendung als Beschattung, und Eigenverschattung
- Thermisch aktive Decken zur Abdeckung des Restwärme und Kältebedarfes
- Grundwasserwärmepumpen für Heizung und Kühlung sowie
- Pufferspeicher für Spitzenlast

Die Erfahrungen werden von den Projektbeteiligten in zahlreichen Workshops und Vorträgen weitergegeben. Schon jetzt ist erkennbar, dass das Projekt ENERGYbase als Vorreiter einer neuen Generation von Büroimmobilien fungiert. Die zahlreichen Baustellenführungen sowie das große mediale Interesse zeigen, dass das Thema

der Energiereduktion sowie der Reduktion von CO2 Emissionen im Gebäudebereich in den nächsten Jahren an großer Bedeutung gewinnen wird. Die einzelnen Technologien, deren Kombination und die konsequente Umsetzung in eine zeitgemäße, nachhaltige Architektur im Projekt ENERGYbase, sind für die gesamte Immobilienbranche zukunftsweisend und bei den öffentlichen Veranstaltungen rund um das ENERGYbase ist auch das Interesse an den verwendeten Technologien und der Wirkung im Innenraum sehr groß.

## **2.2. Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema**

### **2.2.1. Vorbereitungsphase**

von Jänner 2004 bis Oktober 2005

Die sorgfältige Klärung des Projektumfeldes sowie der Möglichkeiten zu seiner Durchführung beanspruchten aufgrund des kostenintensiven Vorhabens und seiner Pionierwirkung wesentliche Zeitressourcen. Immer wieder waren Treffen der Projektbeteiligten dadurch nötig, dass aufgrund der laufend gewonnenen neuen Erkenntnisse technisch-administrativer und fachlicher Art die weitere Vorgangsweise dementsprechend angepasst werden sollte.

Da dieses Projekt einerseits auf der Haus-der-Zukunft-Studie „Sunny Research“ von arsenal research und pos architekten aufbaut, aber auch auf anderen Aktivitäten und Erfahrungen, befindet sich das Projekt zwar in einem sehr befruchtendem, aber komplexen Projektumfeld.

### **2.2.2. Konzeptphase**

von Oktober 2005 bis März 2006

Am Startworkshop im Oktober 2005 wurde die Vorgangsweise zur Projektabwicklung festgelegt und die weiteren Arbeitsschritte bestimmt.

In der Konzeptionsphase wurden einerseits die möglichen Planungsprozesse und –methoden recherchiert und diskutiert und andererseits die Erfahrungen aus der Studie „Sunny Research“ in das Konzept für das vorliegende Projekt eingearbeitet. Dabei wurden grundlegende Weichenstellungen für das Projekt diskutiert und in weiterer Folge beschlossen.

Die in der Anfangsphase des Projektes erhobenen Informationen über ähnliche Projekte wurden ins Konzept des vorliegenden Projektes und in die Planung einbezogen.

Die folgenden Monate waren geprägt von der Diskussion rund um das inhaltliche Konzept für das „Sunny Energy Building“. Dazu wurden Best Practice Workshops abgehalten, bei denen Vorzeigebispiele vorgestellt und besichtigt wurden und die Einsetzbarkeit im Zusammenhang mit dem „Sunny Energy Building“ diskutiert wurden.

Daneben wurden auch unterschiedliche Möglichkeiten der Planungsmethode bzw. der frühzeitigen Einbindung von Fachplanern (in dieser Phase vor allem Haustechnikplaner) in die Konzeptphase überlegt.

Mit Abschluss und Freigabe des Vorentwurfs endete die Konzeptphase

### **2.2.3. Planungsphase**

seit März 2006 – Projektende

Nachdem die Haus- und Energietechnik eine zentrale Rolle im Projekt „Sunny Energy Building“ spielt, erfolgte sehr rasch die Ausschreibung für die Haustechnikplanung.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der frühen Planungsphase ist die Sichtung von Möglichkeiten mittels Contracting die Energiesysteme für das Gebäude erstellen und betreiben zu lassen.

Ab Frühjahr 2006 wurde die Planungsarbeit seitens Architektur und Haustechnik durch die Simulationsarbeiten von arsenal research begleitet. Es wurden neben TRNSYS (Transient System Simulation) und CFD Simulationen (Computational Fluid Dynamics - Strömungssimulation) auch umfangreiche Simulationen für die Grünpufferräume durchgeführt.

### **2.2.4. Bauphase**

→ Mai 2007 bis Projektende

Mit den Bauarbeiten wurde noch im Mai 2007 begonnen. Laufende Überwachung des Baufortschrittes findet durch die mit der örtlichen Bauaufsicht beauftragte AR-GE KWI Engineers Consulting GmbH – RWT plus ZT GmbH statt. Für die laufende Koordination des Projektfortschrittes finden wöchentlich Baubesprechungen vor Ort statt, an denen der Bauherr sowie sämtliche Konsulenten teilnehmen.

Die Bauarbeiten liegen innerhalb des Zeitplanes so konnte unter anderem bis 24.10. 2007 der Rohbau mit Fertigstellung der letzten Geschossdecke innerhalb des pönanalisierten Termins fertig gestellt werden.



## 2.3. Fokus/Schwerpunkte der Arbeit

### → Einsatz von Pflanzen zur natürlichen Raumklimatisierung - Grünpuffer

Der Innenraumkomfort ist neben der operativen Raumlufttemperatur und Raumluftgeschwindigkeiten sehr stark von der Raumluftfeuchte abhängig. Diese sollte in Büroräumen in einem Bereich zwischen 40-60% relative Luftfeuchte liegen, was bei den gegebenen klimatischen Bedingungen am Standort der ENERGYbase (wie für Mitteleuropa typisch) bedeutet, dass dieser Wert von Oktober bis April zumeist unterschritten wird. Die Raumluft in Bürogebäuden einfachen und mittleren Standards wird heute zumeist nicht befeuchtet, was eine extrem niedrige Luftfeuchtigkeit in Bürogebäuden im Winter zur Folge hat. In Gebäuden mit hohem Standard, in denen die Luft auch feuchtetechnisch behandelt wird, wird als Energieträger für diese Befeuchtung Strom eingesetzt. In der ENERGYbase übernehmen Pflanzenpuffer diese Funktion und nutzen die natürliche Feuchteabgabe von Zyperngras zur Zuluftbefeuchtung. Die Pflanzenpuffer haben neben dieser Funktion aber auch eine sehr wesentliche raumgestaltende Funktion im Innenraum und prägen das äußere Erscheinungsbild der ENERGYbase. Der Strombedarf zu Luftbefeuchtung kann durch die Pflanzenpuffer stark reduziert werden, wobei der Aufwand zur Bewässerung der Pflanzen, die adaptierte Luftführung der Lüftungsanlage und die im Hochwinter für einen Teil der Pflanzen stundenweise eingesetzte Pflanzenbeleuchtung entgegen zu rechnen ist. Die tatsächliche Stromeinsparung wird anhand des Monitoring im Betrieb evaluiert.

### → Aktive und Passive Solarenergienutzung mittels konstruktiver Südfassade

Die gefaltete Südfassade ist eine gestalterische Symbiose von maximalem solarem Ertrag für die aktiven Komponenten PV und Solarthermie, gutem passiven Ertrag über die Fenster, maximaler Tageslichtausbeute und guter sommerlicher Verschattung. Die Fassade bildet die Unterkonstruktion für die PV-Elemente die mit ca. 12 cm Abstand montiert sind und hinterlüftet sind, ebenso für die thermischen Kollektoren in der obersten Reihe, die jedoch in die thermische Hülle des Gebäudes integriert sind und so minimale Wärmeverluste haben. Die Neigung der Flächen ist hinsichtlich des Gesamtertrages optimiert.

Die Faltung bewirkt einerseits, dass sich die Fassade im Sommer zunehmend selbst verschattet und kein direktes Sonnenlicht mehr in die Räume gelangt, andererseits bewirkt die Schrägneigung des Fensterglases eine zusätzliche Verringerung des Eintrages im Sommer. Die Fassade weist somit im Sommer ohne außen liegenden Sonnenschutz ähnliche Eigenschaften hinsichtlich des solaren Eintrages in die

Räume auf wie eine Nordfassade. Durch die Hochlage der Fenster kann das Tageslicht weit in die Räume dringen und ist in der Lage, auch die Mittelzone des Gebäudes über großzügige innere Verglasungen sehr gut zu belichten. Direkt hinter der gefalteten Fassade befindet sich ein Blendschutz aus gelochten Lamellen und im oberen Bereich die Abluft für das gesamte Geschoss. Dies bewirkt, dass aufgewärmte Luft hinter der Fassade direkt in die Abluft geführt wird und nicht in die Raumtiefe gezogen wird. Diese warme Luft steht somit an sonnigen Wintertagen (über den Wärmetauscher geführt) der gesamten Zuluft und damit auch den nordseitigen Räumen zur Verfügung. Die Lochung der Blendschutzlamellen gewährleistet einen moderaten Tageslichteinfall auch in geschlossenem Zustand und vermeidet so die Verwendung von Kunstlicht am Sommertag.

#### **2.4. Einpassung in die Programmlinie**

Seitens des Projektkonsortiums wurden die Erkenntnisse aus folgenden 3 Projekte direkt im Projekt ENERGYbase umgesetzt:

- Mit dem Projekt ENERGYbase wurden Ergebnisse des Forschungsprojektes HdZ: Sunny Research demonstriert und realisiert.
- Weiters wurde erstmals im Bürobau der im Projekt HdZ: themenwohnen musik entwickelte Pflanzenpufferraum in für Bürogebäude adaptierter Form zur Anwendung gebracht

#### **2.5. Kurzbeschreibung des Aufbaus des Endberichts**

Der Endbericht zu dem Realisierungsprojekt ENERGYbase fasst alle Aspekte des Projektes von der Konzeptphase bis zur Fertigstellung der Immobilie zusammen. Insbesondere soll aber auf die Themen Grünpufferräume sowie gefaltete Südfassade besonderes Augenmerk gelegt werden.

## **3. Ziele des Projektes:**

### **3.1. Beschreibung der Ziele die in dem Projekt verfolgt werden und Darstellung, ob und wie diese erreicht wurden**

Grundsätzlich lassen sich die Ziele des Projektes wie folgt in drei Kategorien differenzieren. Wirtschaftliche – Gesellschaftliche – Ökologische

#### **Wirtschaftlich**

Das entwickelte Gebäudekonzept soll als Vorzeigeprojekt derzeit Machbares veranschaulichen und bei Kunden aus Industrie und Gewerbe als Imagestärkung innovativer, energieeffizienter Büro/Gewerbegebäude wirken.

Durch das fertig gestellte Gebäude werden Impulse für weitere energieeffiziente Industrie-, Gewerbe-, Büro- und Institutsgebäude gesetzt. Die verwendeten Technologien werden durch den Einsatz in diesem Konzept als zukünftige wesentliche Funktionsträger in der Energieversorgung von Gebäuden unter Beweis gestellt. Dadurch ist auch ein erhöhter Einsatz und ein erhöhtes Marktpotential dieser Technologien in Österreich zu erwarten.

Durch eine Darstellung der Kosten im Vergleich zu konventioneller Planung (Investitionsmehrkosten und Energiekosteneinsparung), wird diese Art des innovativen Baues, insbesondere durch die angestrebten und erreichten Zusatzqualitäten (Komfortsteigerung, Effizienz- und Motivationssteigerung der Mitarbeiter, etc.) in der Zukunft den Weg der integrierten Planungs- und nachhaltigen Bauweise verstärken.

#### **Gesellschaftlich**

Gesellschaftlich verfolgt das Gebäude mehrere Ziele. Zuerst sollen Energieeffizienz, erneuerbare Energien und die Beachtung des Nutzerkomforts mit energy base stark thematisiert werden. Weiters soll gezeigt werden, dass diese in Zukunft unverzichtbaren Qualitäten (wenn sie konsequent und nicht nur teilweise verfolgt werden) auch eines nachhaltigen Ansatzes im architektonischen Entwurf bedürfen, dass nachhaltige Gebäude neu und anders aussehen und somit einen wesentlichen Beitrag zu einer neuen Baukultur leisten werden.

Darüber hinaus soll gezeigt werden, dass nachhaltige Gebäude sich wieder stärker am Tagesgang der Sonne, an Jahreszeiten, Klima und der Natur orientieren und diese für uns Menschen physiologisch so wesentlichen Faktoren – die wir im Laufe der letzten Jahrzehnte zumeist völlig aus dem Auge verloren haben – in nachhaltigen Gebäuden wieder neue Präsenz erhalten.

Ausgehend von der optimalen thermischen und hygrischen Behaglichkeit in energy base und der unbelasteten Raumluftqualität wird die Qualität der Arbeitsplätze auch durch die innere optische Großzügigkeit, die Erlebbarkeit der Sonne sowie der Tages- und Jahreszeiten, die Versorgung mit Tageslicht, die Gliederung der Flächen durch die attraktiven Grünbereiche, die Dynamik der Unterschiede zwischen Nord und Südbereichen und die hochwertigen Erholungsflächen innerhalb der Büroeinheiten als auch in den allgemeinen Außenbereichen (Terrassen und Dachterrassen) gegenüber konventionellen Standardimmobilien, stark angehoben. Diese hochwertigen Erholungs- und Aufenthaltsflächen tragen dazu bei, den sozialen Kontakt und die Kommunikation zwischen den einzelnen Firmenangehörigen zu fördern.

Jedes moderne Unternehmen kann heute an der Wichtigkeit der Arbeitsbedingungen für die Kreativität, das Engagement und die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter nicht mehr vorbeigehen.

Es soll erreicht werden, dass Bauherrn (meist Bauträger) und Nutzer (meist Mieter) die Einsatzmöglichkeiten und Vorteile derartiger Systeme kennen und zum Thema bei jedem Bauvorhaben gemacht werden.

## **Ökologisch**

Im Rahmen der Planung wird auf effiziente energetische und bauliche Maßnahmen größter Wert gelegt und der verbleibende, stark minimierte Energiebedarf zu 20% aus der Gebäudeeigenen PVanlage und der Restbedarf aus Strom aus Wasserkraft gedeckt.

Das Projekt wird abgerundet durch ein verstärktes Augenmerk auf ökologische Maßnahmen (Regenwassernutzung für WC-Spülung und Bewässerung, Auswahl und Zertifizierung der Baustoffe, kein Einsatz von PVC; Reduzierung von Luftschadstoffen durch Ausschluss emittierender Oberflächen, Anstriche und Beschichtungen; und durch die Verwendung einer Holzleichtbauaussenfassade.

Das im Projekt vorgesehene Monitoring gibt die Möglichkeit, während des Betriebes im Rahmen einer kontinuierlichen Qualitätskontrolle, die gesetzten energiesparenden Maßnahmen und aktiven Energiesysteme zu überprüfen und zu verbessern.

### **3.1.1. Detailziele sowie Darstellung, ob und wie diese erreicht wurden**

#### **Reduktion des Energieverbrauches und der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei Neuinvestitionen**

Durch die Umsetzung des innovativen Konzeptes ENERGYbase konnte eine Reduktion der Energiekosten für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung um 80%, sowie eine CO<sub>2</sub>-Emissionsverringerung verglichen mit einem Standardgebäude von 200 t pro Jahr erreicht werden (siehe dazu auch Beilage 1 Energiekosten).

Neben der tatsächlich erreichten Reduktion bei dem Gebäude ENERGYbase ist jedoch wesentlich auch die Multiplikatorwirkung dieses Projektes zu berücksichtigen.

Als Vorzeigeeimmobilie wirkt das Projekt ENERGYbase durch seine große Bekanntheit schon jetzt positiv auf zukünftige Projektentwicklungen im Raum Österreich und Slowakei aber auch weiter im Sinne einer Reduktion des Energieverbrauches.

Nicht nur die umfangreiche mediale Berichterstattung zeugt von Interesse am ENERGYbase, auch die Anfragen von privaten InvestorInnen bestätigen den mit dem Projekt ENERGYbase eingeschlagenen Kurs.

#### **Verbreitung der Information diverser Spezialtechnologien an potenzielle GebäudeerrichterInnen**

Die Erfahrungen werden von den Projektbeteiligten in zahlreichen Workshops und Vorträgen weitergegeben. (siehe Vorträge weiter unten sowie Anhang A2). Schon jetzt ist erkennbar, dass das Projekt ENERGYbase als Vorreiter einer neuen Generation von Büroimmobilien fungiert. Die zahlreichen Baustellenführungen sowie das große mediale Interesse zeigen, dass das Thema der Energiereduktion sowie der Reduktion von CO<sub>2</sub> Emissionen im Gebäudebereich in den nächsten Jahren an großer Bedeutung gewinnen wird. Die einzelnen Technologien sowie deren Kombination im Projekt ENERGYbase sind für die gesamte Immobilienbranche zukunftsweisend und bei den öffentlichen Veranstaltungen rund um das ENERGYbase ist auch das Interesse an den verwendeten Technologie-Komponenten groß.

#### **Hebung der Arbeitsklimas**

Die Simulationsergebnisse für das Gebäude ENERGYbase lassen erwarten, dass die Aufenthaltsqualität im ENERGYbase eine überdurchschnittlich gute sein wird. Aufgrund der zahlreichen Maßnahmen wie Luftbefeuchtung in den Wintermonaten, behagliche Oberflächentemperaturen und der visuelle Komfort durch innovative

Raumlösungen kann mit einer besonderen Zufriedenheit der NutzerInnen gerechnet werden.

Zahlreiche Studien belegen zudem, dass das Raumklima am Arbeitsplatz ausschlaggebend auf die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter ist.

### **Förderung von Unternehmen und lokaler Wertschöpfung durch neue Technologien**

Mit dem Projekt ENERGYbase werden zahlreiche innovative Technologien in einem größeren Maßstab realisiert und in der Praxis angewendet. Durch ein umfangreiches Monitoring werden diese Maßnahmen auf ihre Wirkungsweise hin untersucht und somit einen wichtigen Input für die Weiterentwicklung dieser Technologien leisten. Dieser Technologiefortschritt ist daher eine wichtige Basis für die Förderung von Unternehmen und lokaler Wertschöpfung.

### **Verbreitung von Umwelttechnologien im Bereich Energieeffizienz und Erneuerbare Energien**

Viele Vorträge, Exkursionen, Seminare und Artikel wurden im Rahmen des Projektes verfasst bzw. abgehalten, wodurch das Know-how an das Fachpublikum gelangt. Inhaltlich wird vorwiegend Know-how im Bereich der Energie- bzw. Haustechnik (Solare Kühlung, Pflanzenpuffer, etc.) verbreitet, da dies das Hauptthema des Projektes darstellt.

### **Verbesserung der Arbeitsbedingungen durch Optimierung des Raumklimas in betrieblichen Gebäuden**

Das zukünftige Raumklima im Gebäude ENERGYbase kann mit Sicherheit als optimal bezeichnet werden. Zuerst einmal in Hinblick auf die Einbringung von Wärme und Kälte (Strahlungswärme) und die Einbringung von Frischluft (nur hygienischer Luftwechsel, kein unnötiger Umluftanteil, keine Zugluft) stellt ENERGYbase ein maximales Maß an thermischer Behaglichkeit zur Verfügung.

Zweitens in Bezug auf die Luftfeuchtigkeit kann ENERGYbase ganzjährig auf exzellente Werte zwischen 40 und 65 % rel. Luftfeuchtigkeit verweisen, wobei der überwiegende Teil der Zeit vom Kernbereich der hydrischen Behaglichkeit zwischen 45% und 55% rel. Feuchte ausgegangen werden kann. Diese Werte sind in Bürogebäuden durchaus unüblich und können konventionell nur mit einer Vollklimaanlage bereitgestellt werden. Außergewöhnlich ist nicht nur die ökologische Befeuchtung der Zuluft im Winter, sondern auch die Entfeuchtung der Zuluft im Sommer mit Hilfe der solaren Kühlung im ENERGYbase.

Drittens kann das ENERGYbase auch in Bezug auf die visuelle Behaglichkeit als optimal bezeichnet werden. Alle Bereiche sind großzügig mit Tageslicht versorgt. Farbe und Perforierung der Sonnen- und Blendschutzbehänge garantieren ein maximales Maß an natürlicher Belichtung auch zu Zeiten wenn beschattet werden muss. Die offene Südzone ermöglicht den internen Weitblick für die Augen, sodass auch bei geschlossenem Sonnen- und Blendschutz der für die Entspannung der Augen so wichtige Weitblick gewährleistet werden kann.

### **Verringerung der Energiekosten für öffentliche und private BetreiberInnen**

ENERGYbase verdeutlicht, welche Einsparungspotentiale im Bereich gewerblicher Immobilien bestehen. So spart ENERGYbase gegenüber herkömmlichen Büroimmobilien heutigen Standards rund 80% an Energiekosten ein. Mit ENERGYbase wird ein Vorzeigeprojekt im Bezug auf Energieeffizienz und erneuerbare Energie realisiert, welches für zukünftige Entwicklungen neue Standards setzen wird.

### **Hebung des Umweltbewusstseins der NutzerInnen**

Das Ziel der Hebung des Umweltbewusstseins der NutzerInnen wird vor allem im Zuge des Betriebes massiv durch die / den zukünftigen BetreiberIn stattfinden. Da die / der NutzerIn massiv auf den Haushalt des Gebäudes Einfluss nimmt wird eine entsprechende Sensibilisierung der NutzerInnen stattfinden. Schon jetzt ist erkennbar, dass NutzerInnen die sich für das Projekt ENERGYbase interessieren nicht zuletzt auf das Projekt aufmerksam werden, weil es im Sinne einer Nachhaltigkeit höchsten Ansprüchen gerecht wird.

## **4. Inhalte und Ergebnisse des Projektes:**

### **4.1. Verwendete Methode und Daten**

In diesem Kapitel des Endberichtes wird vor allem auf den Planungsprozess sowie die wissenschaftliche Begleitung des Immobilienprojektes ENERGYbase eingegangen.

#### **4.1.1. Laufende wissenschaftliche Begleitung des Planungsteams bei der Planung**

arsenal research hat dynamischen Gebäude- und Systemsimulationen zur wissenschaftlichen Begleitung des Wiener Bauvorhabens ENERGYbase eingesetzt. Dadurch wurden in der frühen Konzept- und Planungsphase essentielle Eckdaten des Gebäudeverhaltens dokumentiert und ein optimiertes Gebäude hinsichtlich energetischer Nachhaltigkeit (Energieeffizienz und Einsatz Erneuerbarer Energiequellen) wurde entwickelt. Im Wesentlichen fokussierten sich die wissenschaftlichen Untersuchungen unter Einsatz von Gebäude- und Systemsimulationen auf folgende Schwerpunkte:

##### **4.1.1.1. wissenschaftliche Unterstützung eines Integralen Planungsprozesses**

Die komplexe Bauaufgabe, die das Bauvorhaben ENERGYbase durch ambitionierte Projektziele auszeichnet, wurde im Zuge einer so genannten integralen Planung realisiert. arsenal research hat als Kompetenzzentrum für nachhaltiges Bauen und Energiesysteme wichtige Beiträge zur Planung der innovativen Haustechnik rechtzeitig, transparent und zielgerichtet eingebracht. Ergebnisse der umfangreichen Analysen, die auf durch den Einsatz der Expertentools (Dynamische Gebäude- und Systemsimulationen sowie Strömungssimulationen) generiert wurden, sind in den regelmäßigen Bausprechungen präsentiert und diskutiert worden.

##### **4.1.1.2. Energetische Bewertung des thermischen Gebäudeverhaltens**

Die ENERGYbase Architektur und das entwickelte Haustechnikkonzept zielen auf hohe Energieeffizienz mit Verwendung erneuerbaren Energiequellen bei verbessertem NutzerInnenkomfort ab. arsenal research hat über eine umfassende und aufwendige Gebäudemodellierung in der Simulationsumgebung TRNSYS eine geeignete Methode angewendet und weiterentwickelt, um das thermische Gebäudeverhalten des zukunftsweisenden Bürobaus in einer frühen Planungsphase zu berechnen und zu bewerten. Eine Evaluierung des thermischen Gebäudeverhaltens zum jeweiligen aktualisierten Planungsstand wurde ermöglicht und eine verbesserte Planungssicherheit hinsichtlich der definierten energetischen Projektziele wurde ermöglicht.



#### **4.1.1.3. Detailanalysen zum Betriebsverhalten ausgewählter Energiesysteme**

Durch individuelle innovative Architektur und Haustechniklösungen werden neue Planungsfragen aufgeworfen, die sich mit geeigneten Expertentools beantworten lassen. Besonderer Schwerpunkt dieses Arbeitspaketes richtete sich auf die Entwicklung geeigneter Regelstrategien für spezielle Energiesysteme im Bürogebäude. Zu nennen sind insbesondere Detailuntersuchungen zum Betriebsverhalten der thermisch aktivierten Bauteiltemperierung und zur solaren Klimatisierung.

#### **4.1.2. Thermische Simulationsrechnung (TRNSYS)**

Das Energiekonzept für das ENERGYbase Gebäude wurde grundsätzlich vom Forschungsprojekt „Sunny research“ mit Heizung und Kühlung über Bauteilaktivierung und eine Lüftungsanlage zur Frischluftversorgung übernommen. Eine Änderung in Energieverteilung ergab sich durch die Geschoßweise Trennung auch der Südbereiche, wodurch die natürliche Lüftung über den Fassadenzwischenraum wegfällt. Weiters wurde im Vergleich zur „Sunny research“ Studie solare Klimatisierung mittels Desiccant Evaporative Cooling (DEC) Technologie umgesetzt.

Die wesentlichen Planungsherausforderungen, die arsenal research durch wissenschaftliche Planungsbegleitung im Bauvorhaben ENERGYbase mit der Methode der dynamischen Gebäude- bzw. Anlagensimulation bearbeitet hat, lassen sich durch nachfolgenden Überblick zusammenfassen:

##### **4.1.2.1. Berechnung von Energiekennzahlen des ENERGYbase – Gebäudes**

Das Planungsteam zielte auf ein modernes Bürogebäude im Passivhausstandard ab. D.h. eine energieeffiziente Gebäudehülle (Hoher Wärmedämmstandard und Anforderungen an die Luftdichtheit sowie die sehr gut gedämmte Außenhülle. Im Gegensatz zu anderen Berechnungsverfahren wurde in dieser Planungsphase die Auswirkungen des dynamischen Zusammenspiels von innovativer Haustechnik und des Gebäudeverhaltens unter Wiener Klimabedingungen berücksichtigt. Erste Energiekennzahlen der Gebäudeperformance unter Berücksichtigung einiger Energieverteilensysteme wurden generiert und in dem diesem Bericht angefügten „Energieausweis“ zusammengefasst.

#### **4.1.2.2. Temperierung mit thermisch aktivierten Bauteilsystemen (TABS)**

Im Bauvorhaben ENERGYbase wird eine Grundtemperierung der Büroeinheiten über thermisch aktivierte Bauteilsysteme (TABS Flächenkühlsystem unter Nutzung von thermisch aktivierter Baukörpermasse) bewerkstelligt. TABS entkoppelt die Wärmezufuhr bzw. -abfuhr von der Lüftungsfunktion und nutzt die thermische Speicherfähigkeit von geeigneten Bauteilen des Gebäudes. Dieses System arbeitet thermisch träge und zeichnet sich durch die Begrenzung der thermischen Leistung aus. arsenal research hat hierzu die Modellierung der TABS in das bestehende Gebäudemodell eingearbeitet und spezielle Betriebsweise der TABS untersucht. Detailanalysen für spezielle Gebäudezonen, die hohe und singuläre Lastspitzen aufweisen, wurden durchgeführt.

#### **4.1.2.3. Brunnenwasserentnahme**

Durch die günstigen geologischen Bedingungen des Standortes ENERGYbase lässt sich Erdwärme in Form von Grundwasser technisch nutzen. Das Haustechnikkonzept sieht eine Grundwasser gekoppelte Wärmepumpe zur winterlichen Beheizung des Gebäudes vor. Eine direkte Nutzung des Kühlpotenzials vom Grundwasser erfolgt im Sommer; über einen Wärmetauscher zwischen den beiden hydraulischen Kreisen werden zur Kühlung geeignete Temperaturen bereitgestellt. Die Grundwassernutzung unterliegt bestimmten Umweltauflagen, daher hat arsenal research auf Basis des entwickelten Gebäudemodells die erforderliche Wassermenge zur Gebäudetemperierung bestimmt.

#### **4.1.2.4. Komfortanalyse Südbüro**

Im der fortgeschrittenen Planungsphase des Bauvorhabens sind spezielle Fragestellungen hinsichtlich thermischer Behaglichkeit aufgetreten. Die gefaltete Südfassade mit hoher Transparenz stellt ein wesentliches technisches Architekturelement dar, um das Konzept eines Passivhauses realisieren zu können. D.h. die Südverglasung ermöglicht im Winter die erforderlichen hohen passiven solaren Gewinne, um den Heizenergiebedarf auf ein Minimum zu reduzieren. Durch den Jahresverlauf der Sonne tritt in den betreffenden Zeiten direktes Sonnenlicht durch die Südverglasung in die südlichen Büroräume. Aufgrund der auftretenden Blendung ist ein innen liegender Sonnenschutz vorgesehen. arsenal research hat auf Basis dynamischer Simulationen erstmalig gezielt Untersuchungen zu thermischer Behaglichkeit für

Insassen des Südbüros der ENERGYbase angestellt. Wichtige Fragestellungen der Untersuchungen waren beispielsweise:

- Wie funktioniert die gefaltete Südfassade im Hinblick auf ihren Abschattungscharakter in den Sommermonaten?
- Welchen quantitativen Einfluss hat eine variierende Bodenreflexion auf die Solarstrahlung der geneigten Glasfassade?
- Welche Auswirkungen hat der innen liegende Sonnenschutz auf die thermische Behaglichkeit?
- Welche Temperaturen treten an der Innenseite der Südfassadenverglasung auf?
  - Welche Temperaturen sind am innen liegenden Sonnenschutz zu erwarten
  - An wie vielen Stunden im Jahr tritt thermische Unbehaglichkeit auf?
  - Welche Behaglichkeitsklassen werden erreicht?
  - Welchen Einfluss auf die thermische Behaglichkeit hat die Wahl des Sonnenschutzes (hell oder dunkel)?
- Welche Verbesserung der thermischen Behaglichkeit (Sonnenschutztemperaturen, PPD) erwirkt der Einsatz eines Sonnenschutzglases (Annahmen - U-Wert 0.70 und g-Wert 0.30)?
- Welche thermische Behaglichkeit (PPD) wird für eine Person, die in der Raummitte arbeitet, berechnet (Nicht - wie oben angenommen - direkt in der Nähe des Sonnenschutzelementes)?

#### **4.1.2.5. Simulation der solaren Klimatisierung**

Eine solare Gebäudeklimatisierung übernimmt die technische Aufgabe der Zuluftkonditionierung. Dieses energieeffiziente Klimatisierungsverfahren nutzt im Wesentlichen drei Prozessschritte der Luftbehandlung;

- 1.) Lufttrocknung - mit einem so genannten Sorptionsrotor,
- 2.) Wärmerückgewinnung und
- 3.) adiabate Verdunstungskühlung.

Die Regeneration des beladenen Trocknungsrotors erfolgt unter Verwendung von Solarenergie. Ziel für den Anlagenbetrieb sind hohe solare Deckungsanteile an den auftretenden Wärme- bzw. Kühllasten. Zur Abschätzung und Optimierung des Anlagenverhaltens wurden dynamisch thermische Simulationen durchgeführt.

Die detaillierten Ergebnisse dieser wissenschaftlichen Begleitung können dem im Anhang beigefügten Bericht „SEB - Endbericht dynamische Gebäudesimulation-arsenal research.doc“ entnommen werden.

#### **4.1.3. Strömungssimulation (CFD)**

Während der Planung des ENERGYbase Gebäudes wurden verschiedenste Fragestellungen hinsichtlich Gebäudehülle, Bauteilaktivierung, Grundwassernutzung, außen- bzw. innen liegender Verschattung mittels dynamischer Gebäude- und Anlagensimulation (TRNSYS) für den gesamten Jahresgang untersucht. Weiters wurde vom Planungsteam die Untersuchung verschiedener Konzepte zur Heizung und Belüftung der Mittel- und Südbereiche des Gebäudes hinter der gefalteten Südfassade hinsichtlich deren Auswirkung auf den Innenraumkomfort nachgefragt. Zur Beantwortung der spezifischen Fragestellungen bei diesen innovativen Heizungs- und Belüftungskonzepten wurde numerische Strömungssimulation, CFD (Computational Fluid Dynamics), als zusätzliches Simulationswerkzeug eingesetzt. Spezielle Aussagen hinsichtlich Innenraumkomfort, die verknüpft sind mit z.B. Temperaturschichtung oder Frischluftdurchmischung in den Räumen, können nur auf Basis dieser detaillierten physikalischen Simulationen abgeleitet werden. Die Ergebnisse unterstützen im Rahmen der wissenschaftlichen Planungsbegleitung das Planungsteam. Aufgrund des großen Rechenaufwandes bei CFD-Simulationen ist die Berechnung eines Jahresganges analog zu den TRNSYS-Simulationen mit der heute verfügbaren Rechnerleistung unmöglich. Daher ist eine Beschränkung auf ausgesuchte Szenarien (d.h. einen ausgewählten Satz an Randbedingungen für bestimmte Zeitpunkte des Jahres) notwendig.

Beantwortet wurden folgende Fragestellungen des Planungsteams in Phase 1 der CFD-Simulationen:

- 1) Besteht die Notwendigkeit einer die Bauteilaktivierung ergänzenden Zusatzheizung im Rahmen des Belüftungssystems an der Südfassade?
- 2) Kommt es zum Auftreten einer sommerlichen Überhitzung in den Südräumen?
- 3) Erfolgt genügend Frischluftdurchmischung (CO<sub>2</sub> Konzentration) der Südräume?

Weiters wurden folgende Punkte in Phase 2 der CFD-Simulationen untersucht:

- 4) Temperatur- und Strömungssituation bei vollkommen neuen Auslaststypen

- 5) Auswertung des thermischen Komforts, PPD, nach ISO7730
- 6) Zugluftrisiko Auswertung nach ISO7730

Die detaillierten Ergebnisse dieser wissenschaftlichen Begleitung können dem im Anhang beigefügten Bericht „SEB - Endbericht Strömungssimulation - arsenal research.doc“ entnommen werden.

#### **4.1.4. Thermisch hygrische Simulationen für Pflanzenpuffereinbindung im Bauvorhaben ENERGYbase**

In Zusammenarbeit zwischen arsenal research und dem Institut für Wärmetechnik der TU Graz wurde aufbauend auf die Ergebnisse der „Sunny research“ Studie die Integration von Pflanzenpufferräumen zur ökologischen Luftbefeuchtung im Bauvorhaben ENERGYbase untersucht.

Dabei galt es folgende Fragestellungen zu beantworten:

- Befeuchtungsleistung der geplanten Pflanzenpuffer
- Feuchte und Temperaturen in den Pflanzenpuffer
- Kondensationsgefahr in den Pflanzenpuffer
- Lüftungsstrategien während Bürobetrieb und außerhalb dieser Zeiten

Die Lüftungsprofile (Profil des Luftvolumenstroms über den Simulationszeitraum) und die nötigen Tageslichtquotienten waren Eingabedaten für diese Simulationen. Die Ergebnisse wurden unter Zuhilfenahme der Simulationsumgebung TRNSYS ermittelt (Modul Pflanzenpufferraum).

Folgende Varianten wurden untersucht:

- Wärmerückgewinnung - Erwärmung der Zuluft (Wirkungsgrad 70%)
- Feuchterückgewinnung - Befeuchtung der Zuluft (Wirkungsgrad 75%)
- Vorheizung auf mindestens 15°C
- Aufteilung in zwei Stränge (Strang 1: 8500 m<sup>3</sup> pro Stunde, Strang 2: 5900 m<sup>2</sup>/h)
- Aufteilen von Strang 2 auf die vier Pflanzenpuffer
- Temperatur und Feuchteänderung des Luftstroms in den Pflanzenpuffern
- Zusammenführen von Strang 1 und Strang 2
- Einleiten des Luftstroms in die Süd- bzw. Nordzonen des Gebäude
- Zusammenführen der Fortluft (von der Ausgangsvariante übernommen)
- Wärmerückgewinnung - Abkühlen der Fortluft (Wirkungsgrad 70%)
- Feuchterückgewinnung - Entfeuchten der Fortluft (Wirkungsgrad 75%)

Die detaillierten Ergebnisse dieser wissenschaftlichen Begleitung können dem im Anhang beigefügten Bericht „SEB - Endbericht Simulationen Pflanzenpuffer - arsenal research.doc“ entnommen werden.

#### **4.1.5. Koordination der beteiligten Fachplaner, Technische Oberleitung**

Die klassische technische Oberleitung ist auf die vier Teilleistungen Vorentwurf, Entwurf, Einreichung, und Ausführungsplanung aufgeteilt. Sie beinhaltet die Beratung und Vertretung des Bauherrn in den Belangen der Planung im Zuge der Teilleistungen. Dabei wird normalerweise ein Architektentwurf erstellt, zu dem die entsprechenden Konsulenten dann ihre Detailprojekte entwickeln. Haustechniker sorgen für die Einhaltung der Zielvorgaben hinsichtlich Temperatur und Feuchtigkeit, Statiker dimensionieren Decken und Stützen. Bauphysiker geben die minimal erforderliche Dämmstärke an, um den Bautechnikgesetzen zu entsprechen. In der Technischen Oberleitung führt der Architekt die Angaben der Fachplaner in seinen Plänen zusammen und kontrolliert, ob die gestalterischen Ziele der Architektur eingehalten werden.

Im Fall von ENERGYbase oder ähnlichen innovativen Gebäuden wird der Aufwand der Koordination gegenüber einer klassischen technischen Oberleitung um ein vielfaches überschritten.

Es geht hier auch nicht mehr um Koordination sondern um integrale Planung, ein Planungsprinzip das über das Zur Verfügung stellen von Raumkonditionen hinaus die Optimierung von zahlreichen Parametern wie z.B: der Energieeffizienz zum Ziel hat. Integrale Planung ist daher ein rückgekoppelter Denk- und Entwurfsprozess, in dem Gebäude und ihre technischen Bestandteile als komplex vernetzte Wirkungsgefüge gesehen werden.

Zu diesem Prozess werden zahlreiche Rechenmodelle und Simulationsmodelle benötigt.

Um ein ehrgeiziges Ziel erreichen zu können bedarf es jedoch eines teamleaders, der Mithilfe der Kreativität der beigezogenen Konsulenten die Ergebnisse der Analysen interpretiert und daraus dann die für die Weiterentwicklung des Entwurfsprozesses sinnvollen Schlüsse zieht.

Diese Funktion des teamleaders im integralen Planungsteam wurde bei ENERGYbase von pos architekten wahrgenommen, die als erfahrene Planer von nachhaltigen Gebäuden mit der großen Gruppe an Konsulenten in Gruppen und Einzelbesprechungen die Vielzahl der technischen Entscheidungen vorangetrieben haben und schlußendlich zu einem stimmigen Ganzen zusammensetzen konnten. In den Phasen Vorentwurf und Entwurf fanden neben den normalerweise erforderlichen Abstimmungen mit Konsulenten und Behörden auch der Beginn der in

den vorigen Kapiteln ausführlich beschriebenen Simulationen und der Zusammenarbeit mit Dipl. Ing. Zelger (Bauphysik) statt.

In der Phase Einreichung wurden sowohl Planungsbesprechungen als auch Behördenabklärungen intensiviert, sodass mit 23.11. 06 ein mit den Behörden abgestimmtes Projekt eingereicht werden konnte.

Noch während der Einreichphase wurden z.B. die Abstimmungsarbeiten mit Dipl. Ing. Radtke wegen der Pflanzen und Dipl. Ing. Pokorny wegen der Tageslichtmessungen und für die Beleuchtungsplanung durchgeführt. So konnten die Eingabedaten für die Simulation der Grünpuffer gemeinsam erarbeitet werden.

Weitere Abstimmungen betrafen z.B: die Auslegung der Raumakustik im Detail und Detailuntersuchungen hinsichtlich möglicher Schimmelbildung in den Pflanzenpufferräumen und der sonstig auftretenden Fragen zu Wärmebrücken und Luftdichtigkeit.

In der Fragen der Anordnung der Dämmung oberhalb oder unterhalb der Kellerdecke wurden z.B. 2 Varianten untersucht, und die mit den kleineren Wärmebrücken (Dämmung unter Kellerdecke) zur Ausführung ausgewählt.

Dies sind nur einige kleine Beispiele eines 18 Monaten andauernden intensivsten interdisziplinären Planungsprozesses.

#### **4.2. Beschreibung des Standes der Technik**

Im Wohnbau haben sich die Themen Energiesparen, Nachhaltigkeit und der Einsatz erneuerbarer Energieträger" bereits zu einem zentralen Anliegen entwickelt.

Das Erfolgskonzept im Wohnbau lag vor allem in der Vermittlung folgender drei Aspekte an die Bauherren und Bewohner:

Erhöhter Wohnkomfort, Nutzung eigener, erneuerbarer Ressourcen, Beitrag zum Umweltschutz

Beim Bau von Büro und Gewerbebauten werden die Möglichkeiten von effizientem und nachhaltigem Energieeinsatz derzeit noch immer wenig genutzt.

Entweder sind es die Prestigeobjekte und Konzernzentralen im obersten Preissegment des Bürobaus (ab 2200 € Nettoherstellkosten/m<sup>2</sup> NFL), bei denen auch Wert auf die Architektur und eine innovative Gebäudetechnik gelegt wird oder aber Projekte ambitionierter Firmeninhaber in der Privatwirtschaft.

Das große Segment des Büro/Gewerbebaues einfachen bis mittleren Standards (1200 -1800 € Nettoherstellkosten/m<sup>2</sup> NFL) im Mietbereich nutzt die Qualität innovativer Gebäudetechnik derzeit noch nicht.

Die Wärmeerzeugung erfolgt üblicherweise über Heizzentralen, die mit fossilen Brennstoffen (Heizöl, Erdgas) betrieben werden, sofern kein Fern/Nahwärmeanschluss genutzt wird.

Die Kälteerzeugung erfolgt mit Kompressionskältemaschinen, wofür der wertvolle Energieträger Strom in großen Mengen herangezogen werden muss.

Die Wärmeverteilung erfolgt über Radiatoren, die Kälteverteilung meist über Umluft fan coils (Ventilator-konvektoren). Die Frischluftversorgung stellt bei derartigen Systemen im Sommer und Winter ein Problem dar, da zu diesen Zeiten eine Fensterlüftung mit einem hohen Energieverbrauch verbunden ist.

Das Projekt ENERGYbase versteht sich als innovatives Gesamtkonzept, in dem versucht wird für die Defizite von Standardbüro/gewerbegebäuden auf den Ebenen

- Energietechnik
- Klimakomfort und
- Raumqualität

eine hochqualitative zeitgemäße Lösung anzubieten.

Trotz erhöhter Ansprüche in Klimakomfort und Raumqualität sind sowohl der Endenergiebedarf als auch der Primärenergiebedarf im Vergleich zum Standardgebäude um einen Faktor 5 gesenkt worden und erneuerbare Energien zum Einsatz gekommen.

#### 4.3. Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt)

Folgende Alternativenergiekonzepte wurden in dem Projekt realisiert:

##### 4.3.1. Bürogebäude im Passivhausstandard:

Mit einem Heizenergiebedarf nach PHPP von knapp unter 11 kWh/m<sup>2</sup>a, und einem Kühlenergiebedarf unter 15 kWh/m<sup>2</sup>a ist ENERGYbase ein zertifiziertes Passivhaus. Folgende Maßnahmen waren notwendig um den oben beschriebenen Standard zu erreichen:

- 26 cm Wärmedämmung, 3-fach Verglasung, optimierte U- und g- werte

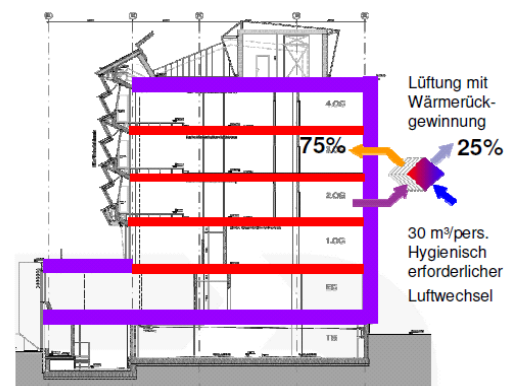


Abbildung 3 schematische Darstellung Passivhaushülle c. pos-architekten



- Lüftungsanlage mit 75% Wärme/Feuchterückgewinnung, minimale Leistungsaufn. d. Ventilatoren
- Luftdichte Hülle / keine ungewünschte Infiltration
- Vermeidung von Wärmebrücken
- aussenliegender Sonnenschutz

#### 4.3.2. Heizen und Kühlen mit Grundwasser:

Die Bereitstellung der notwendigen Restwärme (im Winter) bzw. des Kühlbedarfs (im Sommer) erfolgt mittels Grundwasser. Der Wärmebedarf über eine Wärmepumpe, der Kühlbedarf direkt mittels Free-Cooling, beides wird über die Bauteilaktivierung verteilt.



Abbildung 4 Schematische Darstellung Heizung Kühlung c. pos-architekten

#### 4.3.3. Solar Cooling:

Von Solar Cooling spricht man allgemein, wenn Sonnenenergie zum Antrieb eines Kühlprozesses eingesetzt wird. Die solare, sorptionsgestützte Klimatisierung ist eine innovative Form der Gebäudeklimatisierung, die im ENERGYbase erstmals in Österreich in diesem Ausmaß zum Einsatz kommt. Der große Vorteil: Während der Sommermonate, in denen der Kühlbedarf am größten ist, liefert eine thermische Solaranlage den maximalen Ertrag. Im Winter wird die durch die Sonnenkollektoren gewonnene Energie in einen Pufferspeicher eingebracht und zur Heizungsunterstützung eingesetzt.

#### 4.3.4. Grüne Lüftung:

Erstmals werden in einem Bürohaus Pflanzen in so genannten Grünraumpuffern eingesetzt. Sie sorgen während der Wintermonate durch ökologische, kontrollierte Befeuchtung der Zuluft für ein



besonders behagliches Raumklima.

Abbildung 5 Foto Grünraumpuffer c. Hurnaus

Diese von Pos architekten entwickelten 4 geschossigen Pufferräume, in denen 500 Pflanzen einer speziell für die Luftbefeuchtung gezüchteten Art des Zyperngrases im Winter und in der Übergangszeit die Luft befeuchten, sind eine absolute Neuheit, weil sie als abgeschlossene Feuchtegeneratoren arbeiten und regelbar, präzise steuerbar, und damit erstmals als berechenbare Größe in ein haustechnisches System integrierbar sind.

#### 4.3.5. Kraftwerk Sonne:

ENERGYbase nutzt die Kraft der Sonne 4-fach: zweimal passiv und zweimal aktiv.

Die passiven thermisch solaren Gewinne werden direkt den Südräumen und indirekt den Nordräumen zugeführt. Die spezielle Form der gefalteten Fassade bewirkt dabei, dass diese Gewinne nur im Winter anfallen, im Sommer verschattet sich die Fassade zunehmend selbst.

400 m<sup>2</sup> Photovoltaik-Anlage (ca. 46 kW<sub>peak</sub>): Sie ist gebäudeintegriert an der Südfassade und liefert jährlich rund 37.000 kWh Solarstrom.

solar cooling mit 285 m<sup>2</sup> thermischen Kollektoren. Sie werden für die Frischluftkühlung/entfeuchtung (solar cooling) und zur Heizungseinbindung verwendet.

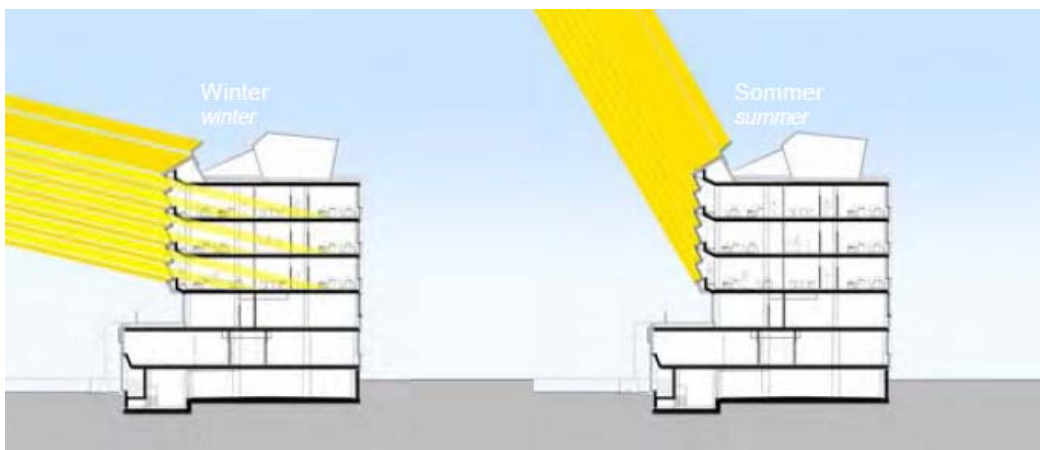


Abbildung 6 Schematische Darstellung aktiv passiv Nutzung Südfassade

Die spezielle Faltung der Südfassade ermöglicht maximale Energieerträge in den solar aktiven und passiven Komponenten, im Sommer gewährt sie einen ausgezeichneten baulichen Sonnenschutz.

#### 4.3.6. Intelligente Lichtsteuerung:

Der Grundriss des ENERGYbase und das Südfassadenkonzept ermöglicht eine komplette Versorgung der Büros mit Tageslicht, was zu einer Minimierung des Kunstlichtbedarfs führt. Die energetische Effizienz der Beleuchtung wurde noch deutlich erhöht durch eine tageslichtabhängige Steuerung, präzise Definition der Bereiche mit Arbeitsplatzanforderungen, spezielle (aus dem Kühlhausbau entlehnte) Maßnahmen zur Effizienzsteigerung der Leuchten und durch eigens dimensionierten Blend- und Sonnenschutz.

### 4.4. Beschreibung der Projektergebnisse

#### 4.4.1. Energieeffizienz

80% Energieeinsparung für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung und alle Hilfsströme verglichen mit einem Standardgebäude gleicher Größe, sowie eine

CO<sub>2</sub>-Emissionsverringerung von 200 Tonnen pro Jahr.

ENERGYbase verbraucht für Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und Hilfsstrom 26 kWh/m<sup>2</sup> a an Endenergie, davon werden ca. 20% durch die gebäudeintegrierte Photovoltaikanlage

gedeckt. Aus dem Netz werden daher für den Betrieb des Gebäudes 21 kWh/m<sup>2</sup>a Strom aus 100% Wasserkraft bezogen.

#### 4.4.2. Beleuchtung

65% Energieeinsparung für Beleuchtung, da alle Aufenthaltsräume äußerst großzügig mit Tageslicht versorgt sind. Die energetische Effizienz der Beleuchtung wurde noch deutlich erhöht durch eine tageslichtabhängige Steuerung, präzise Definition der Bereiche mit Arbeitsplatzanforderungen, spezielle (aus dem Kühlhausbau entlehnte) Maßnahmen zur

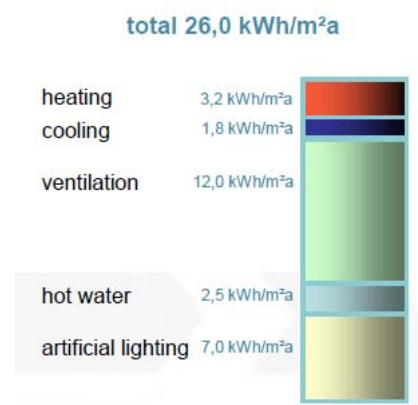


Abbildung 7 Endenergieverbrauch in kWh Strom je m<sup>2</sup> NFL/a

Effizienzsteigerung der Leuchten und durch eigens dimensionierten Blend- und Sonnenschutz.

#### 4.4.3. Warmwasserbedarf

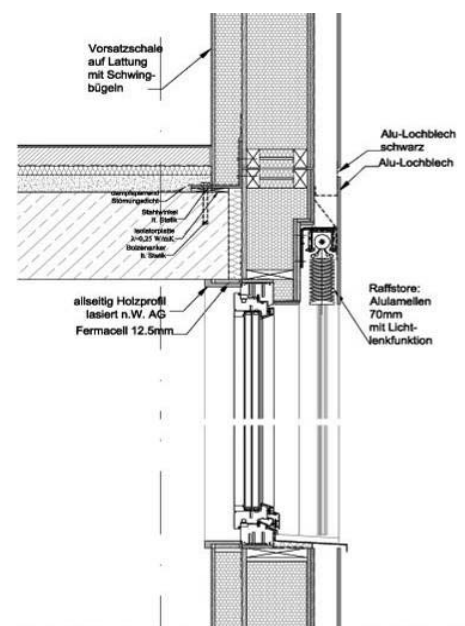
60% Energieeinsparung durch dezentrale Durchlauferhitzer der neuesten Generation mit einer Begrenzung der Wassertemperatur auf 35°.



Abbildung 8 Warmwasserbereitung

#### 4.4.4. Ökoeffizienz Aussenwände Holzleichtbau

Die Aussenwände und das Dachgeschoss bestehen aus einer Holzleichtbaukonstruktion. Man erreicht dadurch Passivhausstandard mit 31 cm Wandstärke, wertvollen Nutzflächengewinn, geringen Primärenergieinhalt und vollständige Rückbaubarkeit nach Stoffgruppen.



Detail B Lotschnitt Fensteranschluß Lochfa

Abbildung 9 Detail Holzleichtbaufassade c. pos-architetken

#### 4.4.5. Höchste Qualität für den Nutzer

Hygrischer Komfort durch Pflanzen/Feuchterückgewinnung im Winter, Entfeuchtung im Sommer.

Die Befeuchtung der Zuluft im Winter erfolgt über große Pflanzenpufferräume mit 500 Pflanzen einer speziellen Art des Zyperngrases. Erstmals weltweit konnte eine stundenweise prognostizierte Befeuchtungsleistung jeder einzelnen Pflanze ins Haustechnikkonzept eingebunden werden.

#### 4.4.6. Luftqualität, Bauchemikalienmanagement

Alle verwendeten Baustoffe wurden einer baubiologischen und bauchemischen Prüfung durch einen speziellen Konsulenten unterzogen um

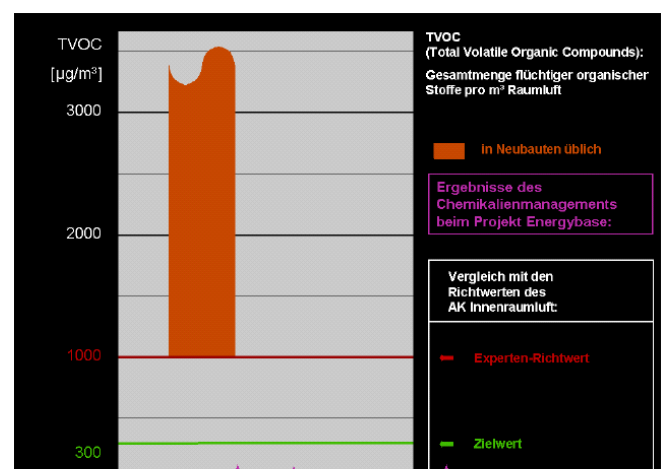


Abbildung 10 Ergebnis Innenraumluftmessung ENERGYbase c. bauxund

eine Innenraumluftqualität höchster Stufe zu gewährleisten. Die Richtwerte hinsichtlich TVOC Konzentration wurden bei Energybase um das 20-fache unterschritten.

#### **4.4.7. Optischer Komfort**

ENERGYbase besitzt auf der Südseite offene Gruppenbüros. Der physiologisch wichtige Fernblick ist so innerhalb des Gebäudes möglich. Auch die Mittelzonen des Gebäudes können so mit Tageslicht versorgt werden. Gelochte Lamellen ermöglichen eine maximale Anpassung.



**Abbildung 11** Foto Südzone Büros Energybase c. WWFF

#### **4.4.8. Thermische Behaglichkeit**

Die Verteilung der Wärme und Kälte erfolgt über Bauteilaktivierung. Eine geringe Über/untertemperatur ist ausreichend um das Gebäude ganzjährig höchst komfortabel zu temperieren.

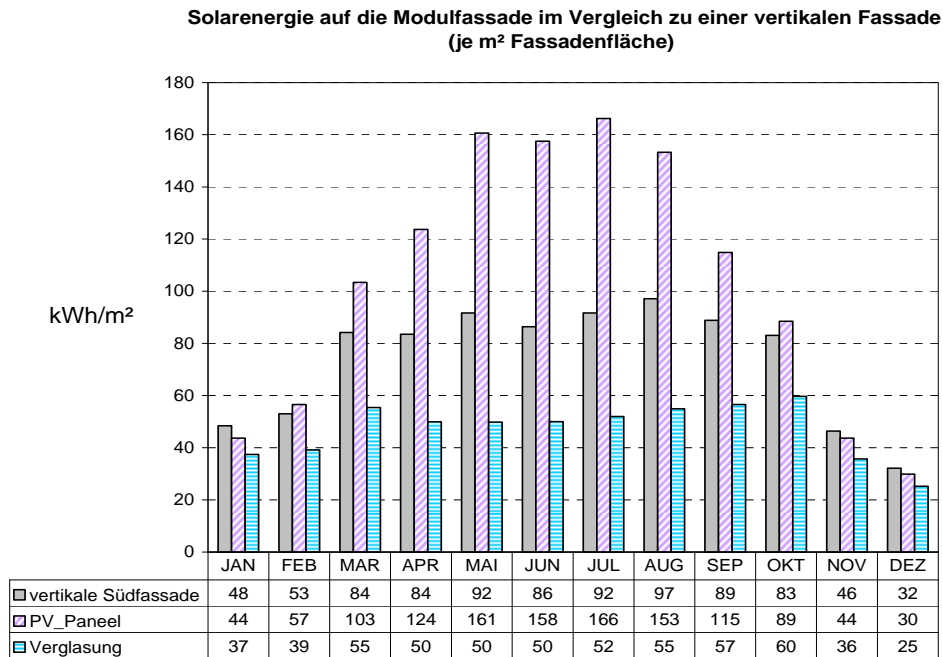
#### **4.4.9. Sonne ENERGYbase nutzt die Kraft der Sonne 4-fach**

Die passiven thermisch solaren Gewinne werden direkt den Südräumen und indirekt den Nordräumen zugeführt. Die spezielle Form der gefalteten Fassade bewirkt dabei, dass diese Gewinne nur im Winter anfallen, im Sommer verschattet sich die Fassade zunehmend selbst.

400 m<sup>2</sup> Photovoltaik-Anlage (ca. 46 kW<sub>peak</sub>): Sie ist gebäudeintegriert an der Südfassade und liefert jährlich rund 37.000 kWh Solarstrom.

solar cooling mit 285 m<sup>2</sup> thermischen Kollektoren: Sie werden für die Frischluftkühlung/entfeuchtung (solar cooling) und zur Heizungseinbindung verwendet.

Die spezielle Faltung der Südfassade ermöglicht maximale Energieerträge in den solar aktiven und passiven Komponenten, im Sommer gewährt sie einen ausgezeichneten baulichen Sonnenschutz.



**Abbildung 12 Solarerträge je m<sup>2</sup> Fassadenfläche - arseanal research**

Oben angeführte Grafik veranschaulicht die beiden wesentliche Effekte die durch die Faltung der Südfassade erzielt werden konnten:

1. Vorteil für PV-Module: Daraus sieht man in der Grafik, dass die Neigung der PV-Module auf 31,5° den Solarertrag vor allem in den Sommermonaten eklatant erhöht, im Vergleich zu einer vertikalen Fassadenintegration; Bsp. in der Grafik: Erhöhung des Solareintrages im Mai um 75%, im Juni um 83%; im Juli um 80%,...

Diese Solarenergie wird von den PV-Modulen zum größten Teil absorbiert und gelangt somit nicht in den Bürobereich der Südzone, die PV-Module haben daher auch die Funktion einer außen liegenden Verschattung.

2. Vorteil: Verminderung der auftreffenden Solarstrahlung auf die geneigte Südverglasung (63,4°) in den Sommermonaten im Vergleich zu einer vertikalen Südfassade; Bsp. in Grafik: Verminderung der Solareinstrahlung im Mai um 46%, im Juni um 42% im Juli um 43%, im August um 43%, im September um 36%,...

#### **4.4.10. Grundwasser**

Restwärme/Kühlbedarf werden mit Grundwasser bereitgestellt, der Wärmebedarf über eine Wärmepumpe, der Kühlbedarf direkt mittels Free-Cooling, beides wird über die Bauteilaktivierung verteilt.

#### Eckdaten Kühlung:

- Kühlleistung Brunnenwasser gesamt 410kW
- Freie Kühlung - ohne Kältemaschine
- 16m Bohrbrunnen – Entnahmerate 20l/s
- Brunnenpumpen 2x 7,5kW \_ COP > 27
- Kühlwassertemperaturen: 16°C – 20°C
- Zugfreie Kühlung durch Bauteilaktivierung
- ca. 6000 m<sup>2</sup> aktivierte Deckenflächen

## 5. Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie:

### 5.1. Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie und den sieben Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung

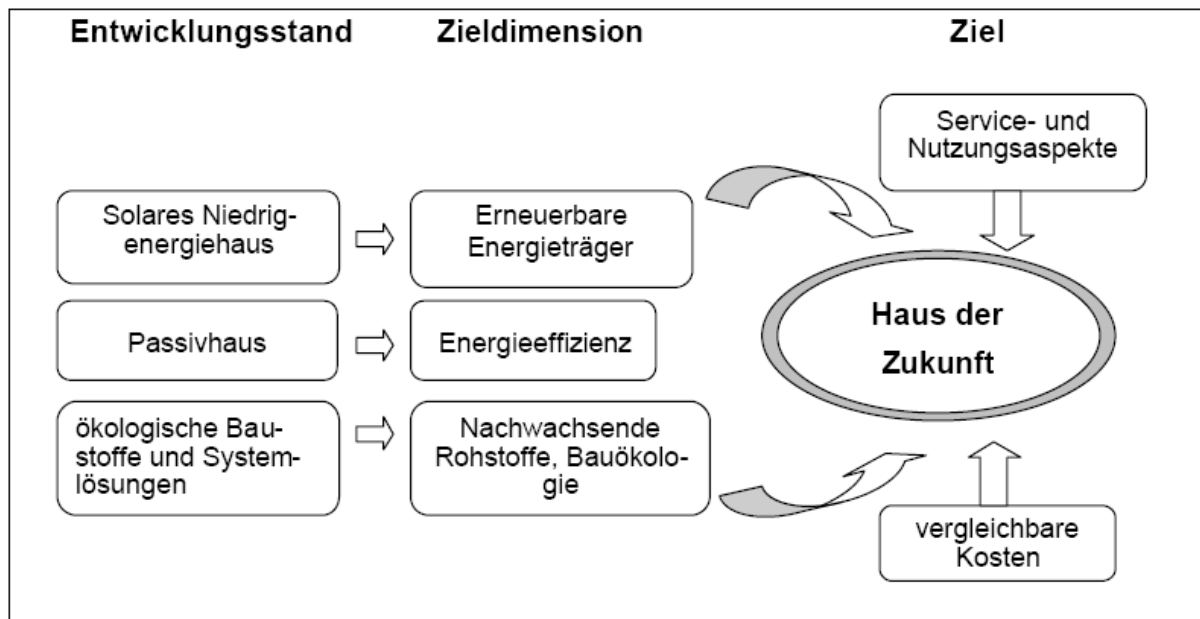


Abbildung 13 Ziele der Programmlinie Haus der Zukunft

Schwerpunkt war es, alle in der Programmlinie Haus der Zukunft definierten Ziele (s. Grafik oben) gleichermaßen umzusetzen. Damit wurde ein in mehrerer Hinsicht nachhaltiges Gebäude gebaut, das durch diese integrierende Synthese im Vergleich zu der Summe seiner Einzelkomponenten einen zusätzlichen Mehrwert darstellen und erlebbar machen kann.

#### 5.1.1. Solares Niedrigenergiehaus – Erneuerbare Energieträger

Durch die umfangreiche Nutzung von erneuerbarer Energieträger wie Grundwasser und Sonnenenergie (siehe auch Pkt 4.4) konnten die Ziele in Bezug auf den Einsatz erneuerbarer Energieträger in umfangreicher Weise erreicht werden. Energybase veranschaulicht, wie unter Berücksichtigung standortspezifischer Rahmenbedingungen ein hoher Deckungsgrad des Energiebedarfs mit erneuerbaren Energieträgern gewährleistet werden kann.



### **5.1.2. Passivhaus – Energieeffizienz**

Mit einem Heizenergiebedarf nach PHPP von knapp unter 11 kWh/m<sup>2</sup>a, und einem Kühlenergiebedarf unter 15 kWh/m<sup>2</sup>a erfüllt ENERGYbase die Anforderungen eines zertifizierten Passivhauses.

Energybase weist 80% Energieeinsparung für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung und alle Hilfsströme verglichen mit einem Standardgebäude gleicher Größe auf, sowie eine CO<sub>2</sub>-Emissionsverringerung von 200 Tonnen pro Jahr.

### **5.1.3. Ökologische Baustoffe und Systemlösungen – nachwachsende Rohstoffe, Bauökologie**

Die Aussenwände und das Dachgeschoss bestehen aus einer Holzleichtbaukonstruktion. Man erreicht dadurch Passivhausstandard mit 31 cm Wandstärke, wertvollen Nutzflächengewinn, geringen Primärenergieinhalt und vollständige Rückbaubarkeit nach Stoffgruppen.

Alle verwendeten Baustoffe wurden einer baubiologischen und bauchemischen Prüfung durch einen speziellen Konsulenten unterzogen um eine Innenraumluftqualität höchster Stufe (20igfache Unterschreitung des Richtwertes für TVOC) zu gewährleisten. Der dazu erstellten Prüfbericht mit Innenraumluftmessung befindet sich im Anhang zu diesem Bericht.

## **5.2. Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale für die Projektergebnisse**

### **5.2.1. Verbreitungs- bzw. Marktpotential**

ENERGYbase ist als Vorzeigeprojekt einer neuen Generation von Büroimmobilien konzipiert und wird somit wichtige Impulse in der Immobilienbranche setzen. Durch das Monitoringkonzept und die Messfühler, welche im Projekt implementiert wurden, ist alles vorbereitet, dass in den nächsten Jahren wichtige Erkenntnisse über den Betrieb und die Nutzung von energieeffizienten und Ressourcen schonenden Gebäude gewonnen werden können. Der Idee das Projekt als Vorzeigeprojekt zu manifestieren, wird auch in dem Sinn entsprochen, dass innerhalb des Gebäudes die gewonnen Erkenntnisse in Form einer Ausstellung für Interessierte aufbereitet werden. Ein besonderes Augenmerk wird in den ersten Jahren nach Fertigstellung auf der Zusammenarbeit zwischen NutzerInnen und GebäudebetreiberInnen liegen, um ein Höchstmass an Zufriedenheit zu erreichen.

Der öffentlichkeitswirksamen Verbreitung der Idee des Projektes ENERGYbase wird über die Projektlaufzeit hinweg in den nächsten Jahren weiterhin eine große Bedeutung zukommen. Interessierten ProjektentwicklerInnen, PlanerInnen und

NutzerInnen wird durch regelmäßige Führungen durch das Gebäude die Chance geboten werden, an den Erfahrung, die während des Projektes gewonnen werden konnten zu partizipieren, und diese für eigene Vorhaben zu nutzen. Die Nachfrage nach Führungen war bisher sehr groß.

Im ENERGYbase wird es im Eingangsbereich einen Monitor geben, der die Verbräuche des Gebäudes anschaulich darstellt. Des Weiteren wird ein Pfad durch Gebäude führen, der bei einzelnen Stationen Hinweise und Erklärungen zur Funktionsweise des Gebäudes bieten.

## **6. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen:**

### **6.1. Was sind die in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse für das Projektteam?**

#### **Klare Zieldefinition**

Wesentlich für eine entsprechende Projektumsetzung ist die frühe Ausformulierung klarer Projektziele. Dies betrifft sowohl funktionale wie energetische Ziele, die in Folge während des gesamten Planungs- und Realisierungsprozess in einem Soll Ist Vergleich weitergeführt, verfeinert und abgestimmt werden müssen..

#### **Auswahl von speziell qualifizierten Planern**

Ein energieeffizientes Gebäude wie Energybase ist hoch komplex. Um ganzheitliche Ergebnisse wie bei Energybase erzielen zu können ist die Auswahl von absoluten Experten in jedem Fachgebiet erforderlich. Die Kombination von unerfahrenen Planern mit Klimakonzeptspezialisten (wie dies immer öfter praktiziert wird) kann keinesfalls ähnlich hochwertige Ergebnisse liefern.

#### **Integrale Planung**

Wichtige Erfahrung aus dem Projekt ENERGYbase ist auch die Notwendigkeit eines umfangreichen Expertenteams, welches bereits am Anfang des Planungsprozesses zusammengeführt werden muss. Durch die höhere Komplexität solcher Gebäudekonzepte, ist die frühe Einbindung eines Haustechnikplaners bzw. eines Simulationsexperten bereits in der Phase des Vorentwurfs unbedingt erforderlich. Weiters könnte sich unter Umständen das Feld Haustechnik (Auslegen und Dimensionierung der Einzelteile) vom Feld Klimaengineering (Energieeffizienzkonzept, generelles strategisches Gebäudetechnikkonzept) noch weiter differenzieren. Derzeit besteht in diesem Bereich ein gewisser Mangel an Konsulenten, die den Bereich Klimaengineering in der entsprechenden Qualität abdecken können.

#### **Einbindung der Ausführenden Firmen**

Als wesentliche vorläufige Schlussfolgerungen für das Projekt ENERGYbase kann für die Phase der baulichen Umsetzung festgehalten werden, dass für den Erfolg eines innovativen Projektes dieser Dimension eine enge Zusammenarbeit zwischen den ausführenden Gewerken auf der einen Seite und der örtlichen Bauaufsicht auf der anderen Seite wesentlich für die Erreichung der hoch gesetzte Ziele ist. Auch hier gilt, dass derzeit auf beiden Seiten zu wenig know how und auch teilweise zu wenig Interesse vorhanden ist, die hochgesteckten Ziele sicher und vor allem auch kosteneffizient zu erreichen. Der Umdenk- und Umlernprozess der hier stattzufinden

hat (vielleicht auch der Generationenwechsel) geht langsam und sehr träge von statten. In Zukunft wird es sicherlich erforderlich und auch selbstverständlich sein, dass analog zu den statischen Abnahmen auch bauphysikalische Abnahmen aller wesentlichen Aufbauten auf der Baustelle in wesentlich größerem Umfang stattfinden. Wichtig in diesem Zusammenhang war es, das Verständnis der ausführenden Firmen für die hohen Qualitätsanforderungen (Luftdichtheit, etc.) eines solchen Projektes zu erreichen. Dies wurde unter anderem auch dadurch unterstützt, dass zu Beginn des Bauvorhabens alle beteiligten Personen der ausführenden Firmen zu einer Präsentation des Immobilienprojektes durch das Planungsteam eingeladen wurden.

### **Frühe Einbindung des Gebäudebetreibers**

Der Facility Manager sollte schon vor der Inbetriebnahme des Gebäudes in das Projekt mit einbezogen werden. Sinnvoll und sehr empfehlenswert wäre es, das FM bereits in der Planungsphase miteinzubeziehen, damit Kostenfallen aus der Sicht des Facility Managements vermieden werden können. Zumindest aber soll der Facility Manager in der Bauphase mit dem Gebäude vertraut gemacht werden, damit er das Gebäude in seinem Aufbau und den Anlagen kennenlernen kann während sie ein- und aufgebaut werden. Auch hier kann der Facility Manager noch seinen Input zu möglichen Problemen aus der Sicht des Gebäudebetriebs geben.

### **Lebenszyklusbetrachtung**

Neben der reinen energetischen Betrachtung ist es für Folgeprojekte zielführend, eine umfangreiche Lebenszyklusbetrachtung parallel zum Planungs- und Realisierungsprozess zu führen, welche Aspekte wie Instandhaltung, Wartung, Reinigung, Nutzungsänderung und Rückbau etc. bei der Bewertung von Planungsvarianten berücksichtigt.

### **Schlussfolgerungen für Bauherrn**

Aus dem Projekt konnten wichtige Erkenntnisse für BauherrInnen bzw. künftige GebäudebesitzerInnen gezogen werden, die in einem extra Bericht zusammengefasst wurden (siehe Anhang). Darin sind die Erkenntnisse aus der Projektabwicklung – von der Projektvorbereitung bis zur Errichtung – enthalten. Eingeflossen in den Bericht sind einerseits die Erkenntnisse aus dem vorliegenden Projekt, aber auch Informationen aus den Recherchen und Studien zu den Best Practice Beispielen und dem Planungsprozess, die in der Projektvorbereitungs- und Konzeptphase gemacht wurden. Außerdem konnte viel Information zum Gebäudemanagement im Rahmen der Arbeit zum Betreiberkonzept bzw. der Facility Management Ausschreibung für diese Empfehlungen gesammelt werden.

### **Nutzerakzeptanz**

Wesentliche Schlussfolgerungen wie Nutzerakzeptanz oder Betrieb einer solchen Immobilie werden erst nach Fertigstellung und einer ein bis zwei jährigen Betriebsphase der Immobilie gezogen werden können.

## **6.2. Wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter?**

### **Betriebsphase Gebäude**

Ein besonderes Augemerck wird in den ersten Jahren nach Fertigstellung in der Zusammenarbeit zwischen NutzerInnen und GebäudebetreiberInnen liegen, um ein Höchstmass an Zufriedenheit zu erreichen.

Es ist geplant in den ersten Jahren des Betriebes im Rahmen eines eigenen Monitoringprojektes die Funktionsweise der einzelnen eingesetzten Technologien zu betrachten, und entsprechende Optimierungsvarianten in Bezug auf die Energieeffizienz zu erarbeiten.

### **Präsentation der Ergebnisse**

Der öffentlichkeitswirksamen Verbreiterung der Idee des Projektes ENERGYbase wird über die Projektlaufzeit hinweg in den nächsten Jahren weiterhin eine große Bedeutung zukommen. Den laufenden Anfragen von interessierten ProjektentwicklerInnen, PlanerInnen und NutzerInnen wird durch regelmäßige Führungen durch das Gebäude die Chance geboten werden, an den Erfahrung, die während des Projektes gewonnen werden konnten zu partizipieren, und diese für eigene Vorhaben zu nutzen.

Im Sinne einer größtmöglichen Verbreitung der gewonnen Ergebnisse werden durch das Projektteam laufend im Rahmen von Vorträgen, Führungen, Berichterstattung und Präsentationen die gewonnen Erkenntnisse einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

### **Monitoring**

Ein Konzept zur Durchführung des Monitorings wurde von arsenal research erarbeitet, damit über eine lange Phase des Gebäudebetriebs die Funktionsweise überprüft und die Verbräuche an den richtigen Stellen gemessen werden. Daraus kann analysiert werden ob und wo es Potenziale zur Einsparung bzw. Verbesserung in den Haustechnikanlagen und auch im Facility Management gibt. Außerdem können Fehler oder auch Mängel im Betrieb erkannt und behoben werden.

### **6.3. Für welche anderen Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant und wer kann damit wie weiterarbeiten?**

Das bereits jetzt bekannte anhaltende Interesse von verschiedensten Zielgruppen zeigt, dass die mit dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse für eine breite Gruppe von Interessenten von Relevanz ist. Darunter gehören u.a. Vertreter folgender Berufsgruppen

- Planer (Architekten, Haustechnikplaner, Bauphysiker, Lichtplaner, etc.)
- Immobilienentwickler
- Immobilienfondsmanager
- Immobilienmakler
- Bauherrn
- Gebäudebetreiber (Facility Management)
- Baufirmen
- Nutzer
- Vertreter öffentlicher Institutionen mit Schwerpunkt Energie, Umwelt, Gebäude wie beispielsweise EU Kommission, Bundesministerien, Bauabteilung auf Bundes- und Landesebenen, etc.
- Forschungseinrichtungen mit Schwerpunkt Energie, Umwelt, Gebäude wie beispielsweise technische Universitäten, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und Forschungsabteilungen von Unternehmen

Hauptaufgabe des Projektes ENERGYbase ist es für all diese Zielgruppen die Funktionsweise und die damit verbundenen Vorteile (Energieeinsparung, höherer Komfort, positives Image) praxisnahe anhand eines tatsächlich realisierten Vorzeigeprojektes zu dokumentieren.

## **7. Ausblick/Empfehlungen:**

### **7.1. Wo liegen die Chancen / Schwierigkeiten / Risiken bei der Realisierung / Umsetzung in Richtung Demonstrationsprojekt?**

#### **7.1.1. Monitoring der Anlage zur Erfassung des tatsächlichen Energieverbrauchs**

Ein Konzept zur Durchführung des Monitorings wurde von arsenal research erarbeitet, damit über eine lange Phase des Gebäudebetriebs die Funktionsweise überprüft und die Verbräuche an den richtigen Stellen gemessen werden. Daraus kann analysiert werden wo es Potenziale zur Einsparung bzw. Verbesserung in den Haustechnikanlagen und auch im Facility Management gibt. Außerdem können Fehler oder auch Mängel im Betrieb erkannt und behoben werden.

Ziel ist es nun in einem Folgeprojekt die vorhandene Infrastruktur (Mess- und Regeltechnik) dahingehend zu nutzen, Erkenntnisse über die Funktionsweise der einzelnen Technologien und die jeweils beste Regelstrategie zu erarbeiten, um hiermit auch dokumentierte und belegbare Zahlen für zukünftige Projekte in dieser Art zu gewinnen.

### **7.2. Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten**

#### **7.2.1. Empfehlungen für (künftige) GebäudebesitzerInnen**

Aus dem Projekt konnten wichtige Erkenntnisse für BauherrInnen bzw. künftige GebäudebesitzerInnen gezogen werden, die in einem extra Bericht (siehe Anhang) zusammengefasst wurden. Darin sind die Erkenntnisse aus der Projektabwicklung – von der Projektvorbereitung bis zur Errichtung – enthalten. Eingeflossen in den Bericht sind einerseits die Erkenntnisse aus dem vorliegenden Projekt, aber auch Informationen aus den Recherchen und Studien zu den Best Practice Beispielen und dem Planungsprozess, die in der Projektvorbereitungs- und Konzeptphase gemacht wurden. Außerdem konnte viel Information zum Gebäudemanagement im Rahmen der Arbeit zum Betreiberkonzept bzw. der Facility Management Ausschreibung für diese Empfehlungen gesammelt werden.

## **8. Literaturverzeichnis/Abbildungsverzeichnis/Tabellenverzeichnis**

### **Abbildungsverzeichnis**

- Abbildung 1 Visual ENERGYbase Dez. 2006 c. WWFF
- Abbildung 2 Foto ENERGYbase 2008 c. WWFF
- Abbildung 3 schematische Darstellung Passivhaushülle c. pos-architekten
- Abbildung 4 Schematische Darstellung Heizung Kühlung c. pos-architekten
- Abbildung 5 Foto Grünraumpuffer c. Hurnaus
- Abbildung 6 Schematische Darstellung aktiv passiv Nutzung Südfassade
- Abbildung 7 Endenergieverbrauch in kw/h Strom je m<sup>2</sup> NFL/a
- Abbildung 8 Warmwasserbereitung
- Abbildung 9 Detail Holzleichtbaufassade c. pos-architekten
- Abbildung 10 Ergebnis Innenraumluftmessung ENERGYbase c. bauxund
- Abbildung 11 Foto Südzone Büros Energybase c. WWFF
- Abbildung 12 Solarerträge je m<sup>2</sup> Fassadenfläche - arseanal research
- Abbildung 13 Ziele der Programmlinie Haus der Zukunft

## **9. Anhang**

**9.1. A1 SEB - Endbericht dynamische Gebäudesimulation-arsenal research.doc**

**9.2. A2 SEB - Endbericht Simulationen Pflanzebpuffer-arsenal research.doc**

**9.3. A3 SEB - Endbericht Strömungssimulation-arsenal research.doc**



Forschungsprojekt  
INTEREG IIIa AT – SK

**TECHbase Centrope**  
Umsetzung eines Nachhaltigen Gebäude- und Energiekonzeptes für  
das Büro- und Gewerbegebäude „Sunny Energy Building“

**Fachlicher Teilbericht**  
Dynamische Gebäudesimulationen im Bauvorhaben ENERGYbase

**Fachlicher Schlussbericht**  
**2008**

Wien, im Juni 2008

## **Inhalt**

<b>1.</b>	<b><i>EINFÜHRUNG IN DIE THEMATIK</i></b> .....	<b>3</b>
<b>1.1.</b>	<b><i>BAUVORHABEN ENERGYBASE</i></b> .....	<b>3</b>
<b>1.2.</b>	<b><i>WISSENSCHAFTLICHE BEGLEITUNG DURCH METHODE DER DYNAMISCHEN GEBÄUDE- UND ANLAGENSIMULATION</i></b> .....	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b><i>VORGEHENSWEISE UND METHODE</i></b> .....	<b>5</b>
<b>2.1.</b>	<b><i>DYNAMISCHE GEBÄUDE- UND ANLAGENSIMULATIONEN</i></b> .....	<b>5</b>
<b>2.2.</b>	<b><i>VORGEHENSWEISE IM PROJEKT ENERGYBASE</i></b> .....	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b><i>DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN UND ERGEBNISSE</i></b> .....	<b>8</b>
<b>3.1.</b>	<b><i>BERECHNUNG VON ENERGYBASE ENERGIEKENNZAHLEN</i></b> .....	<b>8</b>
<b>3.2.</b>	<b><i>TEMPERIERUNG MIT THERMISCH AKTIVIERTEN BAUTEILEN (TABS)</i></b> .....	<b>13</b>
<b>3.3.</b>	<b><i>BRUNNENWASSERENTNAHME</i></b> .....	<b>16</b>
<b>3.4.</b>	<b><i>KOMFORTANALYSE SÜDBÜRO</i></b> .....	<b>18</b>
<b>3.5.</b>	<b><i>SIMULATION DER SOLAREN KLIMATISIERUNG</i></b> .....	<b>34</b>
	<b><i>ANHANG A</i></b> .....	<b>38</b>

## 1. Einführung in die Thematik

### 1.1. Bauvorhaben ENERGYbase

Das Wiener Bauvorhaben ENERGYbase setzt auf Ergebnisse des nationalen Forschungsprojektes »Sunny research« auf, welches in der Programmlinie »Haus der Zukunft« unter der Leitung von arsenal research entwickelt wurden. Gebaut wird das ENERGYbase als so genanntes Passivhaus. Energieeffizienz, der Einsatz erneuerbarer und ökologisch verträglicher Energieträger sowie höchster Nutzerkomfort sind die drei Säulen, auf denen das innovative Gebäudekonzept der ENERGYbase aufsetzt. Ökologische Baumaterialien, optimale Wärmedämmung, modernste Technik für einen effizienten Energieeinsatz – von solarer Klimatisierung bis zur Photovoltaik - sowie innovative Systeme für Raumklima und Lichttechnik reduzieren im ENERGYbase den Energieverbrauch für Heizung, Kühlung und Beleuchtung um 80 Prozent im Vergleich zu herkömmlichen Büroimmobilien. Ein Viertel des benötigten Elektrizitätsbedarfs deckt das ENERGYbase selbst durch die Erzeugung von ökologischem Solarstrom.

### 1.2. Wissenschaftliche Begleitung durch Methode der dynamischen Gebäude- und Anlagensimulation

arsenal research hat dynamischen Gebäude- und Systemsimulationen zur wissenschaftlichen Begleitung des Wiener Bauvorhabens ENERGYbase eingesetzt. Dadurch wurden in der frühen Konzept- und Planungsphase essentielle Eckdaten des Gebäudeverhaltens dokumentiert und ein optimiertes Gebäude hinsichtlich energetischer Nachhaltigkeit (Energieeffizienz und Einsatz Erneuerbarer Energiequellen) wurde entwickelt. Im Wesentlichen fokussierten sich die wissenschaftlichen Untersuchungen unter Einsatz von Gebäude- und Systemsimulationen auf folgende Schwerpunkte:

- *Unterstützung eines Integralen Planungsprozesses:*  
Die komplexe Bauaufgabe, die das Bauvorhaben ENERGYbase durch ambitionierte Projektziele auszeichnet, wurde im Zuge einer so genannten integralen Planung realisiert. arsenal research hat als Kompetenzzentrum für nachhaltiges Bauen und Energiesysteme wichtige Beiträge zur Planung der innovativen Haustechnik rechtzeitig, transparent und zielgerichtet eingebracht. Ergebnisse der umfangreichen Analysen, die auf durch den Einsatz der Expertentools (Dynamische Gebäude- und Systemsimulationen sowie Strömungssimulationen) generiert wurden, sind in den regelmäßigen Baubesprechungen präsentiert und diskutiert worden.
- *Energetische Bewertung des thermischen Gebäudeverhaltens:*  
Die ENERGYbase Architektur und das entwickelte Haustechnikkonzept zielen auf hohe Energieeffizienz mit Verwendung erneuerbaren Energiequellen bei verbessertem Nutzerkomfort ab. arsenal research hat über eine umfassende und aufwendige Gebäudemodellierung in der Simulationsumgebung TRNSYS – Beschreibung dazu siehe Anhang – eine geeignete Methode angewendet und weiterentwickelt, um das thermischen Gebäudeverhalten des zukunftsweisenden Bürobaus in einer frühen Planungsphase zu berechnen und zu bewerten. Eine Evaluierung des thermischen Gebäudeverhaltens zum jeweiligen aktualisierten Planungsstand wurde ermöglicht und eine verbesserte Planungssicherheit hinsichtlich der definierten energetischen Projektziele wurde ermöglicht.
- *Detailanalysen zur Betriebsverhalten ausgewählter Energiesysteme:*  
Durch individuelle innovative Architektur und Haustechniklösungen werden neue Planungsfragen aufgeworfen, die sich mit geeigneten Expertentools beantworten lassen. Besonderer Schwerpunkt

dieses Arbeitspaketes richtete sich auf die Entwicklung geeigneter Regelstrategien für spezielle Energiesysteme im Bürogebäude. Zu nennen sind insbesondere Detailuntersuchungen zum Betriebsverhalten der thermisch aktivierten Bauteiltemperierung und zur solaren Klimatisierung.

- *Vertiefende Komfortanalysen für die Büroeinheiten im Südbereich:*  
Der Grundriss des ENERGYbase Bürogebäudes und das Südfassadenkonzept ermöglicht eine komplette Versorgung des Gebäudes mit Tageslicht, was zu einer Minimierung des Kunstlichtbedarfs führt. Ergänzend zu diesen primären Maßnahmen leiten spezielle Lichtlenk-Jalousien das Tageslicht noch zusätzlich in die Tiefe des Raumes und sorgen so für noch mehr Helligkeit. arse-nal research hat zur den Auswirkungen der innen liegenden Verschattungseinrichtung auf die thermische Behaglichkeit dynamische Simulationen durchgeführt.

## **2. Vorgehensweise und Methode**

### **2.1. Dynamische Gebäude- und Anlagensimulationen**

Mit dem Innovationsgrad des Gebäudes steigt auch die Anforderung, neue Konzepte während des Planungsprozesses zu bewerten um sowohl energetisch als auch ökonomisch optimierte Lösungsansätze zur Umsetzung zu bringen. Innovative Gebäudekonzepte zeichnen sich vor allem durch eine enge Abhängigkeit von Architektur (Gebäudehülle und Struktur) und Haustechnik des Gebäudes aus. Das energetische und klimatische Verhalten des Gebäudes muss dabei im Vorfeld im Detail definiert und abgebildet werden, um den Gesamtentwurf zu optimieren.

Im Gegensatz zu statischen Simulationen, die jeweils nur eine Momentaufnahme liefern, können dynamische Simulationen das komplexe Zusammenspiel aller Komponenten eines Gebäudes detailliert analysieren und so das Verhalten eines Gebäudes in Abhängigkeit äußerer (Klima) und innerer (Personen, interne Lasten) Einflüsse berechnen. Simulationsprogramme, die die Energiebilanz und das energetische Verhalten eines Gebäudes sowie das komplexe Zusammenspiel der einzelnen Komponenten über einen definierten Zeitraum durch dynamische Simulationen abbilden, als auch Programme, die spezifische Fragestellungen einer Analyse beantworten, gewinnen daher in der Lösungsfindung für ganzheitliche Gebäudekonzepte immer mehr an Bedeutung.

Für die Durchführung der dynamischen Gebäude und Systemsimulationen verwendete arsenal research das Simulationspaket TRNSYS 15.0. Eine Kurzbeschreibung dieser TRNSYS-Simulationsumgebung erfolgt im Anhang.

### **2.2. Vorgehensweise im Projekt ENERGYbase**

arsenal research hat ab Juni 2007 regelmäßig an den ENERGYbase Baubesprechungen teilgenommen. Ergebnisse und wissenschaftliche Interpretationen der durchgeführten dynamischen Gebäude- und Anlagensimulation sind dem Planungsteam durch Präsentationen und schriftliche Kurzdokumentationen vorgestellt worden. Die thermische Simulation mit dem Simulationsprogramm TRNSYS beruht auf einem eindimensionalen Knotenmodell. Diese geometrische Vereinfachung in der Modellbildung ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten. Daher legte arsenal research viel Wert darauf, dem Planungsteam eine klare Definition der Modellannahmen zur Abbildung von Architektur und Haustechnik abzugeben.

Während des Planungsprozesses wurden sukzessive Zwischenergebnisse erarbeitet und in Abstimmung mit dem Planungsteam wurden neue Aufgaben für das arsenal research Simulationsteam definiert. Im speziellen Fall der theoretischen Abbildung und Simulation des thermodynamischen Verhaltens der Grünpuffer wurde von arsenal research eine Kooperation mit dem Institut für Wärmetechnik der Technischen Universität Graz durchgeführt.

Die wesentlichen Planungsherausforderungen, die arsenal research durch wissenschaftliche Planungsbegleitung im Bauvorhaben ENERGYbase mit der Methode der dynamischen Gebäude- bzw. Anlagensimulation bearbeitet hat, lassen sich durch nachfolgenden Überblick zusammenfassen:

AI 1. *Berechnung von Energiekennzahlen des ENERGYbase – Gebäudes*

Das Planungsteam zielt auf ein modernes Bürogebäude im Passivhausstandard ab. D.h. eine energieeffiziente Gebäudehülle (Hoher Wärmedämmstandard und Anforderungen an die Luftdichtheit, die sehr gut gedämmte Außenhülle). Im Gegensatz zu anderen Berechnungsverfahren in dieser Planungsphase werden hier Auswirkungen des dynamischen Zusammenspiels von innovativer Haustechnik und der Gebäudeverhaltens unter Wiener Klimabedingungen berücksichtigt. Erste Energiekennzahlen der Gebäudeperformance unter Berücksichtigung einiger Energieverteilssysteme wurden generiert.

AI 2. *Temperierung mit thermisch aktivierten Bauteilsystemen (TABS)*

Im Bauvorhaben ENERGYbase wird eine Grundtemperierung der Büroeinheiten über thermisch aktivierte Bauteilsysteme (TABS Flächenkühlsystem unter Nutzung von thermisch aktivierter Baukörpermasse) bewerkstelligt. TABS entkoppelt die Wärmezufuhr bzw. -abfuhr von der Lüftungsfunktion und nutzt die thermische Speicherfähigkeit von geeigneten Bauteilen des Gebäudes. Dieses System arbeitet thermisch träge und zeichnet sich durch die Begrenzung der thermischen Leistung aus. arsenal research hat hierzu die Modellierung der TABS in das bestehende Gebäudemodell eingearbeitet und spezielle Betriebsweise der TABS untersucht. Detailanalysen für spezielle Gebäudezonen, die hohe und singuläre Lastspitzen aufweisen, wurden durchgeführt.

AI 3. *Brunnenwasserentnahme*

Durch die günstigen geologischen Bedingungen des Standortes ENERGYbase lässt sich Erdwärme in Form von Grundwasser technisch nutzen. Das Haustechnikkonzept sieht eine Grundwasser gekoppelte Wärmepumpe zur winterlichen Beheizung des Gebäudes vor. Eine direkte Nutzung des Kühlpotenzials vom Grundwasser erfolgt im Sommer; über einen Wärmetauscher zwischen den beiden hydraulischen Kreisen werden zur Kühlung geeignete Temperaturen bereitgestellt. Die Grundwassernutzung unterliegt bestimmten Umweltauflagen, daher hat arsenal research auf Basis des entwickelten Gebäudemodells die erforderliche Wassermenge zur Gebäudetemperierung bestimmt.

AI 4. *Komfortanalyse Südbüro*

Im der fortgeschrittenen Planungsphase des Bauvorhabens sind spezielle Fragestellungen hinsichtlich thermischer Behaglichkeit aufgetreten. Die gefaltete Südfassade mit hoher Transparenz stellt ein wesentliches technisches Architekturelement dar, um das Konzept eines Passivhauses realisieren zu können. D.h. die Südverglasung ermöglicht im Winter die erforderlichen hohen passiven solaren Gewinne, um den Heizenergiebedarf auf ein Minimum zu reduzieren. Durch den Jahresverlauf der Sonne tritt in den betreffenden Zeiten direktes Sonnenlicht durch die Südverglasung in die südlichen Büroräume. Aufgrund der auftretenden Blendung ist ein innen liegender Sonnenschutz vor-

gesehen. arsenal research hat auf Basis dynamischer Simulationen erstmalig gezielt Untersuchungen zu thermischer Behaglichkeit für Insassen des Südbüros der ENERGYbase angestellt. Wichtige Fragestellungen der Untersuchungen waren beispielsweise:

- Wie funktioniert die gefaltete Südfassade im Hinblick auf ihren Abschattungscharakter in den Sommermonaten?
- Welchen quantitativen Einfluss hat eine variierende Bodenreflexion auf die Solarstrahlung der geneigten Glasfassade?
- Welche Auswirkungen hat der innen liegende Sonnenschutz auf die thermische Behaglichkeit?
  - i. Welche Temperaturen treten an der Innenseite der Südfassadenverglasung auf?
  - ii. Welche Temperaturen sind am innen liegenden Sonnenschutz zu erwarten
  - iii. An wie vielen Stunden im Jahr tritt thermische Unbehaglichkeit auf?
  - iv. Welche Behaglichkeitsklassen werden erreicht?
  - v. Welchen Einfluss auf die thermische Behaglichkeit hat die Wahl des Sonnenschutzes (hell oder dunkel)?
- Welche Verbesserung der thermischen Behaglichkeit (Sonnenschutztemperaturen, PPD) erwirkt der Einsatz eines Sonnenschutzglases (Annahmen - U-Wert 0.70 und g-Wert 0.30)?
- Welche thermische Behaglichkeit (PPD) wird für eine Person, die in der Raummitte arbeitet, berechnet (Nicht - wie oben angenommen - direkt in der Nähe des Sonnenschutzelementes)?

#### AI 5. Simulation der solaren Klimatisierung

Eine solare Gebäudeklimatisierung übernimmt die technische Aufgabe der Zuluftkonditionierung. Dieses energieeffiziente Klimatisierungsverfahren nutzt im Wesentlichen drei Prozessschritte der Luftbehandlung; 1.) Lufttrocknung - mit einem so genannten Sorptionsrotor, 2.) Wärmerückgewinnung und 3.) adiabate Verdunstungskühlung. Die Regeneration des beladenen Trocknungsrotors erfolgt unter Verwendung von Solarenergie. Ziel für den Anlagenbetrieb sind hohe solare Deckungsanteile an den auftretenden Wärme- bzw. Kühllasten. Zur Abschätzung und Optimierung des Anlagenverhaltens wurden dynamisch thermische Simulationen durchgeführt.

Die durchgeführten Arbeiten zu den Punkten AI1 bis AI5 werden nachfolgend individuell beschrieben und diskutiert und hierbei findet folgende Struktur Anwendung:

- Kurze Erläuterung der Aufgabenstellung
- Beschreibung der Vorgehensweise und verwendeten Methode
- Ergebnisdiskussion
- Resümee/ Empfehlungen.

### **3. Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse**

#### **3.1. Berechnung von ENERGYbase Energiekennzahlen**

##### **Aufgabenstellung**

Wesentliches Ziel war die Bewertung des energetischen Gebäudeverhaltens auf Basis des zeitlich gültigen Planungsstandes. Dazu sollten signifikante Energiekennzahlen auf Basis einer dynamischen Gebäudesimulation bestimmt werden. Zielgrößen sind hier sowohl der Jahresenergiebedarf für Heizen und Kühlen als auch die auftretenden sensiblen thermischen Lasten des Gebäudes.

##### **Vorgehensweise und Methode**

In einem ersten Arbeitsschritt wurde das Bürogebäude gemäß bestehender Architekturpläne als thermisches Modell in die Simulationsumgebung TRNBuild eingearbeitet. Einige Iterationsschritte waren notwendig um alle wesentlichen Gebäudedaten zu aktualisieren und mit den Vorgaben des Planungsteams zu akkordieren. Dies führte zu einer optimierten Modellvariante, die bereits einige Verbesserungsschritte hinsichtlich der Betriebsführung von externer Verschattung, Lüftungsführung und thermisch aktivierten Bauteilen beinhaltet. Das Bürogebäude ENERGYbase wurde durch 15 verschiedene thermische Zonen abgebildet. Grundlage zur Bestimmung der Zielgrößen (jährlicher Heiz und Kühlenergiebedarf) wurde das ENERGYbase Gebäudemodell ein Wiener Wetterdatensatz der METEONORM<sup>1</sup> Software. Abbildung 1 beinhaltet essentielle Informationen zu dem verwendeten Wetterdatensatz.

---

<sup>1</sup> METEONORM Version 5.1 Copyright METEOTEST Fabrikstrasse 14, CH-3012 Bern, Switzerland, Swiss Federal Office of Energy, CH-3003 Bern, November 2004



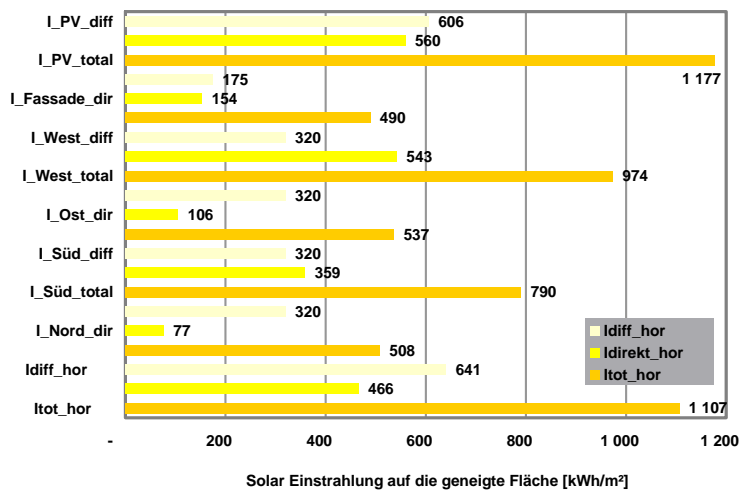
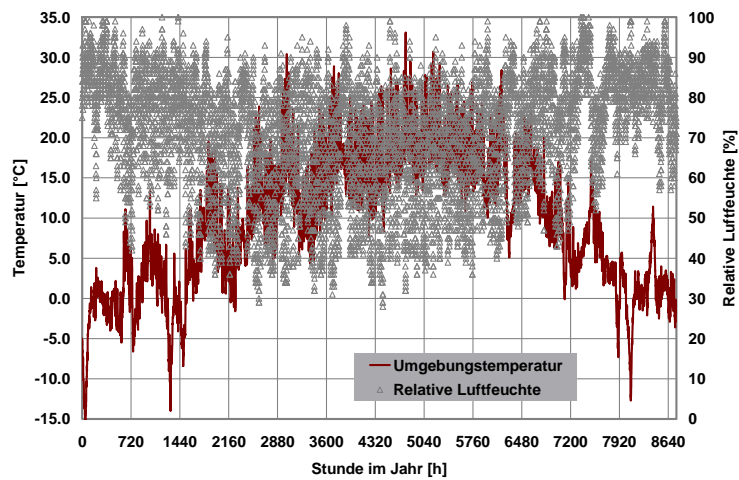


Abbildung 1: Meteonorm Wetterdatensatz für den Standort Wien

Obere Grafik: Stundenwerte zu Temperatur und relative Feuchte der Außenluft  
 Untere Grafik: Jahresenergien [kWh/m²] der globaler, direkter und diffuser Solarstrahlung auf verschieden orientierter Flächen.

## **Annahmen der Modellierung**

### **Interne Lasten**

Personen

- VDI 2078 (120 W/P, latent 25 W/P sensible 95 W/P)
- 644 Personen anwesend im Zeitfenster Montags bis Freitags von 08:00 bis 18:00 Uhr  
(Die Anwesenheit der Personen ist über den Tagesverlauf gewichtet)
- Am Wochenende keine Belegung durch Personen

### **Künstliche Beleuchtung**

Steuerung durch Tageslicht

- Beleuchtungsstärke - gemäß 200 lx sollte künstliche Beleuchtung eingeschaltet werden.  
Zielwert : 500 lx am Arbeitsplatz
- Umrechnungsfaktor 110 lx entsprechen etwa 1 [W/m<sup>2</sup>]

Interne Last durch Beleuchtung

- Betriebszeiten Montags bis Freitags von 08:00 Uhr bis 18:00 Uhr
- 10 Watt pro m<sup>2</sup> im Nordbüro
- 5 Watt pro m<sup>2</sup> im Südbüro

### **Lüftungssystem**

Frischlufbedarf

- Gesamte Frischluftmenge 18 400 m<sup>3</sup>/h (30 m<sup>3</sup>/h Person)

Aufteilung in den Geschossen

- Nordbüro pro OG: 1.380 m<sup>3</sup>/h
- Südbüro pro Geschoss: 2.220 m<sup>3</sup>/h
- 5 Seminarräume: 3.700 m<sup>3</sup>/h
- Büroräume: 300 m<sup>3</sup>/h

Wärmerückgewinnung im Lüftungssystem

- Rückwärmezahl des Wärmerückgewinnung konstant mit 0.70 gerechnet
- keine Rückgewinnung der Feuchte

### **Steuerung der Verschattungssysteme**

- Umrechnungsfaktor 110 lx entsprechen 1 [W/m<sup>2</sup>]

Innenliegende Verschattung Südbüro – Alurollo

- Bei 17 000 lx; 155 [W/m<sup>2</sup>] auf die Horizontale → Abschattungsfaktor 0.71
- Bei 30 000 lx; 270 [W/m<sup>2</sup>] auf die Horizontale → Abschattungsfaktor 0.86

Aussenliegende Verschattung Nordbüro + West/ Ost

- Bei 20 000 lx; 180 [W/m<sup>2</sup>] auf die Horizontale → Abschattungsfaktor 0.86

### **Betriebsweise der Bauteilaktivierung (Auch in den Übergangszeiten):**

- Einschalten der Pumpen ganzjährig/ täglich von 06:00 bis 09:00 Uhr

Eintrittstemperaturen:

- Nordbüros (25°C/ 22°C/ 20°C) (Winter/Übergangszeit/ Sommer)
- Südbüros (23°C/ 22°C/ 18°C) (Winter/Übergangszeit/ Sommer)

### Raumlufthkomfort Sollwerte

- Raumtemperatur 20°C < Tsoll < 26°C
- Nachtabsenkung auf Tsoll = 15°C
- Relative Feuchte wurde nicht berücksichtigt

### Ergebnisdiskussion

Unter Beachtung der Eingabedefinitionen des Gebäudemodells ergibt sich durch die Anwendung der dynamischen Simulation ein spezifischer Jahresheizenergiebedarf von rund 18.7 kWh/m<sup>2</sup> und einen Jahreskühlenergiebedarf von rund 21.3 kWh/m<sup>2</sup>. Abbildung 2 zeigt den berechneten Energiebedarf für Heizen und Kühlen.

Angemerkt sei an dieser Stelle, dass dies keine reine Bedarfrechnung ist, denn hier sind bereits Bereitstellungssysteme mit einbezogen. Insbesondere sind die nachgefragten Jahresenergiemengen der thermisch aktivierten Bauteilsysteme nur vor dem Hintergrund der hinterlegten TABS Betriebsweise zu verstehen. In diesem Szenario ist der Betrieb der TABS für vier Stunden am frühen Morgen hinterlegt. Der Jahresenergiebedarf für die Zuluftbehandlung betrifft allein die Einhaltung der definierten Solltemperaturen, eine Feuchtekontrolle der Zuluft ist hier unberücksichtigt. Aufgrund der Komplexität einer gekoppelten Gebäude- und Anlagensimulation ist auf die Bestimmung der Energiemenge zur Feuchthebehandlung in dieser Projektphase verzichtet worden.

Abbildung 3 stellt die auftretenden thermischen Leistung für Heizen und Kühlen über ein ganzes Jahr dar. Die maximale Heizlast liegt bei rund 400 kW und die maximal auftretende Kühllast ist mit rund 330 kW errechnet.

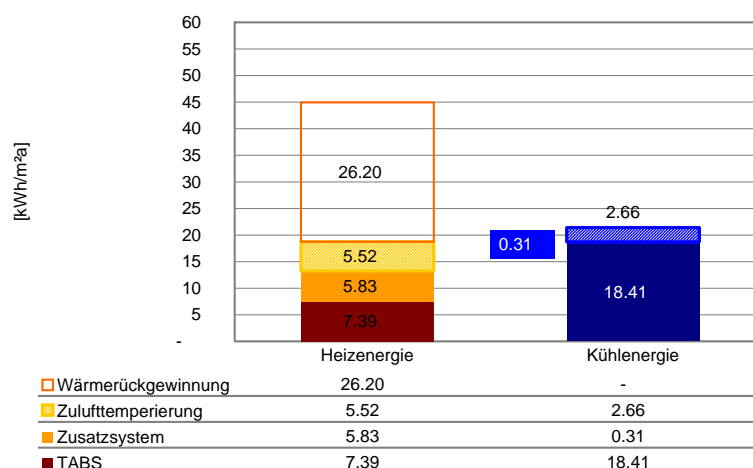


Abbildung 2: Jahresenergiebedarf für Heizen und Kühlen basierend auf den Ergebnissen der dynamischen Simulation.

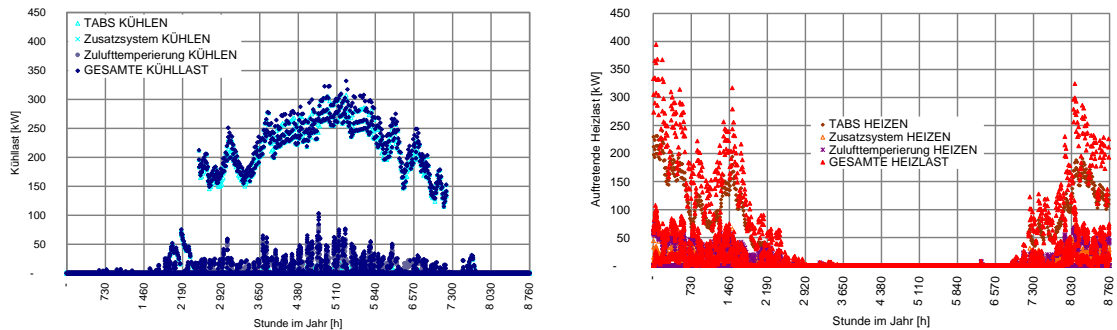


Abbildung 3: Thermische Lasten zur Temperierung der Zuluft und der Raumluft durch die TABS und Zusatzheizsystem

Linke Grafik: Stundenwerte auftretender Kühllasten über ein Jahr

Rechte Grafik: Stundenwerte auftretender Heizlasten über ein Jahr

## Resümee/ Empfehlungen

Aufgrund der durchgeführten dynamischen Gebäudesimulation lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Grundsätzlich decken die thermisch aktivierten Bauteilsysteme die auftretenden Lasten; die vorliegenden Arbeiten beinhalten allerdings keine Optimierungsschritte der Steuerung der TABS. Hier sind erste Hinweise zu unterschiedlichen Regelstrategien von unterschiedlichen thermischen Zonen generiert worden.
- Zusätzliche Heizsysteme – wie konventionelle Radiatoren oder thermisch aktivierte Wandflächen – sind in speziell exponierten Büroräumen (Eckbüros mit Nordausrichtung im vierten Obergeschoss) zu empfehlen. Die in Abbildung 2 ausgewiesenen 5.83 kWh/m<sup>2</sup> zusätzliche Heizenergie betreffen Räumlichkeiten des Erdgeschosses, diese sind im Haustechnik-konzept nicht über TABS temperiert.
- Durch effektive technische Maßnahmen – speziell gefaltete Südfassade und Aktivierung thermischer Massen - zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung übersteigt der Kühlenergiebedarf nicht den Heizenergiebedarf.
- Wichtige Energiekenngrößen, die für eine Passivhauszertifizierung notwendig sind, können mit Hilfe des aufgesetzten Gebäudemodells bereitgestellt werden.

## 3.2. Temperierung mit thermisch aktivierten Bauteilen (TABS)

### Aufgabenstellung (Nordbüro)

Im Bauvorhaben ENERGYbase wird eine Grundtemperierung der Büroeinheiten über thermisch aktivierte Bauteilsysteme (TABS Flächenkühlsystem unter Nutzung von thermisch aktivierter Baukörpermasse) bewerkstelligt. TABS entkoppeln die Wärmezufuhr bzw. -abfuhr von der Lüftungsfunktion und nutzt die thermische Speicherfähigkeit von geeigneten Bauteilen des Gebäudes. Die thermischen Massen von Boden- und Deckenaufbauten sind dabei von Wasser führenden Leitungen durchzogen und können sowohl im Winter als auch im Sommer mit geeigneter Eintrittstemperatur thermisch beladen werden. Das System der TABS eignet sich zur Abdeckung der thermischen Grundlast. Gemäß Herstellerangaben und Erfahrungen aus anderen Projekten lassen sich im stationären Zustand etwa 30 bis 40 Watt pro m<sup>2</sup> spezifische Kühlleistung erreichen. Das entspricht bei 5 Kelvin Temperaturhub einem Gesamtwärmeübergang von 6 bis 8 W/(m<sup>2</sup>K).

Insbesondere sind die individuelle Regelbarkeit der TABS und ihre Auswirkung auf die Raumtemperierung durch ihre Trägheit von Interesse. Dazu wurden die Eckbüros im Nordteil des 4. Obergeschosses ausgewählt.

*Fragestellung: Welche thermischen Auswirkungen ergeben sich auf nicht besetzte Nachbarräume im mittleren Nordtrakt des vierten Obergeschosses, wenn die belegten Eckbüros mit der Bauteilaktivierung auf 20°C Raumtemperatur gehalten werden?*

### Vorgehensweise Methode

Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurde das existierende Gebäudemodell adaptiert und das 4. OG wurde mit drei thermischen Zonen für die Nordbüros modelliert – siehe Abbildung 4. Auf Basis des Wiener Wetterdatensatzes (METEONORM) wurden dazu die Raumtemperaturen der verschiedenen Zonen im Nordtrakt in den ersten zwei Jännerwochen analysiert. Dazu wurden zwei Betriebsweisen der TABS untersucht. Die Wasserführenden Leitungen der TABS sind mit 6 cm Abstand zur Oberfläche gerechnet, d.h. eine relativ rasche Wärmeübertragung mit der Raumluft ist beabsichtigt. Die Beschreibung der Eingabedaten für die untersuchten Varianten lässt sich wie folgt beschreiben:

- |                   |  |
|-------------------|--|
| <i>VARIANTE 1</i> | Einschaltzeiten - Einschalten der Pumpen im Heizbetrieb/<br>täglich von 04:00 bis 14:00 Uhr<br><br>Eintrittstemperaturen - TABS der Eckbüros und Mittelbüro werden mit konstant 28°C beschickt |
| <i>VARIANTE 2</i> | Einschaltzeiten - Einschalten der Pumpen im Heizbetrieb/<br>täglich von 04:00 bis 14:00 Uhr<br><br>Eintrittstemperaturen - TABS der Eckbüros und Mittelbüro werden mit konstant 25°C beschickt |

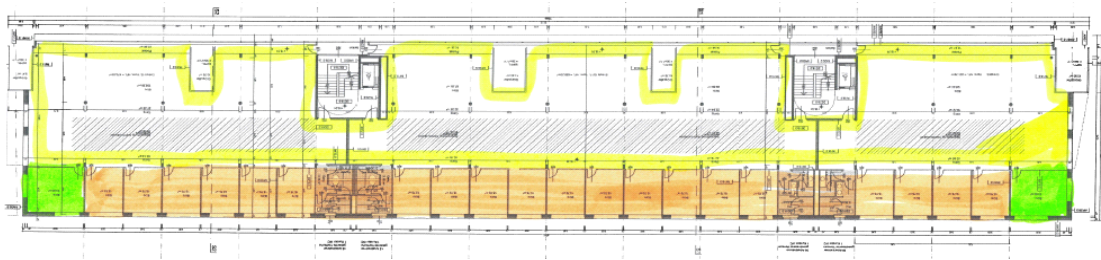


Abbildung 4: Adaptierte Modellierung der Nordbüros – zusätzliche thermische Zonen in den Eckbüros im 4. Obergeschoss. Die grün gekennzeichneten Zonen entsprechen den Eckbüros im Nordtrakt

## Ergebnisdiskussion

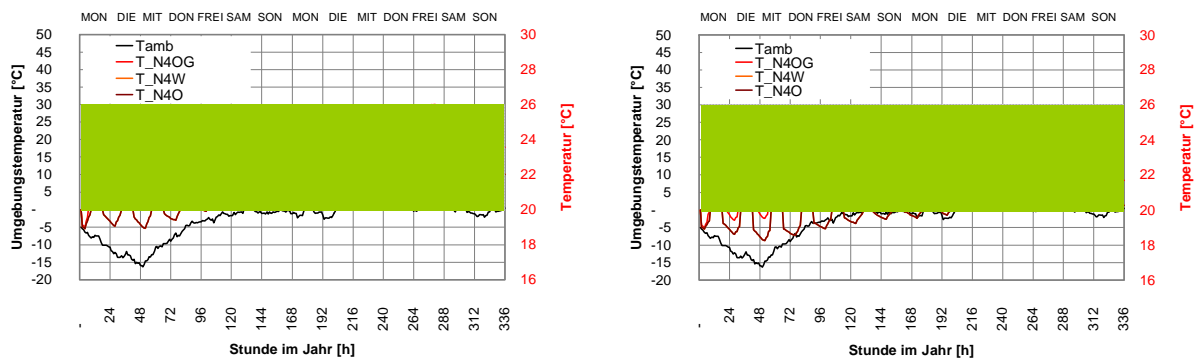


Abbildung 5: Temperaturverläufe der Eckbüros ( $T_{N4West}$  und  $T_{N4Ost}$ ) und Mittelbüros ( $T_{N4OG}$ ) im 4. Obergeschoss im Nordtrakt. Simuliert wurden zwei unterschiedliche Jännerwochen: Die erste Woche mit sehr kalten Umgebungstemperaturen ( $T_{amb}$ ) und wenig Sonne und die zweite Woche mit moderaten Umgebungstemperaturen und Sonnenschein.

Linke Grafik: Temperaturverläufe der drei thermischen Zonen im Nordbüro im Falle einer konstanten Vorlauftemperatur der TABS von  $T_{TABSin} = 28^{\circ}C$ .

Rechte Grafik: Temperaturverläufe der drei thermischen Zonen im Nordbüro im Falle einer konstanten Vorlauftemperatur der TABS von  $T_{TABSin} = 25^{\circ}C$ .

### Zu VARIANTE 1

Kalte Winterwoche - Die Eckbüros können bei sehr kalten Winterwochen allein durch die TABS mit  $28^{\circ}C$  Eintrittstemperatur und 10 Stundenbetrieb auf  $20^{\circ}C$  gehalten werden - siehe Temperaturverläufe rechte Grafik.

Moderate Winterwoche mit Sonneneintrag - Diese Betriebsweise würde bei moderaten Winterwochen mit Sonnenschein zu Raumlufttemperaturen in den nicht besetzten Mittelteil der Nordbüros von bis zu  $26^{\circ}C$  führen → Überwärmung – dazu siehe Temperaturverläufe Abbildung 5 rechte Grafik.

## VARIANTE 2

Kalte Winterwoche - Die Eckbüros können bei sehr kalten Winterwochen nicht mehr allein durch TABS Betrieb mit 25°C Eintrittstemperatur und 10 Stundenbetrieb auf 20°C gehalten werden → ein Zusatzheizsystem wäre notwendig - siehe Temperaturverläufe in Abbildung 5 linke Grafik.

Moderate Winterwoche mit Sonnenschein - In den Eckbüros führt diese Betriebsweise bei moderaten Winterwochen mit Sonneneinstrahlung zu garantierten Raumlufftemperaturen von über 20°C. Im Mittelteil der Nordbüros werden Raumlufftemperaturen von über 24°C erreicht - siehe Temperaturverläufe in Abbildung 5 linke Grafik.

## Resümee/ Empfehlungen

Die TABS zeichnen sich durch thermische Leistungsgrenzen aus. Daher kommt der individuellen Regelbarkeit einzelnen TABS Segmente eine erhöhte Bedeutung zu. Zusammenfassend lassen sich folgende Empfehlungen ableiten:

- Die nächtliche Beladung der TABS mit unterschiedlichen Vorlaufzeiten ist ein geeignetes Mittel den unterschiedlichen Lastfällen haustechnisch zu begegnen.
- Zur verbesserten Einzelraumregelbarkeit der TABS sind geeignete Unterteilungen der hydraulisch verschalteten TABS Flächen vorzunehmen.
- Die Regelungstechnik muss in der Lage sein unterschiedliche Lastfälle zu erfassen und mit geeigneten Regelalgorithmen notwendige technische Maßnahmen zu aktivieren. Die Vorlauf-temperatur sollte regelbar sein. Eine Wettergeführte Regelung der TABS in Kombination mit anderen Lastprognosen ist zu empfehlen. Die Regelungseinheit sollte beispielsweise zuverlässige Drei-Tages-Prognose berücksichtigen können.

### 3.3. Brunnenwasserentnahme

#### Aufgabenstellung

Durch die günstigen geologischen Bedingungen des Standortes ENERGYbase lässt sich Erdwärme in Form von Grundwasser technisch nutzen. Das Haustechnikkonzept sieht eine Grundwasser gekoppelte Wärmepumpe zur winterlichen Beheizung des Gebäudes vor. Eine direkte Nutzung des Kühlpotenzials vom Grundwasser erfolgt im Sommer. Die Grundwassernutzung unterliegt bestimmten Umweltauflagen, daher hat arsenal research auf Basis des entwickelten Gebäudemodells die erforderliche Entnahmemengen des Brunnenwassers bestimmt.

*Fragestellung: Welche maximale Grundwassermenge wird dem Boden entnommen, um die sommerliche und winterliche Grundtemperierung des Bürogebäudes durch Erdwärme zu realisieren?*

#### Vorgehensweise Methode

Basis der Untersuchung sind dynamische Gebäudesimulationen. Das optimierte Gebäudemodell zum Bauvorhaben ENERGYbase wurde mit dem ganzjährigen Betrieb der thermisch aktivierten Bauteilsysteme verwendet, um die Stundenwerte der thermische Be- bzw. Entladung der TABS zu berechnen. Über die ermittelten thermischen Leistungen des wassergeführten System lassen sich die erforderlichen Entnahmemengen des Grundwassers bestimmen. Folgende Grundannahmen liegen der Modellierung/Simulation und nachfolgenden Berechnungen zu Grunde:

- Betriebsweise der Bauteilaktivierung (auch zu Übergangszeiten):
  - o Einschalten der Pumpen ganzjährig/ täglich von 06:00 bis 09:00 UhrEintrittstemperaturen:
  - o Nordbüros (25°C/ 22°C/ 20°C) (Winter/Übergangszeit/ Sommer)
  - o Südbüros (23°C/ 22°C/ 18°C) (Winter/Übergangszeit/ Sommer)
- Brunnenseitig wird mit 5 Kelvin Spreizung gerechnet
- Im Kühlfall wird im so genannten freien Kühlbetrieb die Brunnenwassertemperatur über einen Wärmetauscher dem Gebäude bereitgestellt.
- Im Heizfall hebt eine Wärmepumpe mit einer durchschnittlichen Arbeitzahl von 4 das Temperaturniveau des Brunnenwassers auf 45°C Vorlauf an. D.h. 75% der nachgefragten Heizleistung wird dem Brunnenwasser entzogen.
- Thermische Gewinne durch die Sonnenkollektoren sind hier nicht hinterlegt. Die Wärmepumpe versorgt das ganze System.



## Ergebnisdiskussion

Die erforderlichen Entnahmemengen des Grundwassers sind berechnet worden und die ermittelten Stundenwerte wurden zu so genannten Jahresdauerlinien umgewandelt. Abbildung 6 enthält Kurven der Brunnenwasser-Entnahmemengen für den Heiz- und Kühlbetrieb.

WINTER:

- Spitzenwassermenge Winter: 14,5 l/s
- Max. Tagesentnahmemenge Winter: 280 m<sup>3</sup>/d
- Entnahmemenge Heizperiode (Okt.-Apr.): 17.300 m<sup>3</sup>

SOMMER:

- Spitzenwassermenge Sommer: 15,9 l/s
- Max. Tagesentnahmemenge Sommer: 230 m<sup>3</sup>/d
- Entnahmemenge Kühlperiode (Mai - Sept.): 26.300 m<sup>3</sup>

GESAMT:

- Spitzenwassermenge: rd. 20l/s
- Max. Tagesentnahmemenge: 280 m<sup>3</sup>/d
- Jahresentnahmemenge: 43.600 m<sup>3</sup>/a

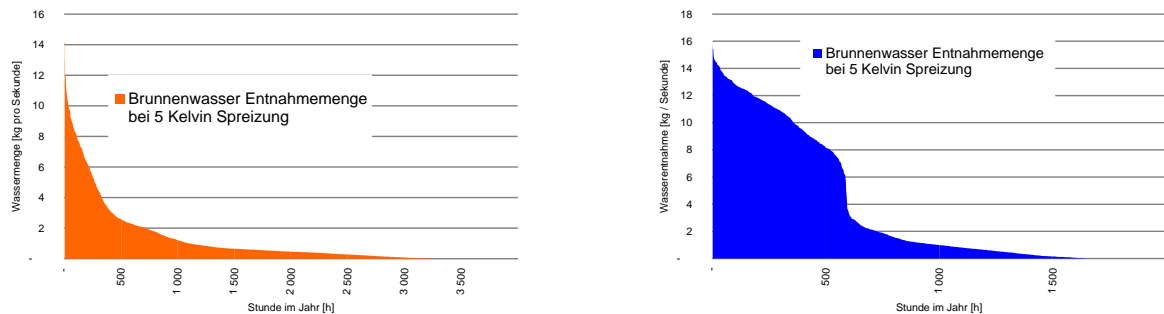


Abbildung 6 Brunnenwasser-Entnahmemengen in kg pro Sekunde für den Heiz- (linke Grafik) und den Kühlbetrieb (rechte Grafik).

## Resümee/ Empfehlungen

Vorausgesetzt die Temperaturspreizung im Brunnenwasserkreis kann technisch ganzjährig mit maximal 5 Kelvin eingegrenzt werden, so liegen die maximalen Entnahmemengen unter der geologisch akzeptablen Obergrenze von 20 kg pro Sekunde (Gemäß Aussage Herr Rauhs vom WWFF). Allerdings beeinflusst die Betriebsweise der TABS die Tages- und Jahresentnahmemenge erheblich. D.h. eine Sicherheit nach oben ist einzurechnen. Wenn die Pumpen der TABS ganzjährig - 8760 Stunden Betrieb – Wasser fördern, wird sich die absolute Entnahmemenge proportional erhöhen. Maximalwerte der Entnahmemenge [kg/s] werden sich Dauerbetrieb nicht wesentlich verändern.

### 3.4. Komfortanalyse Südbüro

#### Aufgabenstellung

Im der fortgeschrittenen Planungsphase des Bauvorhabens sind spezielle Fragestellungen hinsichtlich der erreichbaren thermischen Behaglichkeit aufgetreten. Die gefaltete Südfassade mit hoher Transparenz stellt ein wesentliches technisches Architekturelement dar, um das Konzept eines Passivhauses realisieren zu können. D.h. die Südverglasung ermöglicht im Winter die erforderlichen hohen passiven solaren Gewinne, um den Heizenergiebedarf auf ein Minimum zu reduzieren. Durch den Jahresverlauf der Sonne tritt in den betreffenden Zeiten direktes Sonnenlicht durch die Südverglasung in die südlichen Büroräume. Aufgrund der auftretenden Blendung ist ein innen liegender Sonnenschutz vorgesehen. arsenal research hat auf Basis dynamischer Simulationen erstmalig gezielt Untersuchungen zu thermischer Behaglichkeit für Insassen des Südbüros der ENERGYbase angestellt.

*Fragestellung:*

- (1) Wie funktioniert die gefaltete Südfassade im Hinblick auf ihren Abschattungscharakter in den Sommermonaten?
- (2) Welchen quantitativen Einfluss hat eine variierende Bodenreflexion auf die Solarstrahlung der geneigten Glasfassade?
- (3) Welche Auswirkungen hat der innen liegende Sonnenschutz auf die thermische Behaglichkeit?
  - vi. Welche Temperaturen treten an der Innenseite der Südfassadenverglasung auf?
  - vii. Welche Temperaturen sind am innen liegenden Sonnenschutz zu erwarten
  - viii. An wie vielen Stunden im Jahr tritt thermische Unbehaglichkeit auf?
  - ix. Welche Behaglichkeitsklassen werden erreicht?
  - x. Welchen Einfluss auf die thermische Behaglichkeit hat die Wahl des Sonnenschutzes (hell oder dunkel)?
- (4) Welche Verbesserung der thermischen Behaglichkeit (Sonnenschutztemperaturen, PPD) erwirkt der Einsatz eines Sonnenschutzglases (Annahmen - U-Wert 0.70 und g-Wert 0.30)?
- (5) Welche thermische Behaglichkeit (PPD) wird für eine Person, die in der Raummitte arbeitet, berechnet (Nicht - wie oben angenommen - direkt in der Nähe des Sonnenschutzelementes)?

#### Vorgehensweise Methode

Modellierung der thermischen Zone - Südbüro

Das existierende Gebäudemodell wurde adaptiert und beschränkt sich nun auf die Modellierung des Südbüros im dritten Obergeschoss. Abbildung 7 skizziert die modellierten thermischen Zonen für das Südbüro. Zur Analyse der thermischen Behaglichkeit wurde eine neue thermische Zone direkt hinter der innen liegenden Verschattung modelliert.

Somit sind repräsentative Kennzahlen zur Komfortanalyse – wie PPD<sup>2</sup>, PMV<sup>3</sup> und operative Temperaturen – für eine Person direkt am Sonnenschutz sitzend generierbar.

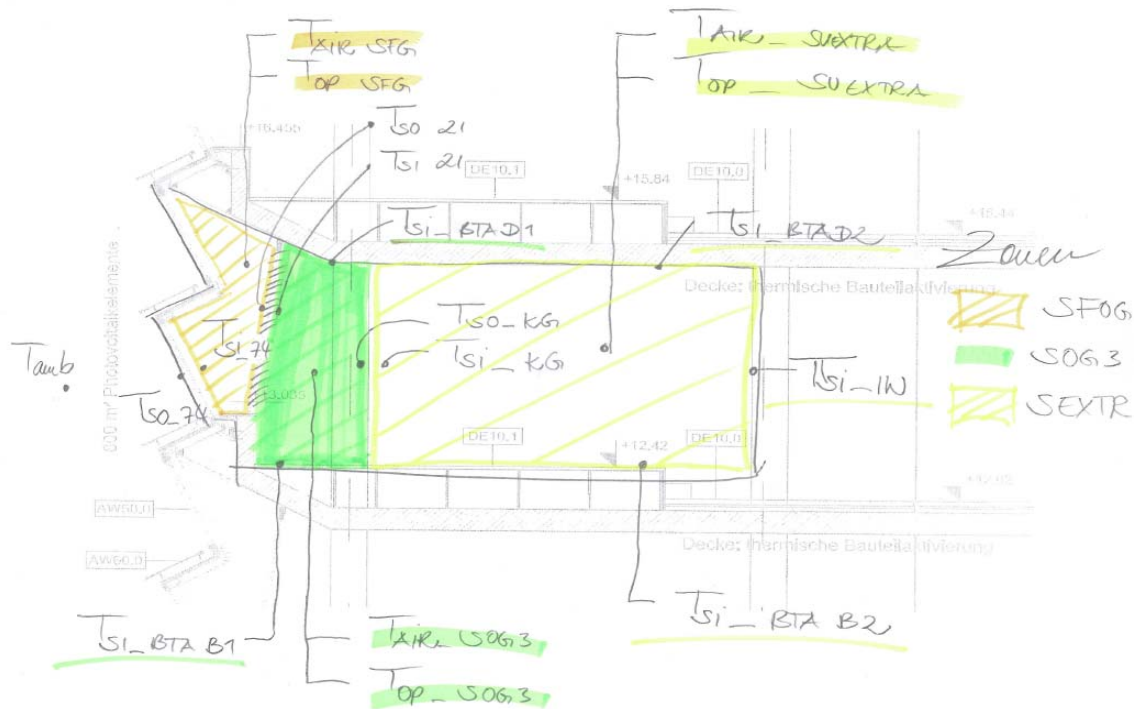


Abbildung 7. Gebäudemodell mit drei thermischen Zonen für das Südbüro

## Modellierung des Sonnenschutzes und Variantenbeschreibung

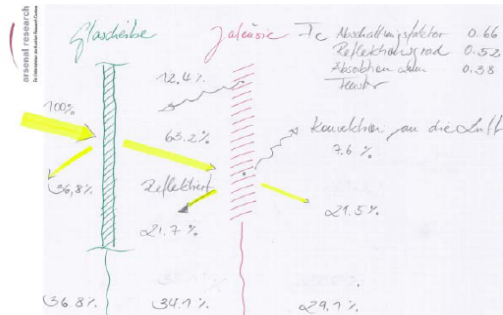
**Variante 1a** – Sonnenschutz wird als interne Verschattungseinrichtung modelliert. Die Simulationsumgebung TRNSYS bietet dazu ein verfügbares Modell an. D.h. hier werden bestimmte physikalische Parameter der Verschattungseinrichtung definiert – siehe Abbildung 8.

<sup>2</sup> PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied (Prozentsatz erwarteter Unzufriedener)

<sup>3</sup> PMV – Predicted Mean Vote (zu erwartende mittlere Beurteilung)

**Anmerkung** : Mit dem PMV-Index lässt sich bestimmen, wie weit man von einer optimalen thermischen Raumluftbedingungen abweicht. Bei PMV = 0 entspricht man genau der Behaglichkeitsgleichung. In der Praxis werden nicht alle Personen mit diesem Raumklima zufrieden sein. Wichtig ist hier der Prozentsatz der Unzufriedenen Personen, wobei als unzufrieden jene Personen gelten, die ein bestimmtes Raumklima auf der PMV –Skala mit +3 (heiß), +2 (warm), +1 (leicht warm), (-1) leicht kühl, -2 (kühl) und -3 (kalt) bewerten.

## Weißer Jalousie



## Schwarze Jalousie

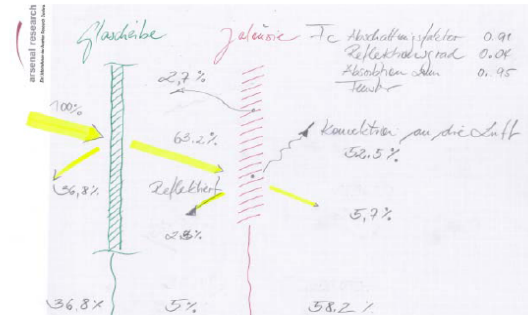


Abbildung 8. Abschattungsmodell in der Simulationsumgebung TRNSYS

**Variante 2a:** Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen und physikalischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes – siehe Tabelle 1. Die Steuerung dieses modellierten Sonnenschutzes entspricht den definierten Einschaltkriterien.

**Variante 3a:** Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen und physikalischen Eigenschaften eines hellen Sonnenschutzes – siehe Tabelle 1. Die Steuerung dieses modellierten Sonnenschutzes entspricht den definierten Einschaltkriterien.

Tabelle 1 Verschiedene Glasmodelle und ihre optischen sowie physikalischen Eigenschaften – Gewählt wurden **ID 16002** und **ID 16004**

ID Abschirmung	Farbe	Abs	Tsol	Tvis	Emis_ außen	Emis_ innen
17002	schwarz		0.00	0.00	0.90	0.89
17001	schwarz		0.04	0.07	0.84	<b>0.14</b>
17003	Schwarz		0.03	0.05	<b>0.12</b>	0.84
16002	dunkel	0.60	0.26	0.60	0.84	0.84
16001	hell	0.60	0.26	0.50	0.84	<b>0.10</b>
16003	hell	0.67	0.25	0.52	<b>0.09</b>	0.84
16004	hell	0.23	0.25	0.59	<b>0.03</b>	0.84
18002	transparent		0.67	0.87	0.84	0.84
18001	transparent		0.66	0.81	0.84	<b>0.17</b>
18003	transparent		0.68	0.83	<b>0.16</b>	0.84

**Variante 4a:** Der Sonnenschutz ist nicht modelliert und aktiviert. Hier wird kein interner Sonnenschutz gerechnet. Allerdings verwendet das aufgesetzte TRNSYS Modell zur thermischen Bilanzierung, in der Ebene des Sonnenschutzes eine fiktive Oberflächentemperatur.

### **Steuerung des innen liegenden Sonnenschutzes**

Aufgrund der neuen physikalischen Eigenschaften der Südverglasung (U-Wert = 0.60 und g-Wert = 0.42) wurden die Einschaltkriterien des Sonnenschutzbetriebs angepasst. Aus Tageslichttechnische Gründen wird hier als Richtwert die Transmission des sichtbaren Lichtes  $T_{vis}$  ( $T_{vis\_alt} = 0.80$ ;  $T_{vis\_neu} = 0.66$ ) herangezogen.

Gemäß Tageslichtplaner sollte am Arbeitsplatz eine Beleuchtungsstärke von 500 lx durch Tageslicht und künstliche Beleuchtung garantiert werden. Angenommener Umrechnungsfaktor von verfügbarer Solarstrahlung zur Beleuchtungsstärke – hier 1 [ $W/m^2$ ] entspricht etwa 110 lx.

Der modellierte Sonnenschutz kann in zwei Stufen geregelt abschatten. Die Einschaltkriterien für den innen liegenden Sonnenschutz sind folgende:

*Erste Stufe*            *Bei 20 600 lx; 187 [ $W/m^2$ ] auf die geneigte Südfassade (diffuse und direkte Solarstrahlung) → Abschattungsfaktor des Sonnenschutzes 0.71*

*Zweite Stufe:*        *Bei 36 300 lx; 330 [ $W/m^2$ ] auf die geneigte Südfassade (diffuse und direkte Solarstrahlung) → Abschattungsfaktor des Sonnenschutzes 0.84*

### **Modellierung der Regelung der TABS**

Die thermisch aktivierten Bauteilsysteme TABS werden im Modell permanent betrieben, um optimale Oberflächentemperaturen der Raumumschließungsflächen für eine hohe thermische Behaglichkeit zu gewährleisten. Die thermisch aktivierten Bausysteme werden mit einem spezifischen Massenstrom von 12  $kg/m^2/h$  durchströmt.

### **Raumluftfeuchte und –temperaturen:**

Für den Winterfall sind die Zeitreihen der thermischen Simulation zur Feuchteproduktion der Grünpuffer hinterlegt. Im Sommer wird angenommen, dass die Anlage zur solaren Klimatisierung einen konstanten Zuluftzustand von 22°C / 50% relative Feuchte garantiert.

### **Eingabewerte für das Komfortmodell:**

Saisonal abhängiger Clothing factor:

Winter            CLO : 1.00 (Business Bekleidung ohne Sakko)

Übergangszeit CLO : 0.75

Sommer         CLO : 0.50

Metabolic rate: Met : 1.2 (sitzende Tätigkeit)

Mittlere Luftgeschwindigkeit 0.10 m/sec

Tabelle 2 *Drei Kategorien des Umgebungsklimas*

Tabelle A.1 — Drei Kategorien des Umgebungsklimas

Kategorie	Thermischer Zustand des Körpers insgesamt		Lokale Unbehaglichkeit			
	Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen	Vorausgesagtes mittleres Votum	Prozentsatz an Unzufriedenen auf Grund von Zugluft	Prozentsatz an Unzufriedenen auf Grund vertikaler Lufttemperaturunterschiede	Prozentsatz an Unzufriedenen auf Grund warmer oder kalter Fußböden	Prozentsatz an Unzufriedenen auf Grund von asymmetrischer Strahlung
	PPD %	PMV	DR %	%	%	%
A	< 6	-0,2 < PMV < 0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	0,7 < PMV < +0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

## Ergebnisdiskussion

### Zu Fragestellung 1)

Wie funktioniert die gefaltete Südfassade im Hinblick auf ihren Abschattungscharakter in den Sommermonaten?

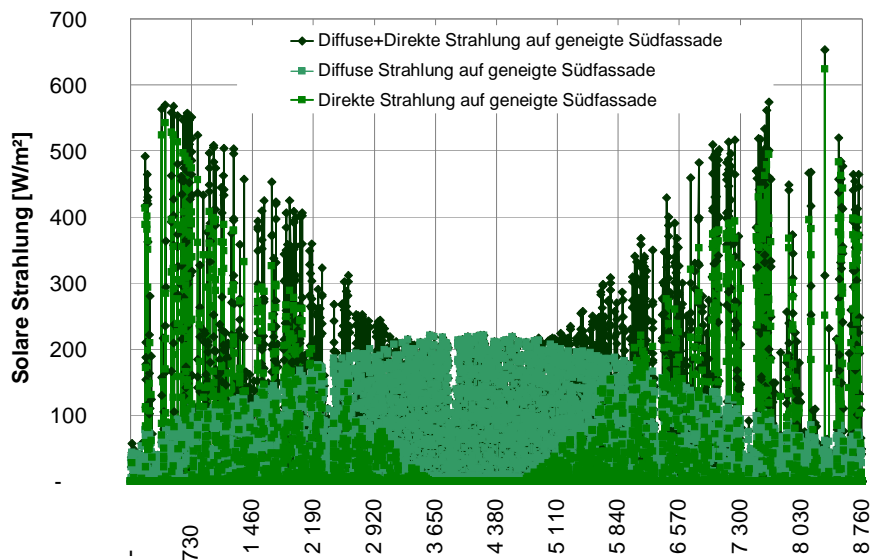


Abbildung 9: *Stundenwerte der berechneten Solarstrahlung (Diffus und Direkt) auf die geneigte Südfassade der ENERGYbase*

Die Werte der Solarstrahlung wurden durch die Simulationsumgebung TRNSYS generiert und hier wurde der Anteil der Bodenreflexion mit 0.200 angesetzt. Die maximale solare Strahlungsleistung mit etwa 650 W/m<sup>2</sup> tritt bei tief stehender Sonne im Monat Dezember auf. In den Monaten Mai bis Juli dominiert der diffuse Anteil der Solarstrahlung – hier liegt die maximal zu erwartende Strahlungsleistung bei rund 220 W/m<sup>2</sup>. D.h. durch die spezielle Fassadengeometrie wird der direkte Solarstrahlungsanteil insbesondere in den Sommermonaten signifikant reduziert – siehe Abbildung 9.

## Zu Fragestellung 2)

Welchen quantitativen Einfluss hat eine variierende Bodenreflexion auf die Solarstrahlung der geneigten Glasfassade?

Abbildung 10

Monatliche Solarstrahlung auf die Horizontale (rechte Y-Achse), geneigte Fassade (linke Y-Achse) bei einem theoretischen Wert der Bodenreflexion von 0.00. Die Grafik weist außerdem die direkte und diffuse Strahlung auf die geneigte Fassade aus.

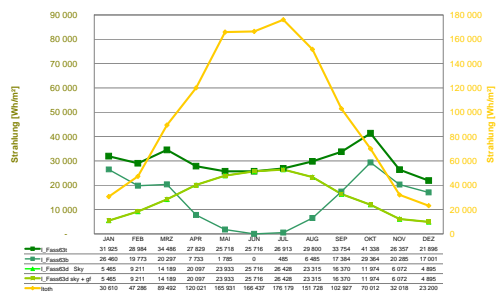


Abbildung 11

Monatliche Solarstrahlung auf die Horizontale (rechte Y-Achse), geneigte Fassade (linke Y-Achse) bei einem theoretischen Wert der Bodenreflexion von 0.20. Die Grafik weist außerdem die direkte und diffuse Strahlung auf die geneigte Fassade aus.



Abbildung 12

Monatliche Solarstrahlung auf die Horizontale (rechte Y-Achse), geneigte Fassade (linke Y-Achse) bei einem theoretischen Wert der Bodenreflexion von 0.40. Die Grafik weist außerdem die direkte und diffuse Strahlung auf die geneigte Fassade aus.

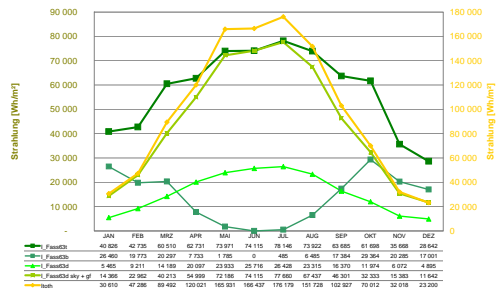
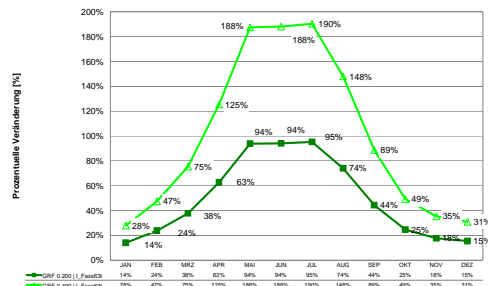


Abbildung 13

Relative Änderung der monatlichen Solarstrahlung auf die geneigte Fassade bei theoretischen Werten der Bodenreflexion von **0.20 und 0.40** im Verhältnis zu keiner Bodenreflexion.



Da die Geometrie der gefalteten Südfassade in den Sommermonaten eine erhebliche Reduzierung der einfallenden direkten Solarstrahlung bewirkt, ist die diffuse Solarstrahlung dominant. Bei erhöhter Bodenreflexion nimmt die diffuse Solarstrahlung, die auf die geneigte Fassade auftrifft, signifikant zu. Für eine angenommene Bodenreflexion von 20% erhöht sich die diffuse Strahlungsmenge auf die geneigte Fassade um etwa 94% gegenüber keiner Bodenreflexion im Monat Juli. Setzt man eine Bodenreflexion von 40% an, so erhöht sich die diffuse Strahlungsmenge um etwa 190% im gleichen Monat – siehe Abbildung 13.

Erhöhte diffuse Strahlung aufgrund erhöhter Bodenreflexion führt zu einer Verschlechterung der thermischen Behaglichkeit in den Südbüros während der Sommermonate. In kühleren Perioden wird sich eine erhöhte Bodenreflexion – sofern nicht von Blendung ausgegangen wird – positiv auf die energetische Bilanzierung des Gesamtgebäudes auswirken. Die solaren Gewinne durch die Südfassade nehmen zu – d.h. Verringerung des Heizwärmebedarfs.

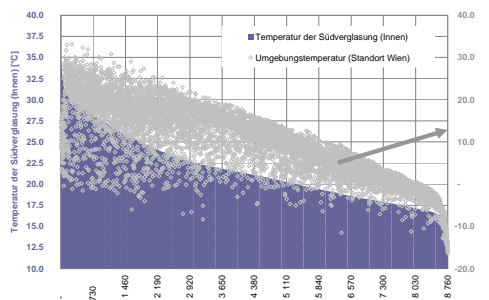
**Zu Fragestellung 3) i)**

Welche Auswirkungen hat der innen liegende Sonnenschutz auf die thermische Behaglichkeit?

Welche Temperaturen treten an der Innenseite der Südfassadenverglasung auf?

Abbildung 14

Absteigend sortierte Oberflächentemperaturen der Südverglasung (Innen) mit stündlich korrespondierender Umgebungstemperatur



Der Verglasungsmodellierung liegen folgende bauphysikalischen Werte zugrunde: U-Wert 0.60 W/m<sup>2</sup>K und Energiedurchlassgrad g-Wert = 0.42.

Durch die Wärmebilanz an der Innenseite der Verglasung können maximale Oberflächentemperaturen von rund 33°C auftreten. Dieser Spitzenwert entsteht zu Übergangszeiten mit hohem



solarem Strahlungseintrag auf die Fassade. Im Winter liegt die innere Oberflächentemperaturen der Verglasung bei rund 13°C bei einer minimalen Umgebungstemperatur von 16.3°C unter Null Grad Celsius.

### **Zu Fragestellungen 3) ii) bis v)**

Welche Auswirkungen hat der innen liegende Sonnenschutz auf die thermische Behaglichkeit?

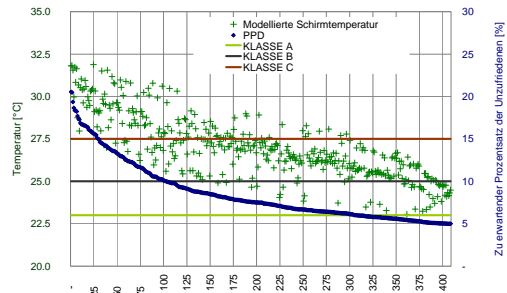
- xi. Welche Temperaturen sind am innen liegenden Sonnenschutz zu erwarten
- xii. An wie vielen Stunden im Jahr tritt thermische Unbehaglichkeit auf?
- xiii. Welche Behaglichkeitsklassen werden erreicht?
- xiv. Welchen Einfluss auf die thermische Behaglichkeit hat die Wahl des Sonnenschutzes (hell oder dunkel)?

Folgende Abbildungen zeigen absteigend sortierte PPD-Werte mit den stündlich korrespondierenden Oberflächentemperaturen des innen liegenden Sonnenschutzes. Außerdem sind die Behaglichkeitsklassen A, B und C durch Linien (Linke Y-Achse) in den Abbildungen eingezeichnet. WICHTIG - Dargestellt sind Stundenwerte zu Bürozeiten, in denen die Abschattungseinrichtung gemäß Steuerung heruntergefahren ist.

### Abbildung 15

#### Ergebnisse für Modell V1a

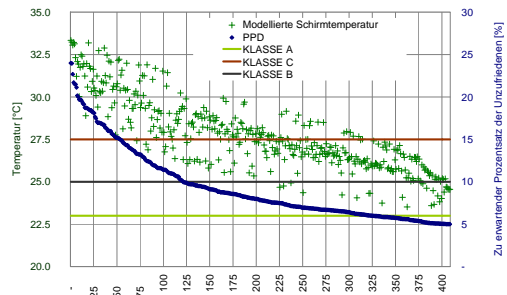
Der Sonnenschutz wird als interne Verschattungseinrichtung modelliert. D.h. es werden bestimmte physikalischen Parameter der Verschattungseinrichtung definiert



### Abbildung 16

#### Ergebnisse für Modell V2a

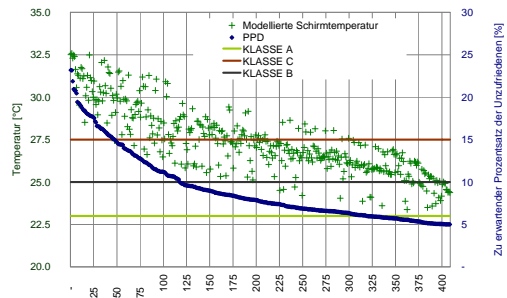
Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes ID 16002. Die Steuerung dieses modellierten Sonnenschutzes entspricht den definierten Einschaltkriterien.



### Abbildung 17

#### Ergebnisse für Modell V3a

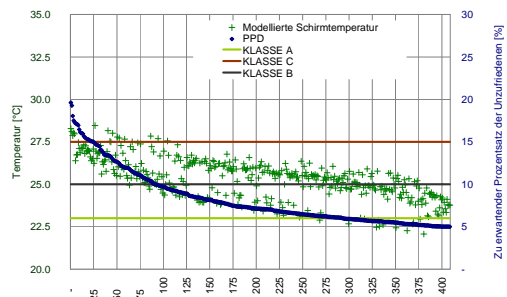
Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines hellen Sonnenschutzes ID 16004. Die Steuerung dieses modellierten Sonnenschutzes entspricht den definierten Einschaltkriterien.



### Abbildung 18

#### Ergebnisse für Modell V4a

Der Sonnenschutz ist nicht modelliert. Hier wird so getan als gäbe es überhaupt keinen internen Sonnenschutz.



*Tabelle 3 Übersicht über die thermischen Behaglichkeitsklassen bei Betrachtung der verschiedenen Varianten. Basis sind Stundenwerte zu Bürozeiten, in denen die Abschattungseinrichtung gemäß Steuerung heruntergefahren ist.*

	KLASSE A	KLASSE B	KLASSE C	> Klasse C	Mindest. Klasse C
1a Modell TRNSYS Interne Abschattung	101	205	74	29	93%
2a GLASModell Interne Abschattung ID 16002 (dunkle Jalousie)	84	204	68	53	87%
3a GLASModell Interne Abschattung ID 16004 (helle Jalousie)	90	201	70	48	88%
4a Ohne Interne Abschattung	116	202	66	25	94%

*Tabelle 4 Übersicht über berechnete Maximalwerte der Oberflächentemperatur am Schirm und die Stundenanzahl mit berechneten Oberflächentemperaturen am Schirm  $T_{\text{Schirm}} > 29^{\circ}\text{C}$ . Basis sind Stundenwerte zu Bürozeiten, in denen die Abschattungseinrichtung gemäß Steuerung heruntergefahren ist.*

	Berechneter Maximalwert der Oberflächentemperatur am Schirm	Anzahl der Stunden mit berechneten Oberflächentemperaturen am Schirm $T_{\text{Schirm}} > 29^{\circ}\text{C}$
1a Modell TRNSYS Interne Abschattung	31.80°C	67
2a GLASModell Interne Abschattung ID 16002 (dunkle Jalousie)	33.30°C	101
3a GLASModell Interne Abschattung ID 16004 (helle Jalousie)	32.50°C	78
4a Ohne Interne Abschattung	< 29°C	0

In Abhängigkeit des verwendeten Sonnenschutz-Modells ergeben sich Unterschiede in den berechneten Oberflächentemperaturen am Sonnenschutz. Maximal berechnete Oberflächentemperaturen sind Tabelle 4 zu entnehmen. Gemäß Aussage von Bauphysiker Thomas Zelger (02.08.07) können Schirmtemperaturen um 29°C noch zu thermischer Behaglichkeit der Klasse C in Schirnmähe führen.

Bei Modellierung eines dunklen Sonnenschutzes - Variante 2a - kann davon ausgegangen werden, dass eine Temperatur von 33.30°C entstehen kann. D.h. eine aktivierte dunkle Jalousie führt unter Betrachtung von normalen Bürozeiten in der Größenordnung von ca. 100 Stunden zu höheren Temperaturen als 29°C. In etwa 50 Stunden wäre man gemäß des vorliegenden Modellansatzes schlechter als Behaglichkeitsklasse C – siehe Tabelle 3. Ein heller Sonnenschutz – Variante 3a – kann die thermische Behaglichkeit nach PPD-Ansatz nicht wesentlich verbessern, trotz einer Verminderung der zu erwartenden Schirmtemperaturen.

Die reine Betrachtung der thermischen Behaglichkeit kann den Schluss zulassen, dass ein innen liegender Sonnenschutz eine wesentliche Verschlechterung auf die Anzahl der zufriedenen Nutzer nach sich zieht. Die thermische Behaglichkeit wird gemäß PPD-Auswertung in Tabelle 3 bei Nichtverwendung des Sonnenschutzes besser bewertet als mit Sonnenschutz. Von den betrachteten 409 Stunden (Sonnenschutz aktiv und Bürozeit) sind rund 94 Prozent mindestens in Komfortklasse C. Die Unterschiede zu den anderen Varianten sind allerdings nicht signifikant.

Andere Aspekte – wie die Tageslichtlenkung und Blendschutz für den Arbeitsplatznutzer - sind hier unberücksichtigt. Hier sind die Empfehlungen des Lichtplaners einzubeziehen.

#### Zu Fragestellung 4)

Welche Verbesserung der thermischen Behaglichkeit (Sonnenschutztemperaturen, PPD) erwirkt der Einsatz eines Sonnenschutzglases (Annahmen - U-Wert = 0.70 und g-Wert = 0.30)?

Folgende Abbildungen zeigen absteigend sortierte PPD-Werte mit den stündlich korrespondierenden Oberflächentemperaturen des innen liegenden Sonnenschutzes. Außerdem sind die Behaglichkeitsklassen A, B und C durch Linien (Linke Y-Achse) in den Abbildungen eingezeichnet. WICHTIG - Dargestellt sind Stundenwerte zu Bürozeiten, in denen die Abschattungseinrichtung gemäß Steuerung heruntergefahren ist.

Abbildung 19

Ergebnisse für Modell V2a

Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes. Die Steuerung dieses modellierten Sonnenschutzes entspricht den definierten Einschaltkriterien.

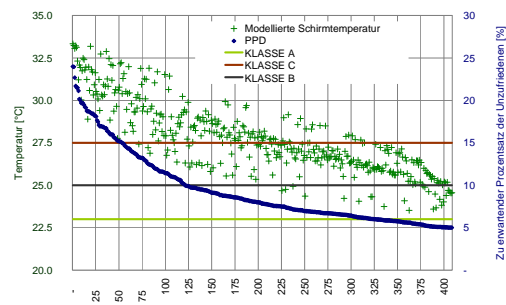
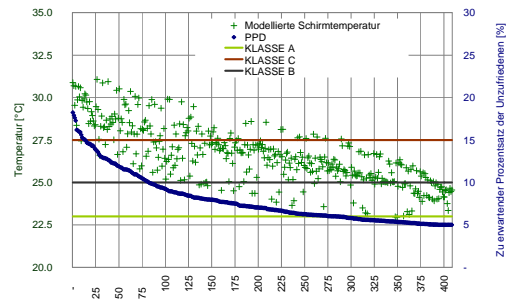


Abbildung 20

Ergebnisse für einen Sonnenschutzglas U-Wert 0.70 und g-Wert 0.30

Modell V2a

Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes. Die Steuerung dieses modellierten Sonnenschutzes entspricht den definierten Einschaltkriterien.



**Tabelle 5** *Übersicht über die thermischen Behaglichkeitsklassen bei Betrachtung der verschiedenen Varianten. Basis sind Stundenwerte zu Bürozeiten, in denen die Abschattungseinrichtung gemäß Steuerung heruntergefahren ist.*

	KLASSE A	KLASSE B	KLASSE C	> KLASSE C	Mindest. Klasse C
2a GLASModell Interne Abschattung ID 16002 (dunkle Jalousie)	84	204	68	53	87%
Sonnenschutzglas					
2a GLASModell Interne Abschattung ID 16002 (dunkle Jalousie)	125	202	68	14	97%

**Tabelle 6** *Übersicht über berechnete Maximalwerte der Oberflächentemperatur am Schirm und die Stundenanzahl mit berechneten Oberflächentemperaturen am Schirm  $T_{\text{Schirm}} > 29^{\circ}\text{C}$ . Basis sind Stundenwerte zu Bürozeiten, in denen die Abschattungseinrichtung gemäß Steuerung heruntergefahren ist.*

	Berechneter Maximalwert der Oberflächentemperatur am Schirm	Anzahl der Stunden mit berechneten Oberflächen- temperaturen am Schirm - $T_{\text{Schirm}} > 29^{\circ}\text{C}$
2a GLASModell Interne Abschattung ID 16002 (dunkle Jalousie)	33.30°C	101
Sonnenschutzglas		
2a GLASModell Interne Abschattung ID 16002 (dunkle Jalousie)	31.10°C	41

Die Berechnungen zeigen einen thermischen Komfortgewinn bei Verwendung eines Sonnenschutzglases mit einem g-Wert von 0.30. Es kann im direkten Vergleich der Modellierung einer dunklen Jalousie - Variante 2a - zwischen dem Sonnenschutzglas und der geplanten Dreifach-Verglasung sowohl eine erhöhte Zahl der Klasse A Komfortstunden als auch eine reduzierte maximale Oberflächentemperatur am Schirm nachgewiesen werden. Allerdings sind Stunden mit einer schlechteren Komfortklasse als Klasse C nicht ganz auszuschließen.

D.h. hier sind die Mehrkosten in ein Sonnenschutzglas für die komplette Südfassade mit den zu erwartenden thermischen Komfortgewinnen abzuwägen. Die Fassade erhält durch den Einsatz eines Sonnenschutzglases neue physikalische Eigenschaften, die hier nicht abschließend bewertet werden können (z.B. erhöhter Heizenergiebedarf aufgrund reduzierter solarer Gewinne) und die Grundidee der gefalteten Südfassade wird mit dieser Maßnahme konterkariert.

### Zu Fragestellung 5)

Welche thermische Behaglichkeit (PPD) wird für eine Person, die in der Raummitte arbeitet, berechnet (Nicht - wie oben angenommen - direkt in der Nähe des Sonnenschutzelementes)?

Folgende Abbildungen zeigen absteigend sortierte PPD-Werte zu Bürozeiten über ein ganzes Jahr (2610 Stunden). Die rote Kurve stellt die absteigend sortierten PPD-Werte für das Zonenmodell mit einer Person am Sonnenschutz sitzend dar und die grüne Kurve repräsentiert die PPD-Werte zum Gebäudemodell, in denen die Personen in der Raummitte platziert sind. Die Kurven enthalten somit auch PPD-Werte, in denen der interne Sonnenschutz aufgrund der Regelung geschlossen ist.

Außerdem sind die Behaglichkeitsklassen A, B und C durch Linien (Linke Y-Achse) in den Abbildungen eingezeichnet. Abbildungen 22 bis 33 zeigen die Ergebnisse aus Abbildung 21 in monatlicher Aufteilung.

Abbildung 21

Ergebnisse für Modell V2a

Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes. Die Grafik enthält alle PPD-Werte zu denen angenommenen Bürozeiten

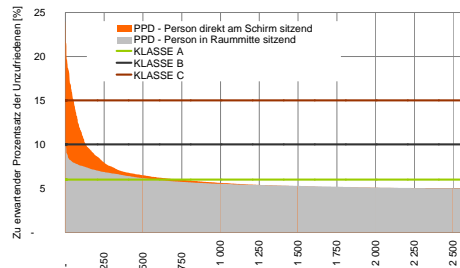


Tabelle 7: Übersicht über die thermischen Behaglichkeitsklassen bei Betrachtung der verschiedenen Gebäudemodelle (Person am Schirm sitzend und Person in Raummitte sitzend). Basis sind Stundenwerte zu Bürozeiten.

	KLASSE A	KLASSE B	KLASSE C	> Klasse C	Mindest. Klasse C
Person direkt am Schirm sitzend ID 16002 (dunkle Jalousie)	1876	603	78	53	98%
Person in Raummitte sitzend ID 16002 (dunkle Jalousie)	2021	587	2	0	100%

Die Unterschiede der Bewertung zur thermischen Behaglichkeit für Personen, die entweder direkt am Schirm sitzen oder in der Raummitte arbeiten, sind signifikant. In rund 500 Stunden der Bürozeit sind Personen, die direkt am Schirm sitzen, einer deutlich geringeren thermischen Behaglichkeit ausgesetzt als Personen, die sich in der Raummitte aufhalten. Allerdings entsprechen 98 Prozent aller berechneten Stunden mindestens Klasse C – siehe Tabelle 7 - für eine Person, die sich in Sonnenschutznähe aufhält.

Nach vorliegendem Modellansatz zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit ist davon auszugehen, dass für Personen in der Raummitte ganzjährig mindestens Klasse B gewährleistet werden kann. Dies setzt natürlich voraus, dass die Gebäudetechnik nach Komfortparametern gesteuert wird (Lüftung und thermisch aktivierte Bauteiltemperierung) und die Personen sich angemessen bekleiden.

Abbildung 22

Ergebnisse für Modell V2a

Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes. Die Grafik enthält alle sortierten PPD-Werte (Person am Schirm sitzend und in Raummitte sitzend) zu denen angenommenen Bürozeiten im **Jänner**

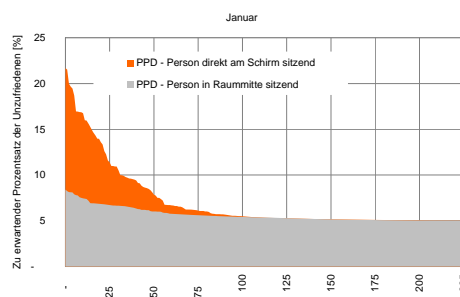


Abbildung 23

Ergebnisse für Modell V2a

Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes. Die Grafik enthält alle sortierten PPD-Werte (Person am Schirm sitzend und in Raummitte sitzend) zu denen angenehmen Bürozeiten im **Februar**

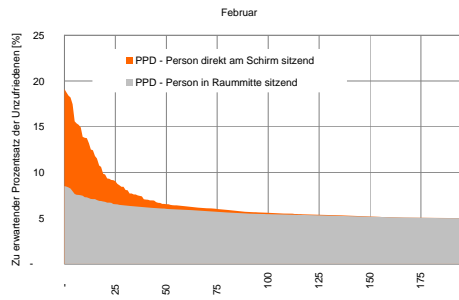


Abbildung 24

Ergebnisse für Modell V2a

Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes. Die Grafik enthält alle sortierten PPD-Werte (Person am Schirm sitzend und in Raummitte sitzend) zu denen angenehmen Bürozeiten im **März**



Abbildung 25

Ergebnisse für Modell V2a

Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes. Die Grafik enthält alle sortierten PPD-Werte (Person am Schirm sitzend und in Raummitte sitzend) zu denen angenehmen Bürozeiten im **April**

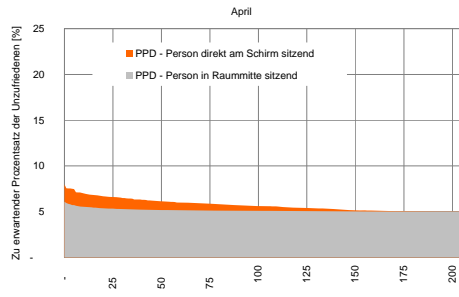


Abbildung 26

Ergebnisse für Modell V2a

Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes. Die Grafik enthält alle sortierten PPD-Werte (Person am Schirm sitzend und in Raummittle sitzend) zu denen angenommenen Bürozeiten im **Mai**

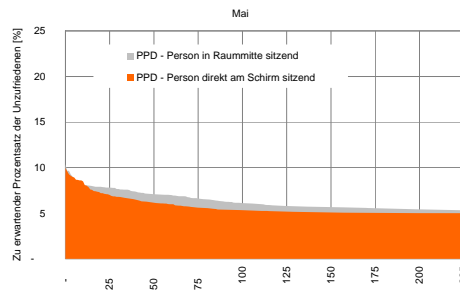


Abbildung 27

Ergebnisse für Modell V2a

Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes. Die Grafik enthält alle sortierten PPD-Werte (Person am Schirm sitzend und in Raummittle sitzend) zu denen angenommenen Bürozeiten im **Juni**

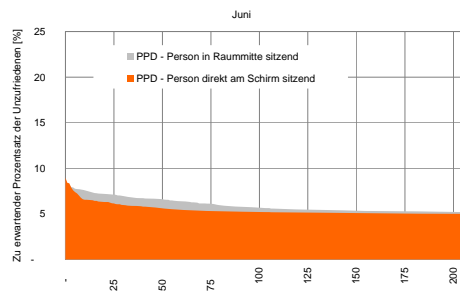


Abbildung 28

Ergebnisse für Modell V2a

Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes. Die Grafik enthält alle sortierten PPD-Werte (Person am Schirm sitzend und in Raummittle sitzend) zu denen angenommenen Bürozeiten im **Juli**

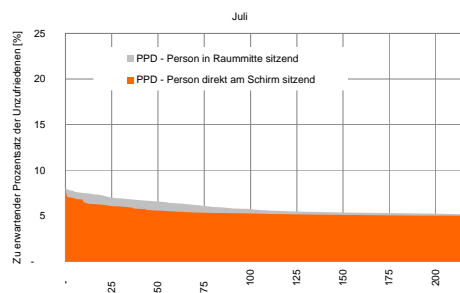


Abbildung 29

Ergebnisse für Modell V2a

Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes. Die Grafik enthält alle sortierten PPD-Werte (Person am Schirm sitzend und in Raummittle sitzend) zu denen angenommenen Bürozeiten im **August**

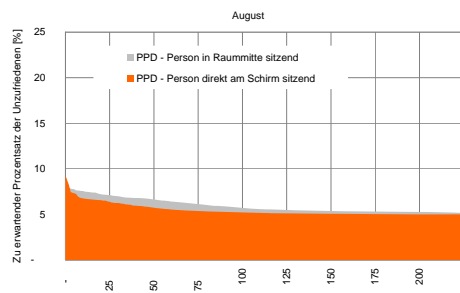




Abbildung 30

Ergebnisse für Modell V2a

Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes. Die Grafik enthält alle sortierten PPD-Werte (Person am Schirm sitzend und in Raummitte sitzend) zu denen angenommenen Bürozeiten im **September**

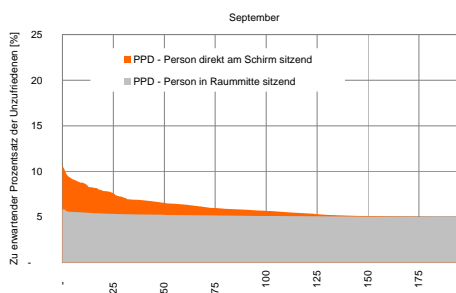


Abbildung 31

Ergebnisse für Modell V2a

Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes. Die Grafik enthält alle sortierten PPD-Werte (Person am Schirm sitzend und in Raummitte sitzend) zu denen angenommenen Bürozeiten im **Oktober**

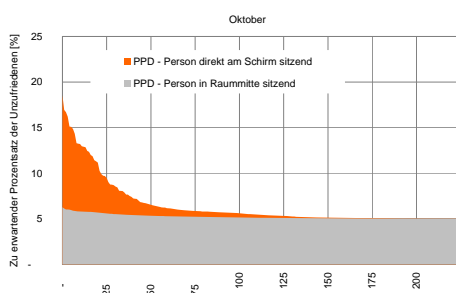


Abbildung 32

Ergebnisse für Modell V2a

Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes. Die Grafik enthält alle sortierten PPD-Werte (Person am Schirm sitzend und in Raummitte sitzend) zu denen angenommenen Bürozeiten im **November**

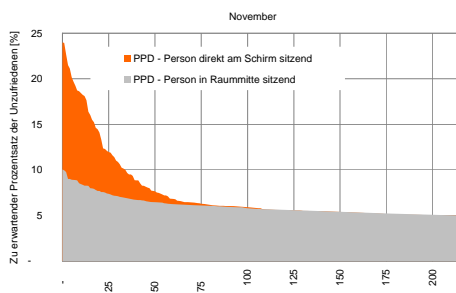
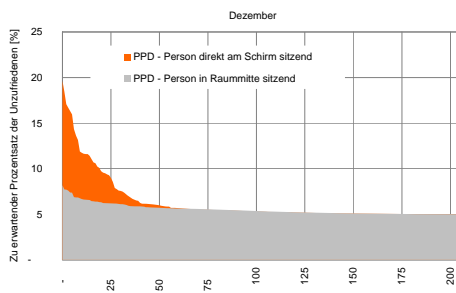


Abbildung 33

Ergebnisse für Modell V2a

Der Sonnenschutz wird als interne Verglasung modelliert. Das gewählte Glas aus der Material-Bibliothek hat die optischen Eigenschaften eines dunklen Sonnenschutzes. Die Grafik enthält alle sortierten PPD-Werte (Person am Schirm sitzend und in Raummitte sitzend) zu denen angenommenen Bürozeiten im **Dezember**



### 3.5. Simulation der solaren Klimatisierung

#### Aufgabenstellung

Kernidee zur haustechnischen Versorgung des nachhaltigen Bürogebäude ENERGYbase ist eine Aufteilung in ein Wasserbasiertes und ein Luftgeführtes Verteilsystem. Die Grundtemperierung der Innenräume wird – wie oben bereits ausgeführt – über das wassergeführte Heiz- und Kühlsystem realisiert. Das Luftgeführte System übernimmt technische Aufgabe der Zuluftkonditionierung. D.h. die technischen Anforderungen an die Klimatisierung der Zuluft sind moderater, d.h. durch die Grundtemperierung mittels der TABS sind die sensiblen Gebäudelasten gedeckt. Das Luftgeführte System bewerkstelligt somit in diesem Konzept die Abfuhr der latenten thermischen Lasten, d.h. die Raumluftfeuchtigkeit wird kontrolliert.

Dieser grundsätzliche haustechnische Ansatz ermöglicht den Einsatz der solaren Klimatisierung. Dieses energieeffiziente Verfahren zur Luftbehandlung nutzt im Wesentlichen drei Prozessschritte der Luftbehandlung; 1.) Lufttrocknung - mit Sorptionsrotor, 2.) Wärmerückgewinnung und 3.) adiabate Verdunstungskühlung. Die Regeneration des beladenen Trocknungsrotors erfolgt unter Verwendung von Solarenergie.

Das Verfahren der solaren Klimatisierung weist thermodynamische Grenzen auf, d.h. in Abhängigkeit der verschiedenen Luftzustände lassen sich nicht in jedem Fall Zulufttemperaturen unter  $T_{\text{Zuluft}} < 17^{\circ}\text{C}$  erreichen. Eine gleichzeitige unabhängige Regelung der Feuchte und Temperaturwerte der Zuluft ist ebenfalls nicht möglich.

Um einen energieeffizienten Betrieb zu erzielen, sind möglichst hohe solare Deckungsanteile zur Regeneration des Sorptionsrotors und der Zulufterwärmung zu erzielen. Zur Abschätzung und Optimierung des Anlagenverhaltens wurden dynamisch thermische Simulationen durchgeführt.

*Fragestellung: Welche Zulufttemperaturen sind in einer sehr warmen Sommerwoche mit dem Verfahren der solaren Klimatisierung zu erwarten? Lassen sich prinzipiell hohe solare Deckungsraten im Kühlfall erzielen?*

#### Vorgehensweise Methode

arsenal research hat die Anlage zur solaren Klimatisierung in der Simulationsumgebung TRNSYS 16.1 modelliert. Einige TRNSYS - Standardmodelle wurden dazu adaptiert und weiterentwickelt. Insbesondere die Modellierung des offenen Verfahrens der sorptionsgestützten Klimatisierung SGK erfolgte durch eigene Adaptionen. Abbildung 34 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer SGK-Anlage mit allen seinen Teilkomponenten.

Die wesentlichen Verfahrensschritte der SGK-Technologie wurden modelliert und werden im Folgenden beschrieben:

- 1 - 2            *Entfeuchtung der Außenluft über den Sorptionsrotor; die freiwerdende Kondensationswärme erhitzt die Luft*
- 2 - 3            *Sensible Vorkühlung der entfeuchteten Luft mittels Wärmerückgewinnungsrad*
- 3 - 4            *Durch Verdunstungseffekt weitere Abkühlung auf gewünschte Zulufttemperatur mittels regelbarem Befeuchter*
- 4 - 5            *Weitere Erwärmung durch Leistungsaufnahme des Zuluftventilators*
- 5 - 6            *Weitere Erwärmung und evtl. Feuchteaufnahme durch äußere und innere Lasten des Raumes*
- 6 - 7            *Kühlung der Abluft (Regenerationsluft) mittels regelbarem Befeuchter (möglichst maximale Befeuchtung um Kältepotential voll nützen zu können)*
- 7 - 8            *»Kälteübertragung« an die Zuluft und Erwärmung der Abluft durch das Wärmerückgewinnungsrad*
- 8 - 9            *Nacherwärmung der Abluft mittels Antriebswärme (Abwärme, Solarwärme, etc.)*
- 9 - 10           *Regeneration des Sorptionsrotors; warme Abluft desorbiert das Rad durch adiabate Feuchteaufnahme;*
- 10 - 11           *Erwärmung durch Leistungsaufnahme des Abluftventilators*

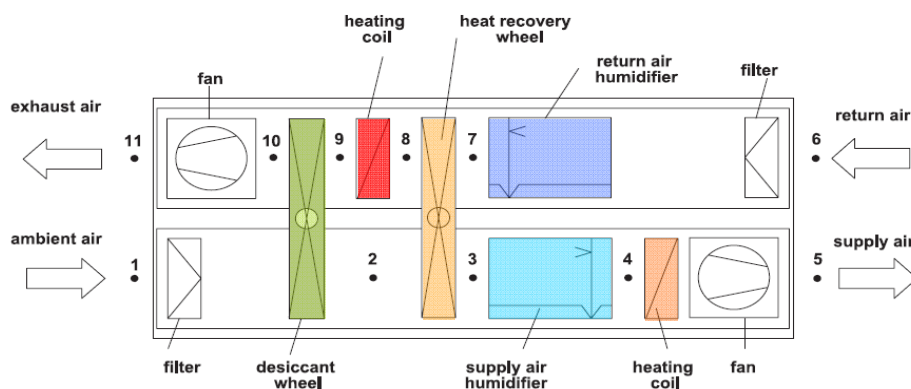


Abbildung 34: Standardkonfiguration einer Anlage zur sorptionsgestützten Klimatisierung

Eine besondere Aufgabe besteht in der Abbildung des Betriebsverhaltens der Anlage. Dazu hat arsenal research eine praxisnahe Regelungsabfolge entwickelt. Abbildung 35 illustriert in tabellarischer Übersicht die schrittweise Aktivierung der einzelnen Komponenten der SGK-Anlage. Sukzessive springt die Anlage in den nächst höheren Betriebsmodus, sofern die Sollwerte der Zulufttemperatur nicht erreicht werden.

Betriebsmodus		WRG	Sorptionsrotor	Befeuchter (Abluft)	Befeuchter (Zuluft)	WT Zuluft	Heizregister (Regeneration)
1	Heizen	X			X (80%)	X	
2	Wärmerückgewinnung	X					
3	Freie Ventilation				X (40%)		
4	Adiabatische Abluftbe- deuchtung	X		X (50%)	X (40%)		
5		X		X (60%)	X (40%)		
6		X		X (70%)	X (40%)		
7		X		X (80%)	X (40%)		
8		X		X (90%)	X (40%)		
9		X		X (95%)	X (40%)		
10	Vollbetrieb	X	X	X (95%)	X (55%)		X
11		X	X	X (95%)	X (70%)		X

Abbildung 35: Standardkonfiguration einer Anlage zur sorptionsgestützten Klimatisierung

Die Anlagenperformance wurde unter Verwendung des Wiener Wetterdatensatz der METEONORM Software gerechnet und bewertet. Das Solarsystem wurde durch einen Sonnenkollektorfeld mit Heißwasserspeicher modelliert. Die Kollektorkennlinie eines marktüblichen Flachkollektors wurde zur Abbildung des thermischen Verhaltens definiert und die rund 300 m<sup>2</sup> Bruttokollektorfläche sind mit Ausrichtung Süden und einer Neigung 31° gegenüber der Horizontalen modelliert und gerechnet worden. Zwei Heißwasser-Speicher unter Berücksichtigung der thermischen Schichtung wurden mit einem Fassungsvermögen von 7 400 Liter modelliert.

Die Simulationsschrittweite erfolgte in 5 Minuten Intervallen und folgende Zielgrößen wurden während der Simulation berechnet und ausgeschrieben:

- Temperaturen: Kollektor, Speicher, Zuluft Gebäude
- Anlagenverhalten: Erfassung der Arbeitsmodi

## Ergebnisdiskussion

Zur Ergebnisdiskussion wird hier das Verhalten der solaren Klimatisierung in einer Juliwoche des Wiener Wetterdatensatzes betrachtet. Die ausgewählte Juliwoche zeichnet sich durch relativ hohe Außenlufttemperaturen mit  $T_{amb} > 30^{\circ}\text{C}$  bei schwankenden Solarstrahlungsangebot. Abbildung 36 zeigt die Ergebnisse der dynamischen Anlagensimulation der ausgewählten Sommerwoche. Die Grafik enthält Werte für den Betriebsmodus, Globale Solarstrahlung I auf die Horizontale  $\text{kW/m}^2$ , Außenlufttemperatur  $T_{amb}$ , Temperatur im Heißwasserspeicher (Oberste Schicht S1\_O und unterste Speicherschicht S1\_U), Kollektoraustrittstemperatur  $T_{koll}$  und der Zulufttemperatur der SGK Anlage.

### 3. Juliwoche

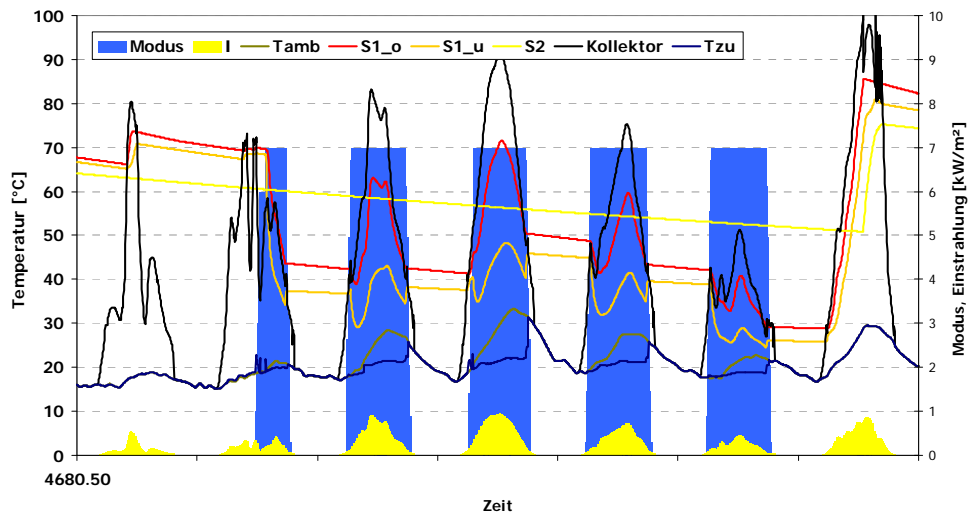


Abbildung 36: Ergebnisse der dynamischen Simulation - Verhalten einer Anlage zur solaren Klimatisierung in einer ausgewählten Juliwoche.

#### Wesentliche Erkenntnisse der Simulation:

- Die Anlage zur solaren Kühlung arbeitet überwiegend im vollen Betriebsmodus, d.h. Einsatz des Sorptionsrotors zur Luftentfeuchtung; adiabater Ab- und Zuluftbefeuchtung und Wärmerückgewinnung.
- Sonnenkollektoren generieren an Tagen mit hoher Solarstrahlung Temperaturen bis zu  $T_{Koll} = 90^{\circ}\text{C}$ ; am Wochenende ohne Energieentnahme aus dem Speicher steigen diese Temperaturen bis zu  $T_{Koll} = 100^{\circ}\text{C}$
- Das Speichersystem – bestehend zwei Heißwassertanks – stellt dem Regenerationserhitzer an Tagen mit hoher Solarstrahlung Regenerationstemperaturen um  $T_{Reg} = 70^{\circ}\text{C}$  zur Verfügung; eine effektive Temperaturschichtung in den Speichern lässt sich nachweisen.
- In der betrachteten Woche wird die sorptionsgestützte Klimatisierung mit 100 Prozent Solarenergie zur Regeneration des Trocknungsrotors betrieben. Mit reinem solarthermischem Antrieb generiert die Anlage auch an Tagen mit Umgebungstemperaturen  $T_{Amb} > 30^{\circ}\text{C}$  geeignete Zulufttemperaturen unter  $T_{Zuluft} < 23^{\circ}\text{C}$ .

#### Resümee/ Empfehlungen

Die durchgeführten Simulationen zeigen, dass ein solarautarker Betrieb der solaren Klimatisierung mit akzeptablen Zulufttemperaturen möglich ist. D.h. hohe solare Deckungsraten für eine energieeffiziente Gebäudeklimatisierung sind unter Berücksichtigung des gesamten Hautechnikkonzeptes realisierbar.

Der reale Anlagenbetrieb der solaren Klimatisierung im gesamten Lüftungssystem wird durch wissenschaftliches Anlagen-Monitoring durch arsenal research dokumentiert.

## **ANHANG A**

### **Beschreibung der Simulationsumgebung TRNSYS**

TRNSYS (Engl. TRAnsient SYstem Simulation) ist ein modulares Simulationssystem, das eine Bibliothek mit einer Vielzahl von energietechnischen Komponenten enthält. TRNSYS wurde an der Universität von Wisconsin entwickelt und als ein Programmpaket bestehend aus mehreren Einzelprogrammen aufgebaut. Der Quellcode ist in FORTRAN geschrieben und liegt der/dem AnwenderIn zur Erweiterung mit neuen Komponenten vor. Dies ist ein entscheidender Vorteil nicht nur für den Forscher, sondern auch für den/die StandardanwenderIn von TRNSYS, da rasch auf neue Entwicklungen reagiert werden kann.

Neben den üblichen Anwendungen liegt heute eine Vielzahl von Unterprogrammen für einzelne Anwendungen (beispielsweise Wintergarten, Speicherwand) vor. Das Paket ist auf Grund seines Alters das am besten validierte Programm, das am Markt verfügbar ist. Durch die jahrzehntelange Anwendung kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse dem realen Zustand eines Gebäudes sehr nahe kommt. Ein weiterer Vorteil ist der sehr gute internationale Informationsaustausch bei auftretenden Problemen und die Verfügbarkeit von Systemkomponenten. Nachteil des Programms ist die lange Einarbeitungszeit und die wenig bedienerfreundliche Oberfläche. Diesem Manko wurde in den weiteren Entwicklungen, beispielsweise der Version 14.2., über eine unter Windows laufende Eingabeoberfläche Rechnung getragen. Die Anschaffungskosten sind als hoch einzuschätzen. Grundsätzlich muss das Paket in der heute vorliegenden Version als Expertensystem eingestuft werden.

TRNSYS wird in Österreich relativ häufig als dynamisches Simulationstool eingesetzt. Insgesamt gibt es jedoch sehr wenige Fachleute am Energiesektor, die eine Dienstleistung mit TRNSYS anbieten. Dies liegt einerseits an der fehlenden Nachfrage, andererseits an der Komplexität des Programms.

TRNSYS ist zusammen mit den Zusatzprogrammen TRNSED, TRNSHELL, SPREAD, PREBID und PRESIM/IISiBat ein sehr leistungsfähiges Simulationspaket, das sich durch Flexibilität, Benutzerfreundlichkeit und Erweiterbarkeit auszeichnet. Für eine Simulation mit Hilfe von TRNSYS wird das System ausgehend von den zugehörigen Bauteilkomponenten aufgebaut. Die im Programm enthaltenen Bibliotheken ermöglichen eine Auswahl an verschiedenen Anlagenkomponenten und erleichtern die Eingabe. Zur vereinfachten Eingabe stehen zwei grafische Eingabemodule, PRESIM und IISiBat, zur Verfügung. Über die Datenbanken kann eine Auswahl an verschiedenen Formaten von Klimadaten und Ausgabeformaten getroffen werden. Die Einzelkomponenten werden mit Verbindungssträngen und unter Angabe der Eigenschaften miteinander verknüpft. Nach Angabe der Schrittweite und Abschluss der Modellerstellung kann das Programm gestartet werden. Die Ausgabe der Ergebnisse können Online am Bildschirm ausgegeben oder in Dateien abgespeichert werden.

TRNSYS wird in Österreich relativ häufig als dynamisches Simulationstool eingesetzt. Insgesamt gibt es jedoch sehr wenige Fachleute am Energiesektor, die eine Dienstleistung mit TRNSYS anbieten. Dies liegt einerseits an der fehlenden Nachfrage, andererseits an der Komplexität des Programms.

Forschungsprojekt  
INTEREG IIIa AT – SK

**TECHbase Centropo**  
Umsetzung eines Nachhaltigen Gebäude- und Energiekonzeptes für  
das Büro- und Gewerbegebäude „Sunny Energy Building“

**Fachlicher Teilbericht**  
Thermisch hygrische Simulationen für Pflanzenpuffereinbindung im  
Bauvorhaben ENERGYbase

**Fachlicher Schlussbericht**  
**2008**

Wien, im Juni 2008

# INHALT

<b>1</b>	<b>PROJEKTINFORMATION</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Beschreibung der Leistungen	1
<b>2</b>	<b>AUSWERTUNG DER FEUCHTEPRODUKTION</b>	<b>2</b>
2.1	Tageslichtquotienten in den Pflanzenpuffern	2
2.2	Berechnungsannahmen zur Feuchteproduktion	4
2.3	Jahresverlauf der Feuchteproduktion der einzelnen TQ- Gruppen	5
<b>3</b>	<b>PFLANZENPUFFER ERSTANALYSE</b>	<b>21</b>
3.1	Vorgangsweise	21
3.2	Anmerkung	21
3.3	Simulationsmodell gemäß Arsenal Research (Ausgangsmodell)	21
3.4	Einbau einer exemplarischen Speichermasse	23
3.5	Detaillierung der Pflanzenpuffer und adaptiertes Lüftungssystem	26
3.6	Variation der Pflanzenpufferverglasung (außen zweischiebig / innen einschiebig)	34
3.7	Variation der Pflanzenpufferverglasung (außen dreischiebig / innen einschiebig)	36
3.8	Zusammenfassung und weitere Schritte	38
<b>4</b>	<b>KONDENSATIONSPROBLEMATIK</b>	<b>39</b>
4.1	Definition der Varianten	40
4.2	Ergebnisse	41
<b>5</b>	<b>REGELUNG DER VENTILATION</b>	<b>41</b>
5.1	Simulationsannahmen	41
5.2	Ergebnisse	42
5.3	Zusammenfassung	45
<b>6</b>	<b>OPTIMIERUNG DER REGELUNG</b>	<b>45</b>
6.1	Simulationsannahmen	45
6.2	Ergebnisse	46
6.3	Zusammenfassung	58
<b>7</b>	<b>REGELUNG ALLER GRÜNPUFFER</b>	<b>58</b>
7.1	Simulationsannahmen	59
7.2	Ergebnisse	60
7.3	Zusammenfassung	69
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>69</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG</b>	<b>69</b>
9.1	Thermische Gebäude und Anlagensimulation mit TRNSYS	69
9.2	Quellenangaben	72



# 1 Projektinformation

## 1.1 Ausgangslage

In der Giefinggasse (1210 Wien) wird ein neuartiges Büro- und Laborgebäude (Abbildung 1) errichtet. Das Architekturbüro „Pos Architekten ZT KEG“ wurde mit der Planung beauftragt. Die wissenschaftliche Begleitung des Bauvorhabens liegt bei Arsenal Research, Geschäftsfeld Nachhaltige Energiesysteme. Das Institut für Wärmetechnik, der Technischen Universität Graz (kurz: IWT), wurde beauftragt, das Planerteam, bei energietechnischen Fragestellungen zu unterstützen.



Abbildung 1: Darstellung des Gebäudes [1]

## 1.2 Beschreibung der Leistungen

Die Planungsunterstützung durch das IWT wird in den Modulen 1 bis 3 näher beschrieben.

### Modul 1 - Einbringen des energietechnischen Fachwissen

- Besprechungen mit dem Planungsteam Vorort (je 2 Personen)
- Qualitative Bewertung der energetischen Aspekte einzelner Projektideen
- Hilfestellung bei der Erstellung des Haustechnikkonzeptes

Modul 2 - Abschätzung der Befeuchtungskapazität der Pflanzenpufferräume - Aufbauend auf dem Projekt „Sunny Research, Nachhaltiges Gebäude- und Energiekonzept für ein modernes Büro- und Gewerbegebäude (A. Preisler, C. Krenn, et al.), soll die Befeuchtungsleistung der geplanten Pflanzenpufferräume (grün) ermittelt werden. Der Lüftungsfahrplan (Profil des Luftvolumenstroms über den Simulationszeitraum) und die nötigen Tageslichtquotienten wird von Arsenal Research zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse werden unter Zuhilfenahme der Simulationsumgebung TRNSYS ermittelt (Modul Pflanzenpufferraum).

Modul 3 - Mitarbeit an der Erstellung des Simulationsmodells - Arsenal Research erstellt für das Gebäude ein Simulationsmodell in der Simulationsumgebung TRNSYS. Das Institut für

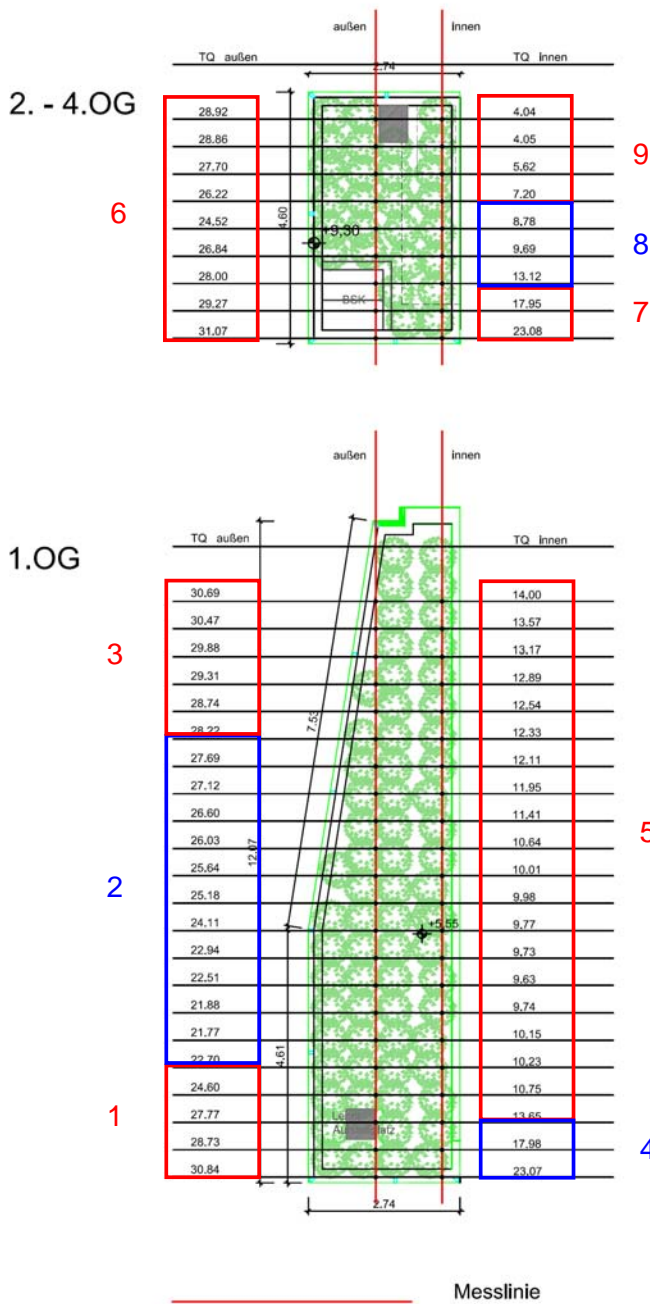
Wärmetechnik verknüpft das Modul Pflanzenpufferraum mit dieser Simulation und ist beim weiteren Aufbau der thermischen Simulation behilflich.

## **2 Auswertung der Feuchteproduktion**

### **2.1 Tageslichtquotienten in den Pflanzenpuffern**

Die Auswertung der Feuchteproduktion der Pflanzen (*Cyperus alternifolius*, Prima Klima) in den Pflanzenpufferräumen basiert auf den von pos architekten zur Verfügung gestellten Werten (Abbildung 2). Für die Berechnungen wurden die gemessenen Tageslichtquotienten (TQ) in Gruppen zusammengefasst (Abweichung < 5). Die TQ Mittelwerte der einzelnen Gruppen finden sich in Tabelle 1.

## AUSSENPUFFER WEST



## INNENPUFFER WEST

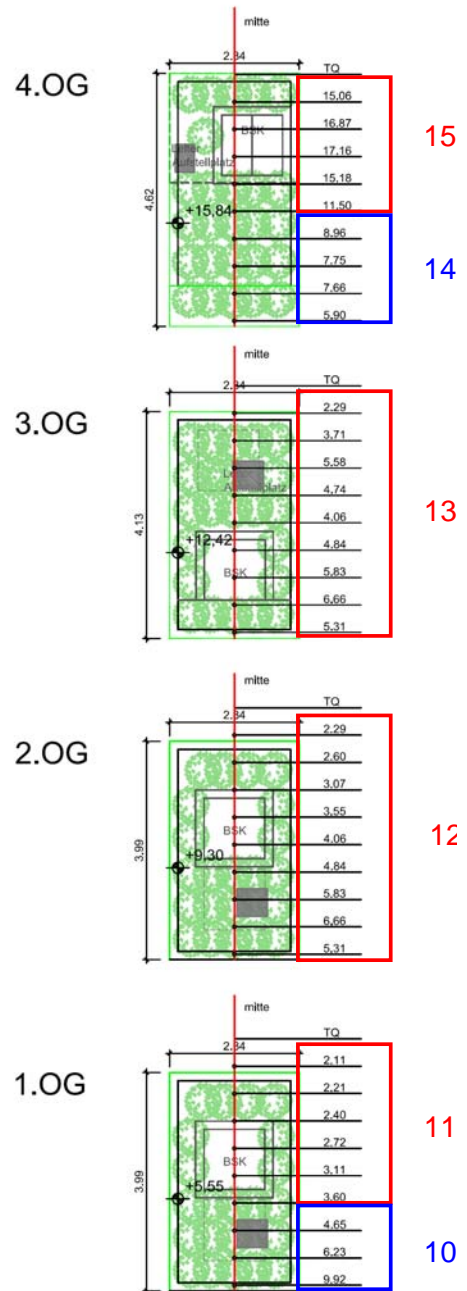


Abbildung 2: Zusammenfassung der Tageslichtquotienten, Datenquelle TQ Werte [2]

Tabelle 1: Mittelwerte der Tageslichtquotienten (TQ) ausgewählten Gruppen

Gruppe	TQ [%]
1	27.985
2	24.514
3	29.552
4	20.515
5	11.413
6	27.933
7	20.515
8	10.530
9	5.228
10	6.933
11	2.692
12	4.246
13	4.780
14	7.568
15	15.154

## 2.2 Berechnungsannahmen zur Feuchteproduktion

Die Feuchteproduktion wird anhand eines vom Auftraggeber übermittelten Diagramms (Abbildung 3) berechnet. Auf welcher Kennlinie sich die Pflanze befindet wurde nach folgenden Kriterien berücksichtigt:

Hellstehend (Kennlinie Blau) wird eine Pflanze im Frühjahr dann, wenn sie mindestens 20 Tage lang je 5h über 2000 lx bekommen hat. Sie verlässt die Kennlinie hellstehend im Herbst, wenn sie 15 Tage lang durchgehend weniger als 3h 2000 lx bekommen hat und geht dann auf die Konstitutionslinie mittelstehend (magenta)

Mittelstehend (Kennlinie Magenta) wird eine Pflanze im Frühjahr dann, wenn sie mindestens 20 Tage lang je 5h über 1200 lx bekommen hat. Sie verlässt die Kennlinie mittelstehend im Herbst, wenn sie 10 Tage lang durchgehend weniger als 4h 1200 lx bekommen hat und geht dann auf die Konstitutionslinie dunkelstehend (gelb)

Dunkelstehend (Kennlinie Gelb) wird eine Pflanze im Frühjahr dann, wenn sie mindestens 20 Tage lang je 7h über 600 lx bekommen hat. Sie verlässt die Kennlinie dunkelstehend im Herbst, wenn sie 10 Tage lang durchgehend weniger als 6h 600 lx bekommen hat und muss dann künstlich beleuchtet werden.

Die künstliche Beleuchtung setzt jeden Tag nach der natürlichen ein, und ergänzt das Lichtangebot auf 10h (über 600 lx) wobei die künstliche Beleuchtung konstant 2000 lx hat.

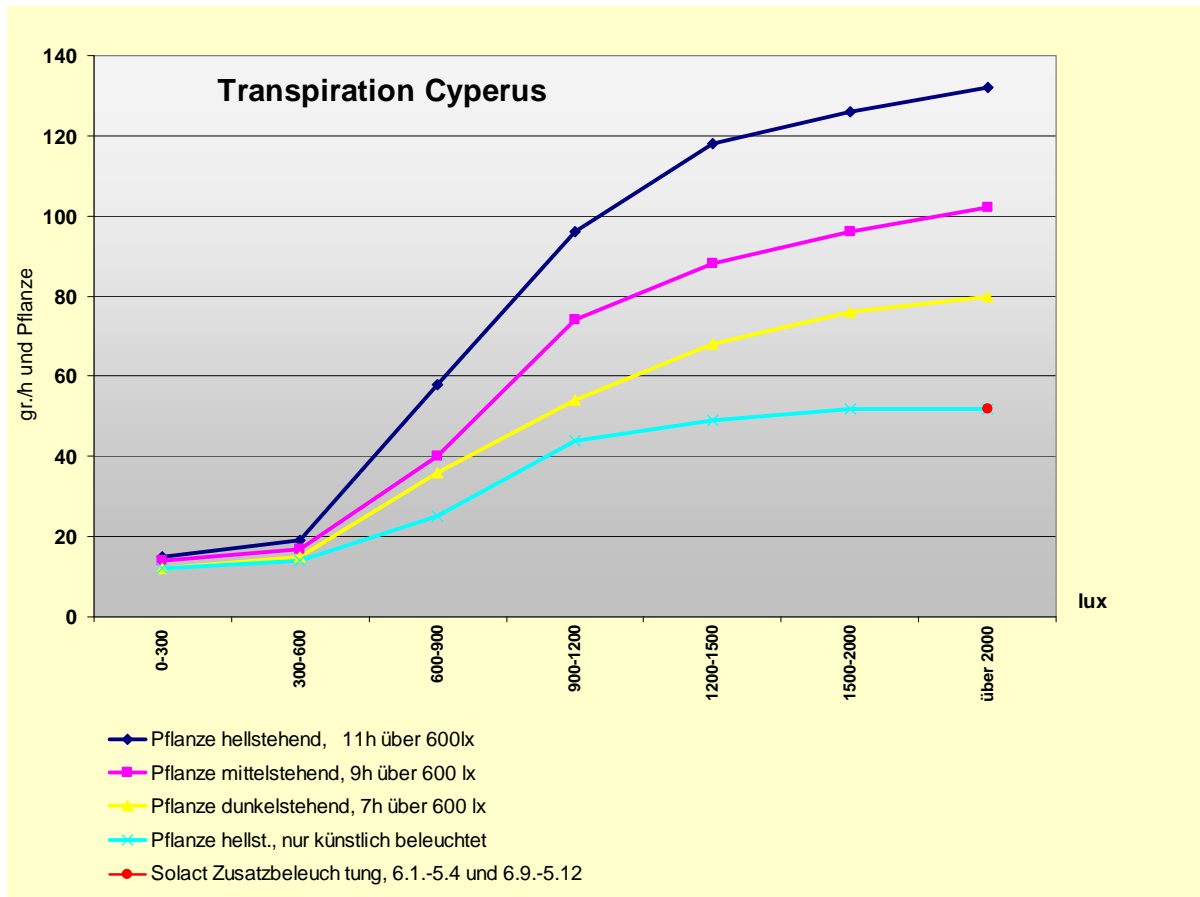
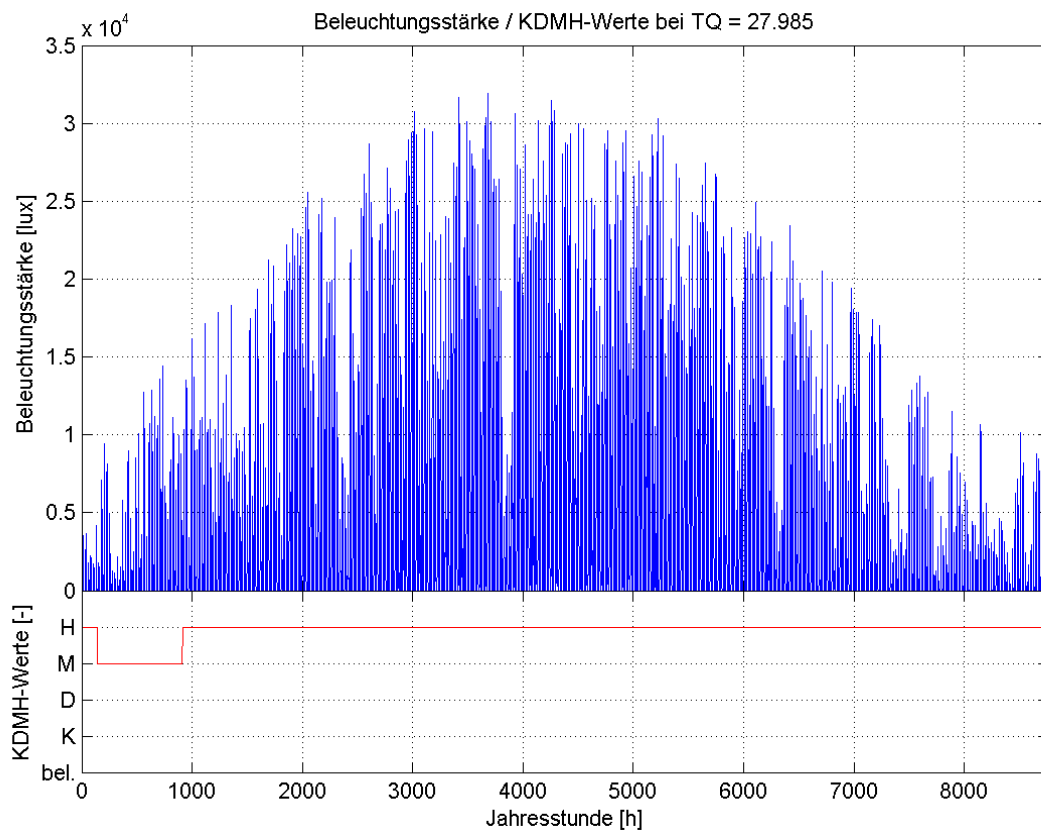
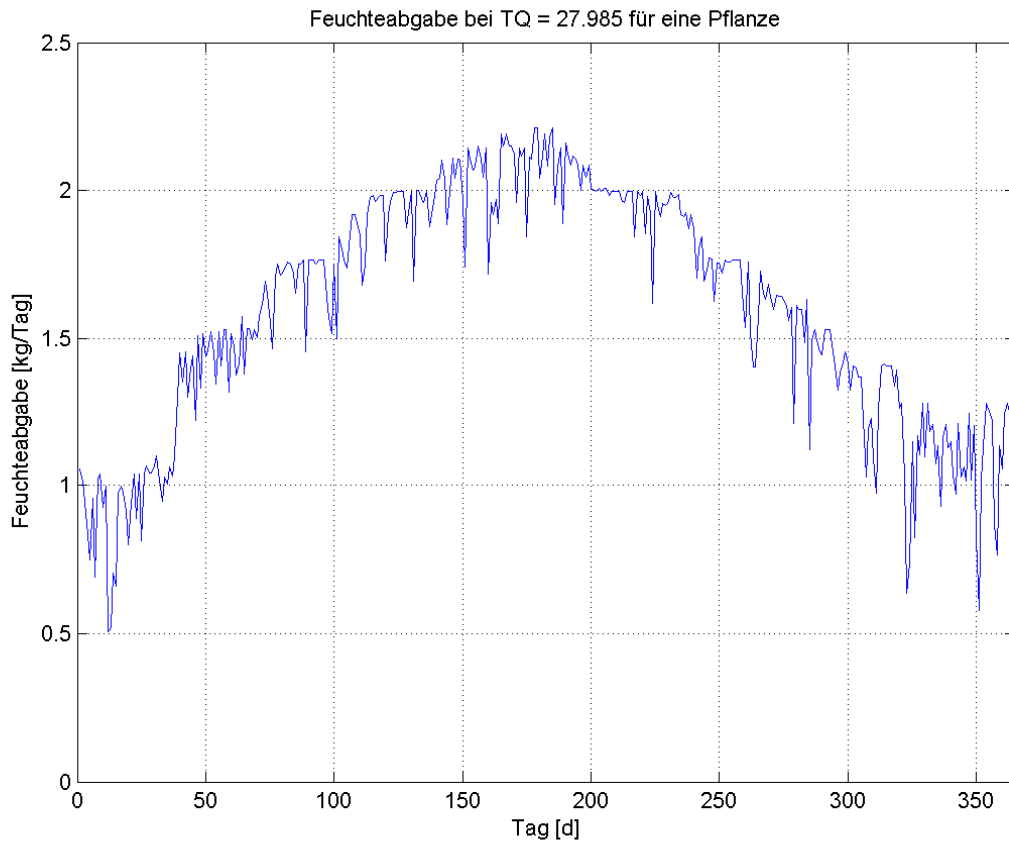


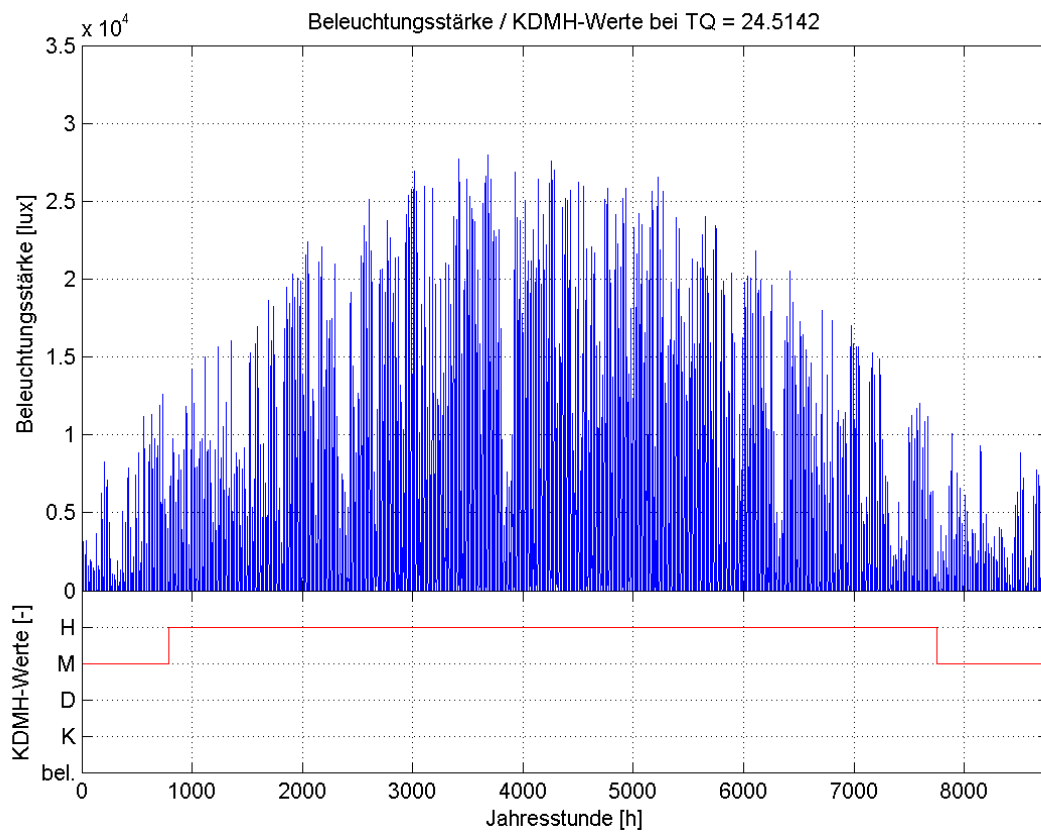
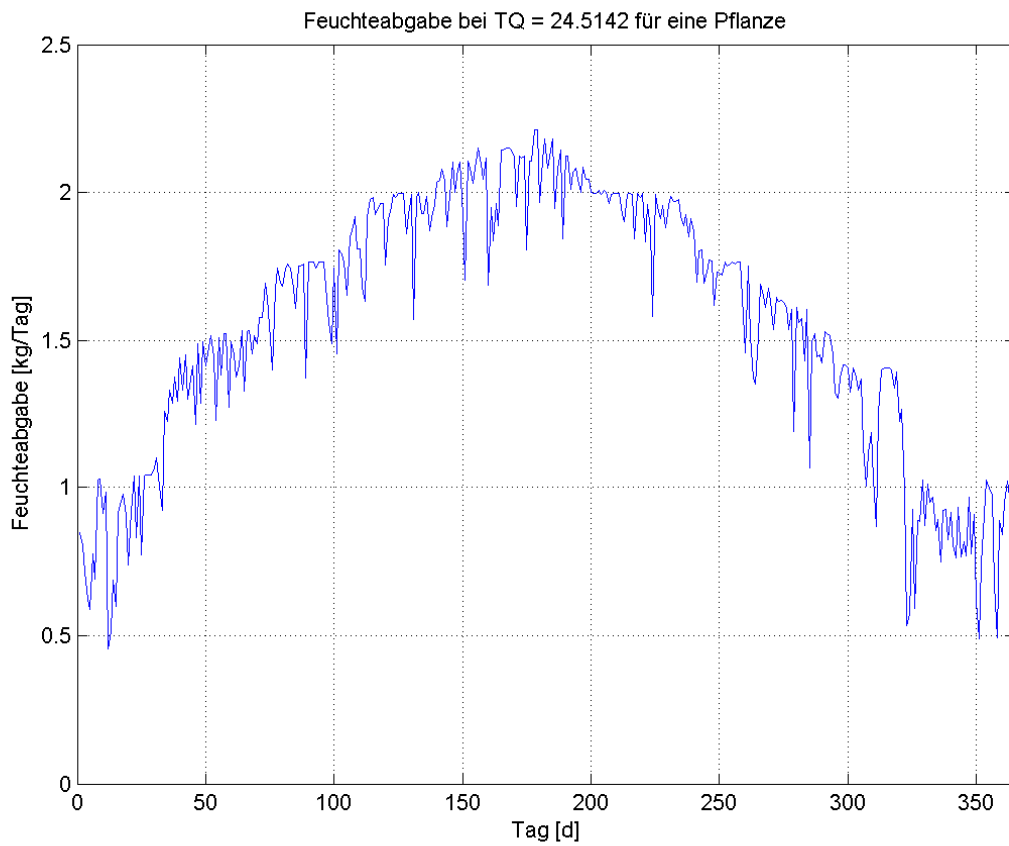
Abbildung 3: Kennlinien für die Feuchteabgabe der Pflanze für verschiedene Standorte (hell, mittel, dunkel und künstlich beleuchtet) [2]

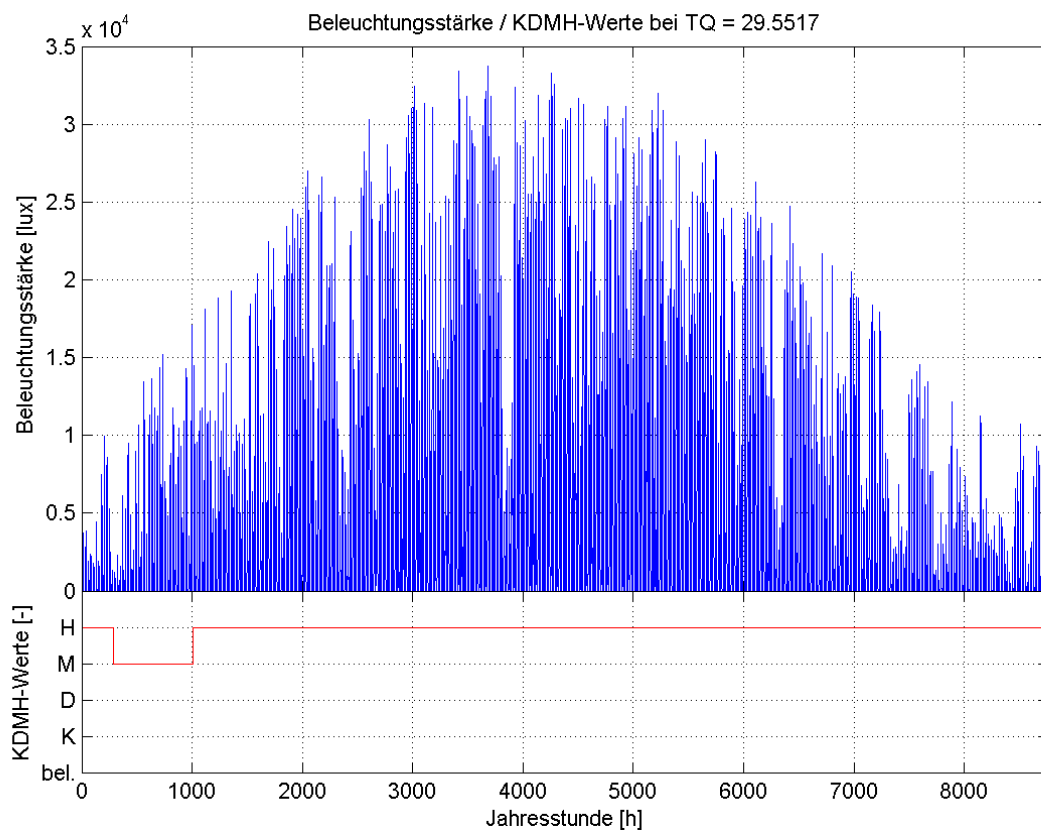
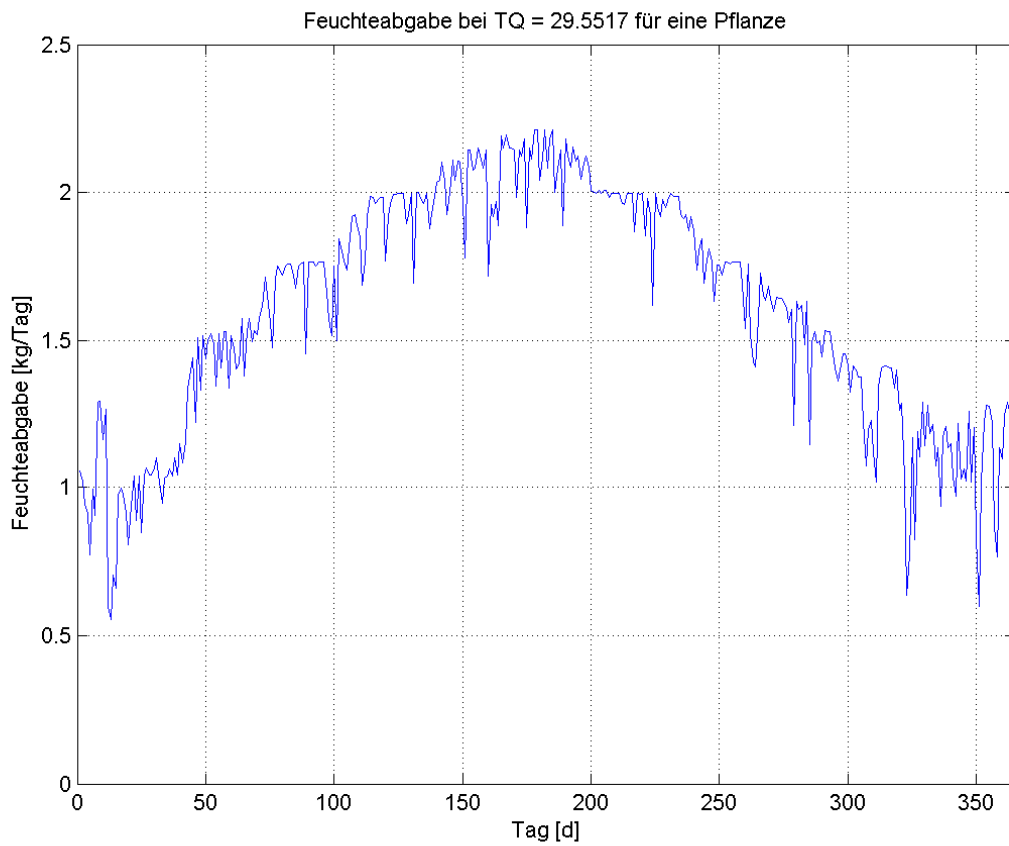
### 2.3 Jahresverlauf der Feuchteproduktion der einzelnen TQ- Gruppen

Im Anschluss finden sich für jede Gruppe zwei Grafiken. In der ersten Grafik (jeweils oben) ist die Feuchteproduktion einer Pflanze in einer Gruppe in Tagessummen über das Jahr aufgetragen. In der zweiten Grafik findet sich die Beleuchtungsstärke (jeweils unten) in Stundenwerten für die Gruppe und unten die Zuordnung der Kennlinie in Stundenwerte über das Jahr. „H“ bedeutet hellstehend, „M“ mittelstehend, „D“ dunkelstehend, „K“ künstlich beleuchtet und „bel.“ zeigt die Stunden an in der die künstliche Beleuchtung eingeschaltet werden muss.

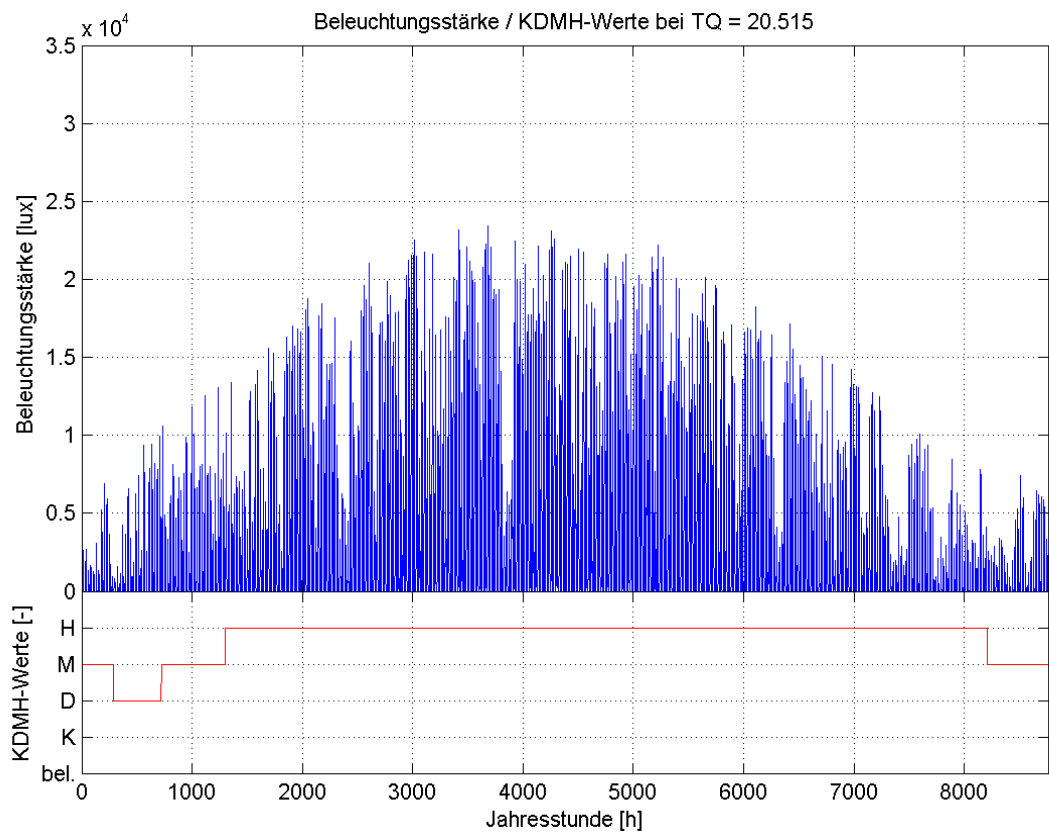
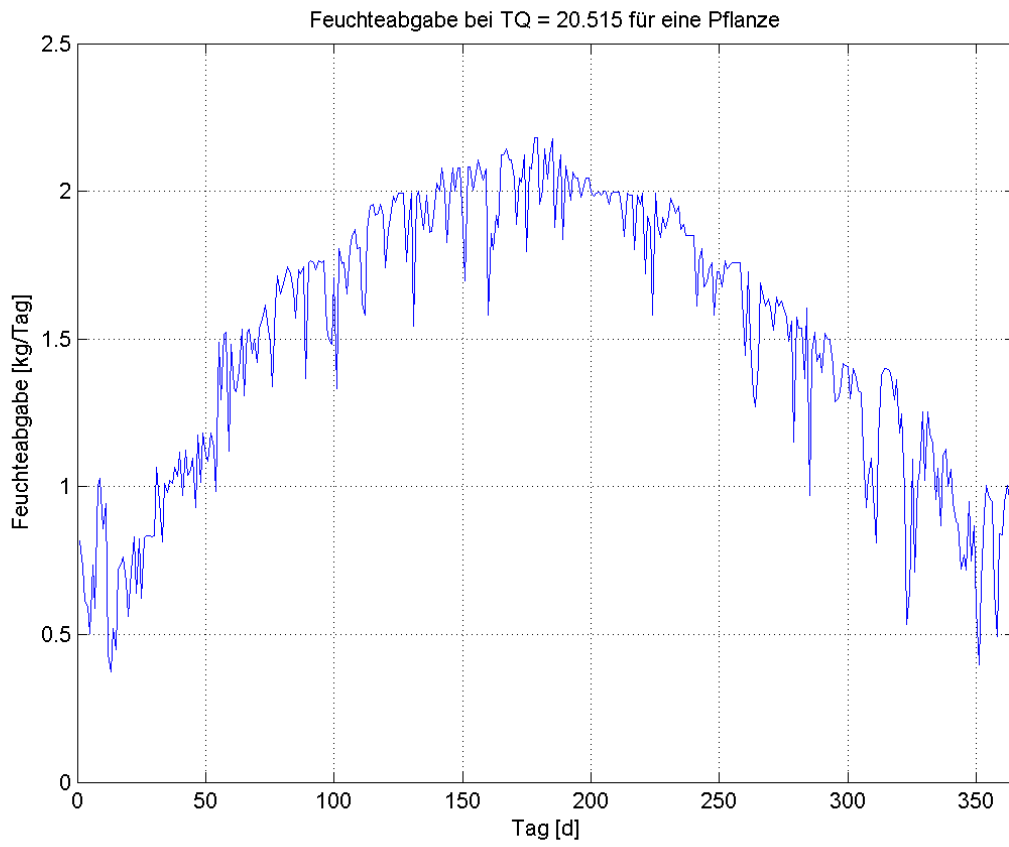
Die Feuchteproduktion in Stundenwerte liegt für die definierten Gruppen in Form eines Datenfiles vor. Damit kann für die Simulation die Feuchteproduktion für eine Pufferzone bei gegebener Anzahl der Pflanzen in der jeweiligen Gruppe berechnet werden.

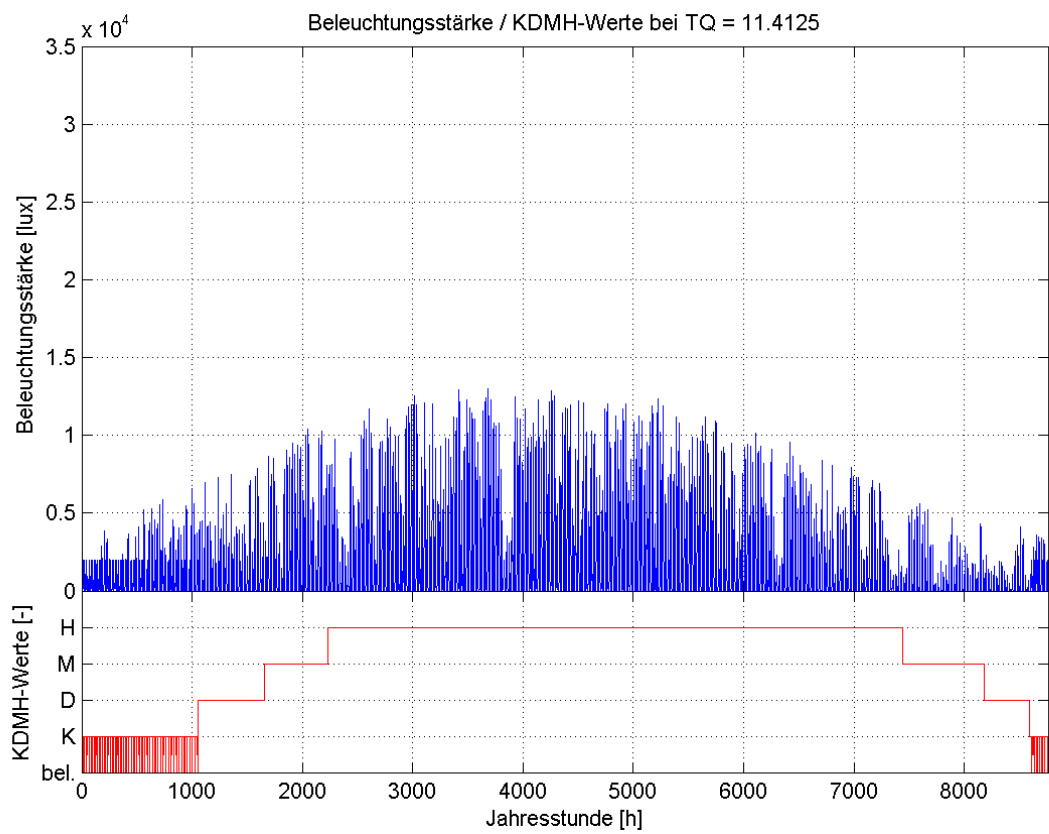
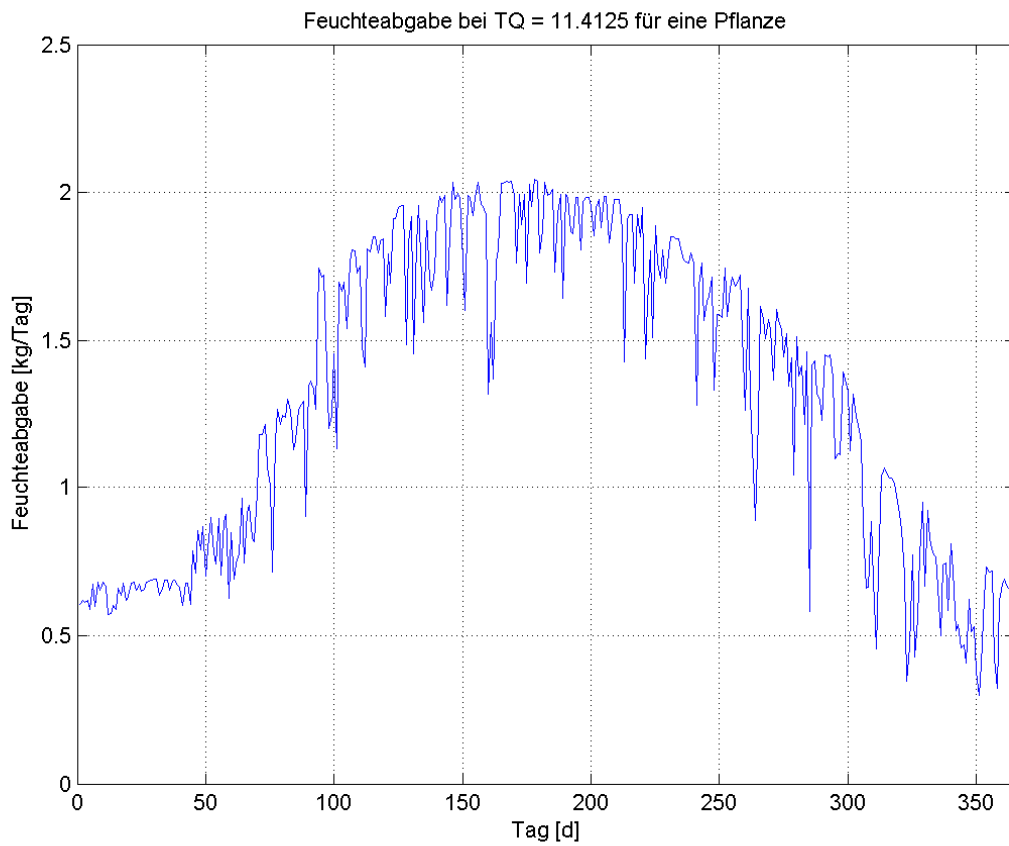


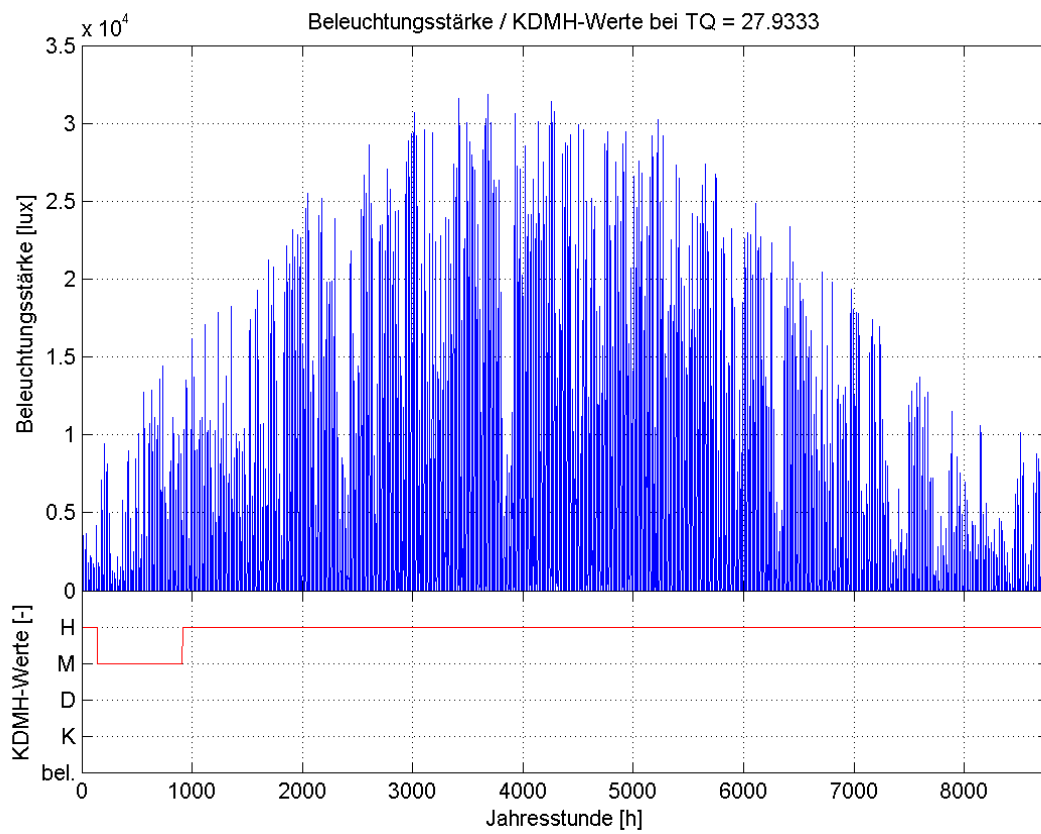
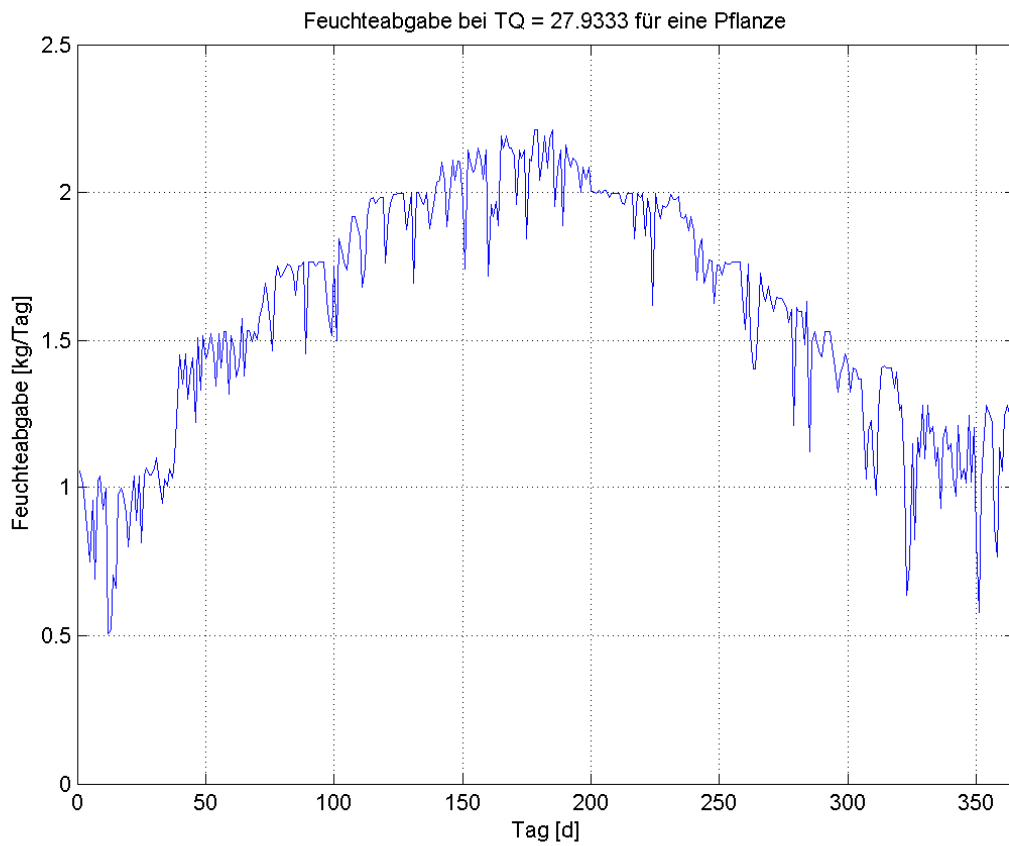


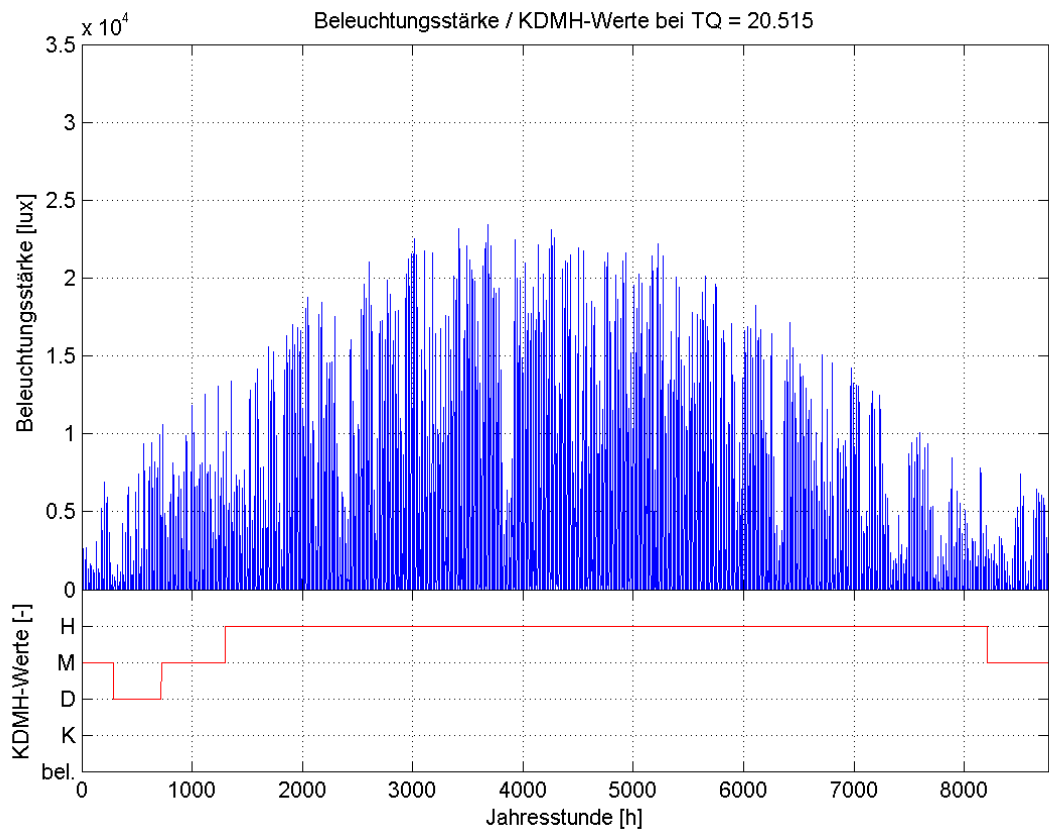
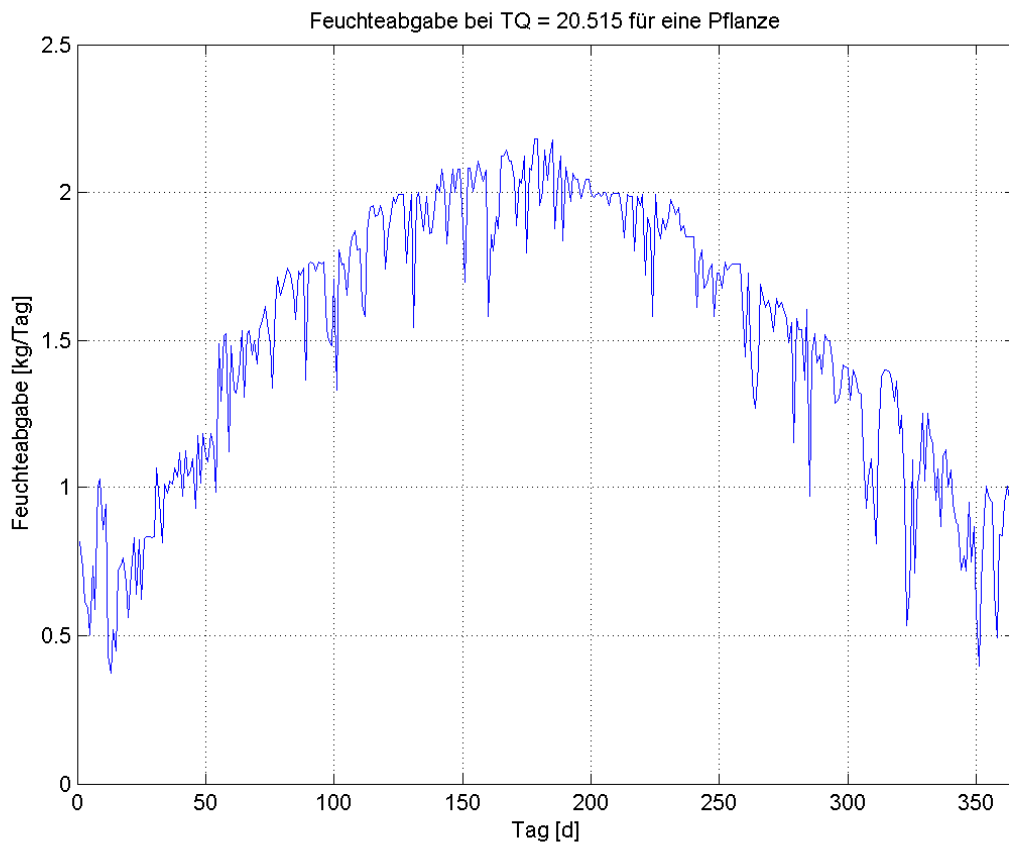


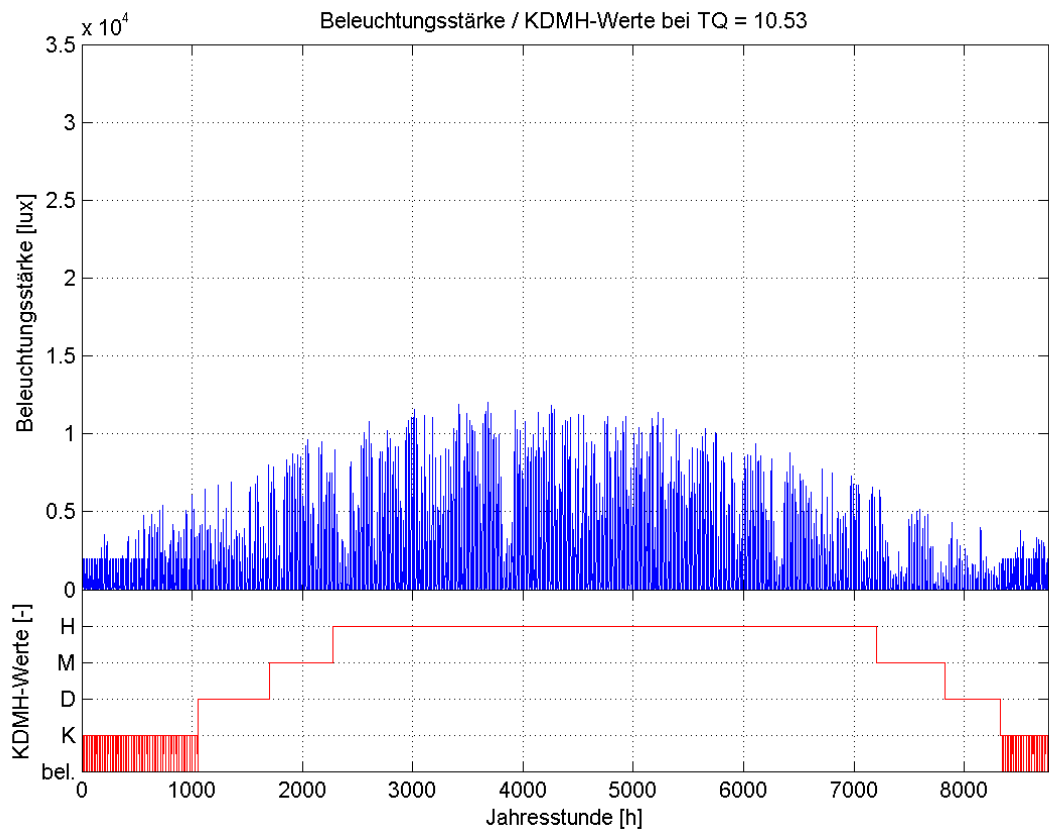
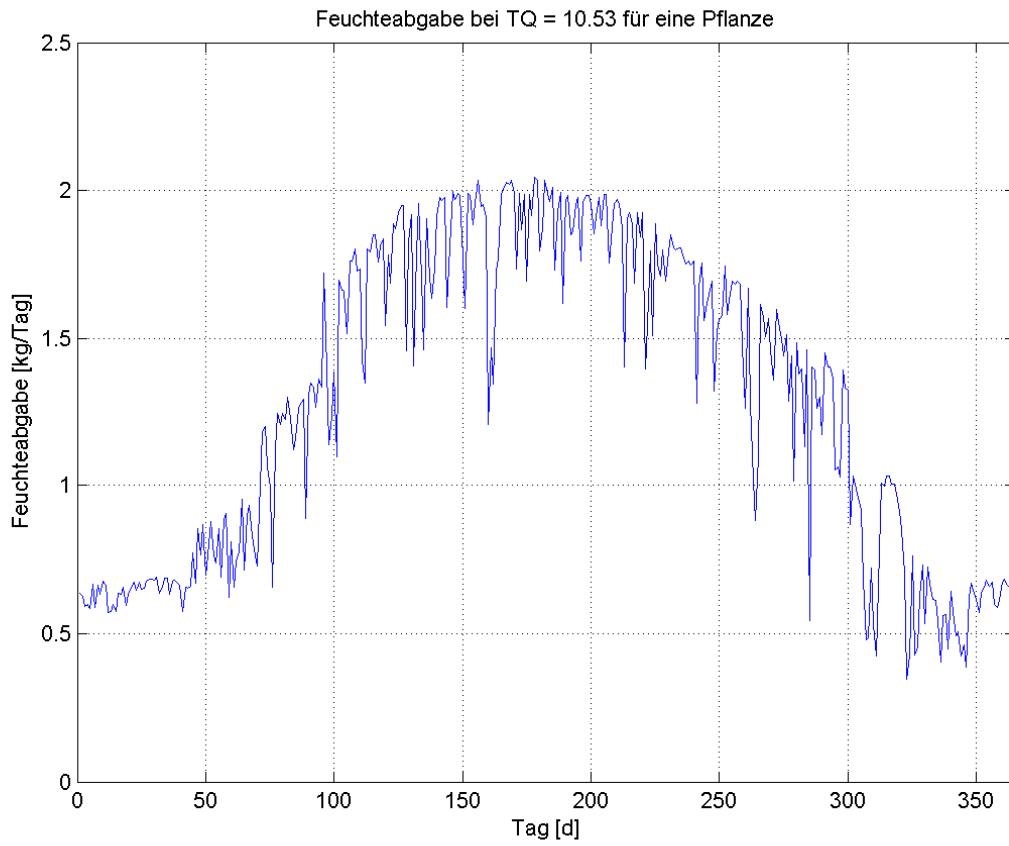


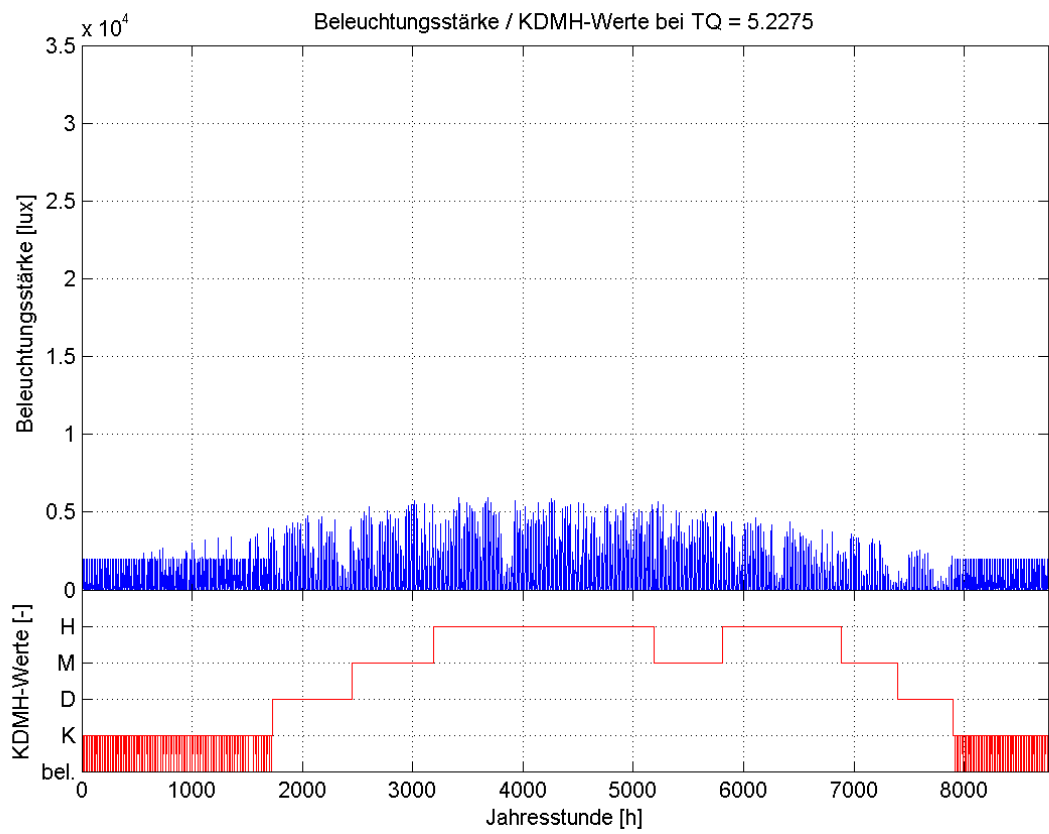
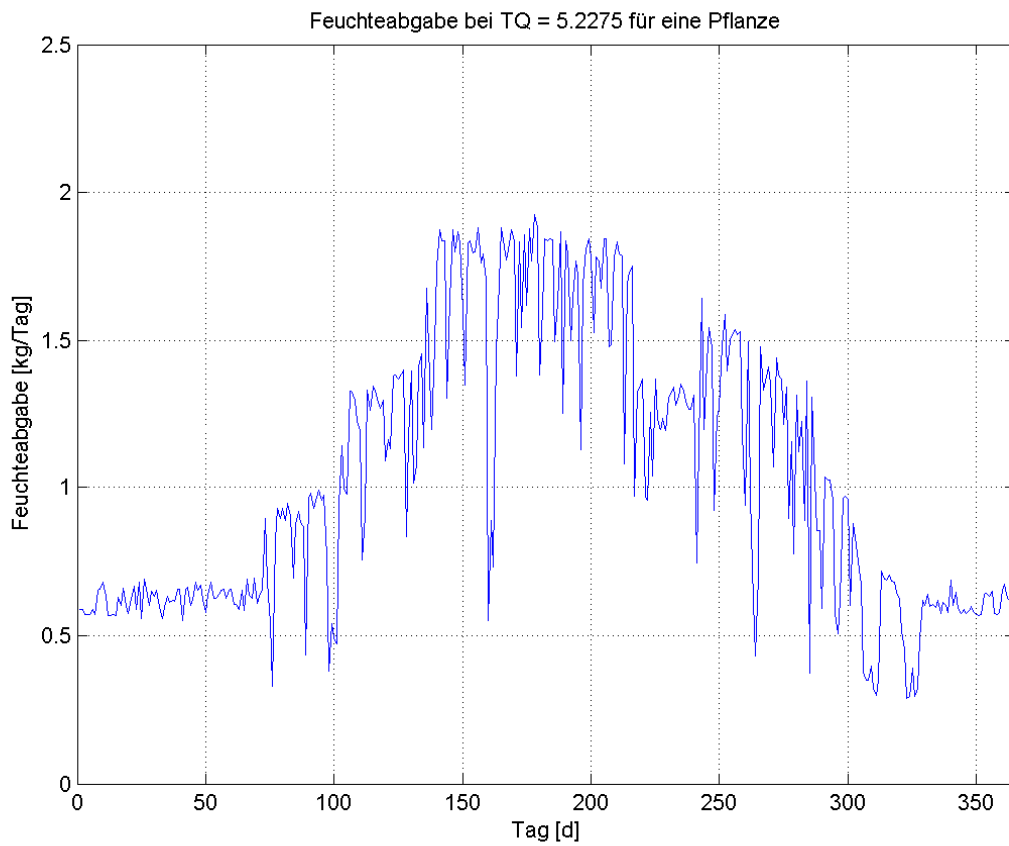


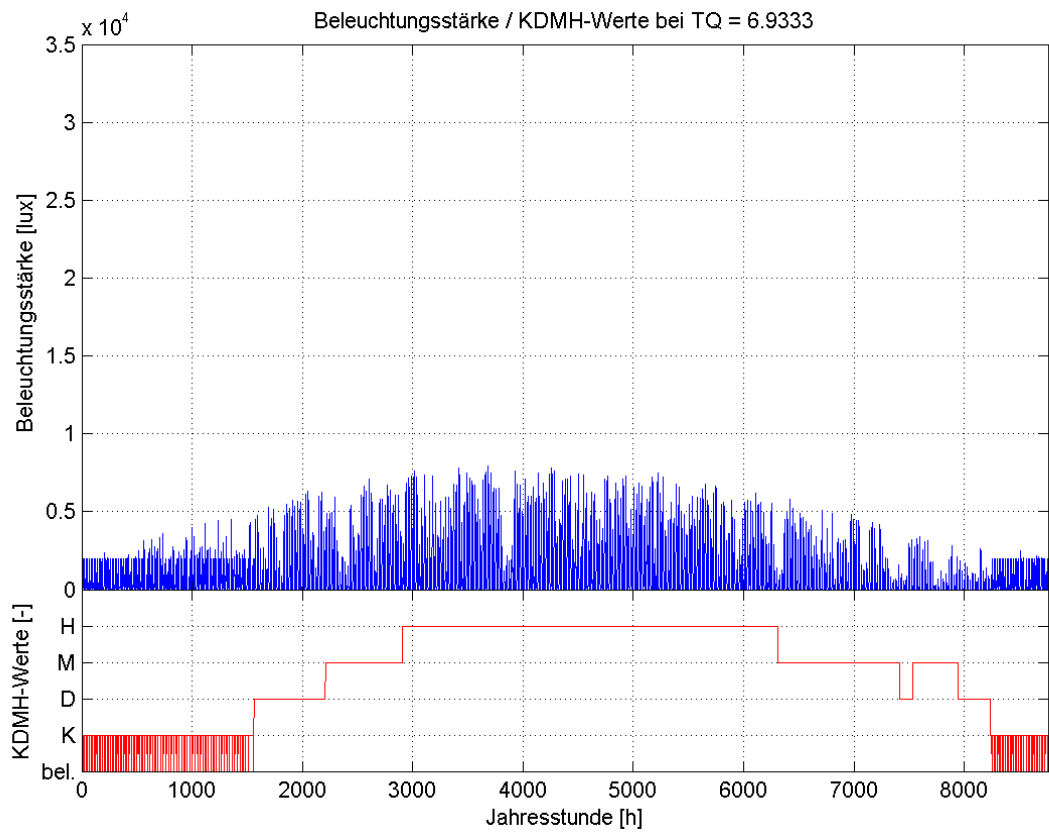
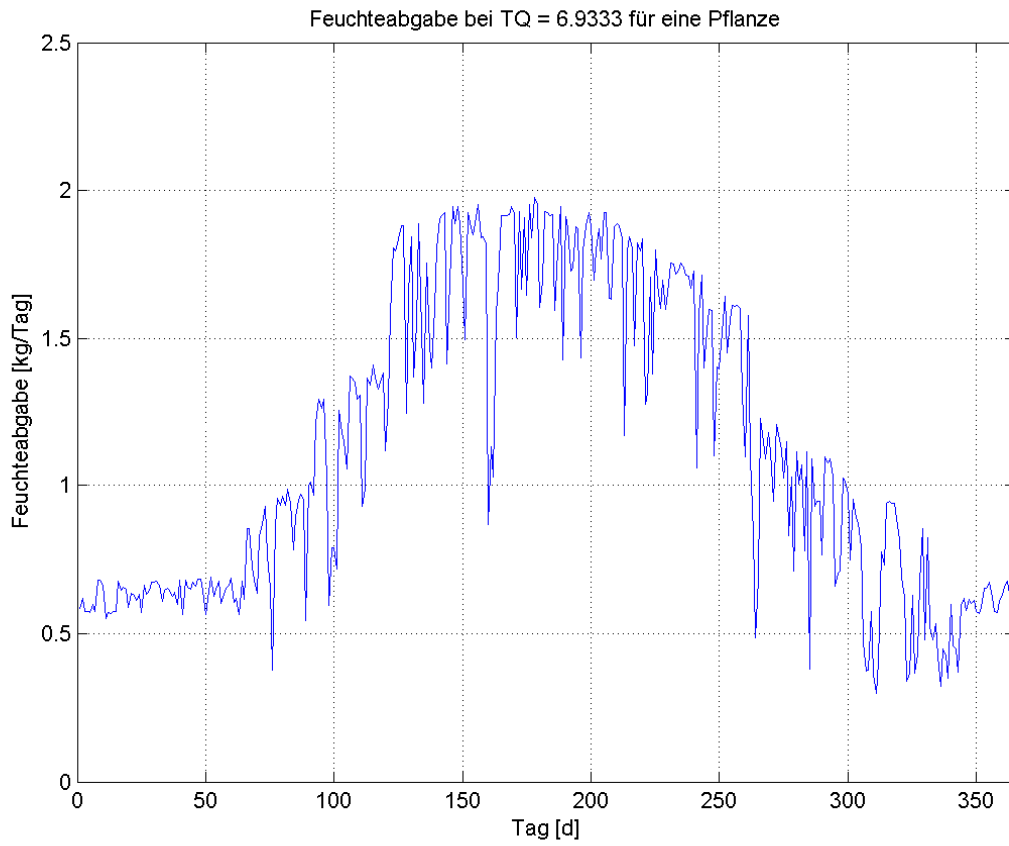


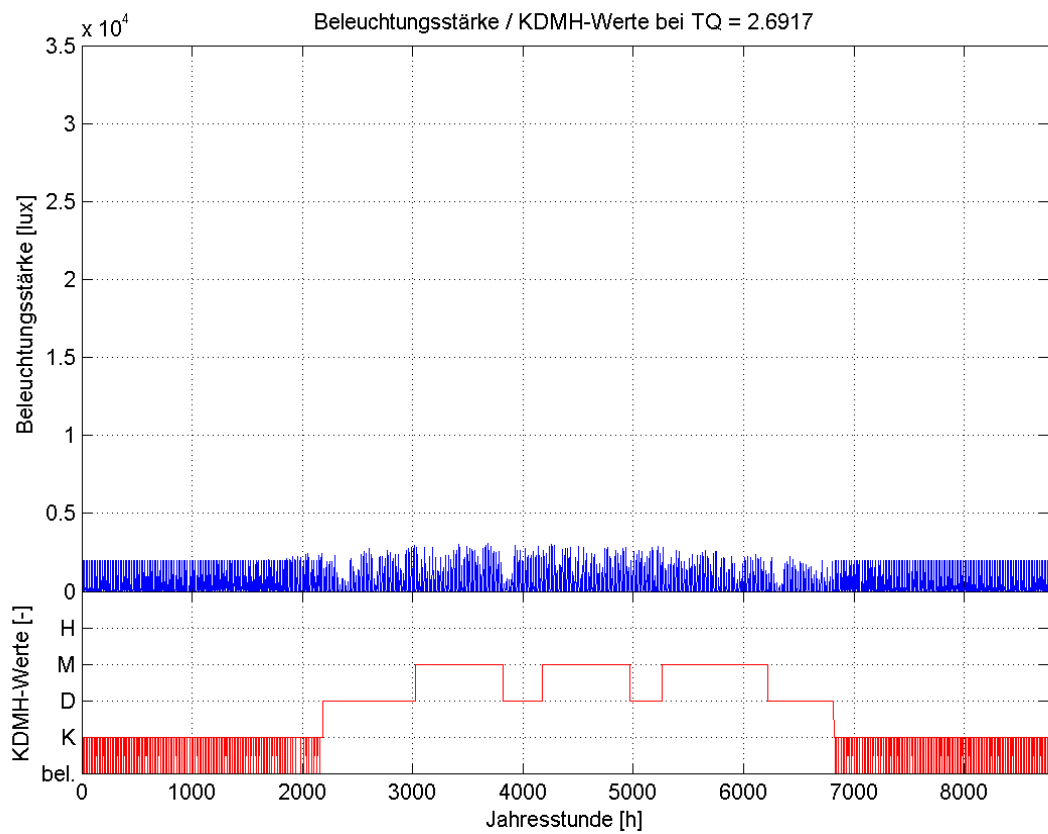
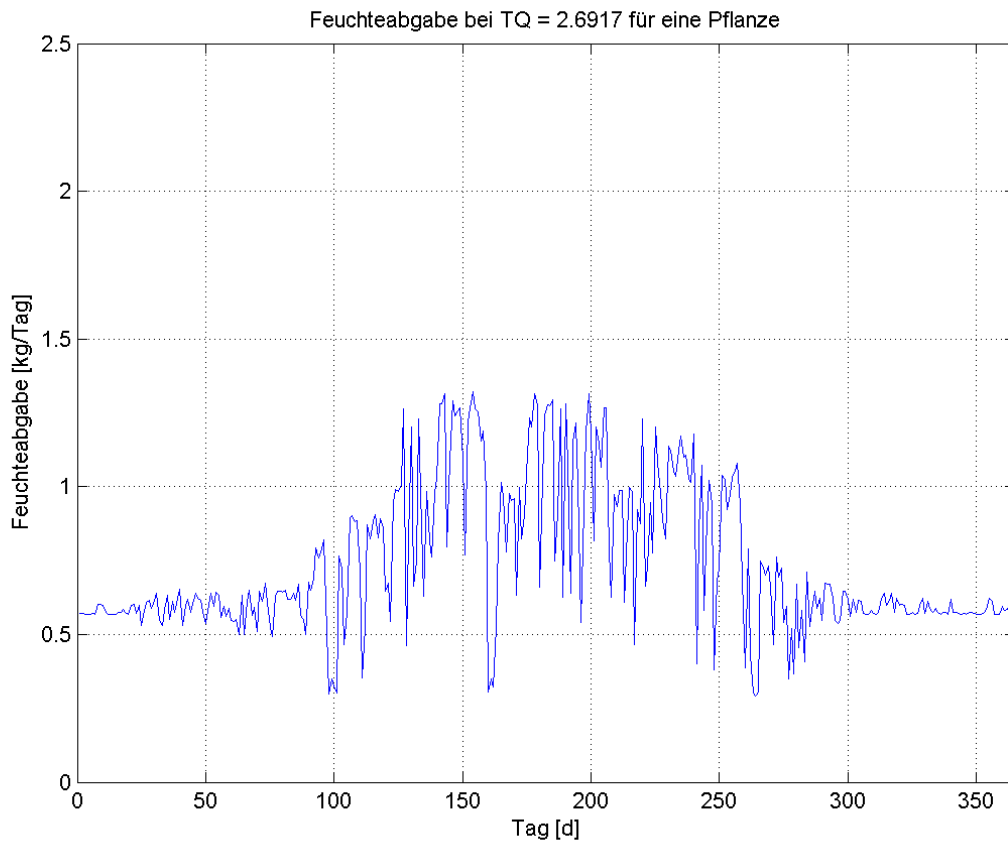




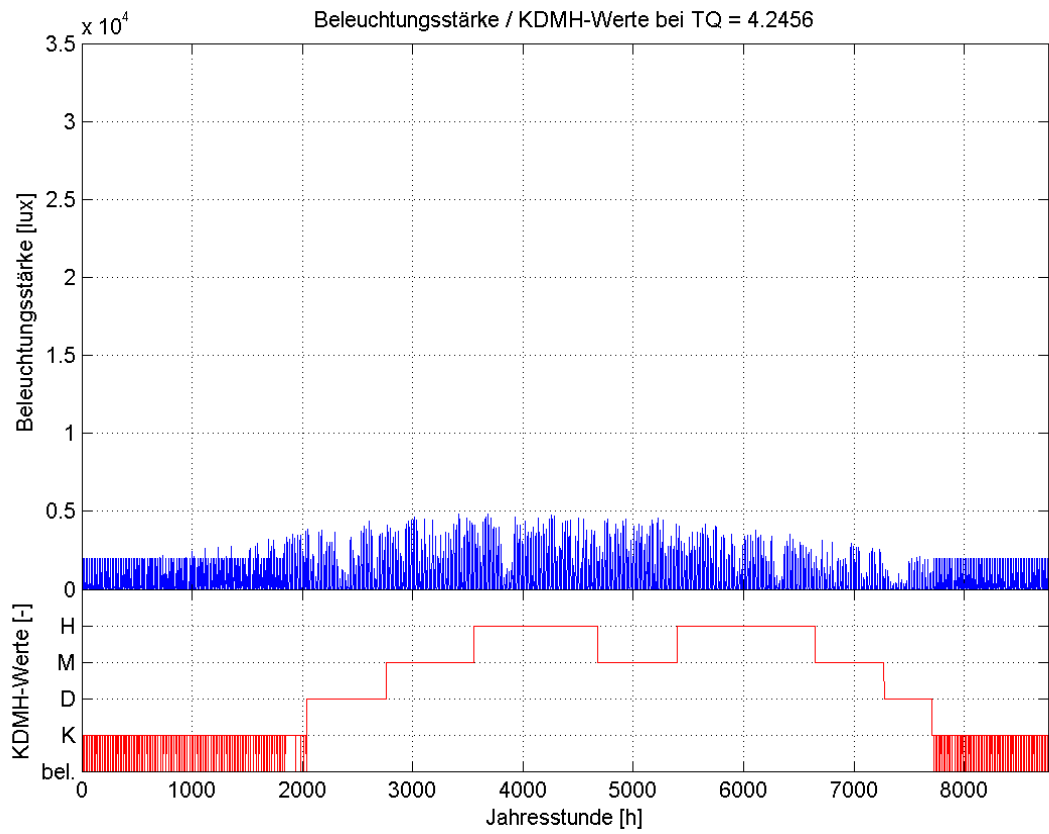


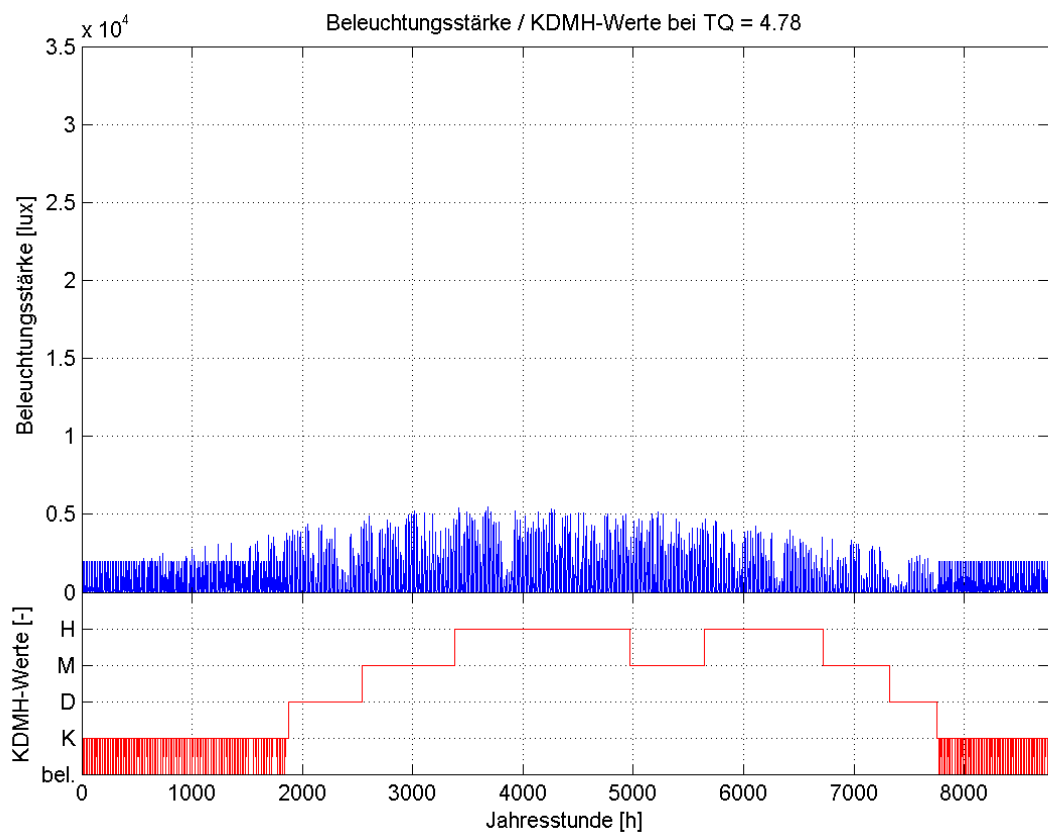
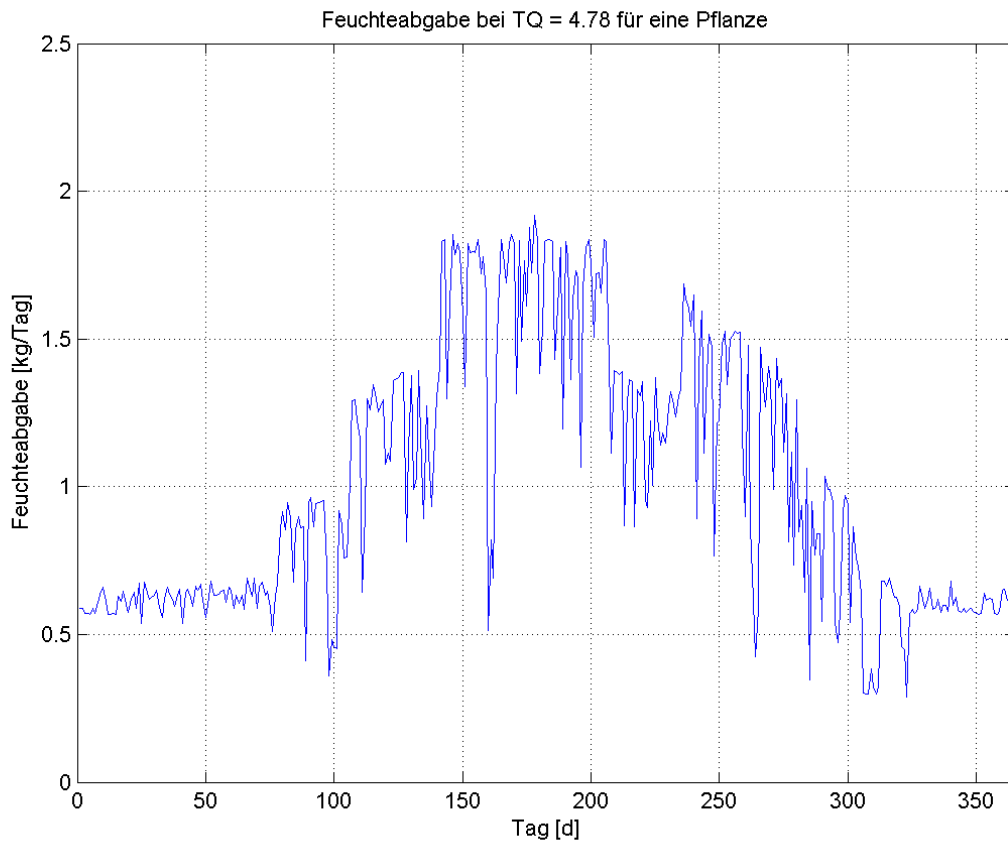


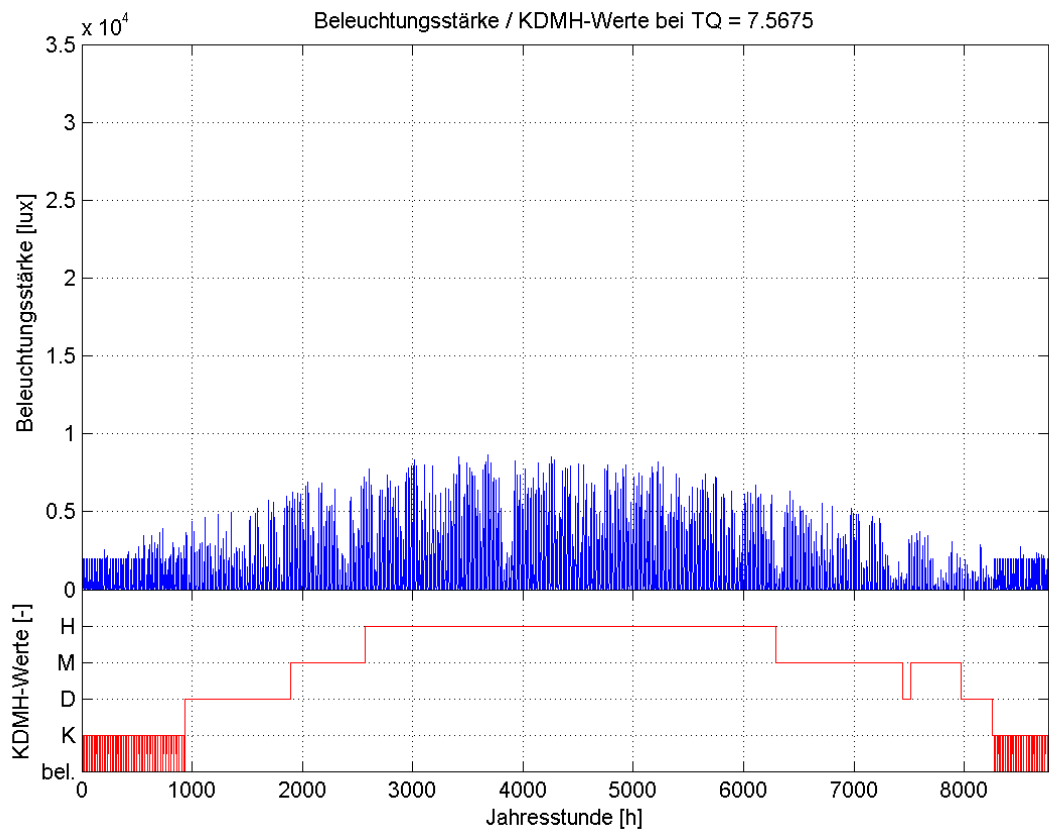
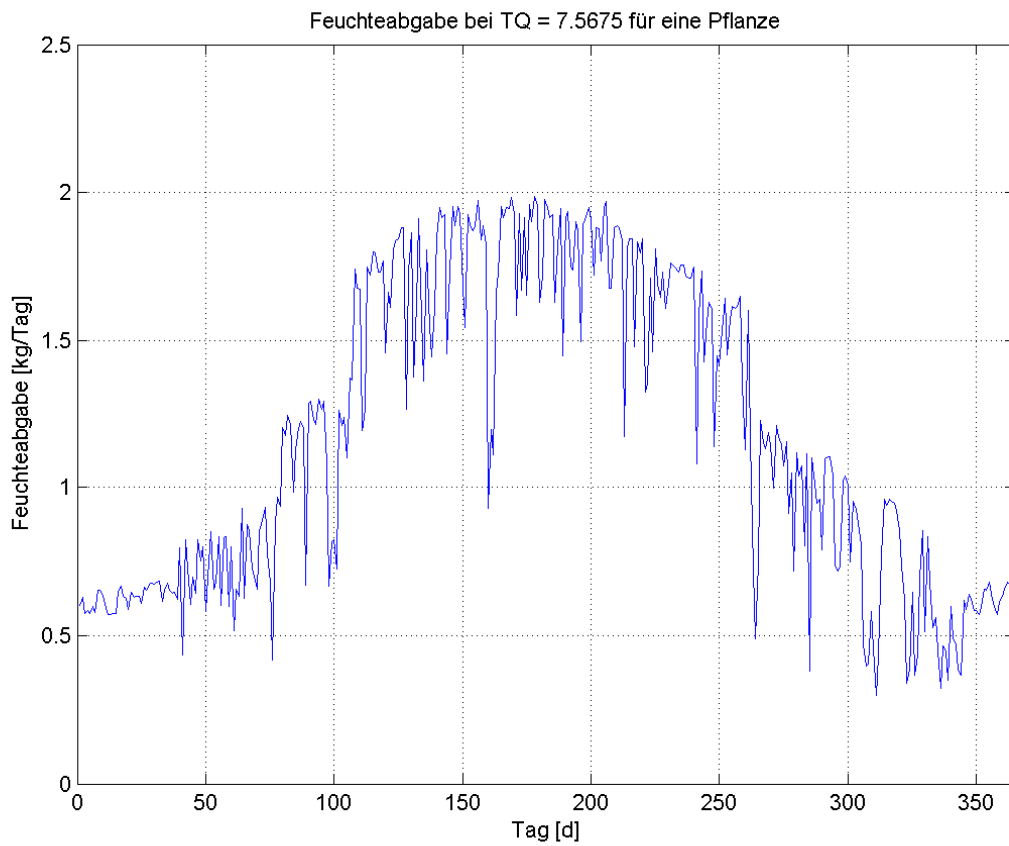


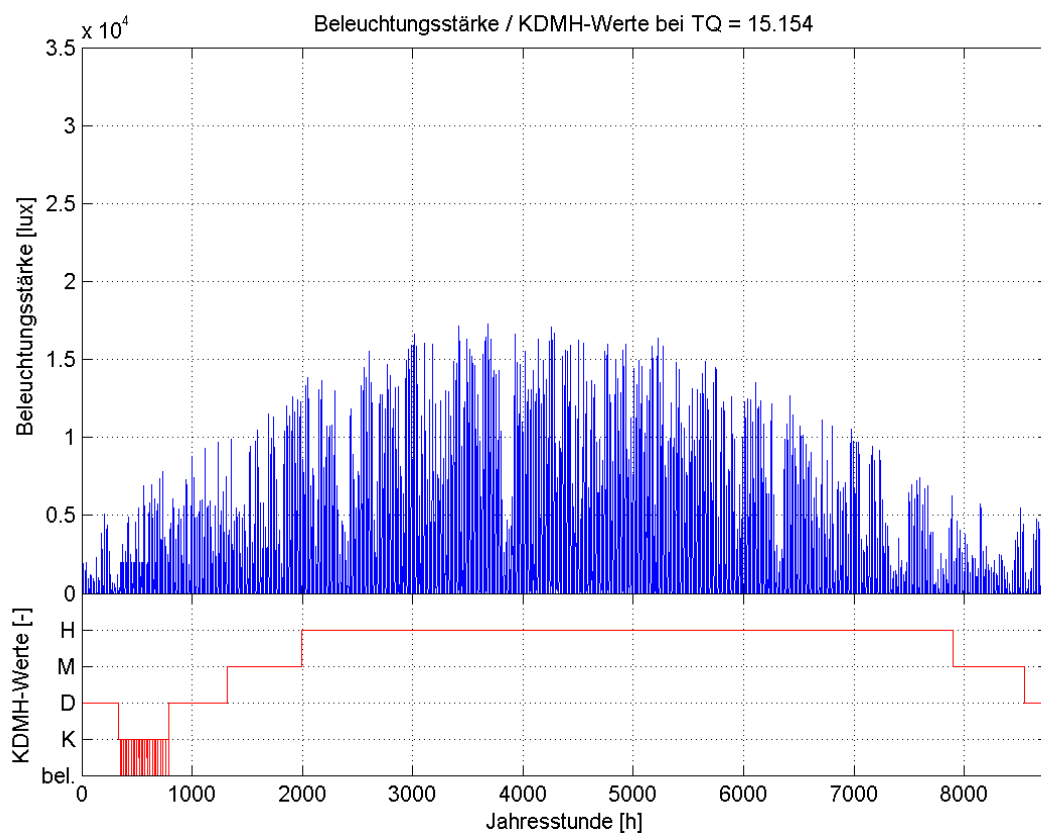
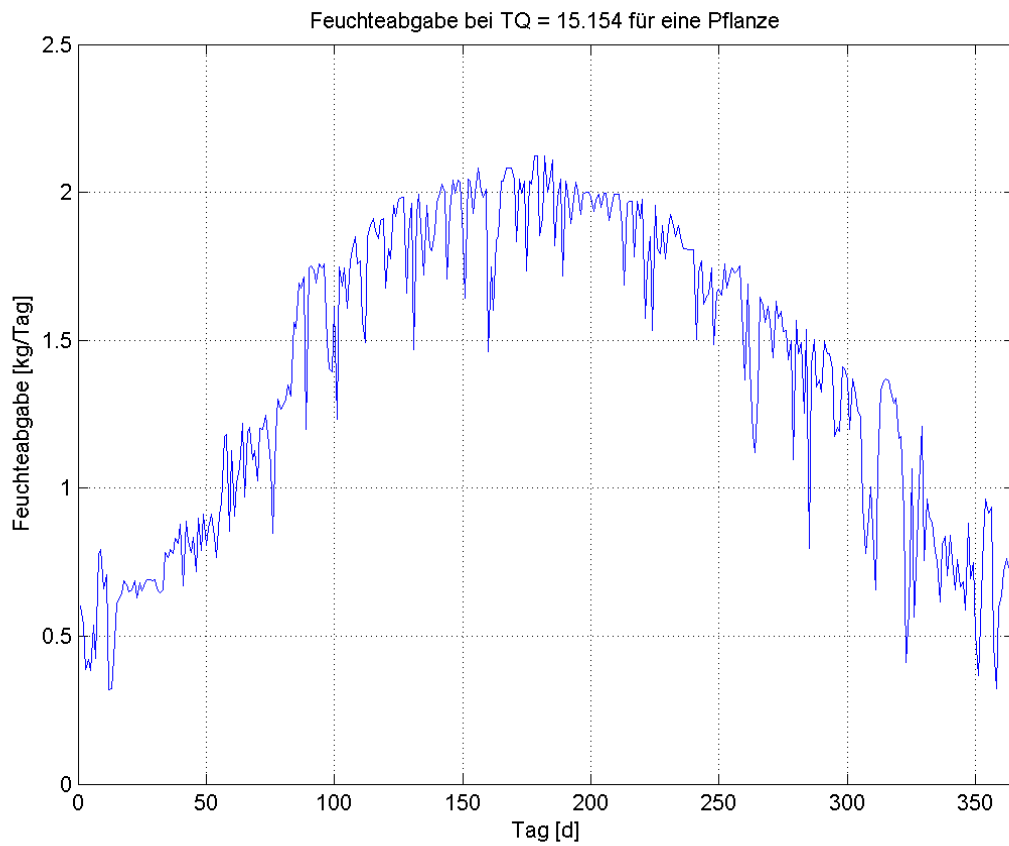












## 3 Pflanzenpuffer Erstanalyse

### 3.1 Vorgangsweise

Das am 17. Jänner 2007 dem Institut für Wärmetechnik (IWT) übermittelten (mail von DI Tim Selke) Simulationsmodell (TRNSYS) wurde vom IWT schrittweise adaptiert. Diese schrittweisen Änderungen werden in den folgenden Kapiteln beschrieben. Unterstützend zu den Beschreibungen werden jeweils Simulationsergebnisse einer Winterperiode und einer Sommerperiode dargestellt um die Auswirkungen der Modelländerungen auch exemplarisch darstellen zu können.

Winterperiode (Stunde 1 bis Stunde 1000) ... 1. Jänner bis 11. Februar

Sommerperiode (Stunden 5000 - 6000) ... 28. Juli bis 7. September

### 3.2 Anmerkung

Da das von Arsenal Research aufgestellte Simulationsmodell (Basismodell), gemäß Werkvertrag, als Basis für die Simulation der Pflanzenpufferräume herangezogen wurde, sind naturgemäß die vom Institut für Wärmetechnik gelieferten Auswertungen vom Basismodell abhängig. Die Richtigkeit des Basismodells wurde für die folgenden Auswertungen vorausgesetzt und nicht explizit geprüft.

### 3.3 Simulationsmodell gemäß Arsenal Research (Ausgangsmodell)

#### Annahmen:

Derzeit befindet sich in jeder Pflanzenpuffergruppe nur eine Pflanze. Die Volumina und die Luftwechselzahlen in den Pufferzonen sind wie folgt angesetzt (Datenquelle [4]):

Pflanzenpuffer WEST - außen:

GREEN\_WEST | Volumen 220 m<sup>3</sup> | Volumenstrom 2470 m<sup>3</sup>/h | LWR 11.20

Pflanzenpuffer OST - außen:

GREEN\_EAST | Volumen 193 m<sup>3</sup> | Volumenstrom 1090 m<sup>3</sup>/h | LWR 5.65

Pflanzenpuffer WEST - innen:

GREEN\_INE | Volumen 70 m<sup>3</sup> | Volumenstrom 1010 m<sup>3</sup>/h | LWR 14.42

Pflanzenpuffer OST - innen:

GREEN\_INW | Volumen 100 m<sup>3</sup> | Volumenstrom 1330 m<sup>3</sup>/h | LWR 13.30

Die Zuluft wird mit einer konstanten Temperatur von 15°C vorgegeben. Zur Regelung wird der definierte Zeitplan WEEK\_HVAC verwendet, der sich wie folgt zusammensetzt:

Mo. – Fr.

00:00 – 06:00            0.00

06:00 – 18:00           1.00

18:00 – 24:00           0.00

Sa. – So.

00:00 – 24:00           0.00

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse für den Winter (Stunden 1 - 1000) und in Abbildung 5 die für den Sommer (Stunden 5000 - 6000). Während sich die Temperaturen für den innen liegenden Pflanzenpuffer relativ konstant um die 20°C bewegen (von 17°C – 22°C im Winter und von 19°C – 28°C im Sommer) schwanken die Temperaturen im Außenpuffer sehr stark (von -2°C – 59°C im Winter und von 15°C – 123°C im Sommer). Die tiefen Temperaturen entstehen im Winter vor allem bei tiefen Außentemperaturen und ausgeschalteter Belüftung (also in der Nacht). Die teilweise extrem hohen Temperaturen sind auf die Sonneneinstrahlung bei ausgeschalteter Belüftung (also am Wochenende) zurückzuführen. Für die relative Feuchte ergeben sich im Winter fast immer Werte über 40% und bei ausgeschalteter Belüftung (Nacht und Wochenende) für den unregelmäßigen Fall immer 100%. Für den Sommer findet man auf Grund der starken Temperaturschwankungen auch bei der relativen Feuchte starke Änderungen. Der innen liegende Pflanzenpuffer zeigt aufgrund der angeführten Argumente deutlich weniger Schwankungen.

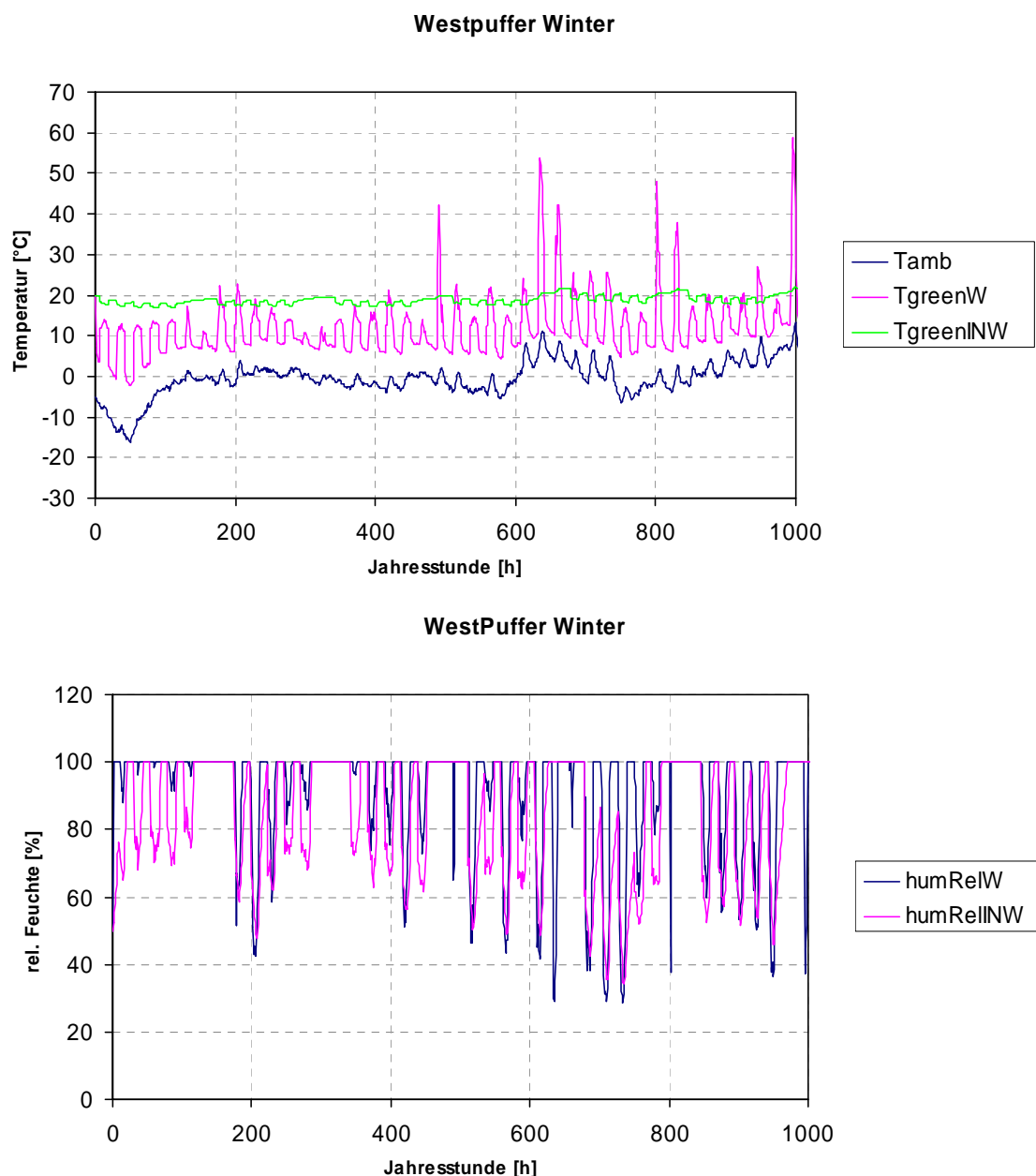


Abbildung 4: Temperatur und relative Feuchte im Winter in den westlichen Pflanzenpuffern (Grundvariante); zum Vergleich ist oben auch die Außenlufttemperatur aufgetragen

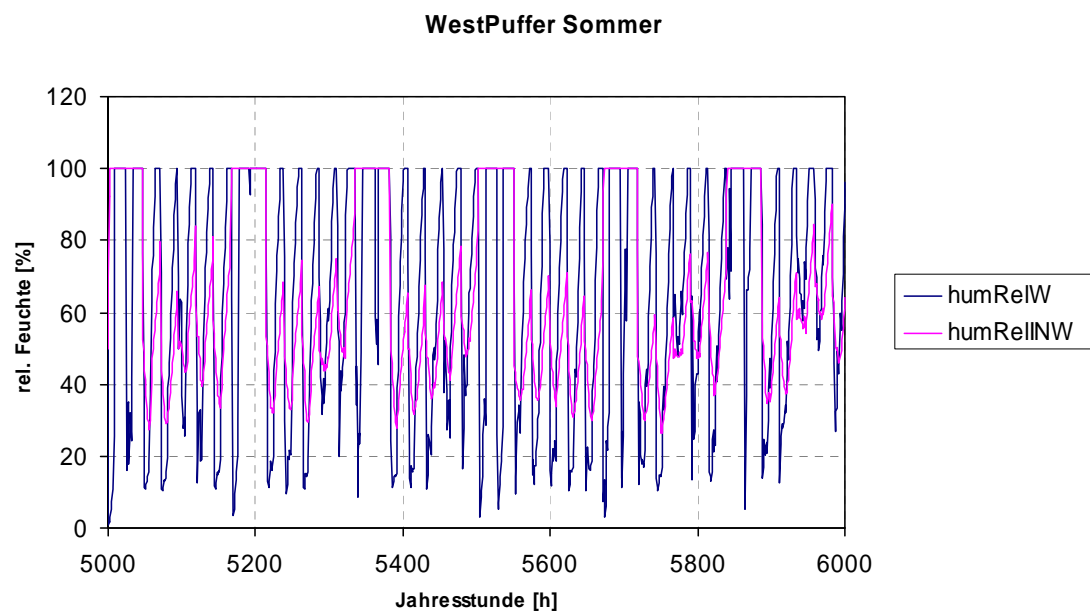
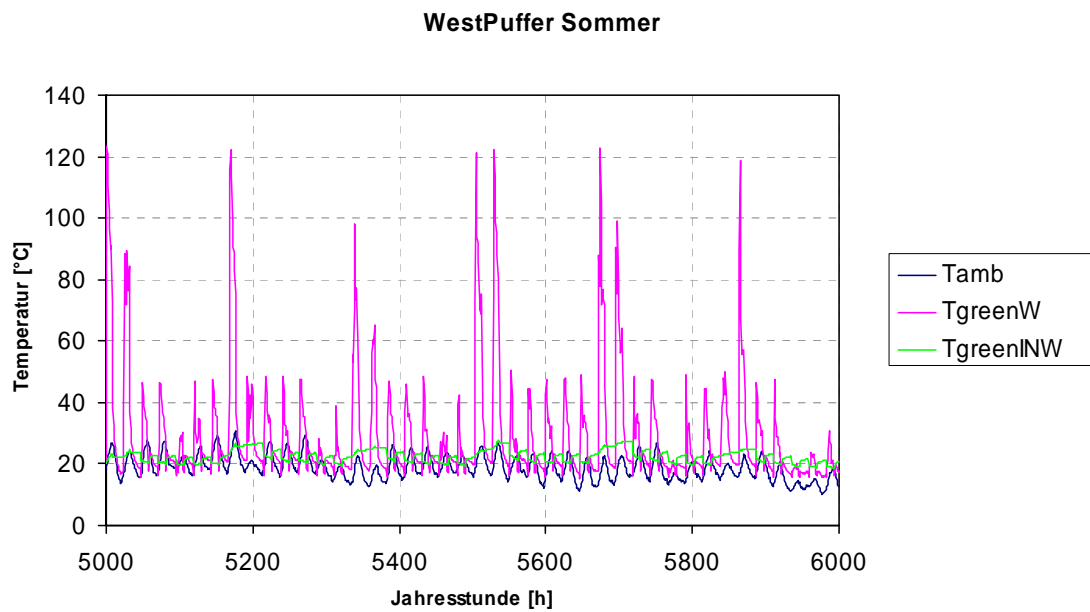


Abbildung 5: Temperatur und relative Feuchte im Sommer in den westlichen Pflanzenpuffern (Grundvariante); zum Vergleich ist oben auch die Außenlufttemperatur aufgetragen

### 3.4 Einbau einer exemplarischen Speichermasse

#### vorgenommene Änderungen:

In der Grundvariante wurden für die außen liegenden Pflanzenpuffer keine internen Wände angesetzt. Um den Einfluss internen Speichermasse zu zeigen wurde Pflanzenpuffer WEST – außen (GREEN\_WEST) für die Geschosdecke eine Gesamtfläche von 53,62 m<sup>2</sup> eingesetzt. Für den Wandaufbau wurde DE30PFPUFF (30 cm Normalbeton) verwendet.

Interpretation:

Die extremen Schwankungen werden deutlich reduziert (Vergleiche Abbildung 4 und Abbildung 5 mit Abbildung 6 und Abbildung 7). Im Winter bewegen sich die Temperaturen im außen gelegenen Puffer nun zwischen 4°C und 32°C und im Sommer zwischen 17°C und 72°C (wobei wieder die schon angeführten Einflüsse der Außenlufttemperatur, Sonnenstrahlung und Belüftung gelten). Auch die Werte der relativen Feuchte zeigen damit weniger starke Schwankungen.

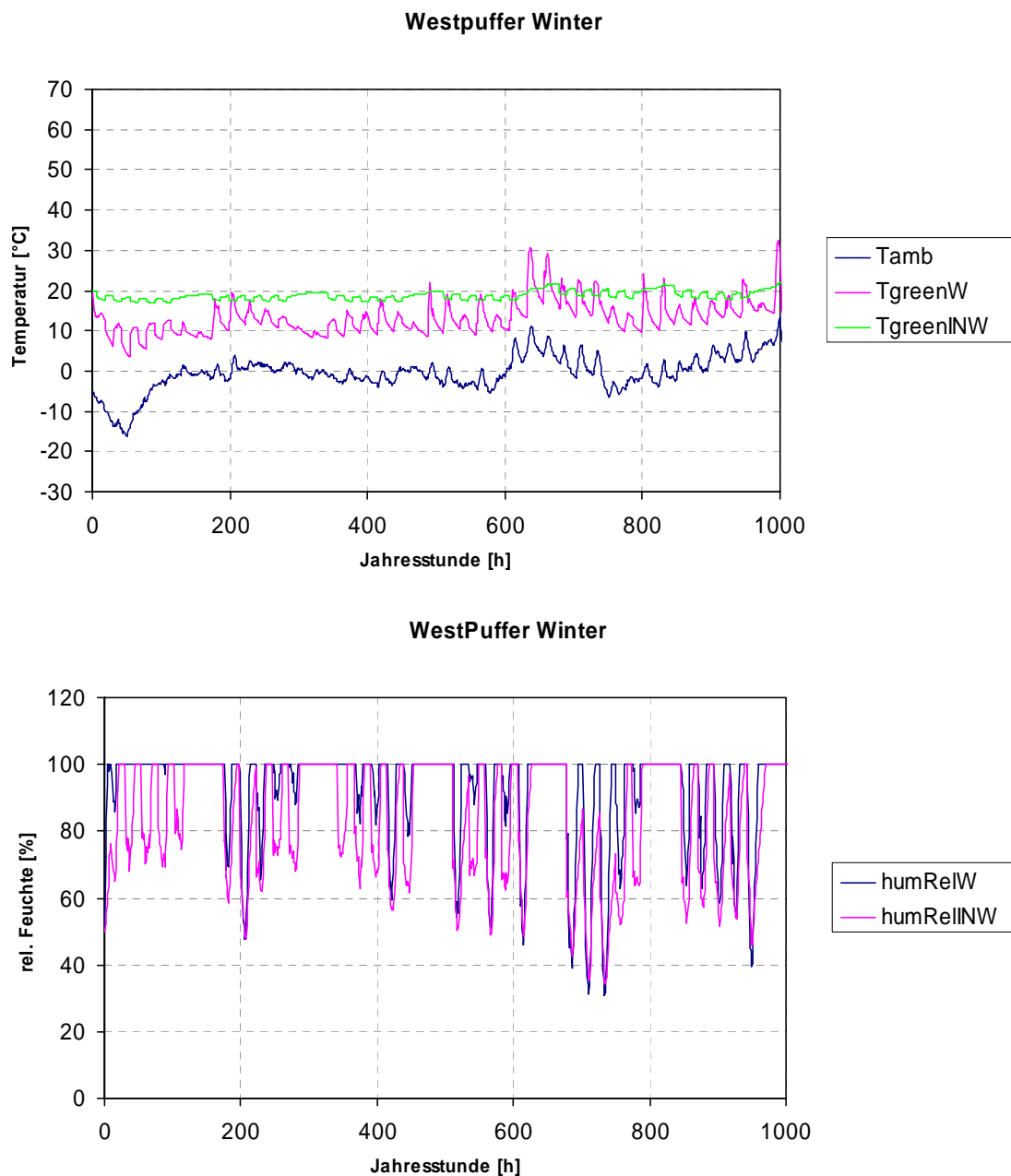
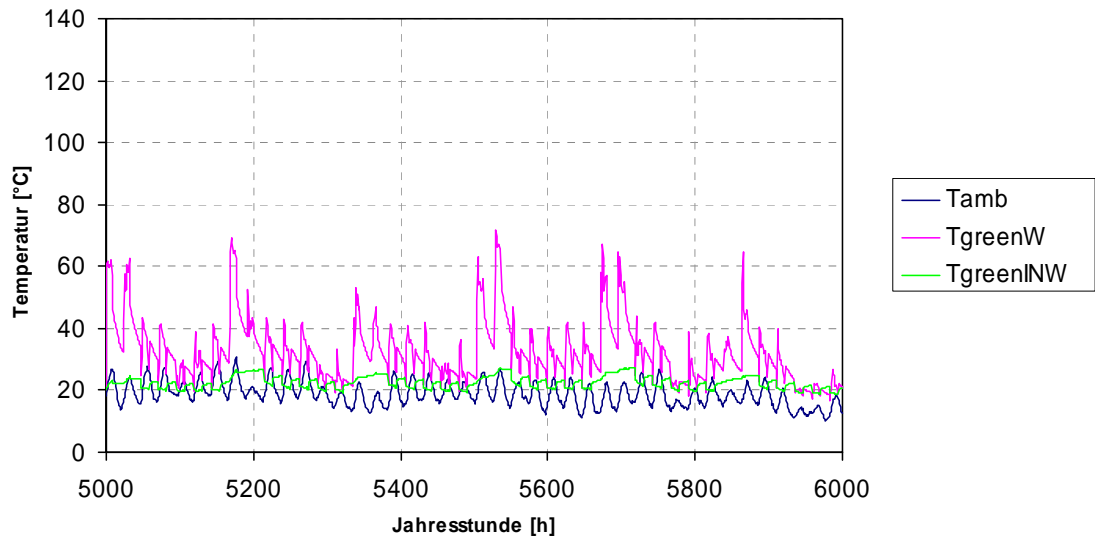


Abbildung 6: Temperatur und relative Feuchte im Winter in den westlichen Pflanzenpuffern (exempl. Speichermasse); zum Vergleich ist oben auch die Außenlufttemperatur aufgetragen



### WestPuffer Sommer



### WestPuffer Sommer

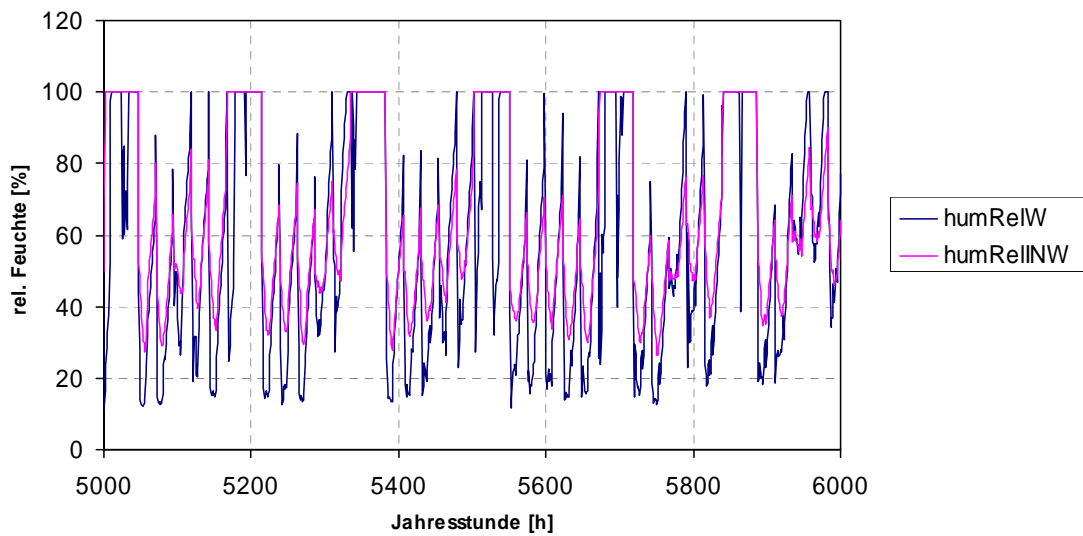


Abbildung 7: Temperatur und relative Feuchte im Sommer in den westlichen Pflanzenpuffern (exempl. Speichermasse); zum Vergleich ist oben auch die Außenlufttemperatur aufgetragen

### 3.5 Detaillierung der Pflanzenpuffer und adaptiertes Lüftungssystem

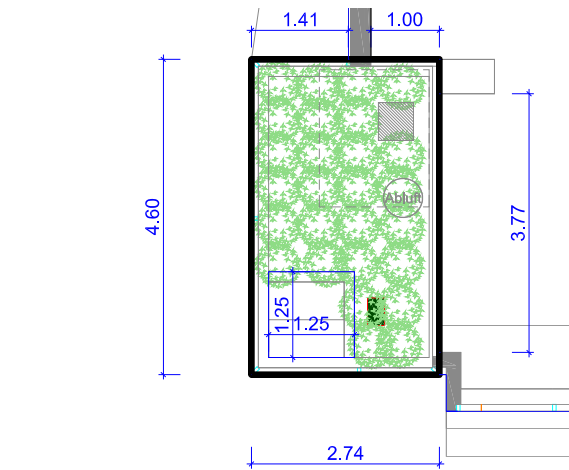
#### vorgenommene Änderungen:

Pflanzenpuffer - Detaillierte Auswertung der Geometrie der Pflanzenpuffer nach den Plänen (Quelle [3]), die am 4.12.2006 per mail an Herrn Selke (Arsenal Research), Mach (IWT) und Schranzhofer (IWT) von POS Architekten übermittelt wurden.

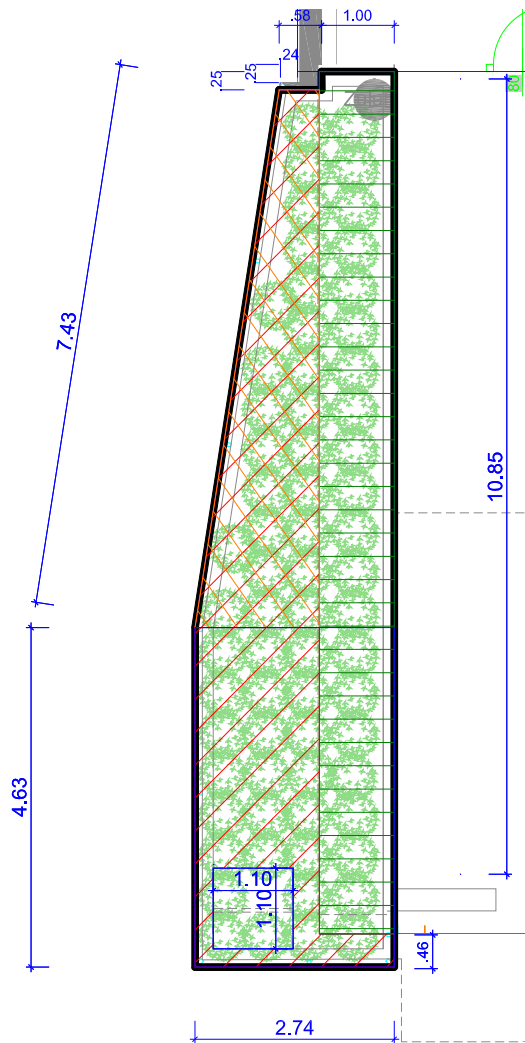
Lüftungssystem – Der gesamte Luftstrom wird der von arsenal research gelieferten Simulation entnommen. Hier ergibt sich über den hygienisch erforderlichen Luftwechsel von 30 m<sup>3</sup>/h pro Person und der Belegung der thermischen Zonen ein Luftstrom von 14400 m<sup>3</sup>/h. Dieser Luftstrom wird über den Schedul WEEK\_HVAC gesteuert. Bevor der Luftstrom in die Pflanzenpuffer eingeleitet wird durchläuft er folgende Stationen:

1. Wärmerückgewinnung - Erwärmung der Zuluft (Wirkungsgrad 70%)
2. Feuchterückgewinnung - Befeuchtung der Zuluft (Wirkungsgrad 75%)
3. Vorheizung auf mindestens 15°C
4. Aufteilung in zwei Stränge (Strang 1: 8500 m<sup>3</sup> pro Stunde, Strang 2: 5900 m<sup>3</sup>/h)
5. Aufteilen von Strang 2 auf die vier Pflanzenpuffer
6. Temperatur und Feuchteänderung des Luftstroms in den Pflanzenpuffern
7. Zusammenführen von Strang 1 und Strang 2 (noch nicht implementiert)
8. Einleiten des Luftstroms in die Süd- bzw. Nordzonen des Gebäude (noch nicht implementiert)
9. Zusammenführen der Fortluft (von der Ausgangsvariante übernommen)
10. Wärmerückgewinnung - Abkühlen der Fortluft (Wirkungsgrad 70%)
11. Feuchterückgewinnung - Entfeuchten der Fortluft (Wirkungsgrad 75%)

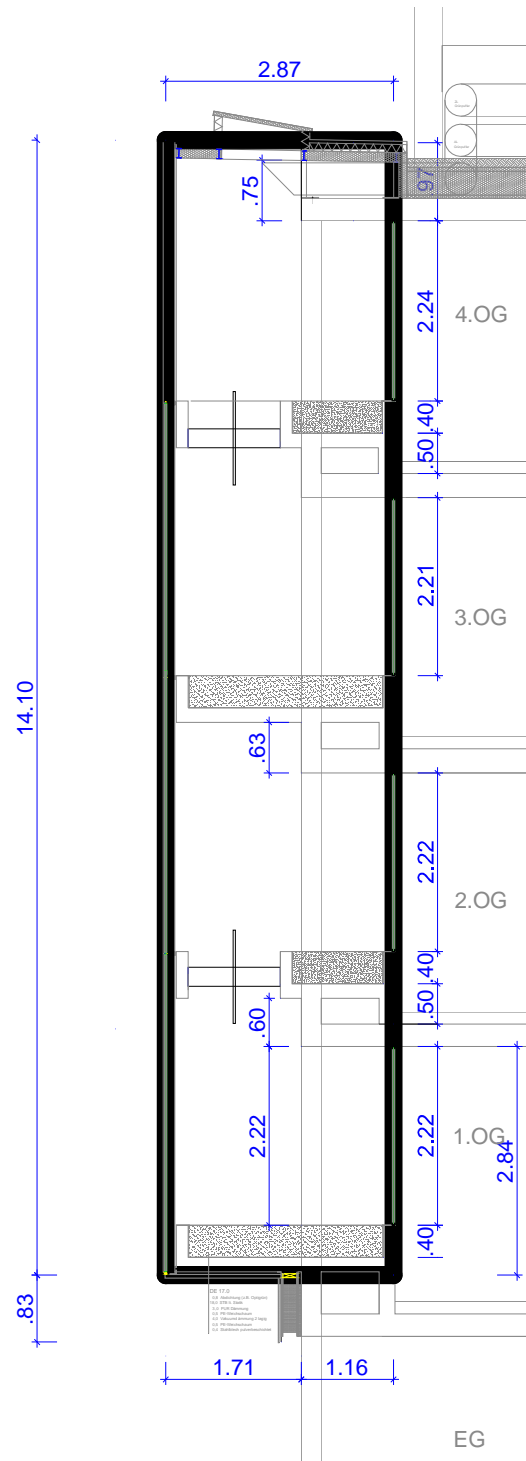
Die folgenden Grafiken und Tabellen zeigen die geometrische Auswertung der Pflanzenräume:



Außenpuffer 4. OG



Außenpuffer 1. OG



Vertikalschnitt Außenpuffer West

Pflanzenpuffer außen West

Volumen 4. OG	32,85 m <sup>3</sup>
Volumen 3. OG	32,07 m <sup>3</sup>
Volumen 2. OG	32,07 m <sup>3</sup>
Volumen 1. OG	73,97 m <sup>3</sup>
	<b>170,95 m<sup>3</sup></b>

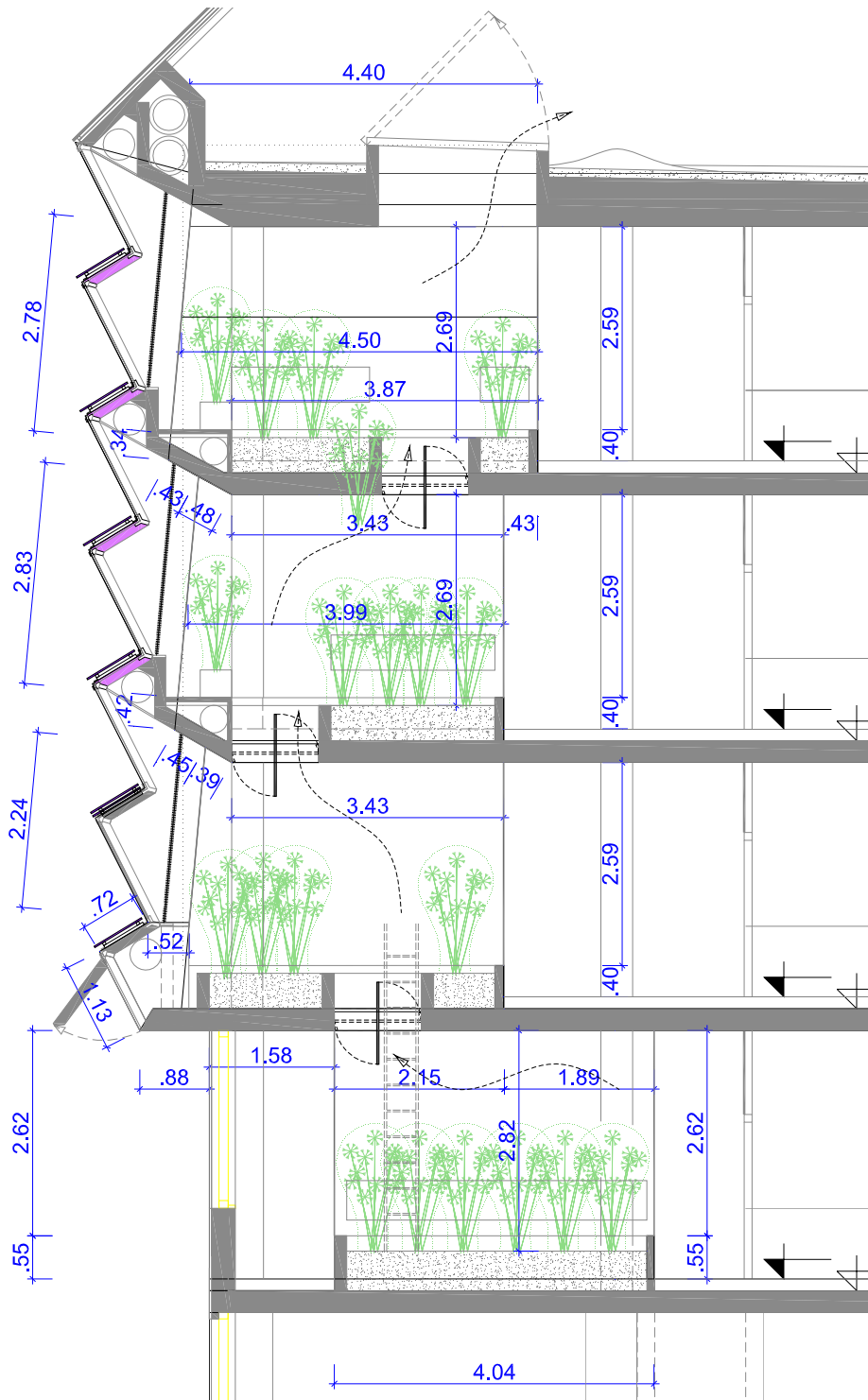
Beschreibung	TYP	nach	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Wandtyp
Deckfläche 4. OG	extern	horizontal	12,69	
Deckfläche 1. OG	extern	horizontal	8,30	
Bodenfläche	extern	horizontal	16,69	
Verglasung	extern	Westen	65,28	Verglasung zu außen
Verglasung	extern	Westen	22,74	Verglasung zu außen
Verglasung	extern	Süden	38,63	Verglasung zu außen
Verglasung	extern	Osten	1,39	Verglasung zu außen
Verglasung	extern	Norden	15,57	Verglasung zu außen
Vertikalfäche 1. OG	extern	Norden	0,73	
Vertikalfäche 1. OG	extern	Norden	0,77	
Bodenfläche zu EG	adjacent	Erdgeschoss	12,12	
Verglasung zu Innen	adjacent	1. OG_Nord (nord)	2,22	Verglasung zu Innen
Trog	adjacent	1. OG_Nord (nord)	0,40	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Sockel	adjacent	1. OG_Nord (nord)	0,55	25 cm STB + Luft + 20 cm STB
Verglasung zu Innen	adjacent	1. OG_Süd (ost)	26,31	Verglasung zu Innen
Trog	adjacent	1. OG_Süd (ost)	4,74	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Sockel	adjacent	1. OG_Süd (ost)	6,52	25 cm STB + Luft + 20 cm STB
Verglasung zu Innen	adjacent	2. OG_Süd (nord)	2,22	Verglasung zu Innen
Trog	adjacent	2. OG_Süd (nord)	0,40	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Sockel	adjacent	2. OG_Süd (nord)	0,50	25 cm STB + Luft + 20 cm STB
Verglasung zu Innen	adjacent	2. OG_Süd (ost)	8,37	Verglasung zu Innen
Trog	adjacent	2. OG_Süd (ost)	1,51	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Sockel	adjacent	2. OG_Süd (ost)	1,89	25 cm STB + Luft + 20 cm STB
Verglasung zu Innen	adjacent	3. OG_Süd (nord)	2,22	Verglasung zu Innen
Trog	adjacent	3. OG_Süd (nord)	0,40	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Sockel	adjacent	3. OG_Süd (nord)	0,50	25 cm STB + Luft + 20 cm STB
Verglasung zu Innen	adjacent	3. OG_Süd (ost)	8,37	Verglasung zu Innen
Trog	adjacent	3. OG_Süd (ost)	1,51	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Sockel	adjacent	3. OG_Süd (ost)	1,89	25 cm STB + Luft + 20 cm STB
Verglasung zu Innen	adjacent	4. OG_Süd (nord)	2,22	Verglasung zu Innen
Trog	adjacent	4. OG_Süd (nord)	0,40	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Sockel	adjacent	4. OG_Süd (nord)	0,50	25 cm STB + Luft + 20 cm STB
Verglasung zu Innen	adjacent	4. OG_Süd (ost)	8,37	Verglasung zu Innen
Trog	adjacent	4. OG_Süd (ost)	1,51	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Sockel	adjacent	4. OG_Süd (ost)	1,89	25 cm STB + Luft + 20 cm STB
Erde 4.OG	Innen	-	11,04	40 cm mittelfeuchte Erde
Erde 3.OG	Innen	-	11,04	40 cm mittelfeuchte Erde
Erde 2.OG	Innen	-	11,04	40 cm mittelfeuchte Erde
Erde 1.OG	Innen	-	27,60	40 cm mittelfeuchte Erde
Erde	Innen	Summe	60,72	40 cm mittelfeuchte Erde
Decke 4.OG	Innen	-	5,34	18 cm Stahlbeton
Decke 3.OG	Innen	-	11,04	18 cm Stahlbeton
Decke 2.OG	Innen	-	11,04	18 cm Stahlbeton
Decke 1.OG	Innen	-	27,60	18 cm Stahlbeton
Stahlbeton	Innen	Summe	55,02	18 cm Stahlbeton

Pflanzenpuffer innen West

Volumen 4. OG 28,33 m<sup>3</sup>  
 Volumen 3. OG 25,12 m<sup>3</sup>  
 Volumen 2. OG 27,43 m<sup>3</sup>

**80,87 m<sup>3</sup>**

Beschreibung	TYP	nach	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Wandtyp
Deckfläche 4. OG	extern	horizontal	10,30	
PV Paneel 2. OG	extern	süd (30°)	1,68	
Lüftungsklappe 2. OG	extern	süd (60°)	2,64	
Bodenfläche 2. OG	extern	süd nach unten	2,06	
Bodenfläche zu 1. OG	adjacent	1.OG_Südzone	8,73	Zwischendecke
Verglasung zu Fassade	adjacent	S_Fass_2.OG (süd)	6,46	Verglasung zu Innen
Verglasung zur Südzone	adjacent	2. OG_Süd (nord)	6,06	Verglasung zu Innen
Trog zur Südzone	adjacent	2. OG_Süd (nord)	0,94	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Trog zur Südzone	adjacent	2. OG_Süd (west)	1,54	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	2. OG_Süd (west)	10,15	Verglasung zu Innen
Trog zur Südzone	adjacent	2. OG_Süd (ost)	1,54	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	2. OG_Süd (ost)	10,15	Verglasung zu Innen
Verglasung zu Fassade	adjacent	S_Fass_3.OG (süd)	6,62	Verglasung zu Innen
Troghochzug schräg	adjacent	S_Fass_2.OG (süd)	2,04	20 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	3. OG_Süd (nord)	6,06	Verglasung zu Innen
Trog zur Südzone	adjacent	3. OG_Süd (nord)	0,94	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Trog zur Südzone	adjacent	3. OG_Süd (west)	1,36	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	3. OG_Süd (west)	10,40	Verglasung zu Innen
Trog zur Südzone	adjacent	3. OG_Süd (ost)	1,36	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	3. OG_Süd (ost)	10,40	Verglasung zu Innen
Verglasung zu Fassade	adjacent	S_Fass_4.OG (süd)	6,51	Verglasung zu Innen
Troghochzug schräg	adjacent	S_Fass_3.OG (süd)	1,80	20 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	4. OG_Süd (nord)	6,06	Verglasung zu Innen
Trog zur Südzone	adjacent	4. OG_Süd (nord)	0,94	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Trog zur Südzone	adjacent	4. OG_Süd (west)	1,54	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	4. OG_Süd (west)	11,76	Verglasung zu Innen
Trog zur Südzone	adjacent	4. OG_Süd (ost)	1,54	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	4. OG_Süd (ost)	11,76	Verglasung zu Innen
Erde 4.OG	Innen	-	7,49	40 cm mittelfeuchte Erde
Erde 3.OG	Innen	-	6,46	40 cm mittelfeuchte Erde
Erde 2.OG	Innen	-	8,03	40 cm mittelfeuchte Erde
Erde	Innen	Summe	21,98	40 cm mittelfeuchte Erde
Decke 4.OG	Innen	-	10,30	18 cm Stahlbeton
Decke 3.OG	Innen	-	8,03	18 cm Stahlbeton
Decke 2.OG	Innen	-	8,03	18 cm Stahlbeton
Stahlbeton	Innen	Summe	26,35	18 cm Stahlbeton



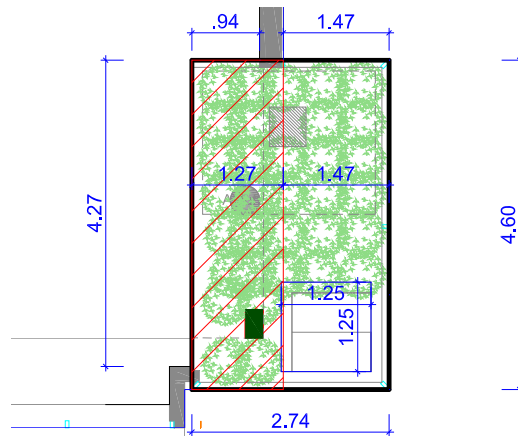
Vertikalschnitt Innenpuffer Ost

Pflanzenpuffer innen Ost

Volumen 4. OG	28,33 m <sup>3</sup>
Volumen 3. OG	25,12 m <sup>3</sup>
Volumen 2. OG	27,43 m <sup>3</sup>
Volumen 1. OG	26,66 m <sup>3</sup>
	<b>107,53 m<sup>3</sup></b>

Beschreibung	TYP	nach	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Wandtyp
Deckfläche 4. OG	extern	horizontal	10,30	
PV Paneel 2. OG	extern	süd (30°)	1,68	
Lüftungsklappe 2. OG	extern	süd (60°)	2,64	
Bodenfläche 2. OG	extern	süd nach unten	2,06	
Bodenfläche zu 1. OG	adjacent	1.OG_Südzone	3,70	Zwischendecke
Bodenfläche zu EG	adjacent	EG	9,45	Zwischendecke
Bodenfläche zu 1. OG	adjacent	1.OG_Südzone	4,42	Zwischendecke
Verglasung zur Südzone	adjacent	1. OG_Süd (süd)	6,13	Verglasung zu Innen
Trog zur Südzone	adjacent	1. OG_Süd (süd)	1,29	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	1. OG_Süd (nord)	6,13	Verglasung zu Innen
Trog zur Südzone	adjacent	1. OG_Süd (nord)	1,29	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Trog zur Südzone	adjacent	1. OG_Süd (west)	2,22	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	1. OG_Süd (west)	10,58	Verglasung zu Innen
Trog zur Südzone	adjacent	1. OG_Süd (ost)	2,22	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	1. OG_Süd (ost)	10,58	Verglasung zu Innen
Verglasung zu Fassade	adjacent	S_Fass_2.OG (süd)	6,46	Verglasung zu Innen
Verglasung zur Südzone	adjacent	2. OG_Süd (nord)	6,06	Verglasung zu Innen
Trog zur Südzone	adjacent	2. OG_Süd (nord)	0,94	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Trog zur Südzone	adjacent	2. OG_Süd (west)	1,54	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	2. OG_Süd (west)	10,15	Verglasung zu Innen
Trog zur Südzone	adjacent	2. OG_Süd (ost)	1,54	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	2. OG_Süd (ost)	10,15	Verglasung zu Innen
Verglasung zu Fassade	adjacent	S_Fass_3.OG (süd)	6,62	Verglasung zu Innen
Troghochzug schräg	adjacent	S_Fass_2.OG (süd)	2,04	20 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	3. OG_Süd (nord)	6,06	Verglasung zu Innen
Trog zur Südzone	adjacent	3. OG_Süd (nord)	0,94	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Trog zur Südzone	adjacent	3. OG_Süd (west)	1,36	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	3. OG_Süd (west)	10,40	Verglasung zu Innen
Trog zur Südzone	adjacent	3. OG_Süd (ost)	1,36	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	3. OG_Süd (ost)	10,40	Verglasung zu Innen
Verglasung zu Fassade	adjacent	S_Fass_4.OG (süd)	6,51	Verglasung zu Innen
Troghochzug schräg	adjacent	S_Fass_3.OG (süd)	1,80	20 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	4. OG_Süd (nord)	6,06	Verglasung zu Innen
Trog zur Südzone	adjacent	4. OG_Süd (nord)	0,94	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Trog zur Südzone	adjacent	4. OG_Süd (west)	1,54	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	4. OG_Süd (west)	11,76	Verglasung zu Innen
Trog zur Südzone	adjacent	4. OG_Süd (ost)	1,54	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Verglasung zur Südzone	adjacent	4. OG_Süd (ost)	11,76	Verglasung zu Innen
Erde 4.OG	Innen	-	7,49	40 cm mittelfeuchte Erde
Erde 3.OG	Innen	-	6,46	40 cm mittelfeuchte Erde
Erde 2.OG	Innen	-	6,46	40 cm mittelfeuchte Erde
Erde 1.OG	Innen	-	9,45	40 cm mittelfeuchte Erde
Erde	Innen	Summe	29,87	40 cm mittelfeuchte Erde
Decke 4.OG	Innen	-	10,30	18 cm Stahlbeton
Decke 3.OG	Innen	-	8,03	18 cm Stahlbeton
Decke 2.OG	Innen	-	8,03	18 cm Stahlbeton
Decke 1.OG	Innen	-	9,45	18 cm Stahlbeton
Stahlbeton	Innen	Summe	35,80	18 cm Stahlbeton

### Außenpuffer Ost



### Pflanzenpuffer außen Ost

Volumen 4. OG	33,05 m <sup>3</sup>
Volumen 3. OG	32,24 m <sup>3</sup>
Volumen 2. OG	32,24 m <sup>3</sup>
<b>Summe</b>	<b>97,53 m<sup>3</sup></b>

Beschreibung	TYP	nach	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Wandtyp
Deckfläche 4. OG	extern	horizontal	12,60	
Bodenfläche	extern	horizontal	6,76	
Verglasung	extern	Süden	16,23	Verglasung zu außen
Verglasung	extern	Osten	50,78	Verglasung zu außen
Verglasung	extern	Norden	30,25	Verglasung zu außen
Bodenfläche zu EG	adjacent	Erdgeschoss	5,84	Zwischendecke
Verglasung zu Innen	adjacent	2. OG_Süd (nord)	2,09	Verglasung zu Innen
Trog	adjacent	2. OG_Süd (nord)	0,38	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Sockel	adjacent	2. OG_Süd (nord)	0,47	25 cm STB + Luft + 20 cm STB
Verglasung zu Innen	adjacent	2. OG_Süd (west)	9,48	Verglasung zu Innen
Trog	adjacent	2. OG_Süd (west)	1,71	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Sockel	adjacent	2. OG_Süd (west)	2,14	25 cm STB + Luft + 20 cm STB
Verglasung zu Innen	adjacent	3. OG_Süd (nord)	2,09	Verglasung zu Innen
Trog	adjacent	3. OG_Süd (nord)	0,38	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Sockel	adjacent	3. OG_Süd (nord)	0,47	25 cm STB + Luft + 20 cm STB
Verglasung zu Innen	adjacent	3. OG_Süd (west)	9,48	Verglasung zu Innen
Trog	adjacent	3. OG_Süd (west)	1,71	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Sockel	adjacent	3. OG_Süd (west)	2,14	25 cm STB + Luft + 20 cm STB
Verglasung zu Innen	adjacent	4. OG_Süd (nord)	2,09	Verglasung zu Innen
Trog	adjacent	4. OG_Süd (nord)	0,38	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Sockel	adjacent	4. OG_Süd (nord)	0,47	25 cm STB + Luft + 20 cm STB
Verglasung zu Innen	adjacent	4. OG_Süd (west)	9,48	Verglasung zu Innen
Trog	adjacent	4. OG_Süd (west)	1,71	20 cm feuchte Erde + 15 cm STB
Sockel	adjacent	4. OG_Süd (west)	2,14	25 cm STB + Luft + 20 cm STB
Erde 4.OG	Innen	-	10,14	40 cm mittelfeuchte Erde
Erde 3.OG	Innen	-	10,14	40 cm mittelfeuchte Erde
Erde 2.OG	Innen	-	11,70	40 cm mittelfeuchte Erde
Erde	Innen	Summe	31,97	40 cm mittelfeuchte Erde
Decke 3.OG	Innen	-	11,70	18 cm Stahlbeton
Decke 2.OG	Innen	-	11,70	18 cm Stahlbeton
Stahlbeton	Innen	Summe	23,40	18 cm Stahlbeton



Interpretation:

Die Temperatur schwankt nun (aufgrund der vorhandenen Speichermassen) deutlich geringer (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9 oben). Für den Fall der ausgeschalteten Lüftung bleibt die relative Feuchte jedoch im Winter auf 100 %. Im Sommer reduziert sich auf Grund der höheren Temperaturen vor allem auf das Wochenende.

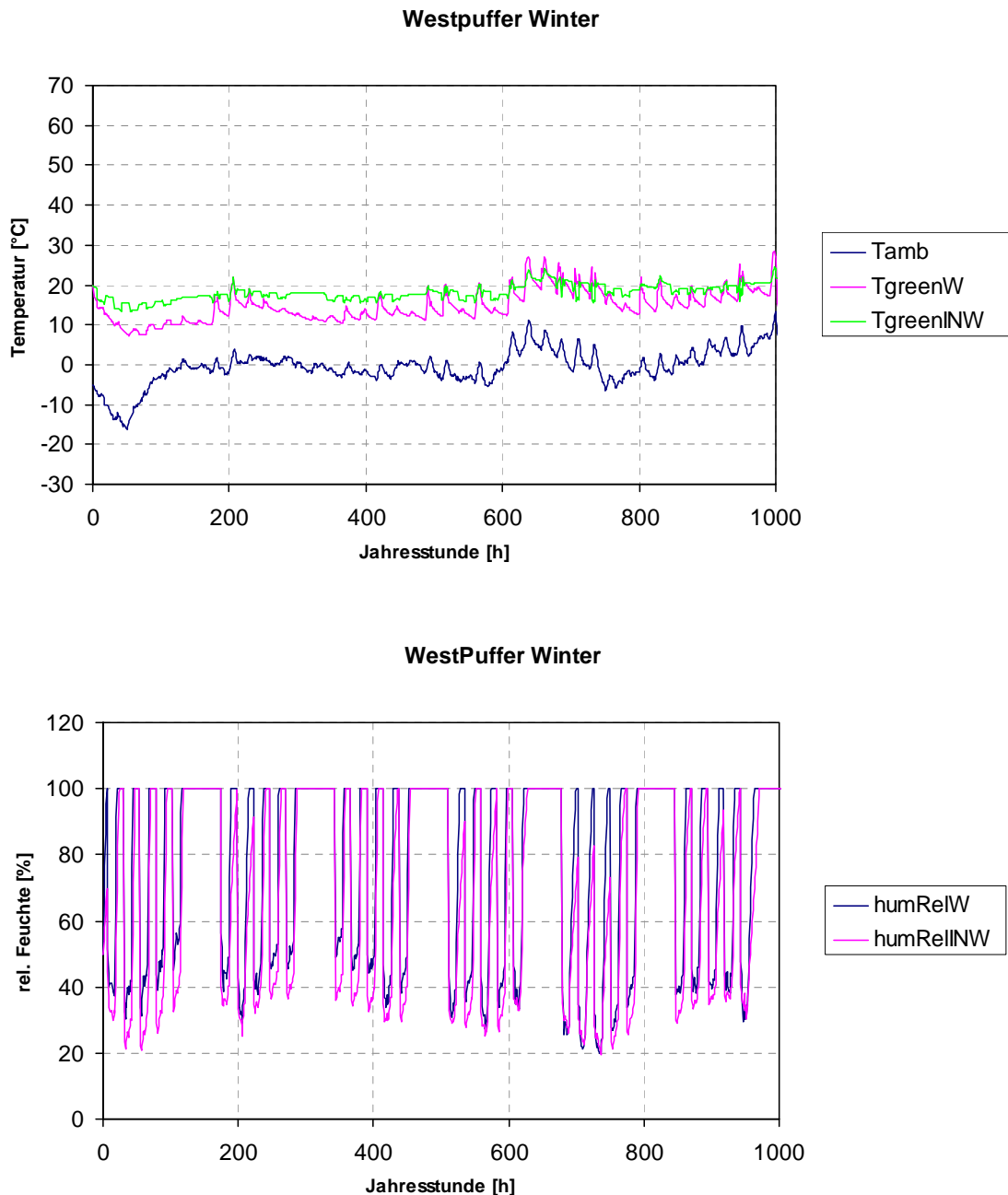


Abbildung 8: Temperatur und relative Feuchte im Winter in den westlichen Pflanzenpuffern (det. Puffer und adaptierte Belüftung); zum Vergleich ist oben auch die Außenlufttemperatur aufgetragen

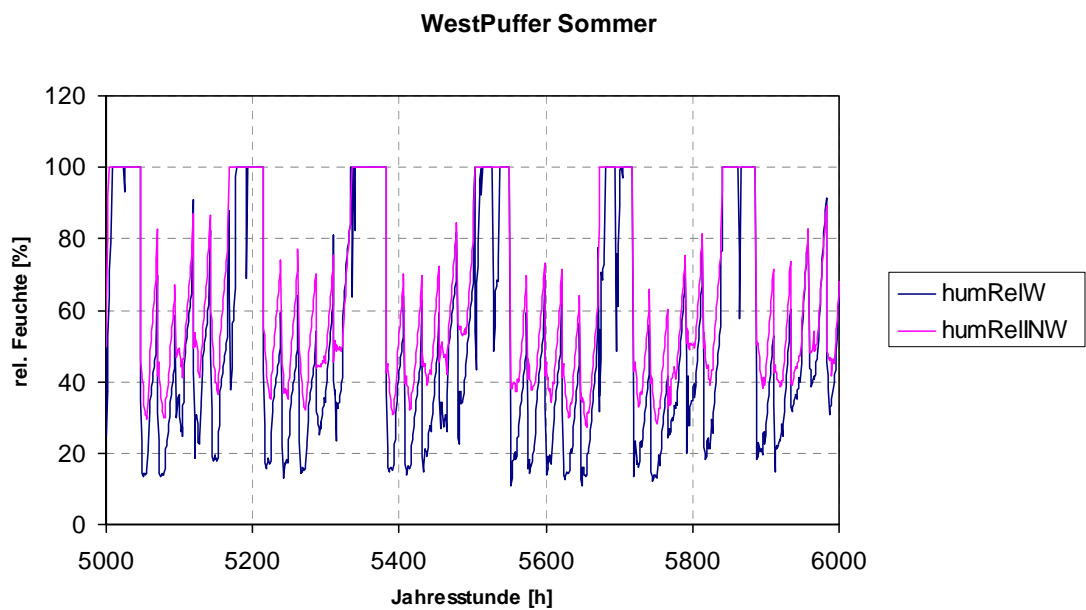
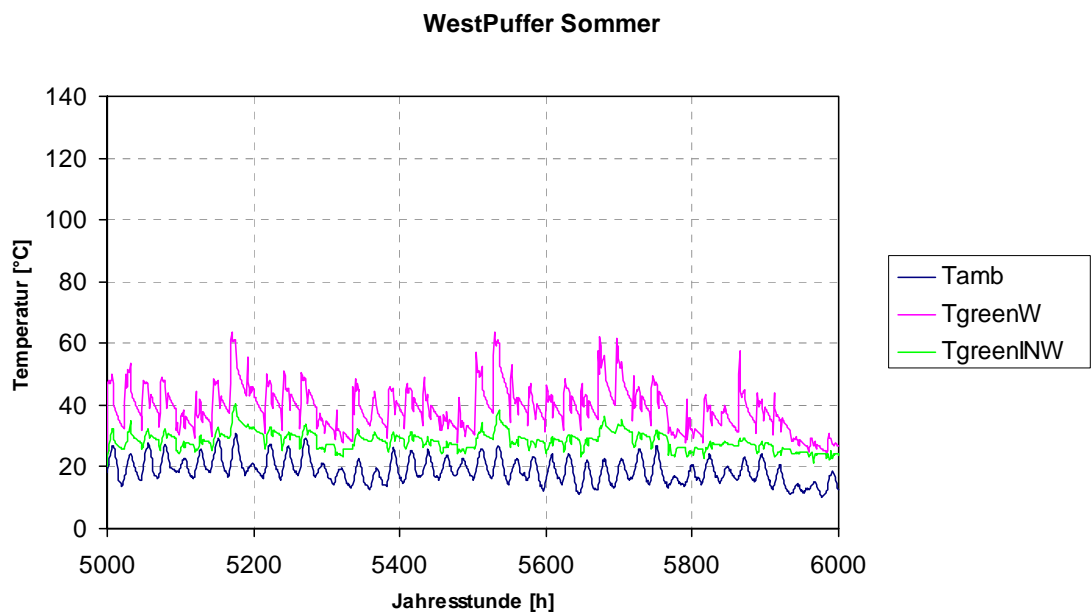


Abbildung 9: Temperatur und relative Feuchte im Sommer in den westlichen Pflanzenpuffern (det. Puffer und adaptierte Belüftung); zum Vergleich ist oben auch die Außenlufttemperatur aufgetragen

### 3.6 Variation der Pflanzenpufferverglasung (außen zweischiebig / innen einschiebig)

#### vorgenommene Änderungen:

Im Ausgangsmodell ist der außen liegende Westpuffer, sowohl vom Außenraum als auch vom Gebäude durch eine Zweischiebenverglasung getrennt. In dieser Variation wird nun die Verglasung zu den Innenräumen durch eine Einschiebenverglasung ersetzt.

### Interpretation:

Durch die Änderung der Verglasung des äußeren Westpuffers zu den Innenräumen in eine Einscheibenverglasung verstärkt sich die thermische Koppelung zwischen Pufferraum und Gebäude. Als Folge stellen sich im Westpuffer in der Nacht höhere Lufttemperaturen ein und im Sommer werden die Temperaturspitzen niedriger (siehe Abbildung 10 und Abbildung 11). Auch in der relativen Feuchte zeigt sich dadurch auch ein leichter Unterschied zur vorhergehenden Variante.

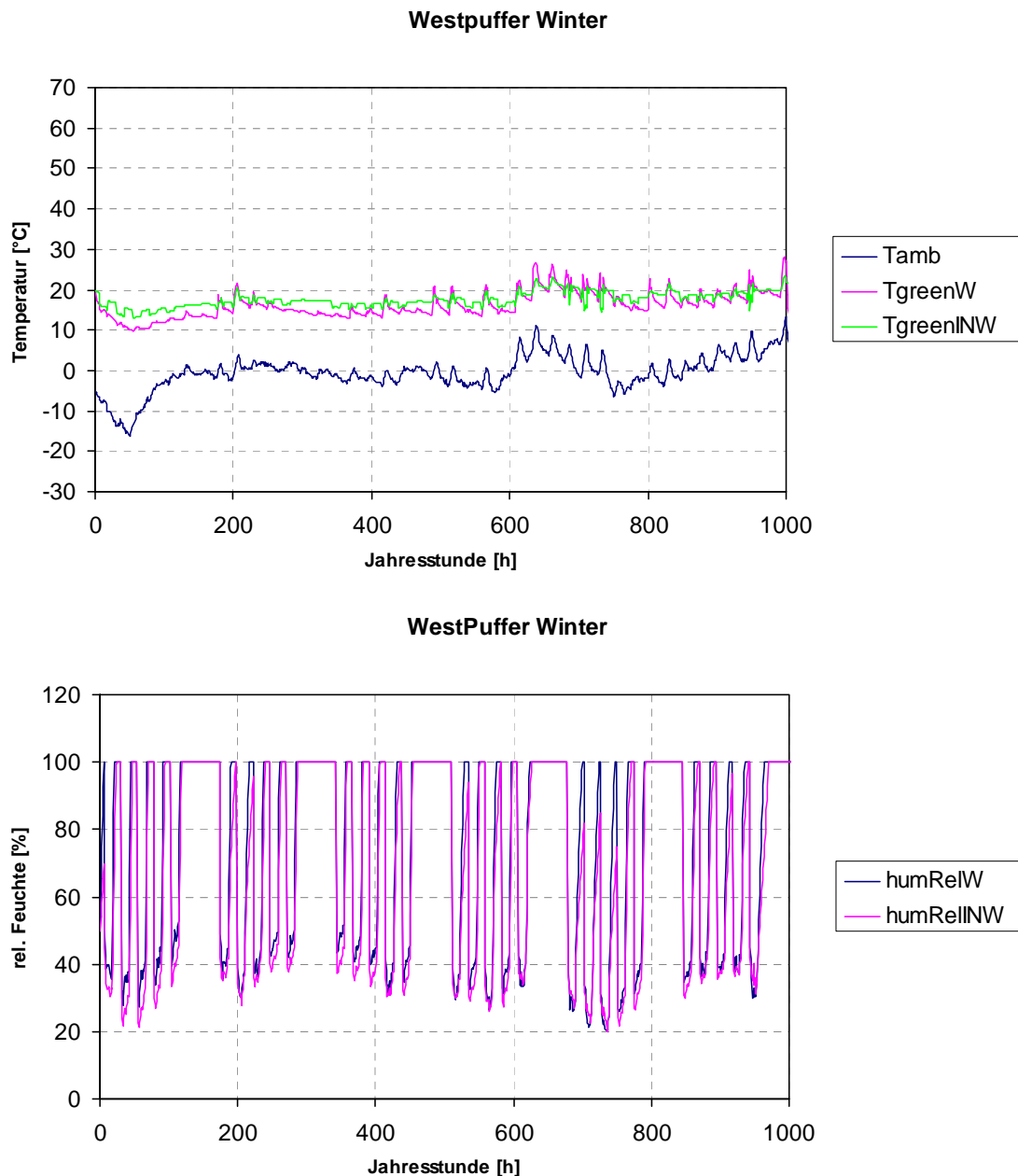


Abbildung 10: Temperatur und relative Feuchte im Winter in den westlichen Pflanzenpuffern (innen Einscheibenverglasung); zum Vergleich ist oben auch die Außenlufttemperatur aufgetragen

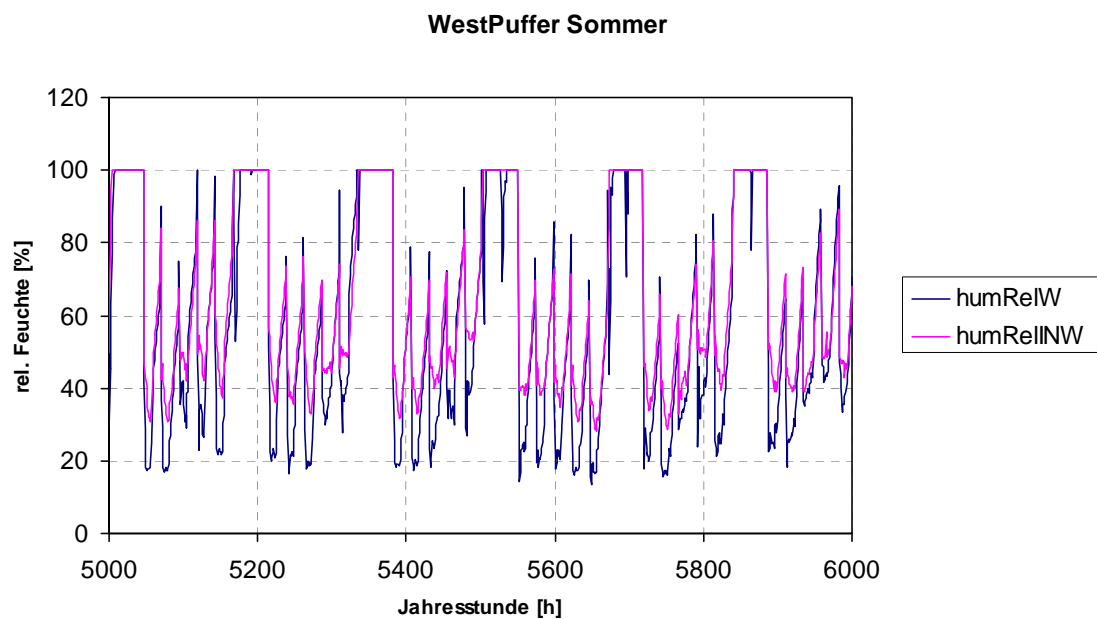
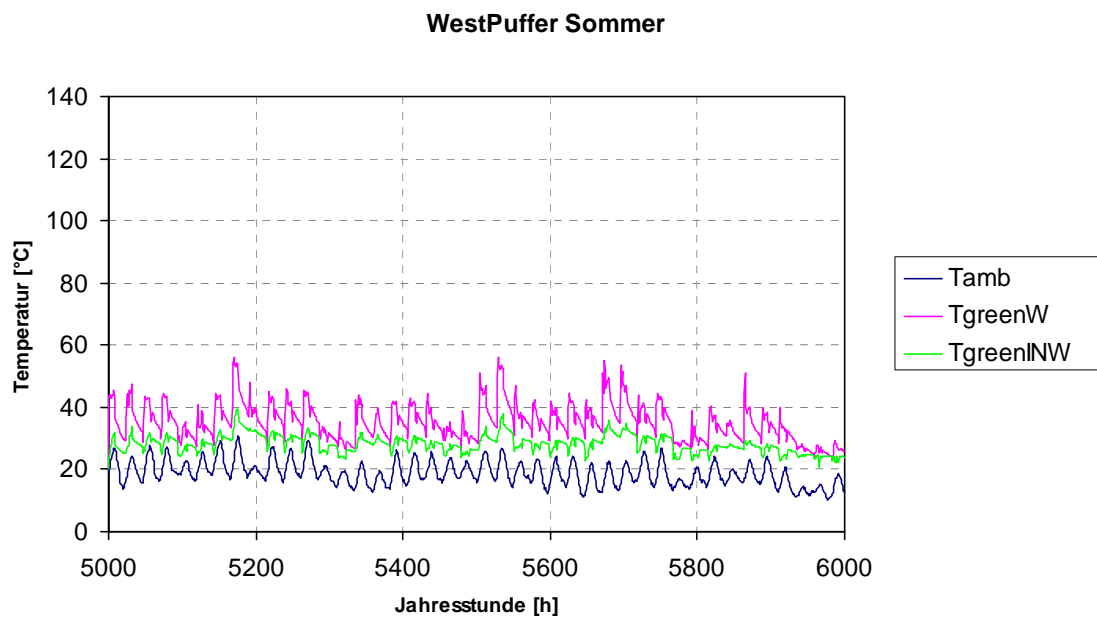


Abbildung 11: Temperatur und relative Feuchte im Sommer in den westlichen Pflanzenpuffern (innen Einscheibenverglasung); zum Vergleich ist oben auch die Außenlufttemperatur aufgetragen

### 3.7 Variation der Pflanzenpufferverglasung (außen dreischiebig / innen einschiebig)

#### vorgenommene Änderungen:

Im Ausgangsmodell ist der außen liegende Westpuffer, sowohl vom Außenraum als auch vom Gebäude durch eine Zweischiebenverglasung getrennt. In dieser Variation wird nun die Verglasung zu den Innenräumen durch eine Einscheibenverglasung und die Verglasung zum Außenraum durch eine Dreischiebenverglasung ersetzt.

### Interpretation:

Durch die Änderung der Außenverglasung des Westpuffers in eine Dreischeibenverglasung wird eine weiter Temperatur ausgleichende Wirkung erzielt (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13). Der geringere U-Wert, im Vergleich zur Zweischeibenverglasung, lässt die nächtlichen Temperaturen nicht ganz so tief fallen. Der geringere g- Wert kappt hingegen einige Temperaturspitzen bei starker Solarstrahlung.

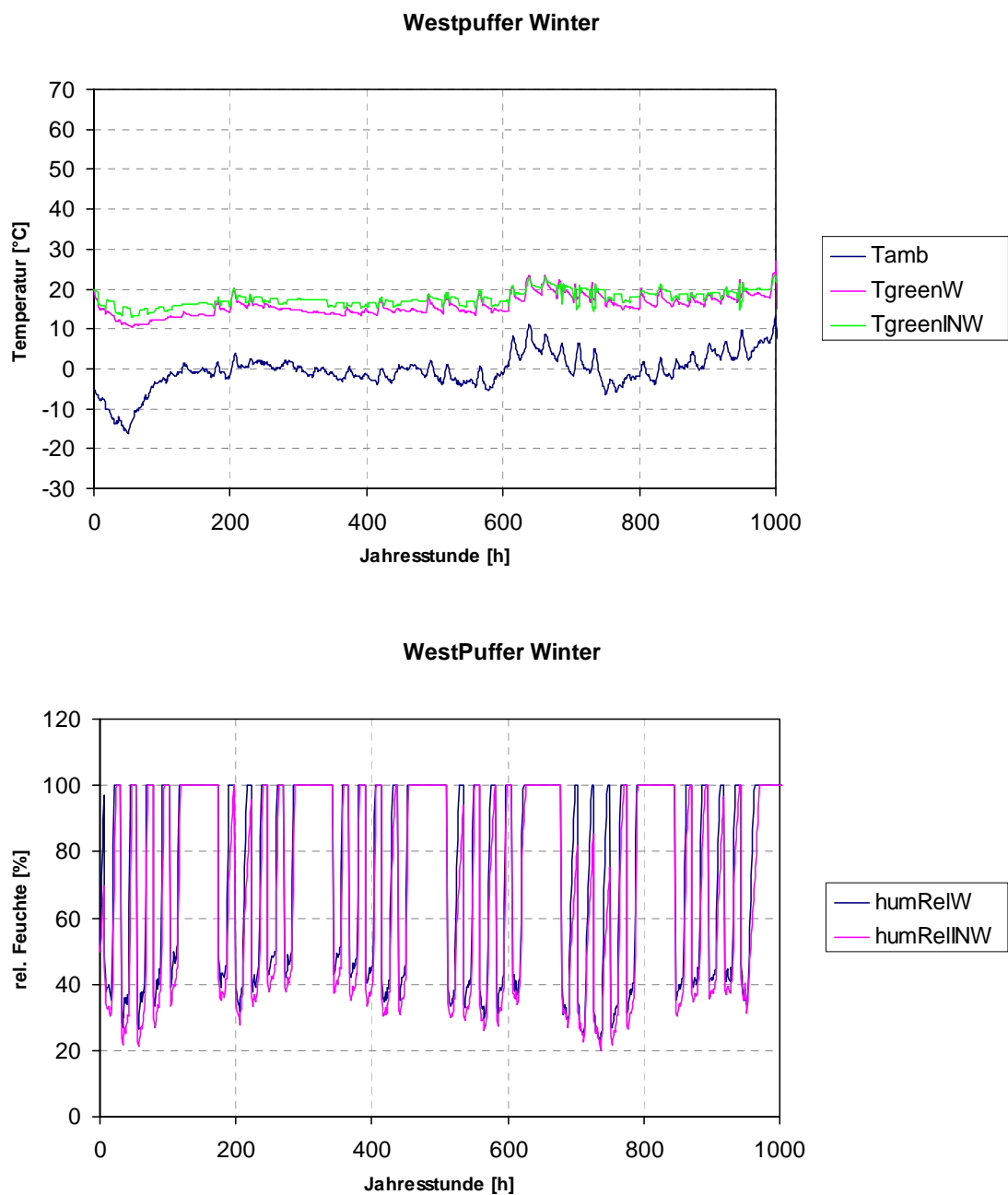


Abbildung 12: Temperatur und relative Feuchte im Winter in den westlichen Pflanzenpuffern (außen Dreischeibenverglasung); zum Vergleich ist oben auch die Außenlufttemperatur aufgetragen

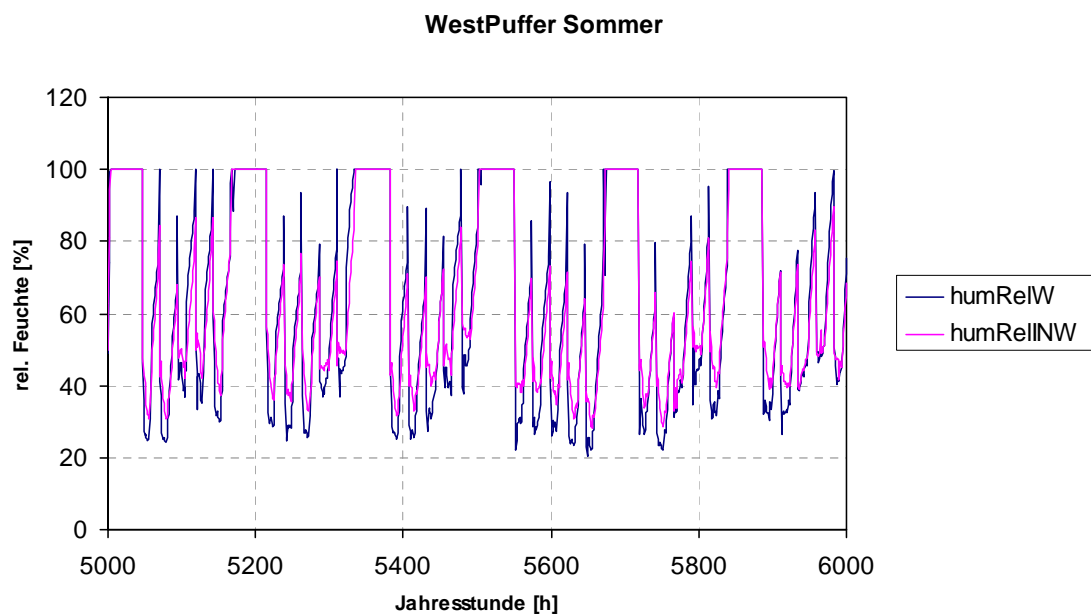
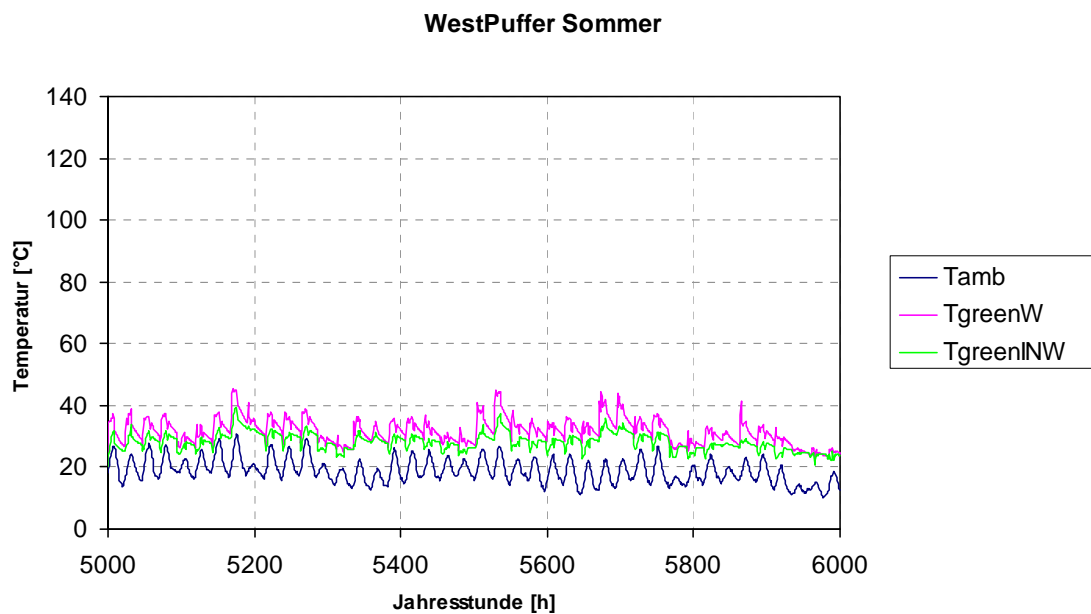


Abbildung 13: Temperatur und relative Feuchte im Sommer in den westlichen Pflanzenpuffern (außen Dreischiebenverglasung); zum Vergleich ist oben auch die Außenlufttemperatur aufgetragen

### 3.8 Zusammenfassung und weitere Schritte

#### 3.8.1 Bisherige Tendenzen in der Auswertung

##### Hohe Feuchtigkeiten in den Pflanzenpuffern

Trotz spärlicher Pflanzenbelegung (eine Pflanze je TQ Gruppe) ergeben sich sehr hohe Luftfeuchtigkeiten in den Pflanzenpuffern. Besonders nachts zeigt sich, dass durch das Wegschalten der Lüftung durchgehend 100% relative Luftfeuchtigkeit erreicht werden kann.

#### Tiefe nächtliche Lufttemperaturen im äußeren Westpuffer:

Aufgrund der Exponiertheit und der großzügigen Glasflächen der außen liegenden Pflanzenpuffer ergeben sich im Winterfall in der Nacht manchmal relativ geringe Raumlufemperaturen. Dieses Problem besteht vorwiegend nachts, also zu Zeiten in denen kein Wärmeeintrag durch die Lüftung gegeben ist.

#### Hohe Lufttemperaturen im äußeren Westpuffer:

Aufgrund der Exponiertheit und der großzügigen Glasflächen der außen liegenden Pflanzenpuffer ergeben sich bei hoher solarer Einstrahlung oftmals sehr hohe Raumlufemperaturen.

#### Enorme Bedeutung der Speichermasse in den Pflanzenpuffern:

Es zeigt sich, dass durch Einsatz von Speichermassen sowohl die Temperaturabsenkung in kalten Winternächten als auch die Überhitzung im Sommer deutlich eingeschränkt werden kann.

### **3.8.2 Weitere Vorgangsweise**

- Das vom Institut für Wärmetechnik erweiterte Simulationsmodell sollte noch einmal von Arsenal Research geprüft werden, da sich beim Aufbau des Modells einige Unstimmigkeiten ergeben haben.
- Die Belüftung der Gebäudezonen muss noch vorgenommen werden.
- Um die hohe relative Feuchte zu reduzieren muss eine Ablüftung in die Simulation integriert werden.
- Die Pflanzenbelegung muss dem Feuchtebedarf in den Bürozone angepasst werden; die daraus entstehende relative Feuchte in den Pflanzenpuffern ist zu optimieren (Ablüftung).

## **4 Kondensationsproblematik**

Nachdem das Gebäudemodell optimiert, die Belüftung der Gebäudezonen implementiert und die Ablüftung in die Simulation integriert wurde liegt der Schwerpunkt der weiteren Arbeiten auf der Untersuchung der Kondensationsproblematik in den Grünpuffern. Diese Problematik tritt hauptsächlich in den Wintermonaten auf. Aufgrund der niedrigen Außentemperaturen kann hier nicht über Fenster abgelüftet werden. Daher wird die Fensterlüftung auch in der Simulation nicht abgebildet. Kondensation im Sommer wird sich zwar in der Simulation aufgrund der hohen Feuchteproduktion ergeben, kann aber im Realbetrieb kaum auftreten (Fensterlüftung im Sommer möglich; Pflanzen werden zurückgeschnitten). Um die Kondensation an den Innenflächen des Außenpuffers auf der Westseite zu bestimmen werden sogenannte Kondensationsflags aus TRNSYS ausgegeben. Voruntersuchungen haben gezeigt, dass an der nordseitigen Verglasung für mehr als 3000 Stunden mit Kondensation zu rechnen ist. Um diese hohe Anzahl der Stunden zu reduzieren wurde der Einfluss der mechanischen Ventilation auf die Kondensation untersucht.

#### 4.1 Definition der Varianten

Zunächst werden die Luftmengen aufgrund der unterschiedlichen Feuchteproduktion in den Grünpuffern neu verteilt. An Werktagen 6:00 und 18:00 Uhr gelten folgende Volumenströme:

Pflanzenpuffer WEST – außen (GREEN_WEST)	2820 m <sup>3</sup> /h
Pflanzenpuffer OST – außen (GREEN_EAST)	1360 m <sup>3</sup> /h
Pflanzenpuffer WEST – innen (GREEN_INE)	970 m <sup>3</sup> /h
Pflanzenpuffer OST – innen (GREEN_INW)	750 m <sup>3</sup> /h

Für die Nacht (0:00 – 6:00 und 18:00 – 24:00 Uhr) und das Wochenende werden folgende 6 Varianten definiert:

---

##### **VAR01C**

stark reduzierte Luftmenge; Feuchte- und Wärmerückgewinnung aktiviert

Gesamtluftmenge:	1 600 m <sup>3</sup> /h
Grünpuffer Außen WEST:	760 m <sup>3</sup> /h
Grünpuffer Innen WEST:	200 m <sup>3</sup> /h
Grünpuffer Außen OST:	370 m <sup>3</sup> /h
Grünpuffer Innen OST:	260 m <sup>3</sup> /h

---

##### **VAR02C**

wie VAR01C aber ohne Feuchterückgewinnung

---

##### **VAR03C**

leicht reduzierte Luftmenge; Feuchte- und Wärmerückgewinnung aktiviert

Gesamtluftmenge:	3 200 m <sup>3</sup> /h
Grünpuffer Außen WEST:	1520 m <sup>3</sup> /h
Grünpuffer Innen WEST:	400 m <sup>3</sup> /h
Grünpuffer Außen OST:	740 m <sup>3</sup> /h
Grünpuffer Innen OST:	520 m <sup>3</sup> /h

---

##### **VAR04C**

wie VAR03C aber ohne Feuchterückgewinnung

---

##### **VAR05C**

maximale Luftmenge; Feuchte- und Wärmerückgewinnung aktiviert

Gesamtluftmenge:	5 900 m <sup>3</sup> /h
Grünpuffer Außen WEST:	2 820 m <sup>3</sup> /h :
Grünpuffer Innen WEST:	750 m <sup>3</sup> /h
Grünpuffer Außen OST:	1 360 m <sup>3</sup> /h
Grünpuffer Innen OST:	970 m <sup>3</sup> /h

---

##### **VAR06C**

wie VAR05C aber ohne Feuchterückgewinnung

---



## 4.2 Ergebnisse

Abbildung 14 zeigt als Ergebnis der Simulationen die Anzahl der Stunden für die an der Innenseite der Nordverglasung im Außenpuffer West Kondensation zu erwarten ist. Schon für die Variante VAR01C (stark reduzierte Luftmenge) ergibt sich weniger als 700 Stunden Kondensation. Der Wert lässt sich mit maximaler Luftmenge bei ausgeschalteter Feuchterückgewinnung (VAR06C) auf unter 200 Stunden reduzieren.

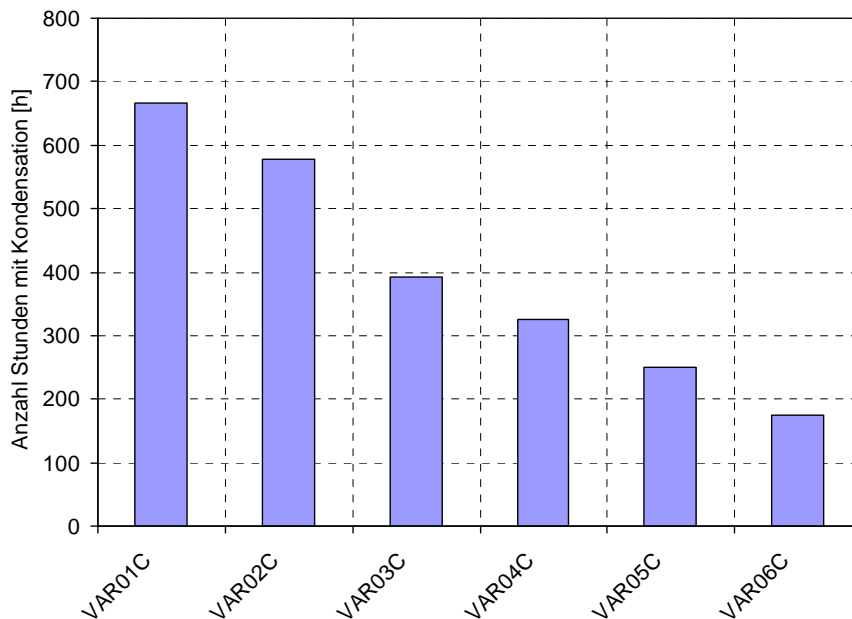


Abbildung 14: Anzahl der Stunden für die lt. Simulationsprogramm TRNSYS an der Nordverglasung Außenpuffer West Kondensation zu erwarten ist

Ausgegeben wurden hier die Werte für die Glasfläche. An den Verbundstellen werden jedoch niedrigere Temperaturen herrschen und damit häufiger Kondensation auftreten. Des Weiteren ist auch zu hinterfragen, ob eine ständige Ventilation sinnvoll ist. Zu diesen Punkten werden nun weitere Untersuchungen angestellt.

## 5 Regelung der Ventilation

Aufgrund der Simulationen (Var01C – Var06C) wurde eine dynamische Regelung implementiert, die aufgrund eines von T. Zelger angegebenen Kriteriums die Ventilation variiert.

### 5.1 Simulationsannahmen

Die Feuchteproduktion in den Pflanzenpuffern ist unverändert. Die Regelung wird nur für den Außenpuffer West angewendet. An den Wochentagen (von 6:00 bis 18:00 Uhr) wird die Ventilation mit folgenden Werten konstant angesetzt:

Gesamtluftmenge: 5 900 m<sup>3</sup>/h  
 Grünpuffer Außen WEST: 2 820 m<sup>3</sup>/h :  
 Grünpuffer Innen WEST: 750 m<sup>3</sup>/h  
 Grünpuffer Außen OST: 1 360 m<sup>3</sup>/h  
 Grünpuffer Innen OST: 970 m<sup>3</sup>/h

In der Nacht (0:00 – 6:00 und 18:00 – 24:00) und am Wochenende wird wie folgt geregelt:

In jedem Zeitschritt (t=1/8) wird die niedrigste Oberflächentemperatur im Bereich Glasrandverbund ( $T_{smGW} = T_{amb} + 0.63 \cdot (T_{innen} - T_{amb})$ ) berechnet. Für die letzten 8 Zeitschritte (=1 h) wird der Mittelwert für die Differenz  $Cond_{GW} = T_{itaup} - T_{smGW}$  (Titaup ... Taupunkttemperatur im Puffer) ermittelt.

1. Ist  $Cond_{GW} < -6$  dann wird die Ventilation ausgeschaltet (status = 1)
2. Ist  $-6 \leq Cond_{GW} < -3.7$  dann ist die Ventilation = 770 m<sup>3</sup>/h (status = 2)
3. Ist  $-3.7 \leq Cond_{GW} < -1.3$  dann ist die Ventilation = 1520 m<sup>3</sup>/h (status = 3)
4. Ist  $-1.3 \leq Cond_{GW} < +1$  dann ist die Ventilation = 2820 m<sup>3</sup>/h (status = 4)
5. Ist  $1 \leq Cond_{GW}$  dann wird die Luftaufheizung vom 15 °C auf 20 °C erhöht (status = 5)

Die Temperaturerhöhung der Luftaufheizung tritt auch bei Tagesbetrieb in Kraft. Die reduzierten Luftströme, wie gesagt, nur in der Nacht und am Wochenende.

## 5.2 Ergebnisse

Das von T. Zelger gelieferte Kriterium für Kondensation zeigt im Vergleich zur Kondensationshäufigkeit von TRNSYS (kälteste Innenfläche, die im Puffer verfügbar ist, ist die Fläche 126, eine nach Norden gerichtete Glasfläche) deutlich stärkere Auswirkungen (siehe Abbildung 15). Während TRNSYS nur 41 Stunden Kondensation vorhersagt, sind es nach dem Kriteriumk von T. Zelger 1538 Stunden.

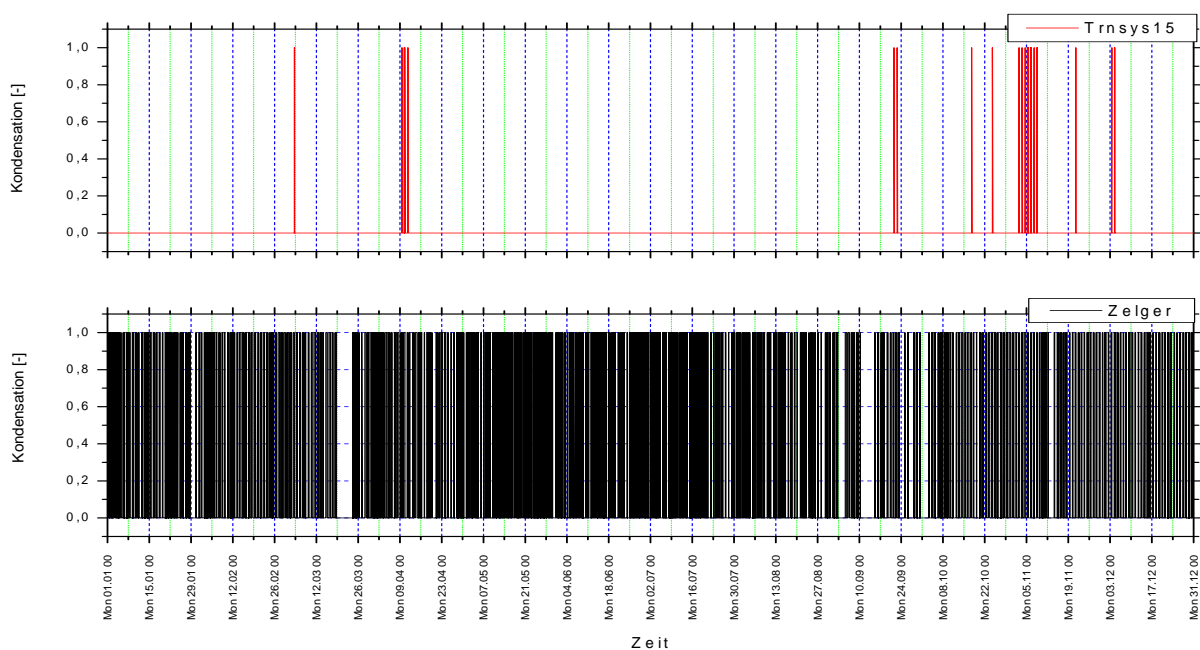


Abbildung 15: Vergleich des Kondensationsauftretens TRNSYS vs. Kriterium T. Zelger

In den folgenden Abbildungen sind die Oberflächentemperatur (TsmGW), Taupunkttemperatur (Titau) und der Regelstatus (status) für ausgewählte Wochen im Jahr dargestellt.

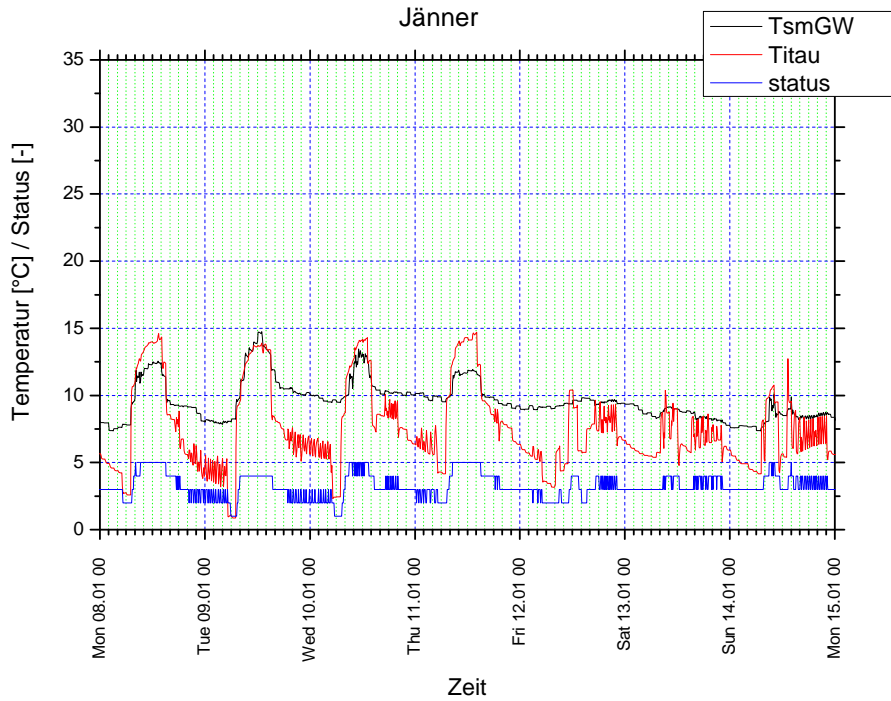


Abbildung 16: Darstellung der niedersten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titau) und des Regelstatus (status) für eine Jännerwoche

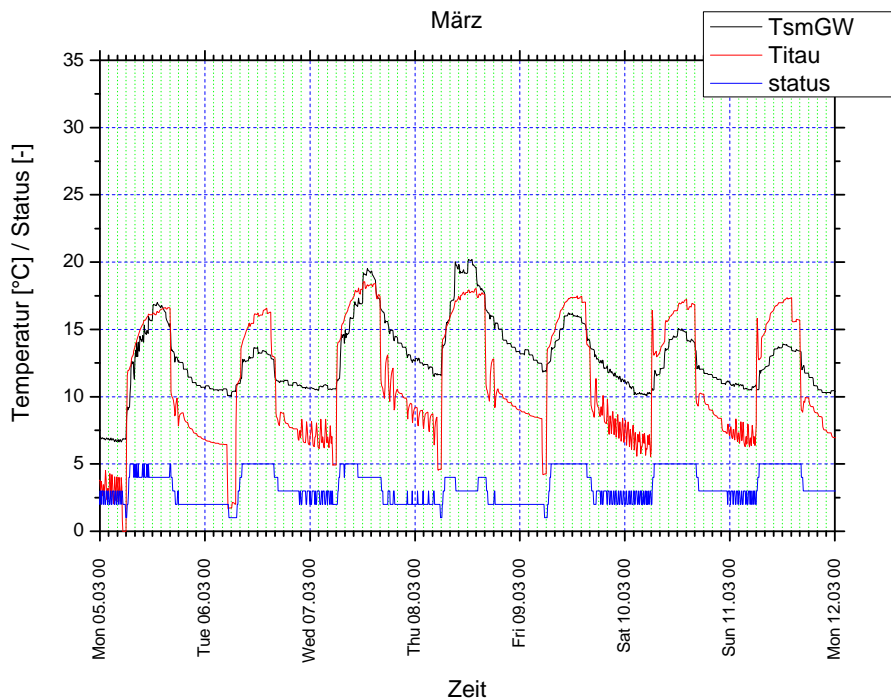


Abbildung 17: Darstellung der niedersten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titau) und des Regelstatus (status) für eine Märzwoche

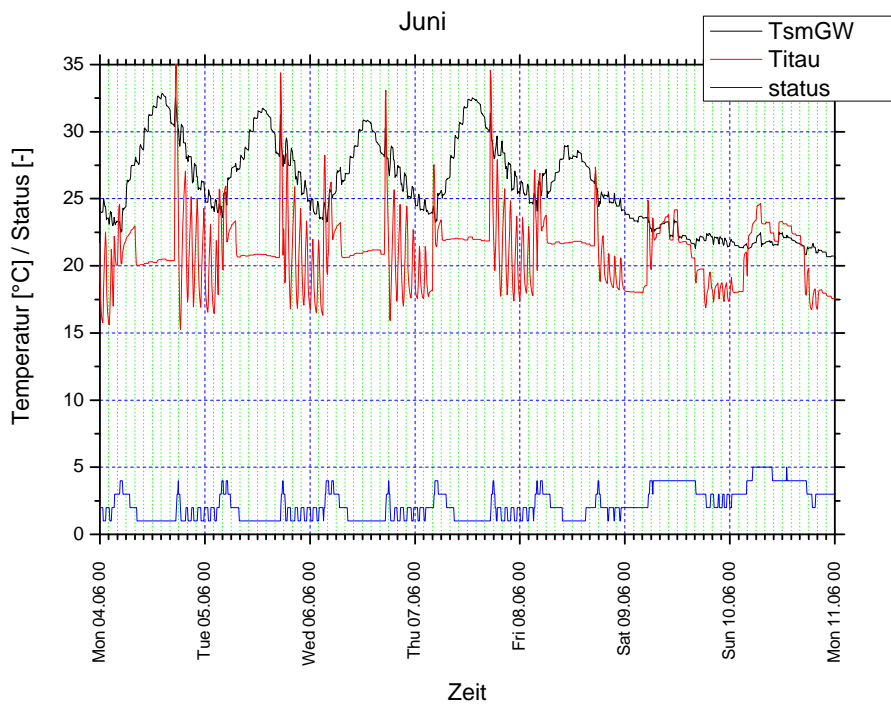


Abbildung 18: Darstellung der niedersten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titau) und des Regelungsstatus (status) für eine Juniwoche

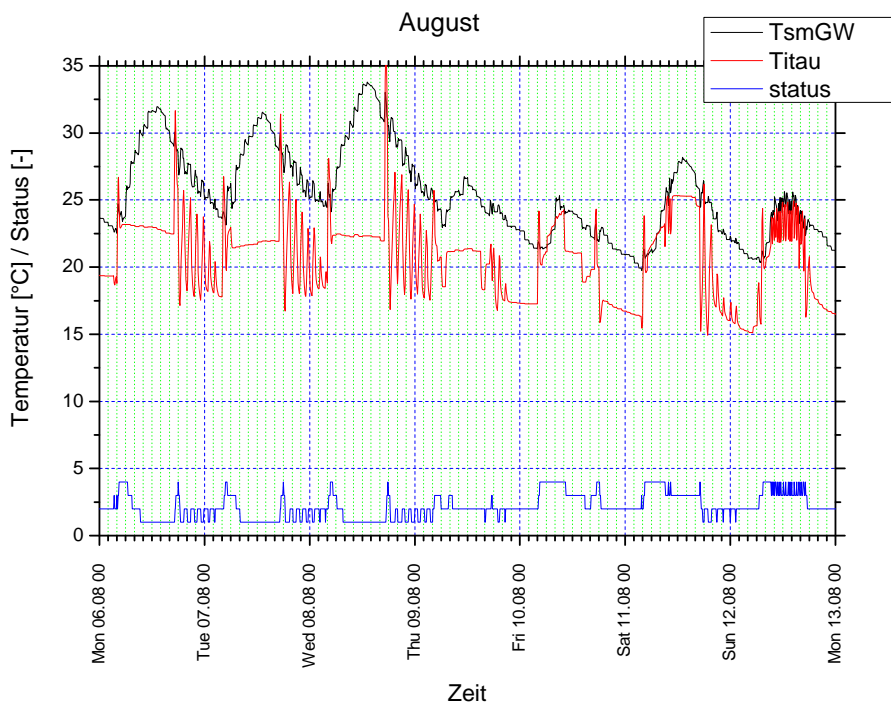


Abbildung 19: Darstellung der niedersten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titau) und des Regelungsstatus (status) für eine Augustwoche

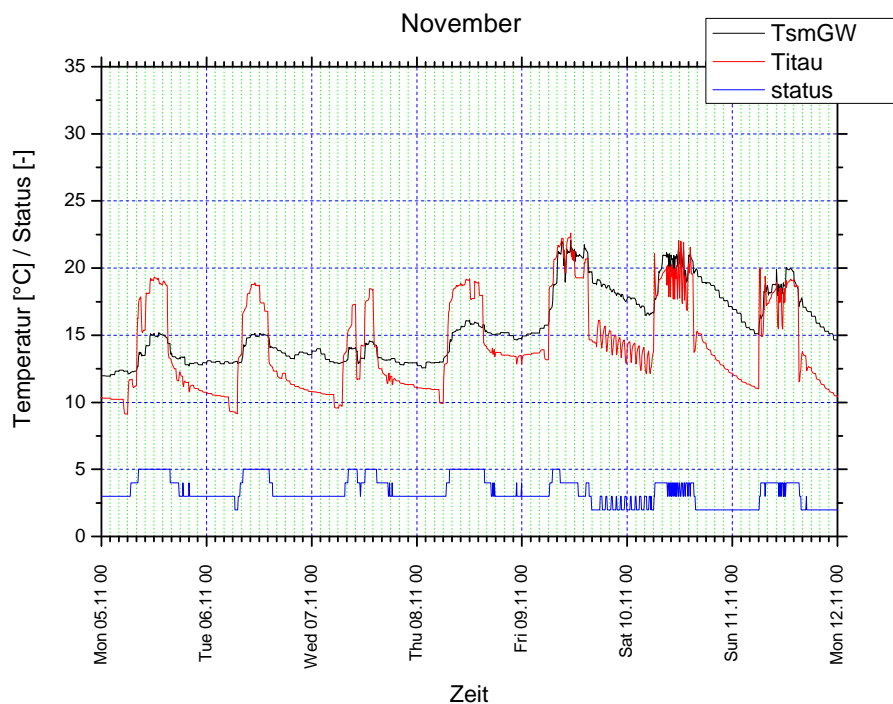


Abbildung 20: Darstellung der niedrigsten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titaup) und des Regelungsstatus (status) für eine Novemberwoche

### 5.3 Zusammenfassung

Man kann erkennen, dass die vorgegebene Regelung grundsätzlich greift, jedoch das neue Kriterium (T. Zelger) sehr streng ist und daher auch mit status 5 Phasenweise nicht zu erfüllen ist. Die Diagramme zeigen auch, dass die Regelung zeitweise stark schwankt, da die Taupunkttemperatur extrem sensitiv auf die Erhöhung oder Erniedrigung des Luftdurchsatzes durch die Grünpuffer reagiert.

## 6 Optimierung der Regelung

Aufgrund der letzten Simulationen wurde eine neue dynamische Regelung implementiert, die weiterhin aufgrund des von T. Zelger angegebenen Kriteriums die Ventilation variiert, jedoch andere Volumenströme zulässt.

### 6.1 Simulationsannahmen

Die Feuchteproduktion in den Pflanzenpuffern ist unverändert. Die Regelung wird nur für den Außenpuffer West angewendet. An den Werktag (von 6:00 bis 18:00 Uhr) wird die Ventilation mit folgenden Werten begrenzt:

1. Minimum: 2820 m<sup>3</sup>/h
2. Maximum: 8500 m<sup>3</sup>/h

Dazwischen passt sich der Volumenstrom an das Kriterium wie folgt an:

In jedem Zeitschritt ( $t=1/8$ ) wird die niedrigste Oberflächentemperatur im Bereich Glasrandverbund ( $T_{smGW} = T_{amb} + 0.63 \cdot (T_{innen} - T_{amb})$ ) und die Differenz  $CondGW = T_{itaup} - T_{smGW}$  ( $T_{itaup}$  ... Taupunkttemperatur im Puffer) berechnet.

- Ist CondGW > ein gesetzter Maximalwert (ctrmax), wird der Volumenstrom um einen konstanten Wert (Vdotstep) erhöht.
- Ist CondGW < ein gesetzter Minimalwert (ctrmin), wird der Volumenstrom um einen konstanten Wert (Vdotstep) erniedrigt.

Für die restlichen Puffer wird in diesen Stunden weiterhin ein konstanter Wert vorgegeben:

Grünpuffer Außen OST: 1360 m<sup>3</sup>/h  
 Grünpuffer Innen WEST: 970 m<sup>3</sup>/h  
 Grünpuffer Innen OST: 750 m<sup>3</sup>/h

In der Nacht (0:00 – 6:00 und 18:00 – 24:00 Uhr) und am Wochenende wird die Ventilation mit folgenden Werten begrenzt:

3. Minimum: 0 m<sup>3</sup>/h
4. Maximum: 8500 m<sup>3</sup>/h

Geregelt wird gleich wie oben beschrieben. Für die restlichen Puffer wird in diesen Stunden weiterhin ein konstanter Wert vorgegeben:

Grünpuffer Außen OST: 370 m<sup>3</sup>/h  
 Grünpuffer Innen WEST: 260 m<sup>3</sup>/h  
 Grünpuffer Innen OST: 200 m<sup>3</sup>/h

Die Temperatur der Zuluft in die Puffer wird auf mindestens 15 °C begrenzt. Dieser Wert wird in der Regelung nicht variiert.

Gerechnet wurden 2 Varianten:

	Variante C	Variante D
Vdotmax	8500 m <sup>3</sup> /h	8500 m <sup>3</sup> /h
Vdotmin (tag)	2820 m <sup>3</sup> /h	2820 m <sup>3</sup> /h
Vdotstep	150 m <sup>3</sup> /h	300 m <sup>3</sup> /h
Ctrmax	0 K	-1 K
Ctrmin	-3 K	-3 K

## 6.2 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse beschränkt sich ausschließlich auf den Außenpuffer West, da hier die extremsten Bedingungen zu erwarten sind. Um eine Grundlage für die Entscheidung der Belüftungsdimensionierung zu bieten, wurden die dafür relevanten Größen ausgewählt, dargestellt und analysiert.

### 6.2.1 Vergleich Kondensation TRNSYS15 vs. Kriterium T. Zelger

Weiterhin gilt:

Das von T. Zelger gelieferte Kriterium für Kondensation zeigt im Vergleich zur Kondensationshäufigkeit von TRNSYS (kälteste Innenfläche, die im Puffer verfügbar ist, ist die Fläche 126, eine nach Norden gerichtete Glasfläche) deutlich stärkere Auswirkungen (siehe auch Abbildung 21 und Abbildung 22).

Die Anzahl der Stunden für die Kondensation vorhergesagt werden ergeben sich folgende Werte (Jahresauswertung):

	Variante C	Variante D
TRNSYS15	15 Stunden	0 Stunden
Zelger	1089 Stunden	510 Stunden

Die hohen Werte für das Zelger-Kriterium ergeben sich aus der strengeren Bedingung. Jedoch sei schon hier darauf hingewiesen, dass die durchgehenden Zeiträume für Kondensation auch hier nur noch sehr gering sind (siehe auch Abbildung 23 bis Abbildung 32).

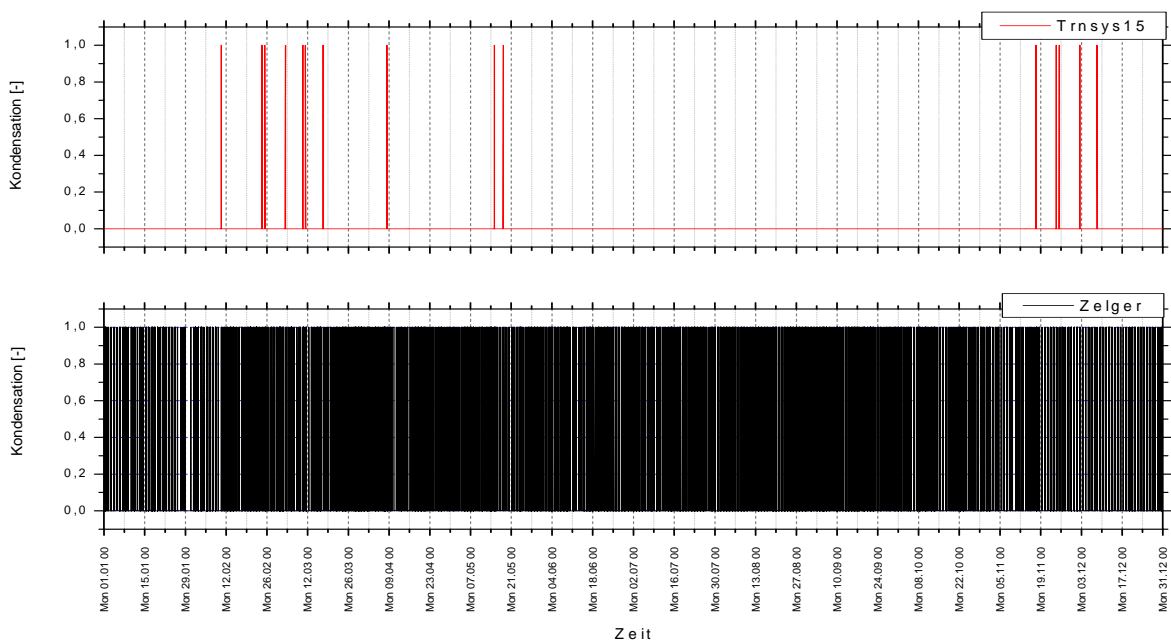


Abbildung 21: Vergleich des Kondensationsauftretens Trnsys15 vs. Kriterium T. Zelger (Variante C)

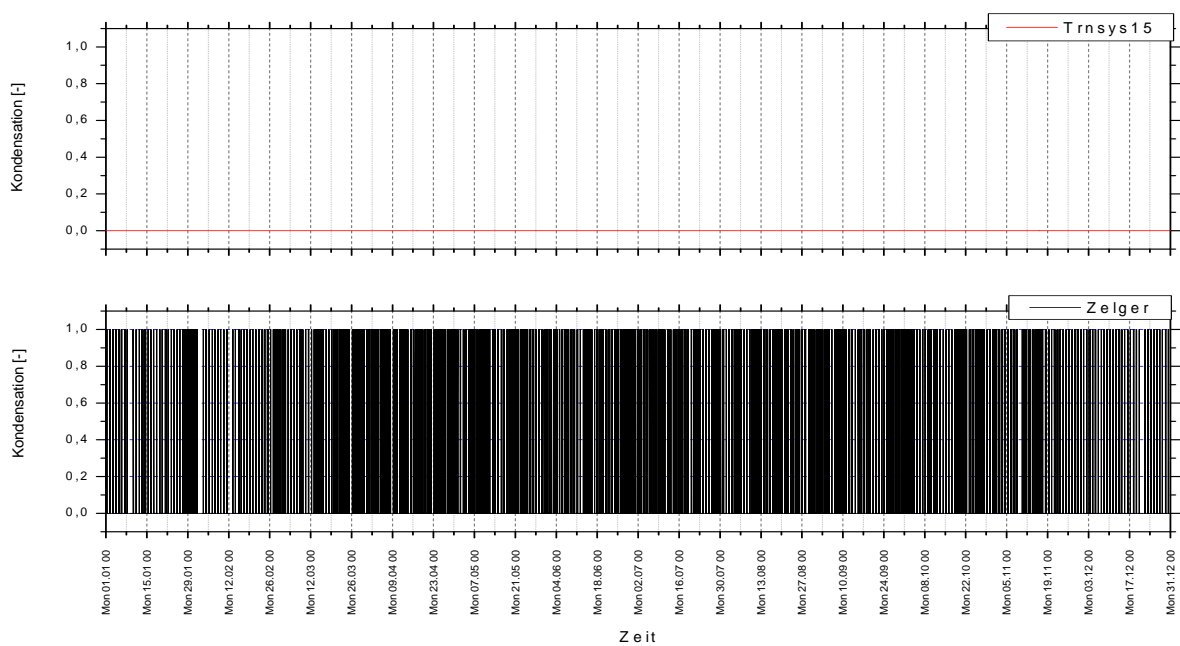


Abbildung 22: Vergleich des Kondensationsauftretens Trnsys15 vs. Kriterium T. Zelger (Variante D)

## 6.2.2 Darstellung der Grünpufferkonditionen

In den folgenden Abbildungen sind die Oberflächentemperatur (TsmGW), Taupunkttemperatur (Titau) des Volumenstroms (VdotGRW) und der Globalstrahlung (Globalstr.) für ausgewählte Wochen im Jahr dargestellt.

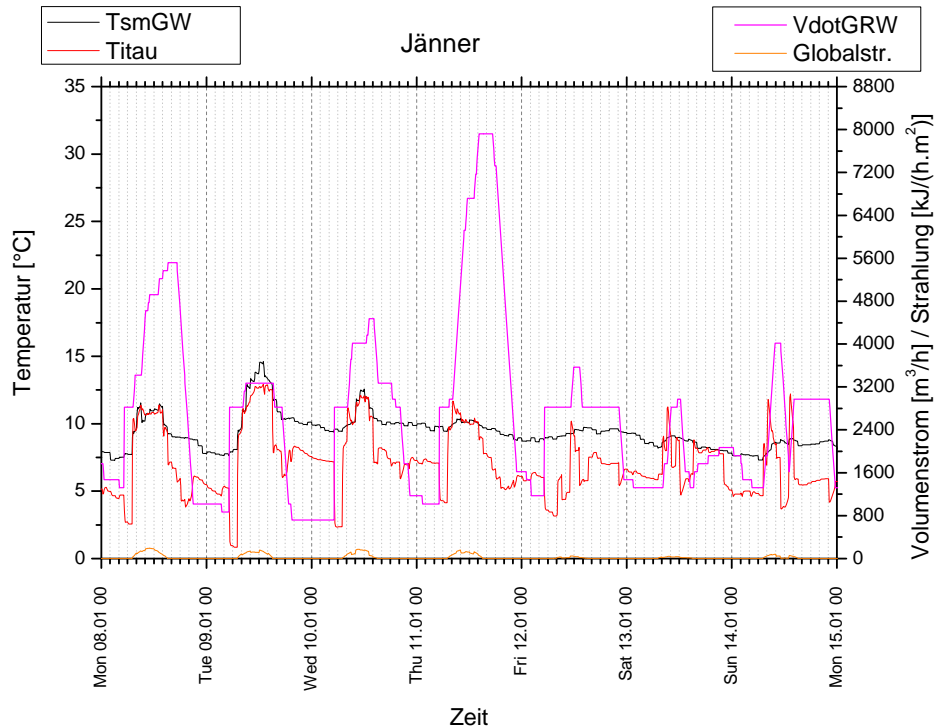


Abbildung 23: Darstellung der niedersten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titau), des Volumenstroms (VdotGRW) und der Globalstrahlung (Globalstr.) für eine Jännerwoche (Variante C)

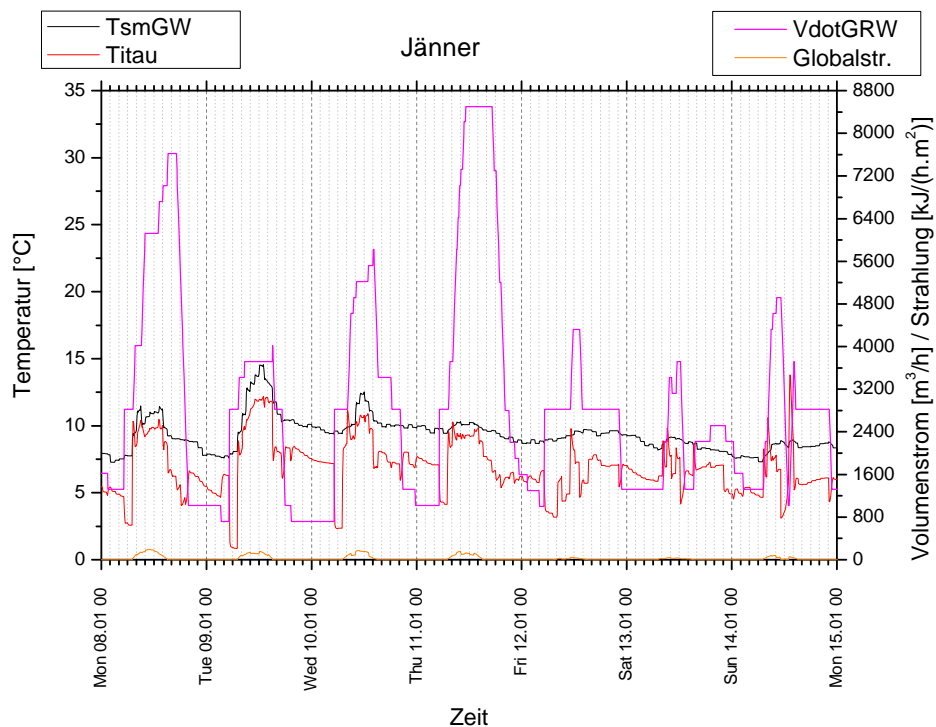


Abbildung 24: Darstellung der niedersten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titau), des Volumenstroms (VdotGRW) und der Globalstrahlung (Globalstr.) für eine Jännerwoche (Variante D)



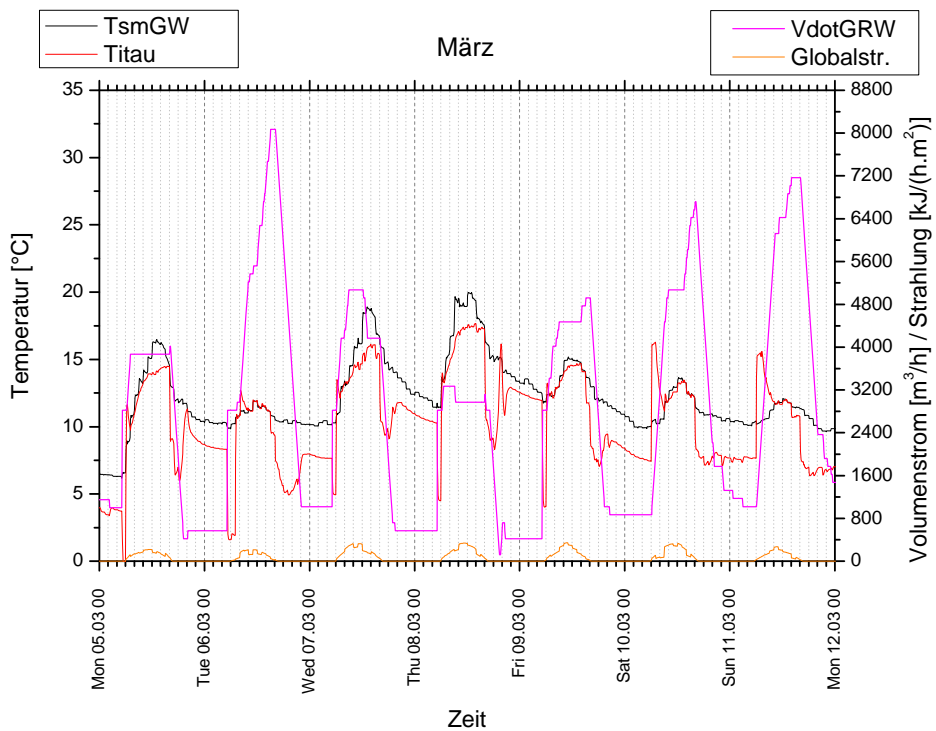


Abbildung 25: Darstellung der niedersten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titau), des Volumenstroms (VdotGRW) und der Globalstrahlung (Globalstr.) für eine Märzwoche (Variante C)

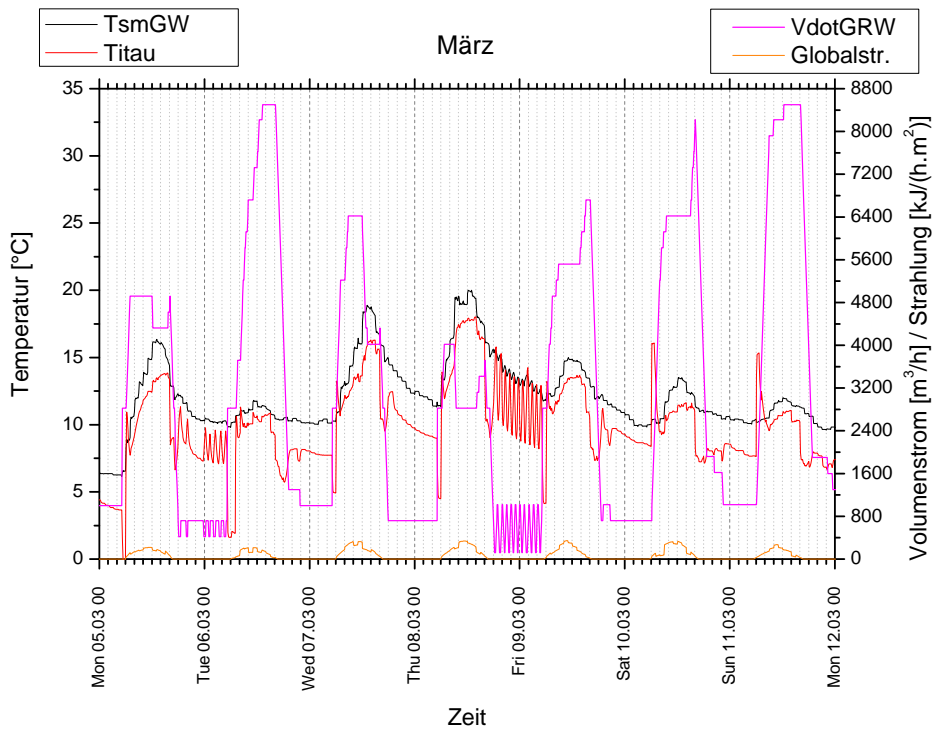


Abbildung 26: Darstellung der niedersten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titau), des Volumenstroms (VdotGRW) und der Globalstrahlung (Globalstr.) für eine Märzwoche (Variante D)

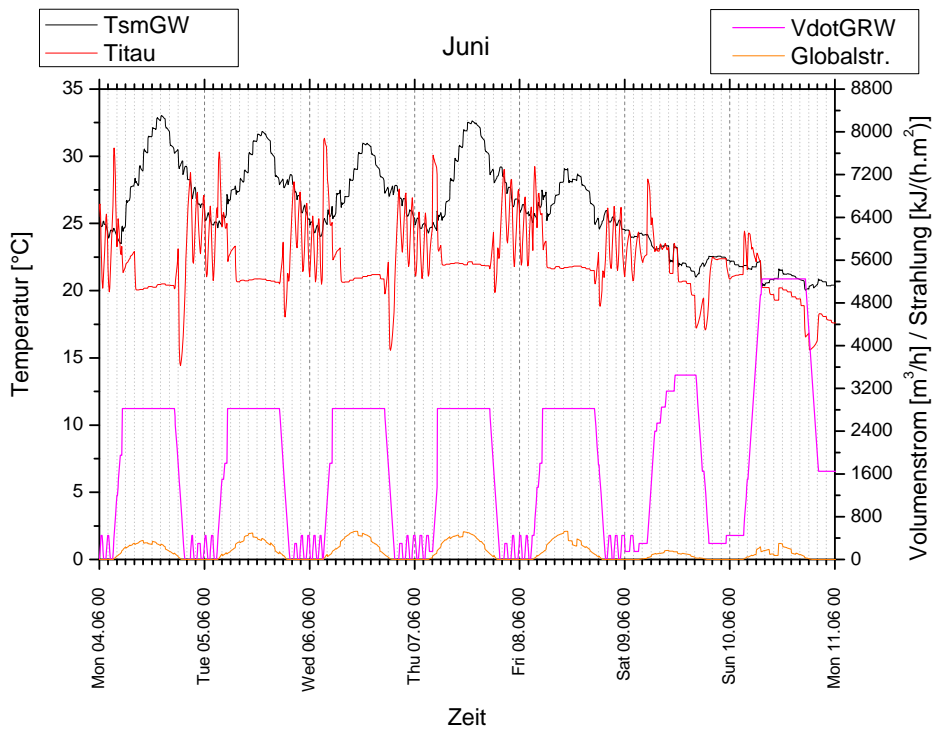


Abbildung 27: Darstellung der niedersten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titau), des Volumenstroms (VdotGRW) und der Globalstrahlung (Globalstr.) für eine Juniwoche (Variante C)

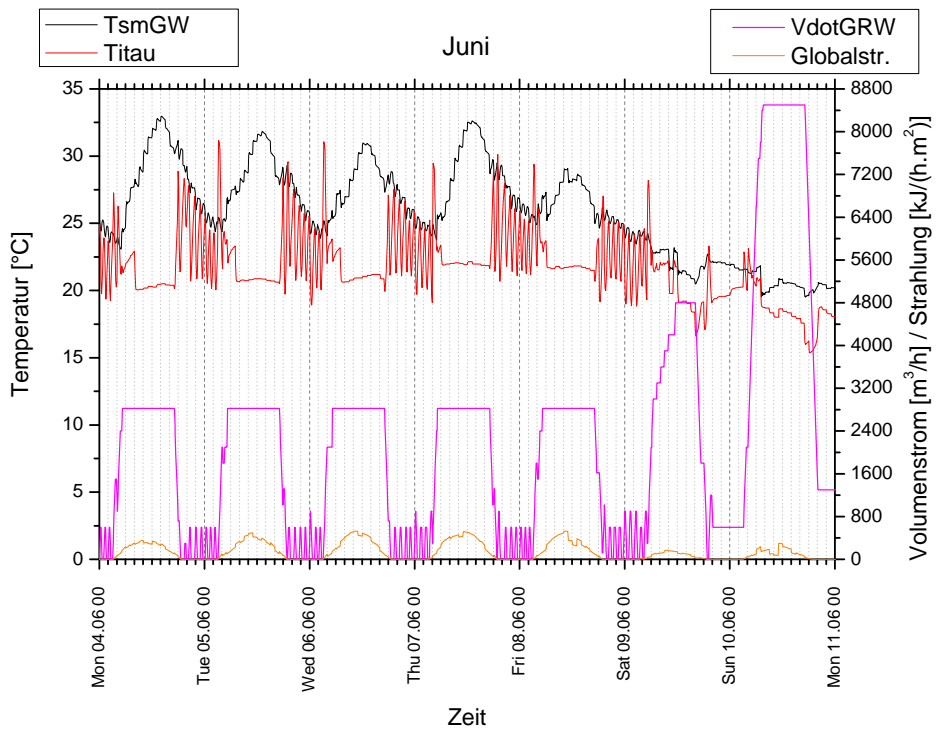


Abbildung 28: Darstellung der niedersten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titau), des Volumenstroms (VdotGRW) und der Globalstrahlung (Globalstr.) für eine Juniwoche (Variante D)

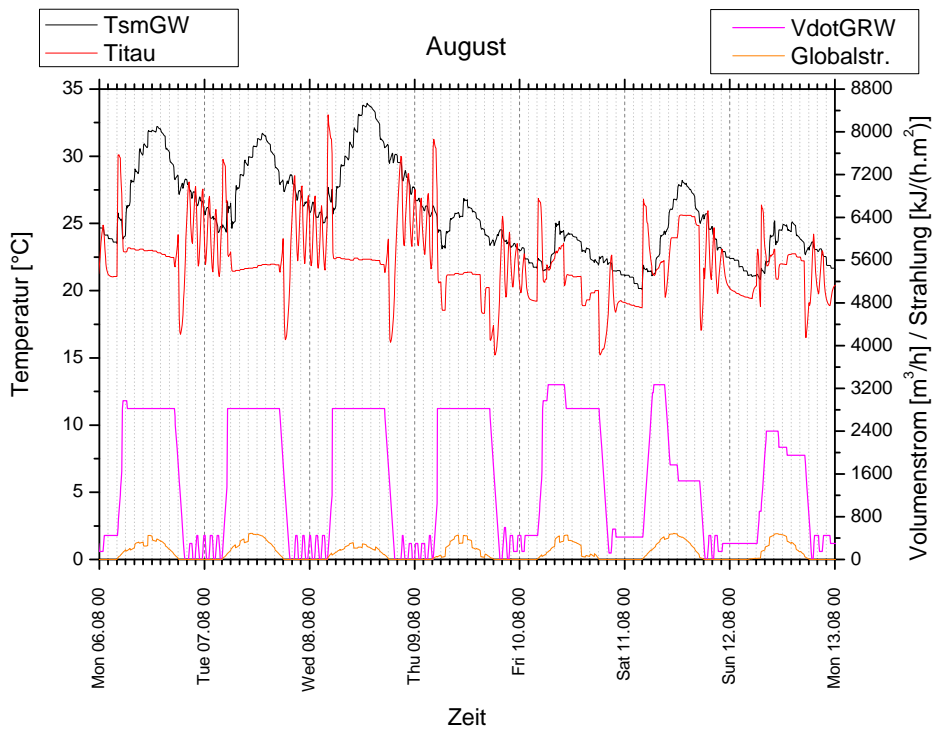


Abbildung 29: Darstellung der niedersten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titau), des Volumenstroms (VdotGRW) und der Globalstrahlung (Globalstr.) für eine Augustwoche (Variante C)

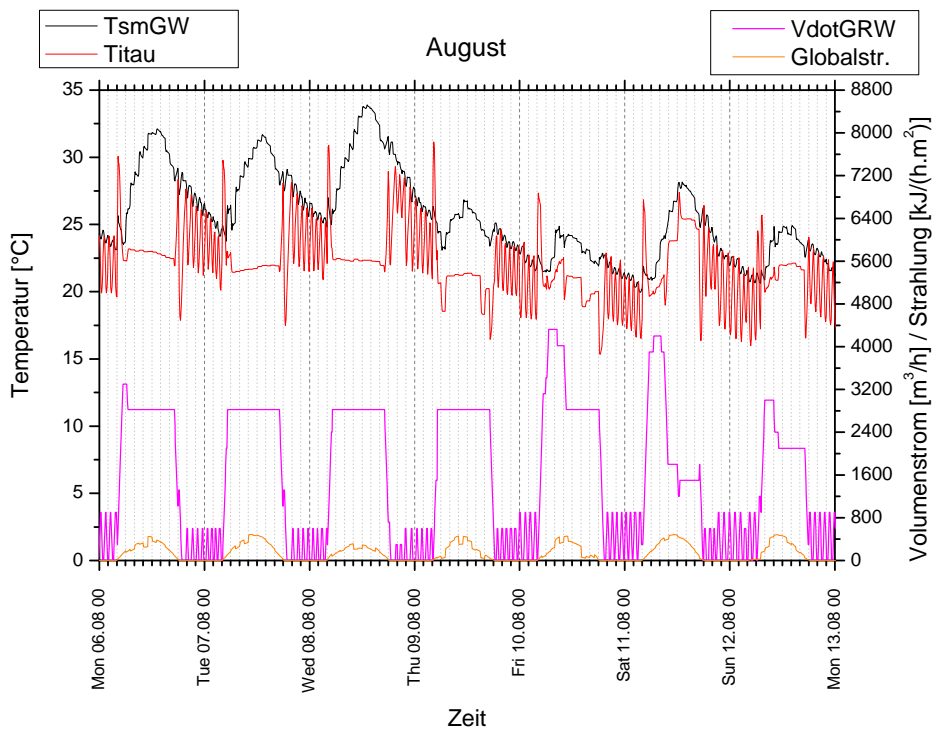


Abbildung 30: Darstellung der niedersten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titau), des Volumenstroms (VdotGRW) und der Globalstrahlung (Globalstr.) für eine Augustwoche (Variante D)

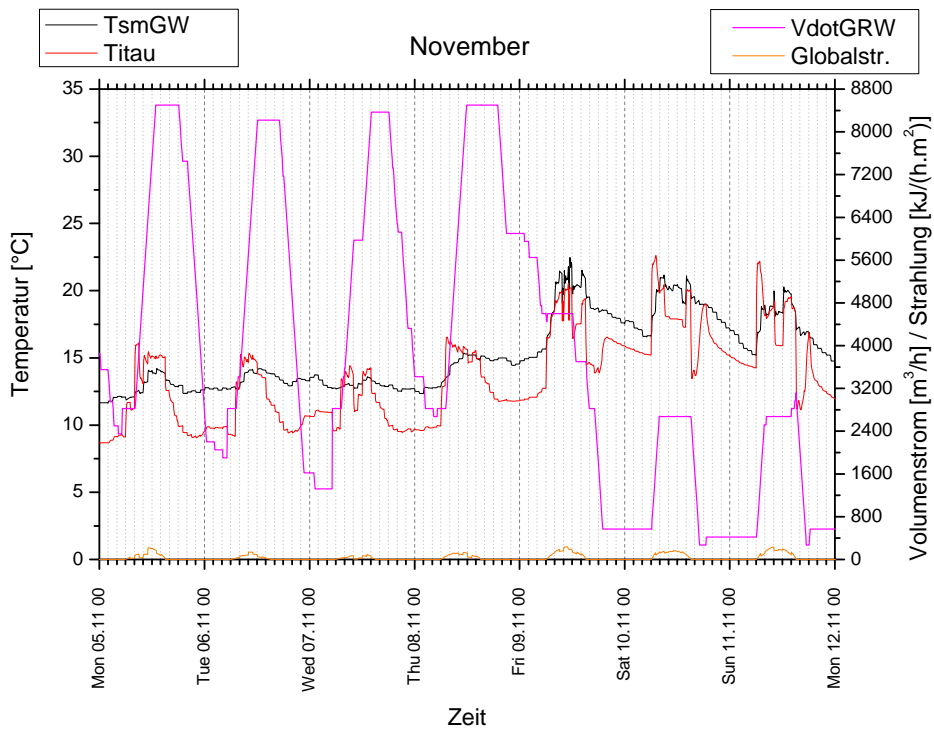


Abbildung 31: Darstellung der niedersten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titau), des Volumenstroms (VdotGRW) und der Globalstrahlung (Globalstr.) für eine Novemberwoche (Variante C)

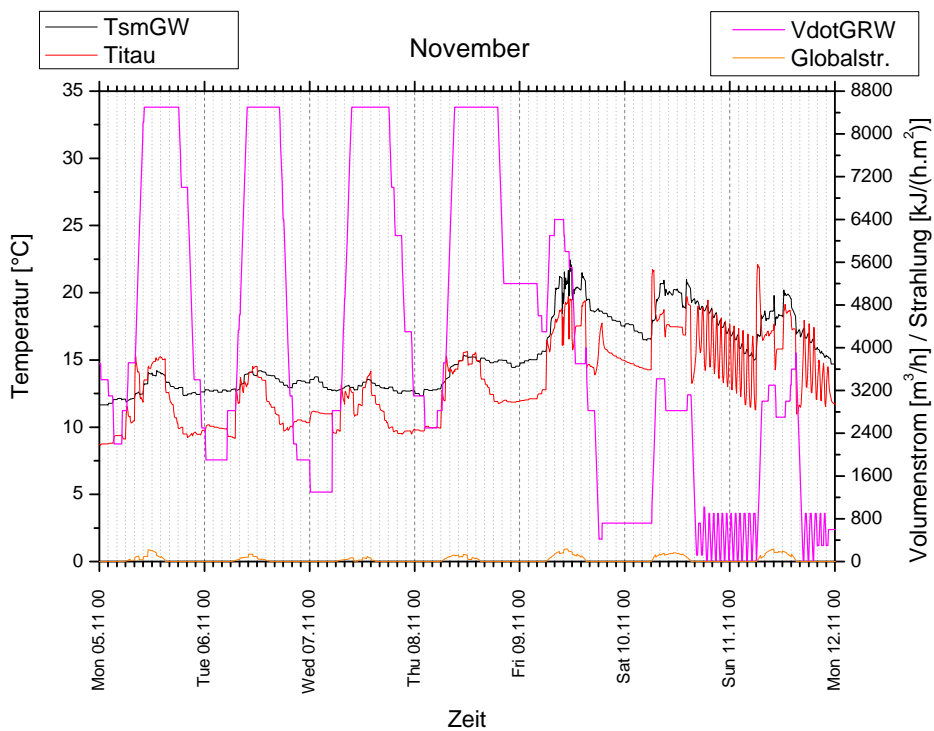


Abbildung 32: Darstellung der niedersten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titau), des Volumenstroms (VdotGRW) und der Globalstrahlung (Globalstr.) für eine Novemberwoche (Variante D)

Man kann erkennen, dass die neue Regelung noch bessere Ergebnisse bezüglich Kondensationsvermeidung liefert (man vergleiche die Ergebnisse in Kapitel 0). Die Diagramme zeigen auch, dass die Regelung zeitweise stark schwankt, da die Taupunkttemperatur extrem sensitiv auf die Erhöhung oder Erniedrigung des Luftstromes reagiert. Vor allem bei starkem Anstieg der Taupunkttemperatur kann daher eine Kondensation nicht immer ganz vermieden werden. Wie jedoch schon bemerkt ergeben diese Spitzen meist nur Zeiträume von unter einer Stunde. Es gibt aber auch Zeiträume in denen trotz maximalen Volumenstroms (8500 m<sup>3</sup>/h) unter Tags eine Kondensation nicht verhindert werden kann (siehe die Darstellung der Novemberwoche in Abbildung 31 und Abbildung 32). Vor allem in Variante D treten hier aber auch nur wenige durchgehende Stunden Kondensation auf.

### 6.2.3 Verteilung der auftretenden Volumenströme

Um die Verteilung der auftretenden Volumenströme darzustellen wurde ein sogenanntes „Überschreitungsdiagramm“ gewählt. Die Darstellung in Abbildung 33 und Abbildung 34 wird das gesamte Jahr für die beiden Varianten gezeigt. Abbildung 35 und Abbildung 36 zeigt die Auswertung für die Monate September bis April. Aus diesen Diagrammen lassen sich die Anzahl der Stunden für einen gewissen Wertebereich der Belüftung ablesen. Um die Kategorien etwas zusammenzufassen sind in Abbildung 37 und Abbildung 38 zusätzlich noch Balkendiagramme für den Zeitbereich September – April dargestellt.

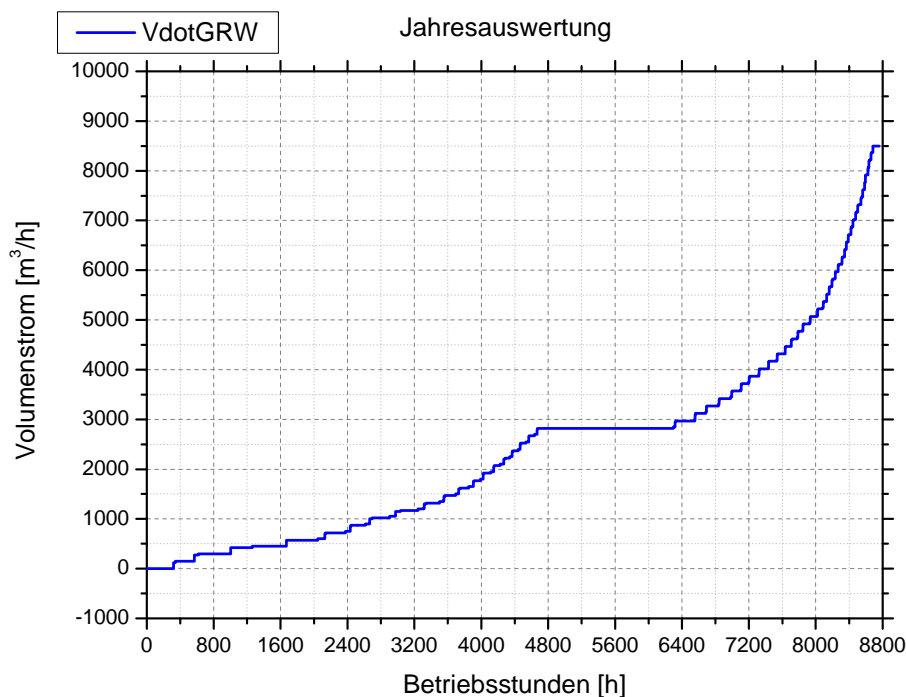


Abbildung 33: Darstellung der auftretenden Volumenströme über die Betriebsstunden für das gesamte Jahr (Variante C)

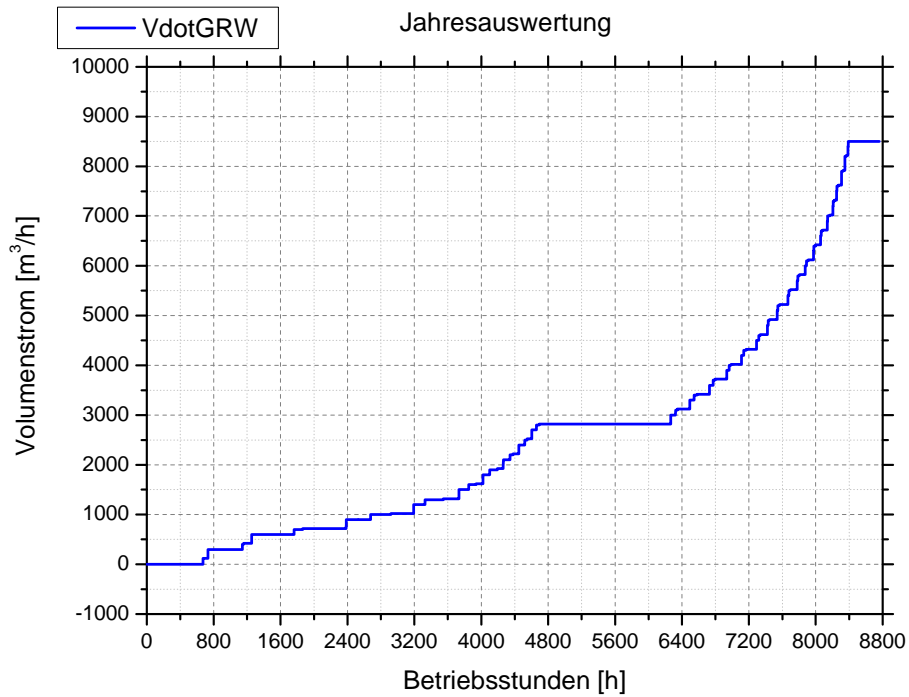


Abbildung 34: Darstellung der auftretenden Volumenströme über die Betriebsstunden für das gesamte Jahr (Variante D)

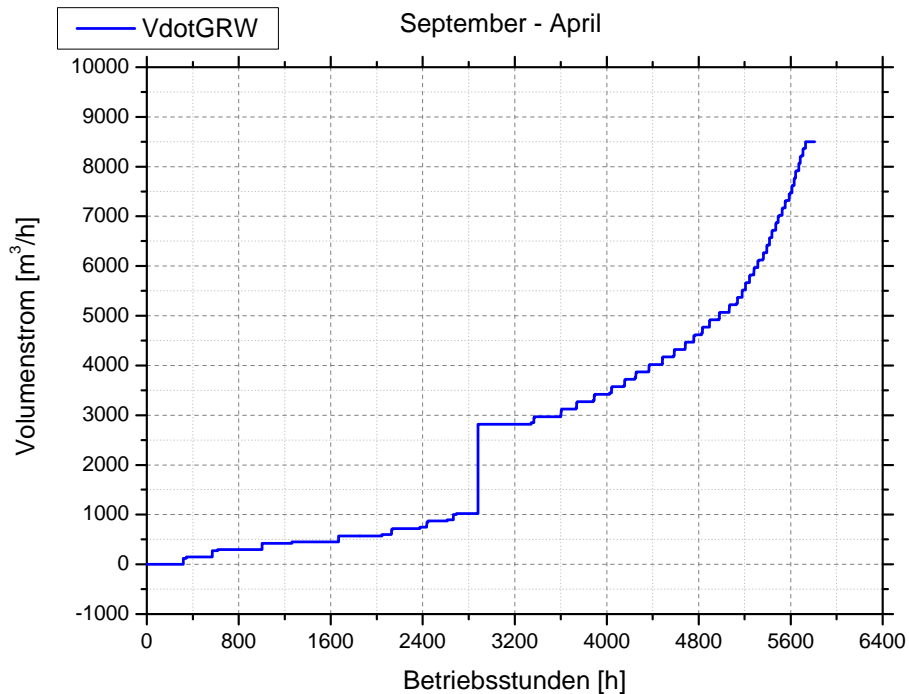


Abbildung 35: Darstellung der auftretenden Volumenströme über die Betriebsstunden den Zeitraum September bis April (Variante C)

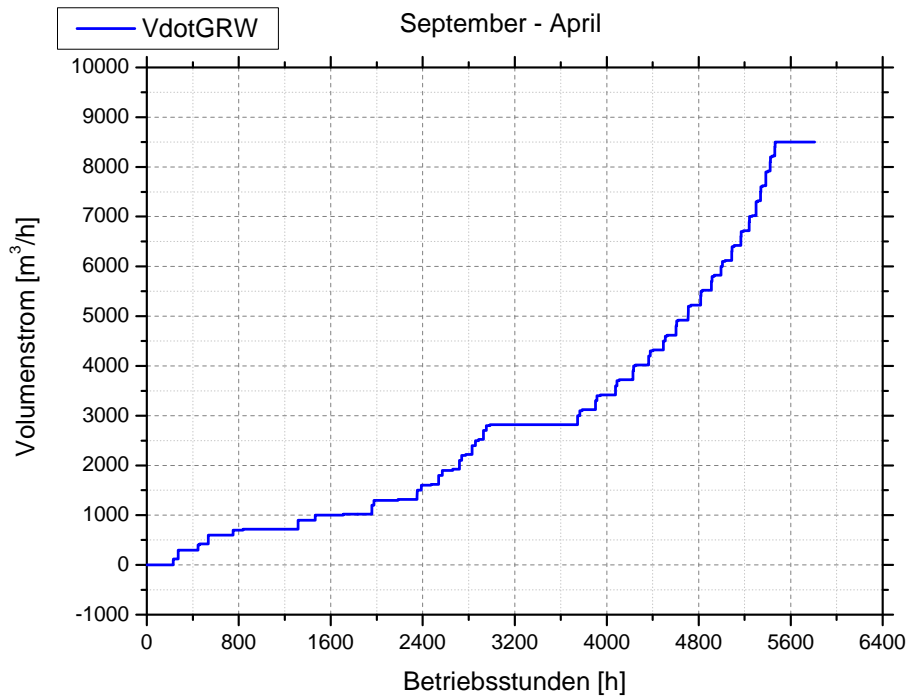


Abbildung 36: Darstellung der auftretenden Volumenströme über die Betriebsstunden den Zeitraum September bis April (Variante D)

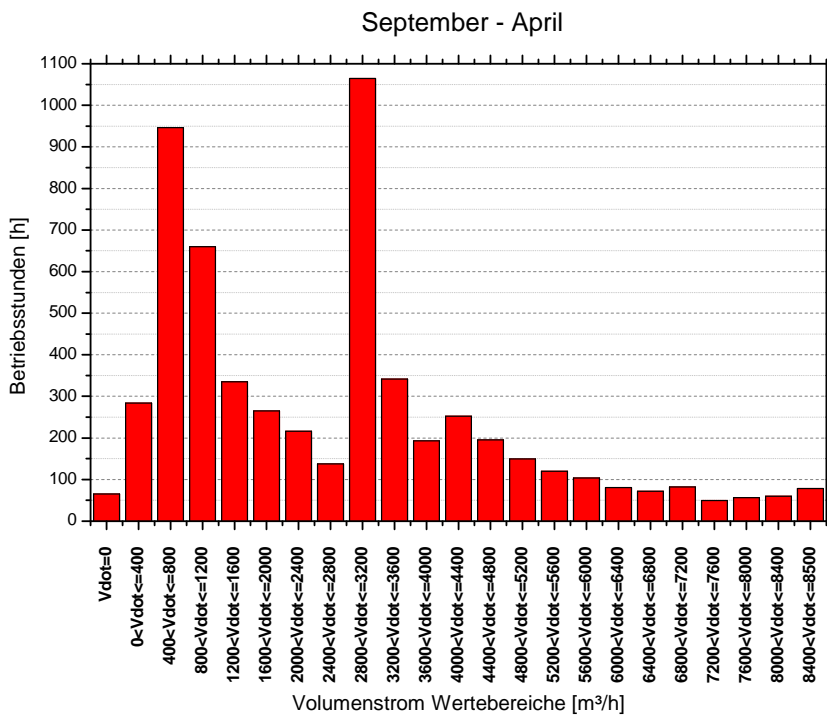


Abbildung 37: Darstellung der auftretenden Volumenströme im Balkendiagramm für den Zeitraum September bis April (Variante C)

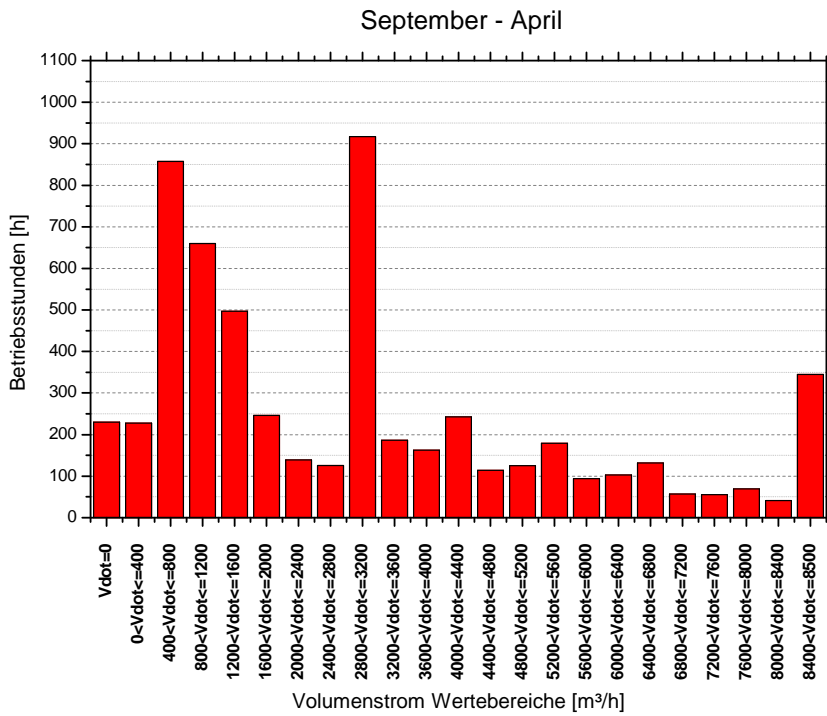


Abbildung 38: Darstellung der auftretenden Volumenströme im Balkendiagramm für den Zeitraum September bis April (Variante D)

Für die Monate September bis April ergeben sich nach Zelters Kriterium 717 Stunden Kondensation bei Variante C und 341 Stunden bei Variante D. Diese Kondensationszeiten sind jedoch nur selten durchgehende Zeiträume. Dies zeigt Abbildung 39 und Abbildung 40.

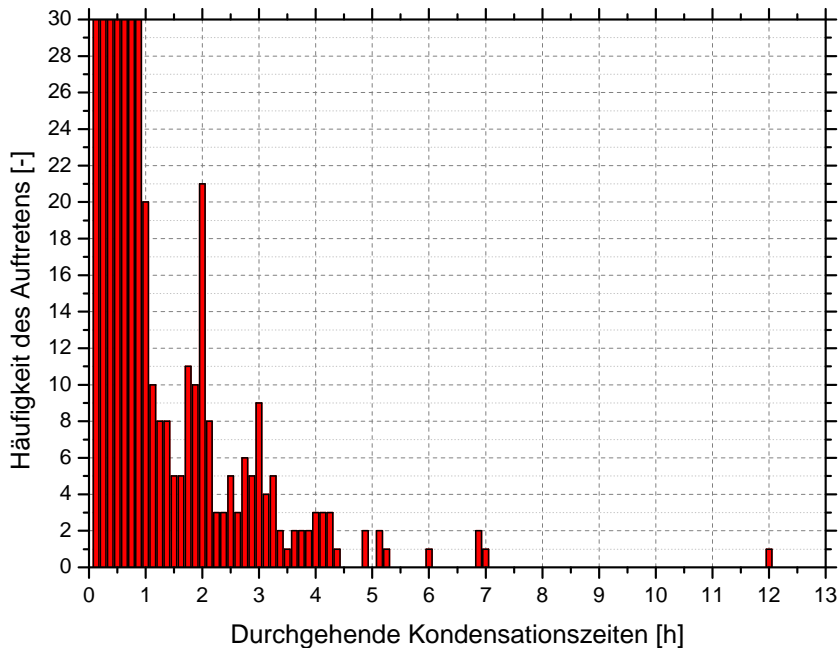


Abbildung 39: Häufigkeit der durchgehenden Kondensationszeiten für den Zeitraum September-April (Variante C)



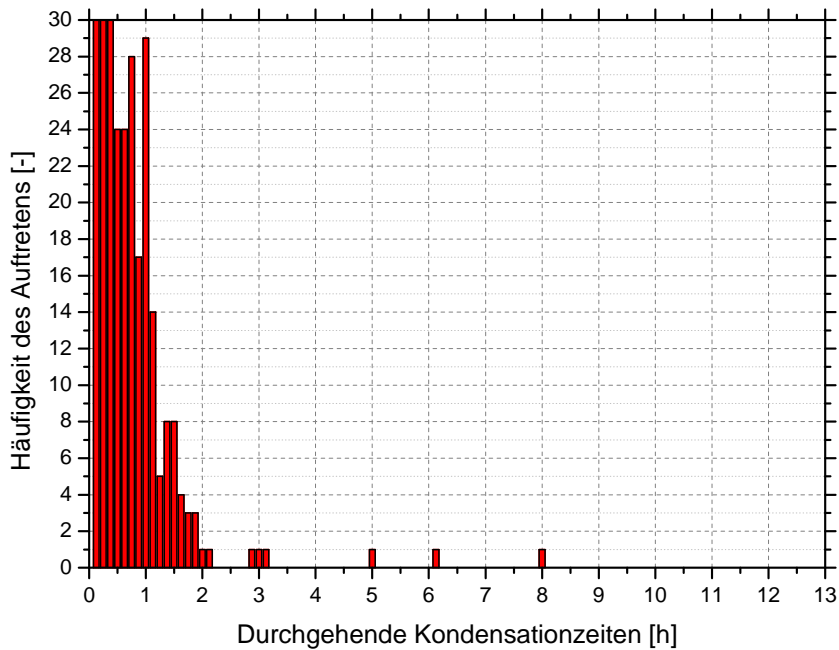


Abbildung 40: Häufigkeit der durchgehenden Kondensationszeiten für den Zeitraum September-April (Variante D)

Ein Beispiel bei dem nahezu den ganzen Tag Kondensation auftritt zeigt Abbildung 41.

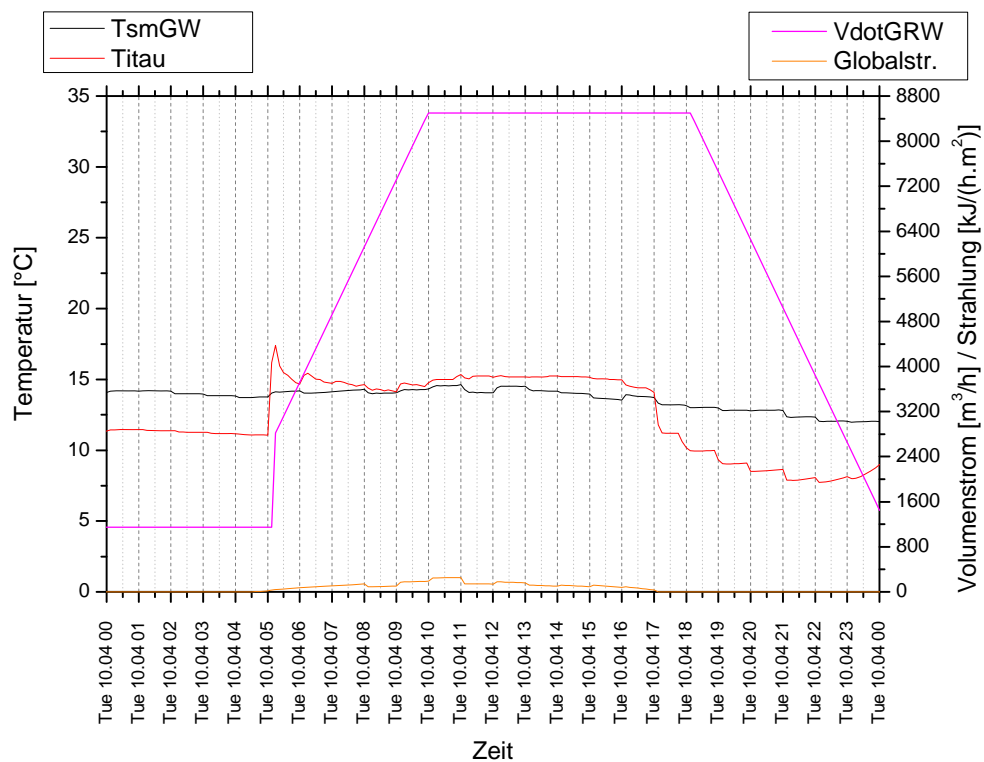


Abbildung 41: Darstellung der niedersten Oberflächentemperatur (TsmGW), der Taupunkttemperatur (Titau), des Volumenstroms (VdotGRW) und der Globalstrahlung (Globalstr.) für den 10. April (Variante C)

### 6.3 Zusammenfassung

Die Auswertung zeigt unter Annahme von zwei unterschiedlichen Regelparameterangaben die notwendigen Volumenströme, um im Außenpuffer West Kondensation zu vermeiden. Ganz verhindert kann sie mit diesen Vorgaben nicht werden, jedoch sind länger zusammenhängende Zeiträume in der Kondensation auftreten mit möglichst geringem Aufwand vermeiden. Der Vergleich der Varianten zeigt, dass die Regelung für Variante D für weniger Kondensation sorgt, als die Variante C, jedoch dafür auch öfter mit Ventilationsextremwerten zu rechnen ist.

## 7 Regelung aller Grünpuffer

Für eine detaillierte Auswertung wurden 5 Ausgabedatensätze definiert, die folgende Daten enthalten:

### AmbANDctr.out (Außenbedingungen und Regelung)

Tamb	Außenlufttemperatur [°C]
RHamb	relative Feuchte der Außenluft [%]
Itoth	Globalstrahlung auf die horizontale Fläche [W/m <sup>2</sup> ]
FRGonoff	Kontrollflag für die Feuchterückgewinnung (0 = aus; 1 = ein)
Qairheat	benötigte Energie für das Aufheizen der Zuluft [kJ]
RH_NOG4	relative Feuchte in der Nordzone 4 OG [%]
RH_SOG4	relative Feuchte in der Südzone 4 OG [%]

### GPeast.out (Grünpuffer Außen OST)

Tair	Lufttemperatur im Grünpuffer [°C]
humProd	produzierte Feuchte [kg]
humAbs	absolute Feuchte im Grünpuffer [kg/kg]
humRel	relative Feuchte im Grünpuffer [%]
TsmGW	niedrigste Oberflächentemperatur berechnet nach T. Zelger [°C]
Titau	Taupunkttemperatur im Grünpuffer
FLCondGW	Kondensationsflag berechnet nach T. Zelger
Vdot_GRW	Volumenstrom der Ventilation im Grünpuffer [m <sup>3</sup> /h]

### GPineast.out (Grünpuffer Innen OST) und GPinwest.out (Grünpuffer Innen WEST)

Enthalten die gleichen Daten wie GPeast.out.

### GPwest.out (Grünpuffer Außen WEST)

Enthält zusätzlich noch folgende Daten:

Tairin	Temperatur der Zuluft [°C]
absHairin	absolute Feuchte der Zuluft [kg/kg]
RHairin	relative Feuchte der Zuluft [%]
Tsurf126	Oberflächentemperatur der Nordverglasung (nach TRNSYS15)
Tcond126	Kondensationsflag der Nordverglasung (nach TRNSYS15)

Die Daten liegen in 1/8 Stunden Schritten vor. Zusätzlich stehen auch nachträglich gemittelte Stundenwerte in den Datensätzen mit der vorgestellten Bezeichnung „mittel\_“ zur Verfügung (MatLab).

Für die Regelung der Ventilation in allen 4 Grünpufferzonen wurde ein eigener Type (Type 664) entwickelt, der die in Kapitel 6 beschriebene Regelung auf alle Grünpufferzonen anwendet.

## 7.1 Simulationsannahmen

Die Gesamtregelung kommt für 4 weitere Varianten (FINAL01 bis FINAL04) zum Einsatz. Für die Volumenströme durch die Grünpuffer werden bei allen 4 Varianten die gleichen Parameter an den Type 664 übergeben (zur Erklärung der Parameter und der Regelung siehe Kapitel 6.1):

Vdotmax GRW	2820
Vdotminday GRW	2820
Vdotstep GRW	300
ctrmax GRW	-1
ctrmin GRW	-3
Vdotmax GRE	1360
Vdotminday GRE	1360
Vdotstep GRE	300
ctrmax GRE	-1
ctrmin GRE	-3
Vdotmax GRINE	970
Vdotminday GRINE	970
Vdotstep GRINE	100
ctrmax GRINE	0
ctrmin GRINE	-2
Vdotmax GRINW	750
Vdotminday GRINW	750
Vdotstep GRINW	100
ctrmax GRINW	0
ctrmin GRINW	-2

Für die 4 Varianten wurden folgende Annahmen getroffen:

---

### FINAL01

FRG (Feuchterückgewinnung) = ein  
WRG (Wärmerückgewinnung) = ein  
SetTemp (Minimaltemperatur der Zuluft) = 15 °C

Außenverglasung 2-fach  
 $U = 1.1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$   
 $g = 0.632$   
Rahmenanteil = 0.11 (11%)  
Urahmen =  $1.45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$   
frsi (Faktor zur Berechnung von TsmGW; siehe Kapitel 6.1) = 0.63

---

## FINAL02

FRG = FRGonoff von Type664

WRG = ein

SetTemp = 15 °C

Außenverglasung 2-fach

$U = 1.1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

$g = 0.632$

Rahmen = 0.11 (11%)

Urahmen =  $1.45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

frsi = 0.63

---

## FINAL03

FRG = ein

WRG = ein

SetTemp = 15 °C

Außenverglasung 3-fach

$U = 0.6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

$g = 0.4$

Rahmen = 0.11 (11%)

Urahmen =  $1.45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

frsi = 0.8

---

## FINAL04

FRG = FRGonoff nach Type664

WRG = ein

SetTemp = 15 °C

Außenverglasung 3-fach

$U = 0.6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

$g = 0.4$

Rahmen = 0.11 (11%)

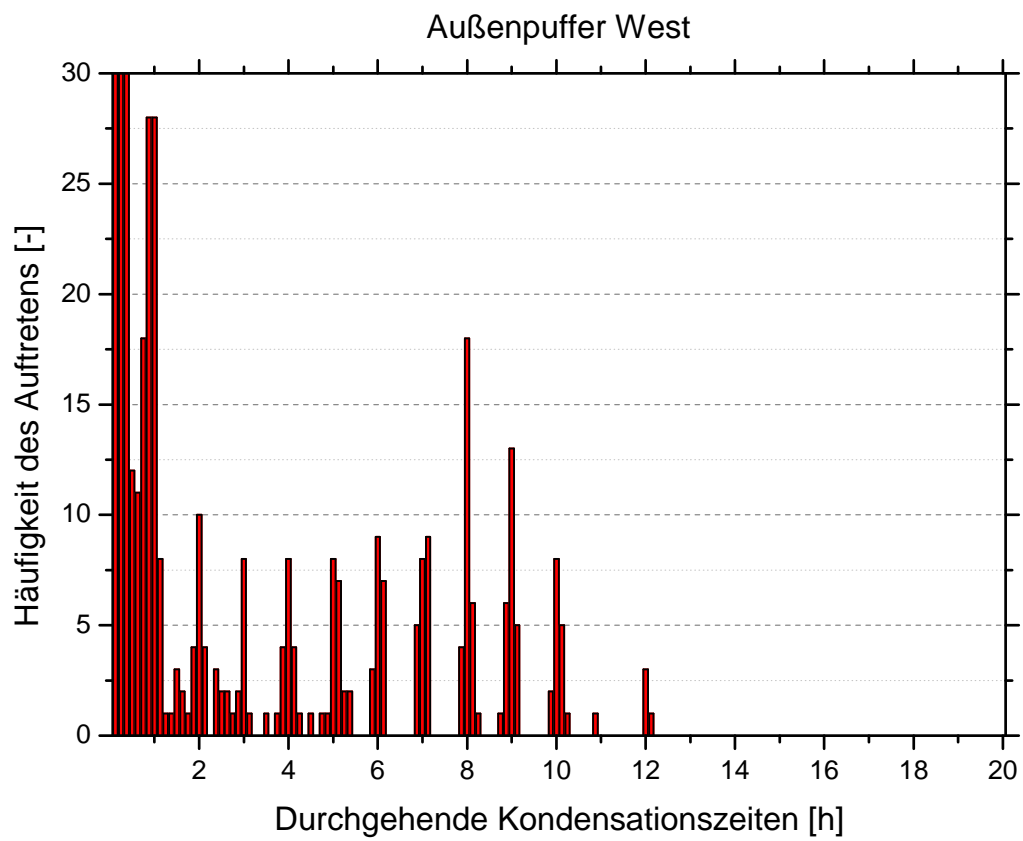
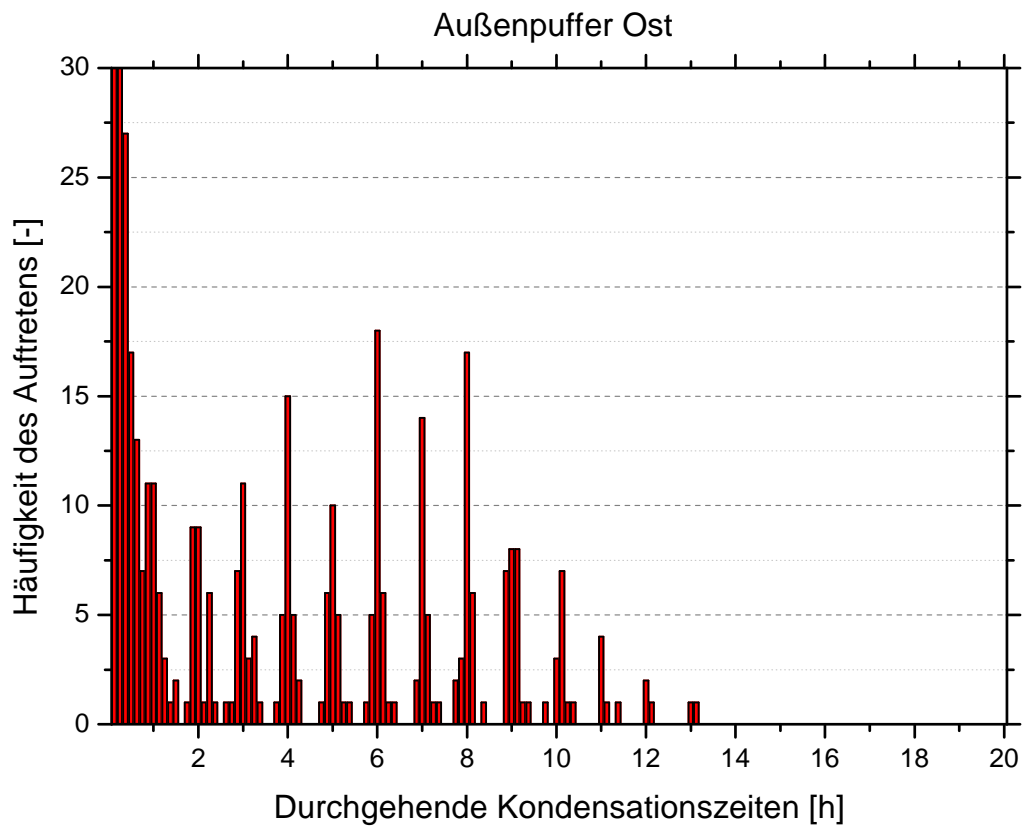
Urahmen =  $1.45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

frsi = 0.8

---

## 7.2 Ergebnisse

Da auch bei den innen liegenden Grünpuffern Verglasungen nach Außen vorhanden sind (obere Abdeckung), wurde auch hier das Kriterium von T. Zelger zur Bestimmung der Kondensationswahrscheinlichkeit herangezogen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 42 bis Abbildung 45 zusammengestellt.



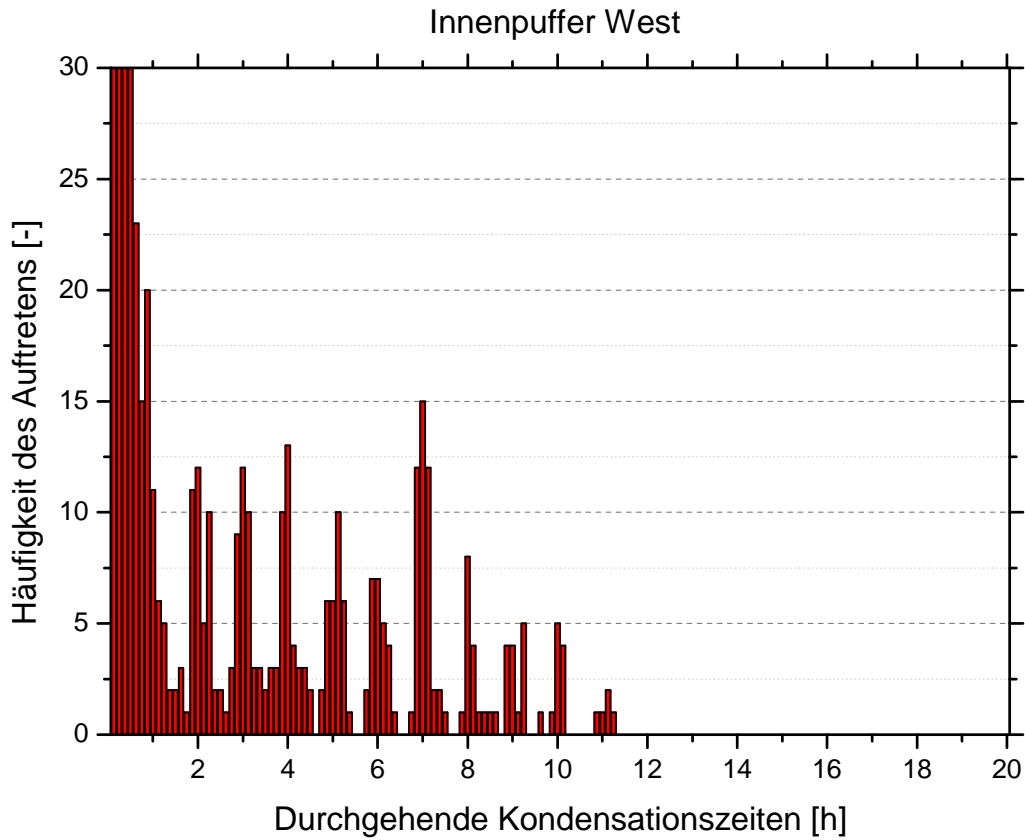
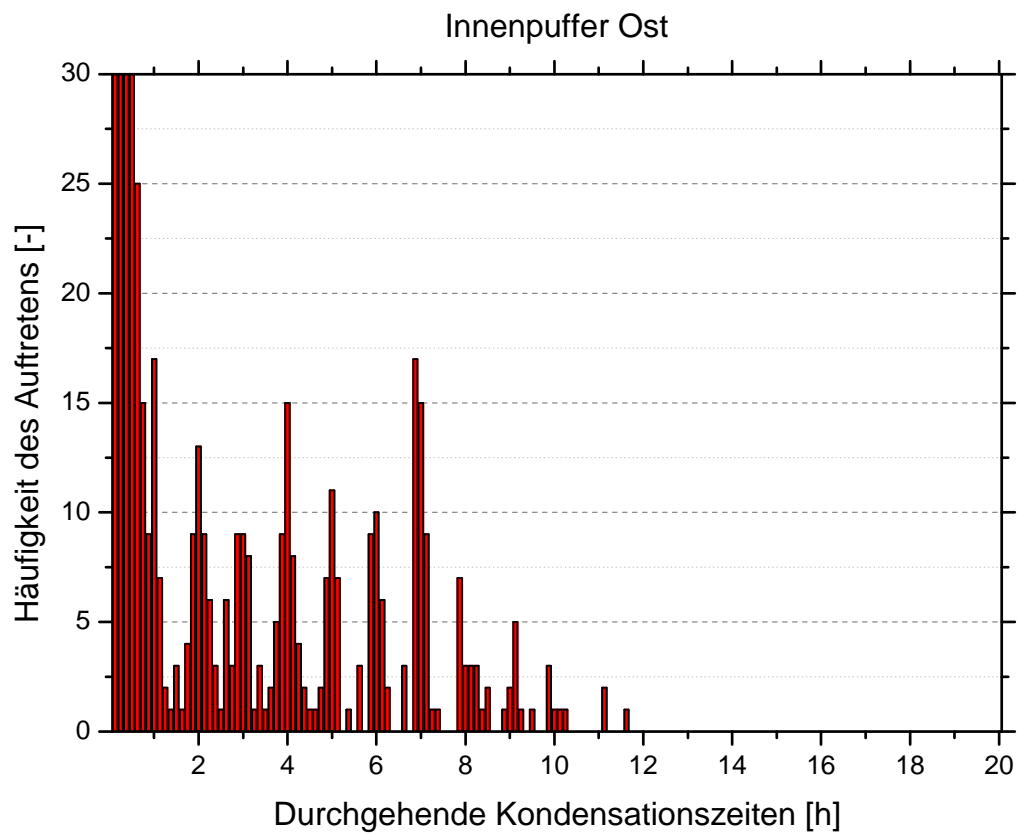
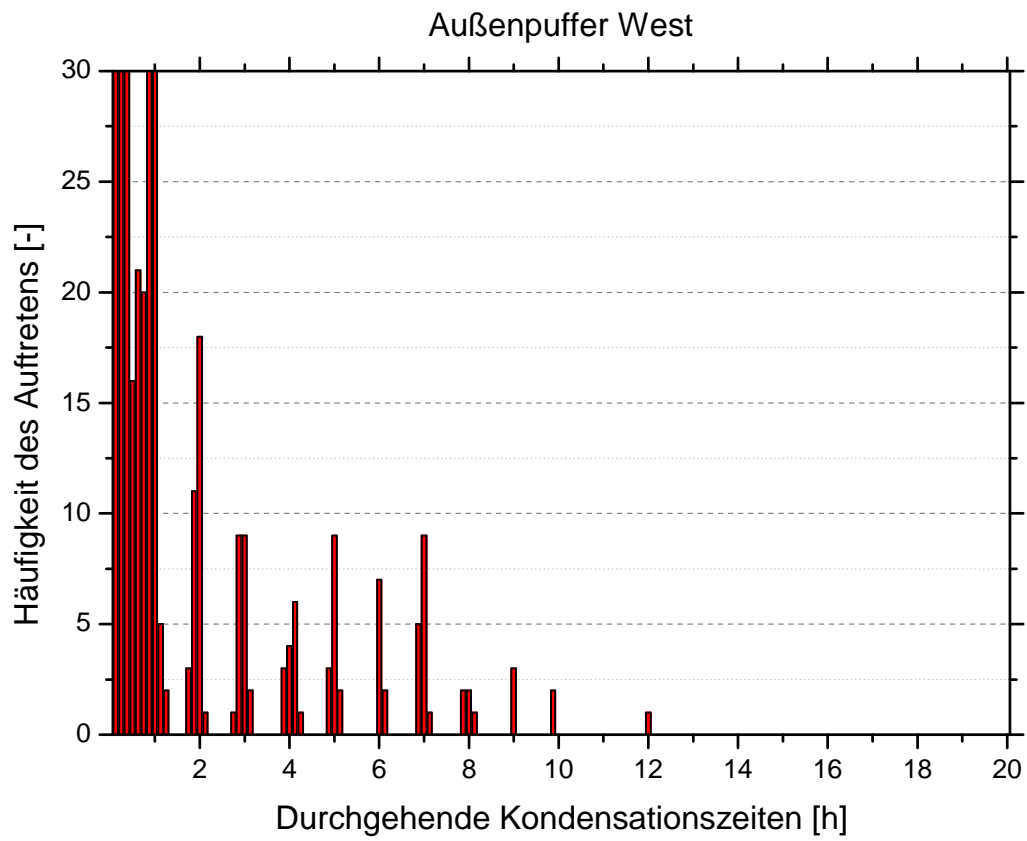
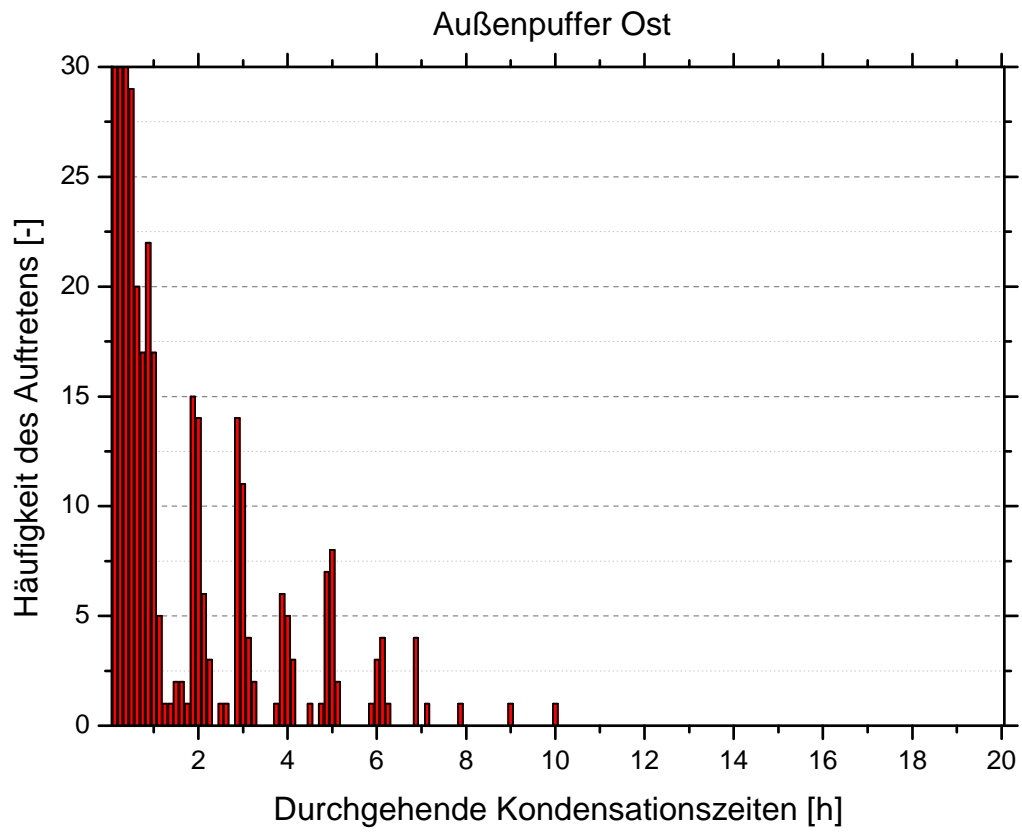


Abbildung 42: Kondensationshäufigkeitsverteilung in den Grünpuffern für die Variante FINAL01



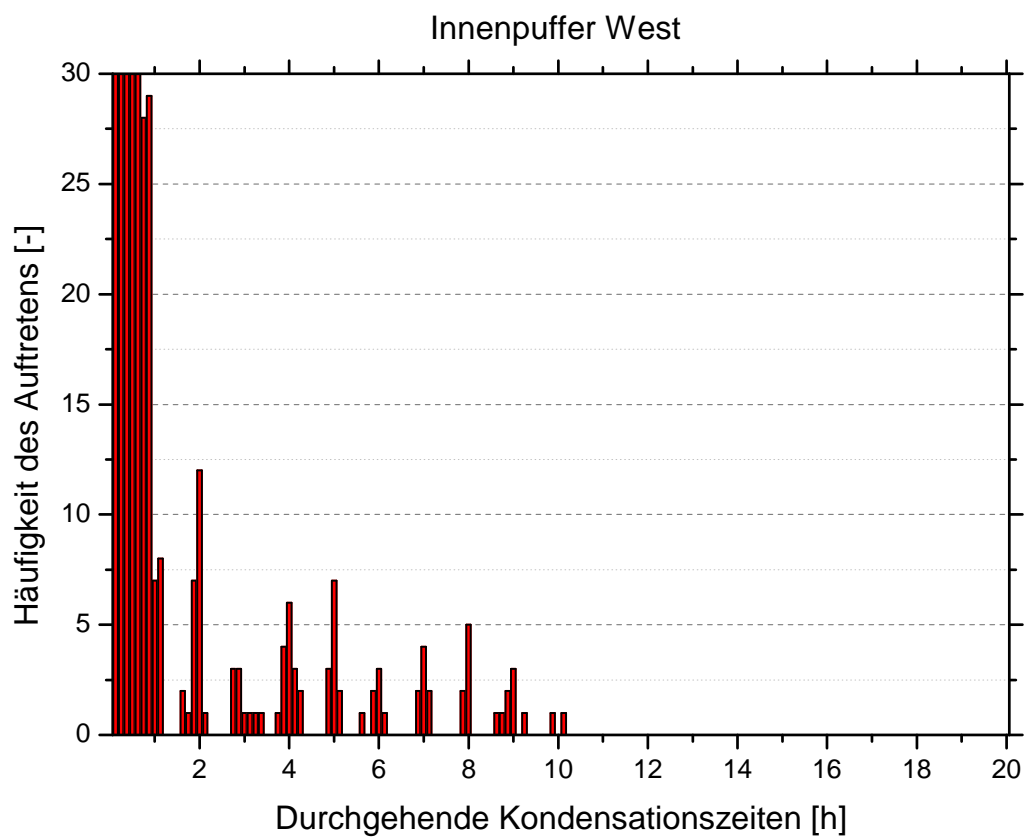
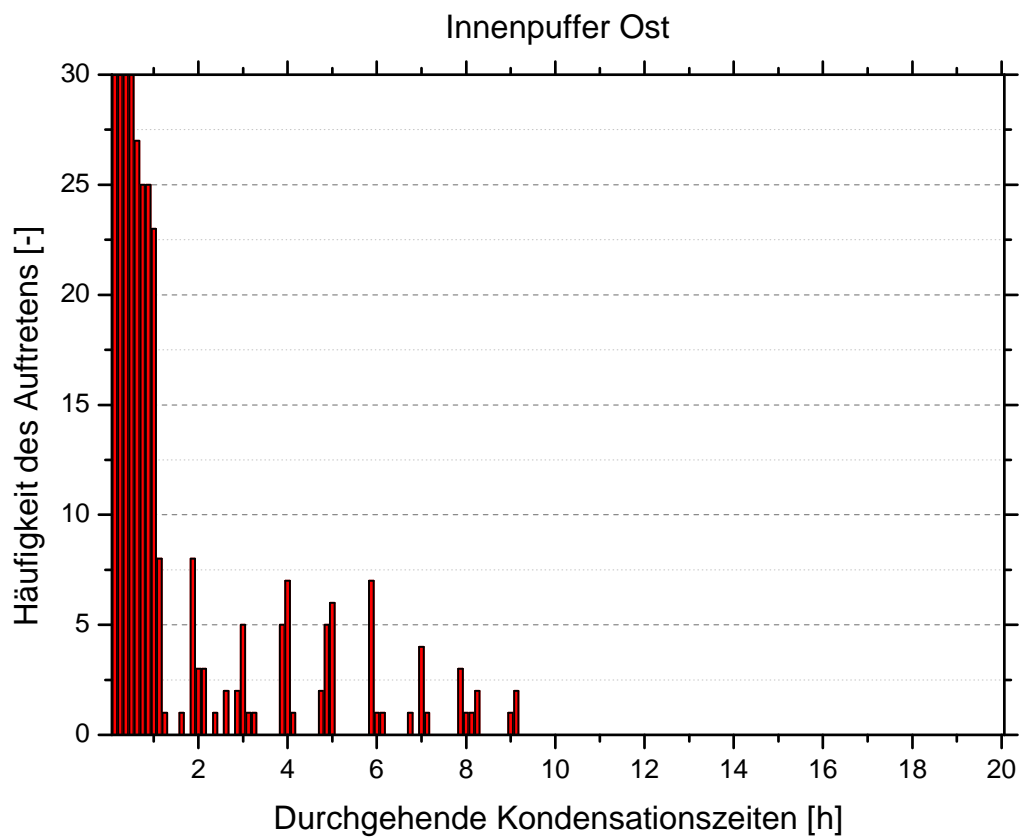
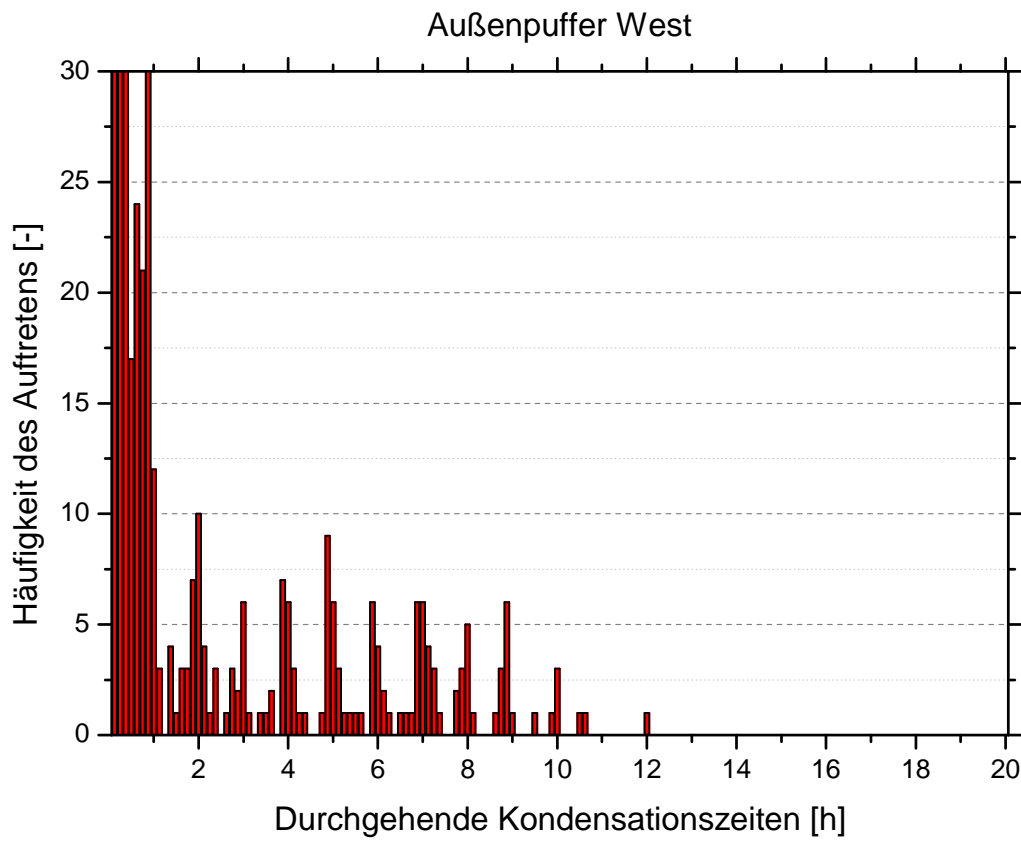
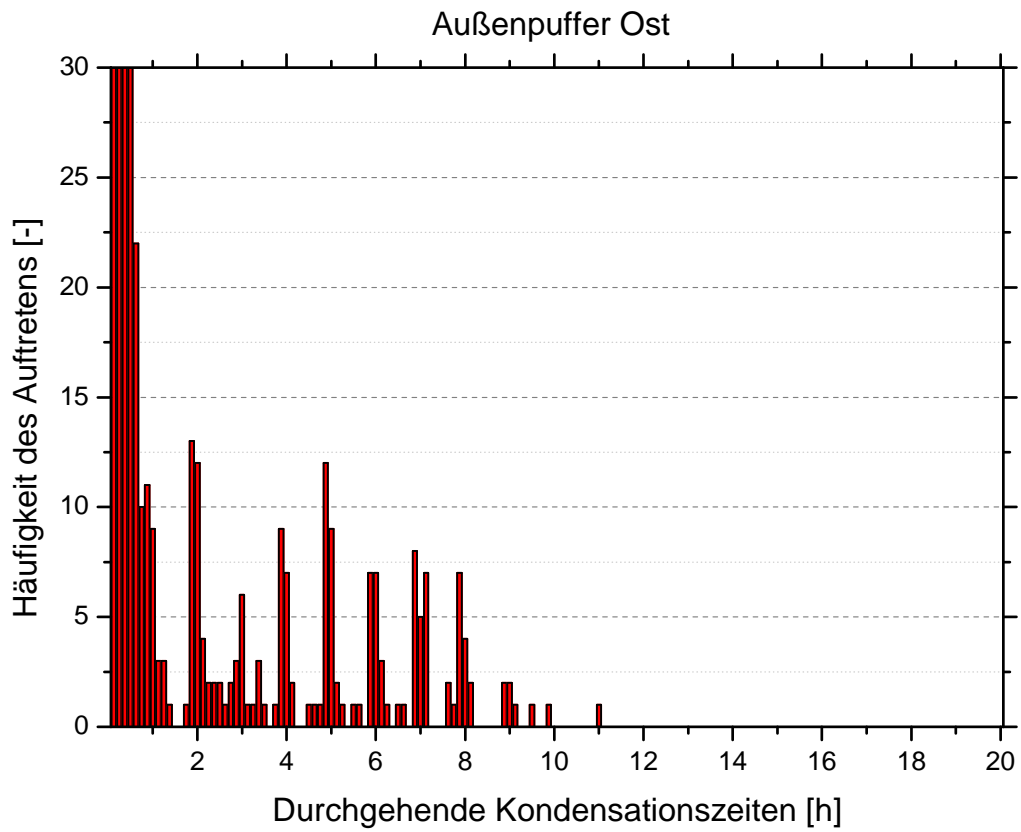


Abbildung 43: Kondensationshäufigkeitsverteilung in den Grünpuffern für die Variante FINAL02





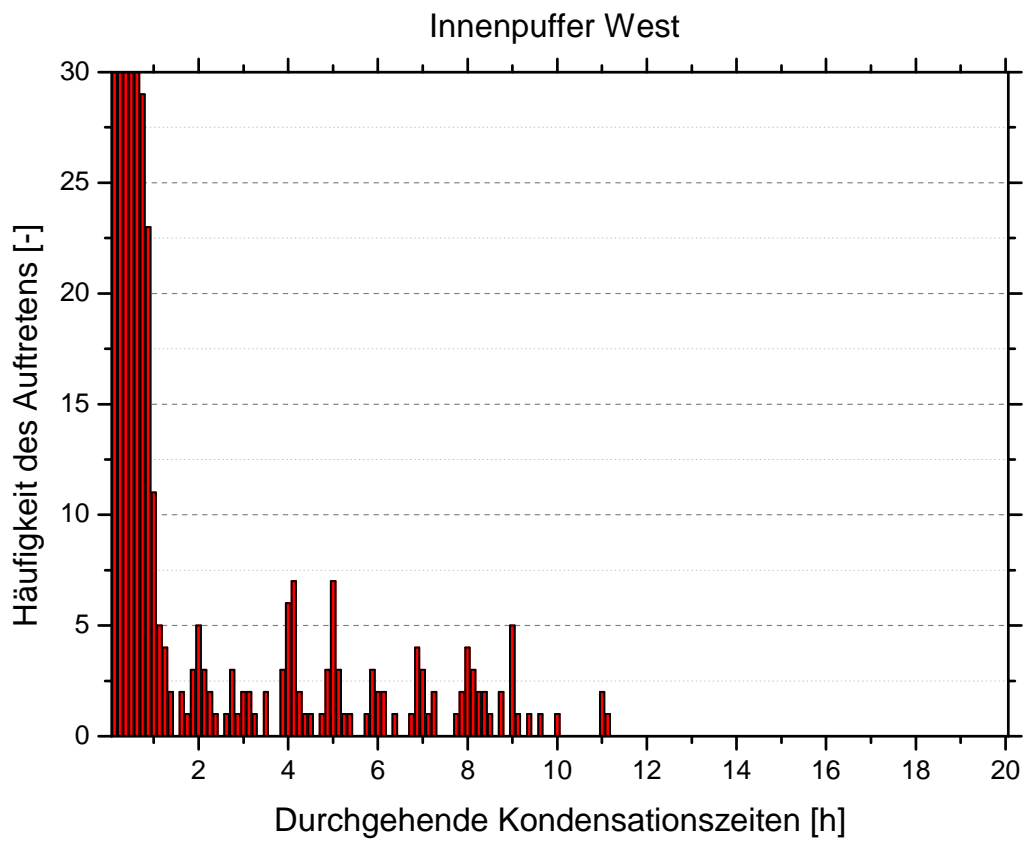
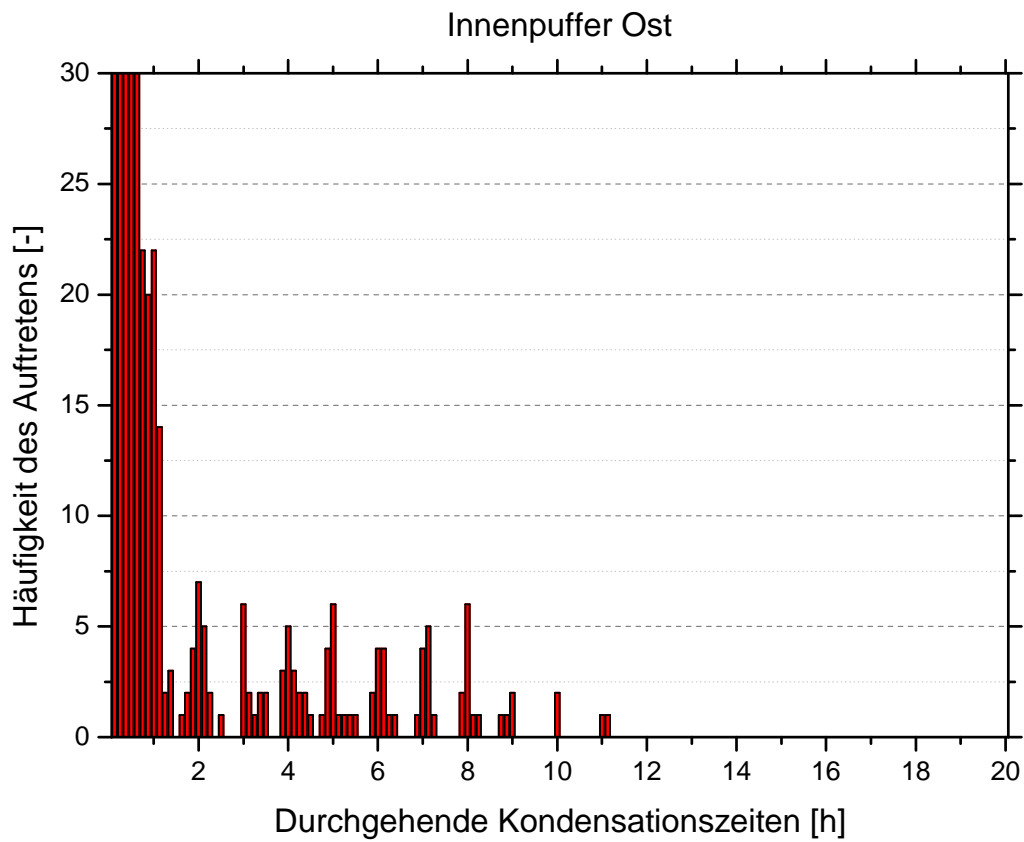
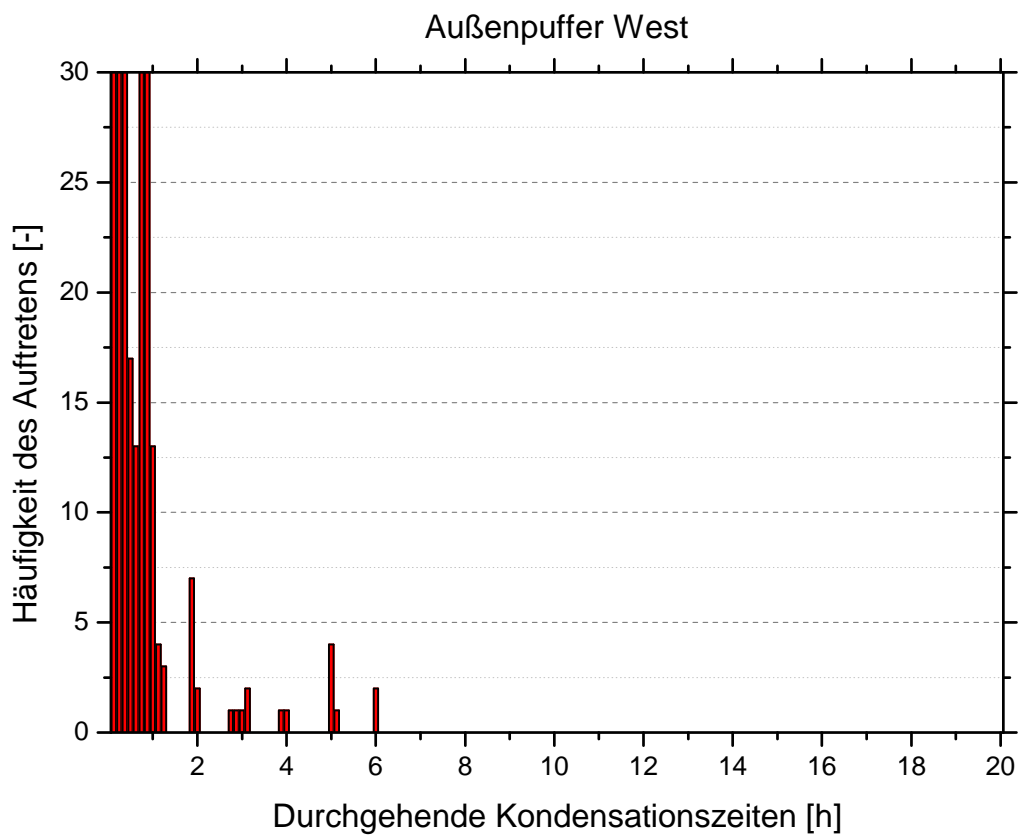
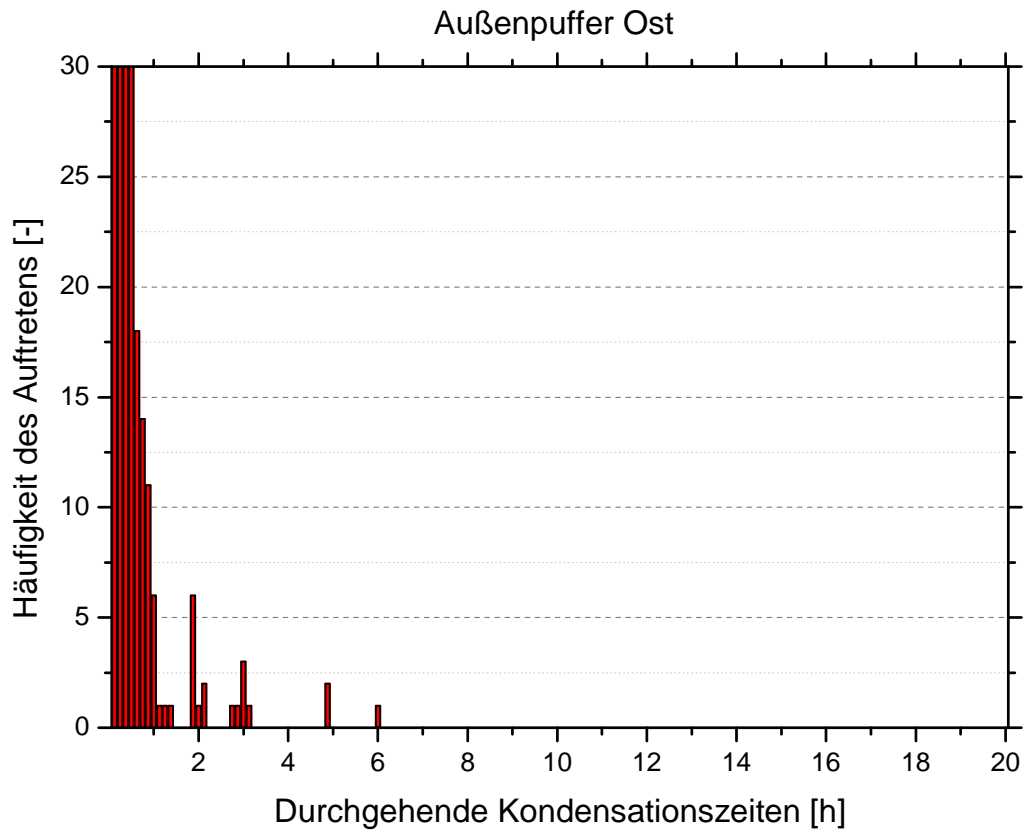


Abbildung 44: Kondensationshäufigkeitsverteilung in den Grünpuffern für die Variante FINAL03



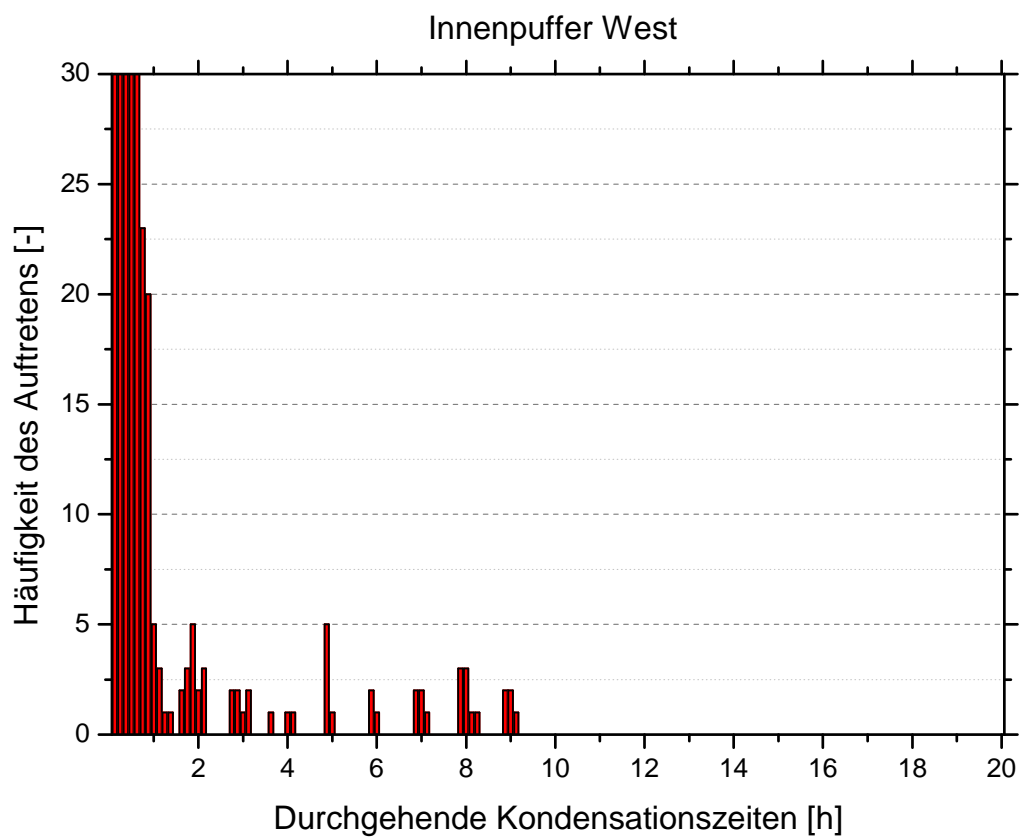
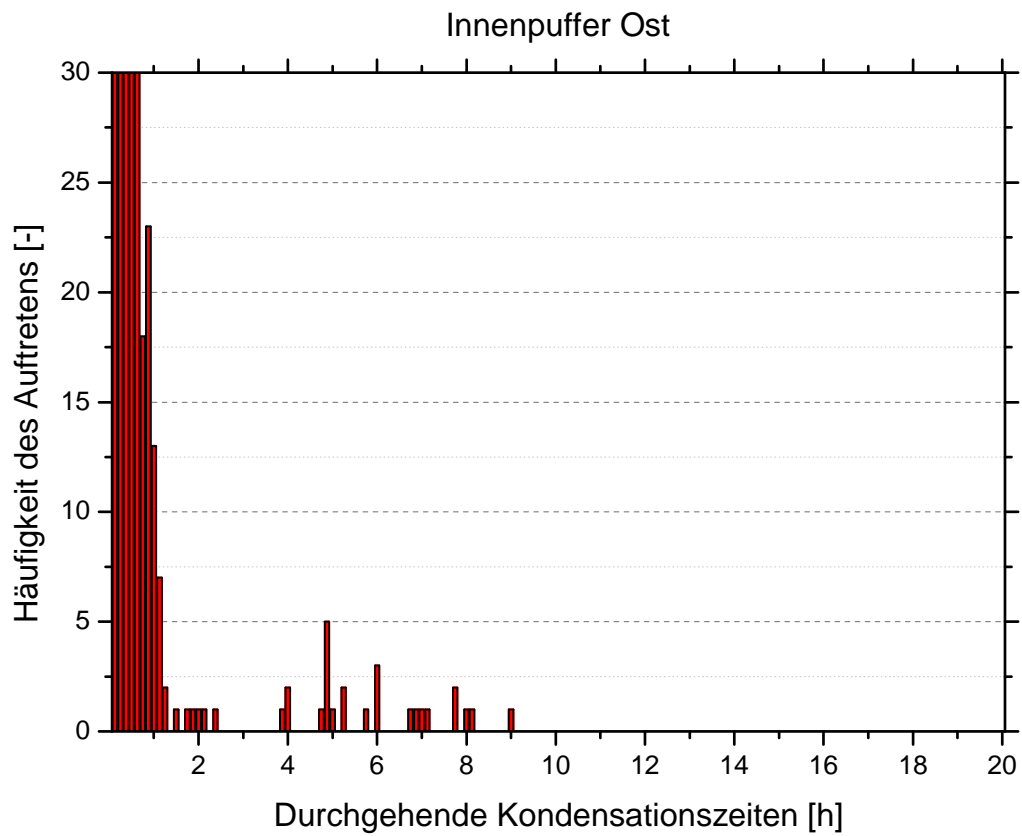


Abbildung 45: Kondensationshäufigkeitsverteilung in den Grünpuffern für die Variante FINAL04

### 7.3 Zusammenfassung

Für die 2-fach Verglasung mit Feuchterückgewinnung (FINAL01) kommen durchgehende Kondensationszeiten von über 10 Stunden relativ häufig vor (bis zu 5 mal, siehe Abbildung 42). Bei geregelter Feuchterückgewinnung (FINAL02) kommen 12 Stunden durchgehend Kondensation nur noch einmal im Außenpuffer West vor (siehe Abbildung 43). Ansonsten reduziert sich die Zeitspanne auf Werte unter 10 Stunden. Weiter reduzieren lässt sich dieser Wert auch mit der 3-fach Verglasung. Dies führt bei geregelter Feuchterückgewinnung (FINAL04) zu Werten, die deutlich unter 10 Stunden liegen. Werte über 2 Stunden durchgehender Kondensation kommen nur noch vereinzelt vor (siehe Abbildung 45).

## 8 Zusammenfassung

Die hier dokumentierten Simulationsvarianten haben letztlich zu Ergebnissen geführt, die eine Beurteilung der Kondensationsproblematik in den Grünpufferzonen ermöglicht. Sämtliche Daten sowie die erstellten Simulationsmodelle wurden für weitere Analysen an arsenal übergeben. Damit sollten eine energetische Bewertung und auch die Optimierung der Regelung durch Variation der Parameter möglich sein. Unter den hier angesetzten Randbedingungen führt eine geregelte Feuchterückgewinnung und eine 3-fach Außenverglasung letztlich zu den besten Ergebnissen hinsichtlich der Feuchteproblematik.

## 9 Anhang

### 9.1 Thermische Gebäude und Anlagensimulation mit TRNSYS

TRNSYS (Transient System Simulation Program) ist ein Programmpaket zur Berechnung des thermischen Verhaltens eines Gebäudes einschließlich der aktiven und passiven Komponenten zur Energieversorgung (z.B. Heizkessel, Wärmeverteilsystem, TWD, Kollektorsysteme) und zur Bilanzierung der auftretenden zeitabhängigen Energieströme. TRNSYS wurde ursprünglich für die detaillierte Analyse von Gebäuden mit aktiver Solartechnik entwickelt. Heute sind sowohl passive Solarkomponenten als auch herkömmliche Heiz- und Kühleinrichtungen als Modelle erhältlich. Der Vorteil von TRNSYS besteht in seiner Flexibilität und der Möglichkeit, ein System sehr detailliert nachzubilden. TRNSYS ist modular aufgebaut. Es enthält eine große Anzahl von Standardkomponenten, den TYPES, die je nach Anforderung zur Nachbildung des realen Systems zusammengebunden werden können. Die offene Struktur des Programms erlaubt es dem Anwender, selbst erstellte TYPES einzubinden und vorhandene Standardkomponenten zu verändern. Jeder TYPE beschreibt die Funktionsweise einer bestimmten Systemkomponente. Das reale Betriebsverhalten der Komponenten wird in den TYPES mit mathematischen Algorithmen nachgebildet. Zur Lösung des Gleichungssystems, das sich aus den Einzelkomponenten und deren logischen Verknüpfungen im Gesamtsystem ergibt, stehen in TRNSYS verschiedene Lösungsalgorithmen zur Verfügung. Die Zeitschrittweite und die Genauigkeit, mit der simuliert wird, sind durch den Anwender wählbar. Prinzipiell können alle Eingangs- und Ausgangsgrößen jeder Komponente ausgegeben werden. Die Ausgabegrößen können zudem über definierte Zeitintervalle (Tage, Monate, Jahre) integriert werden.

## **Gebäudesimulation**

Für die dynamische Gebäudesimulation wird das Gebäude in thermische Zonen aufgeteilt. In der Regel werden einzelne Räume oder auch Raumgruppen, die gleiche Randbedingungen wie Nutzung, Belegung oder Verglasung aufweisen zu einer Zone zusammengefasst. Jede Zone wird durch einen Luftknoten repräsentiert, der die Kapazität des Inhalts des Zonenvolumens hat. Die Energiebilanz der Zone wird an diesem Luftknoten durchgeführt. Grundlage der Bilanz ist der Energieerhaltungssatz. Der Strahlungsaustausch zwischen den Oberflächen wird separat gerechnet. Die solaren Gewinne finden nur indirekt Eingang in die Bilanzierung. Die Strahlung wirkt über den Umweg der Absorption an den Hüllflächen der Zone und die nachfolgende konvektive Wärmeabgabe an den Raum auf den Luftknoten. Dies gilt auch für den Strahlungsanteil interner Wärmequellen. Das thermische Modell der Wände basiert auf der Response-Faktoren-Methode von Mitlas und Arsenault. Vor dem eigentlichen Simulationslauf wird das thermische Verhalten der Wand als Transferfunktion berechnet, auf die in der Simulation zugegriffen wird. Die Stoffwerte werden vor der Simulation als Konstanten festgelegt, die Abhängigkeit von physikalischen Zustandsgrößen findet keine Berücksichtigung.

## **Simulationsmethodik**

Die dynamische Gebäudesimulation wird in TRNSYS mit einem Unterprogramm - dem TYPE 56 - durchgeführt. Die Vielzahl der benötigten Gebäude- und Wetterdaten, die Einfluss auf das Gebäudeverhalten haben, wird zunächst extern zusammengestellt und dem eigentlichen TRNSYS - Simulationslauf durch entsprechende Eingabedateien übergeben.

Aus der Nutzung des Gebäudes und der Gebäudegeometrie ergibt sich die Einteilung in thermische Zonen. Mit den, aus den Gebäudeplänen ermittelten Abmessungen, den Materialdaten und weiteren Gebäudedaten (Luftwechselraten, Solltemperaturen etc.) wird über einen Editor (benutzerfreundliche Oberfläche „PREBID“) das „Building Input Description-File“ (.bid) erstellt. Aus der Building Description erzeugt das BID-Programm die Übergabedateien (.bld und .trn) für die TRNSYS-Simulation. Das .bld-File enthält die Geometriedaten des Gebäudes, die Transferfunktionen der Wände sind im .trn- File niedergelegt. Im Userfile .usr werden die für den in der Simulation aufgerufenen TYPE 56 nötigen INPUTS und die verfügbaren OUTPUTS aufgelistet.

Die Eingabedatei für die TRNSYS-Simulation des Gebäudes ist das sogenannte Deck-File. Hier werden die Übergabedateien für das Gebäude und die Wetterdaten aufgerufen, eingelesen und mit den in der Simulation benötigten TYPES verknüpft. So werden zum Beispiel die Strahlungsdaten aus dem Wetterdatensatz zuerst in einem Radiation Processor (TYPE 16) nach einem vorgewählten Himmelsmodell auf die Neigung und Orientierung der im .bid vereinbarten Gebäudeaußenflächen umgerechnet, bevor diese an den TYPE 56 übergeben werden können. Die Liste der INPUTS aus dem Userfile wird hier zur Vereinbarung des TYPE 56 im Deck benötigt. Zudem kann die Gebäudesimulation durch andere Komponenten, wie z.B. einem Wärmetauscher für die mechanische Lüftung, ergänzt werden. Die Ergebnisse der Simulation werden gezielt durch das Aufrufen der gewünschten OUTPUTS in einem Ausgabe-TYPE erzeugt.

## **Grenzen der dynamischen Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens mit TRNSYS:**

TRNSYS verwendet zur Nachbildung des thermischen Gebäudeverhaltens ein Bilanzmodell mit einem Raumlufknoten pro Zone. Die Raumgeometrie ist nur durch die Größe der Flächen für den Wärmedurchgang und die Strahlungsverteilung zwischen den Flächen berücksichtigt. Die Aussagen über Raum- und Oberflächentemperaturen sind damit auf räumliche bzw. örtliche Mittelwerte beschränkt.

Bei Betrachtung von Komfort und Raumklima in größeren Räumen spielen Luftströmungen eine bedeutende Rolle, z.B. bei Zugserscheinungen oder als Frischluftzug bei Luftheizungen. Die Behandlung solcher Phänomene erfordert eine dreidimensionale Auflösung der Strömungsvorgänge, die nur von CFD Programmen (Computed Fluid Dynamics) geleistet werden. Selbst diese speziellen Programme befinden sich zur Zeit für statische dreidimensionale Methoden noch im Validierungsstadium. Das Einknotenmodell von TRNSYS kann nur den Raumlufwechsel pro Zone berücksichtigen.

Das Nutzerverhalten in Gebäuden kann einen Mehrverbrauch an Heizenergie von bis zu 100 % bedingen. Einer Gebäudelastsimulation ist immer ein festes Nutzerschema zugrunde gelegt. Insbesondere die Beschreibung des Lüftungsverhaltens ist kritisch zu betrachten, da nur eine kontrollierte Lüftung beschrieben und berechnet werden kann. Freie Lüftung wird auch über eine feste Luftwechselrate in das Modell eingeführt. Dasselbe gilt für die Bedienung elektrischer Verbraucher und das Auftreten interner Wärmequellen. Aussagen können also nur bezüglich eines Standardnutzers gemacht werden. Eine Überprüfung bei angenommenem falschen Nutzerverhalten kann zum Vergleich herangezogen werden. Untersuchungen von Systemen mit sehr kleinen Zeitschritten sind unter TRNSYS nur eingeschränkt durchführbar. Das Gebäudemodell und die Numerik sind auf die schnelle Berechnung ganzer Jahresdurchläufe, in der Regel im Stundenzeitschritt, angepasst. Der Zeitschritt kann nur als konstant vorgegeben werden und führt bei Größenordnungen kleiner weniger Sekunden zu numerischen Instabilitäten. Die klimatischen Randbedingungen werden in der Regel aus Referenzwetterdaten gebildet, wie sie vom [Deutschen Wetterdienst](#) als "Testreferenzjahre" für bestimmte Regionen Deutschlands angeboten werden. Aber auch Klimadatengeneratoren (z.B. Meteonorm) erzeugen generierte Jahresprofile der Klimadaten eines Standortes. Solche Datensätze sind künstlich erzeugte Jahresprofile für ein typisches Jahr am Standort. Lange Hitze- und Kälteperioden bleiben meist, da sie nicht typisch für den Standort sind, unberücksichtigt.

## **Möglichkeiten der dynamischen Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens mit TRNSYS**

Neben den üblichen Simulationaufgaben, wie:

- Dynamische Heiz- und Kühllastermittlung für die thermischen Zonen.
- Winterliches und sommerliches Temperaturverhalten in den thermischen Zonen.
- Parameterstudien zu Wandaufbauten, Dämmstärken, Fensteranteilen, -qualitäten und -orientierungen.
- Auslegung solarer Brauchwasserbereitungssysteme.

bietet die Simulation mit [TRNSYS](#) den Einsatz folgender - heute oftmals unerlässlicher - Komponenten zur Erstellung eines Gebäude- und Anlagenkonzeptes an:

- Dynamische Betrachtung und Auslegung von Fußboden-, Wand- und Deckenregistern und -Hypokausten zur Beheizung und/oder (Nacht-) Kühlung.
- Berücksichtigung des interzonalen Luftwechsels bei Galerien, Atrien und Wintergärten (passive Klimatisierung).
- Zonale Nachbildung (Zu- und Abluft) und Integration kontrollierter Wohnraumlüftungen zu deren Feinabstimmung.
- Dimensionierung von kontrollierten Wohnraumlüftungen mit WRG zur Luftheizung mit nachgeschalteter Luft/Luft-Wärmepumpe und vorgeschaltetem Erdwärmetauscher für Minimalenergiehäuser.
- Nachbildung und wirtschaftliche Dimensionierung von Erdwärmetauschern (zur Luft- und Wasservorwärmung und/oder -kühlung) z.B. im Hinblick auf ganzjährige Vermeidung von Vereisung an Luft/Luft-Wärmetauschern in Wechselwirkung mit dem Erdreich und dem Gebäude.
- Auslegung teilsolarer Raumheizungen mit Niedertemperaturflächenheizung - wirtschaftliche Anlagengesamtdimensionierung bei angestrebten solaren Deckungsgrad.
- Luft- und Fensterkollektoren als Ein- oder Zweikreissysteme mit Steinspeichern und/oder Hypokausten.
- TWD - Anwendungen verschiedener Hersteller und Optimierung in Bezug auf die Fläche, Massivwand, die Verschattungsstrategie usw.
- Erstellen von Heizgeraden für luft- und wassergeführte Systeme als Funktion der Umgebungstemperatur, der Einstrahlung und der internen Gewinne.
- Feinabstimmung verschiedenster Regelungsmechanismen.
- Nachbildung jeder Art und Regelung von Verschattungseinrichtung zur Vermeidung von sommerlicher Überhitzung.

## 9.2 Quellenangaben

- [1] [www.energybase.at](http://www.energybase.at)
- [2] Vorgaben zur Berechnung der Feuchtigkeitsabgabe der Pflanzen (Cyperus alternifolius, Prima Klima). Übermittelt durch pos architekten am 04.12.2006.
- [3] ACAD Pläne zum Planungsstand des Gebäudes Energybase. Übermittelt durch pos architekten am 06.12.2006. Dateien: SEB-1.OG - SEB-2.OG-DG - SEB-DET-Grünpuffer West,Ost - SEB-Schnitt Grünpuffer innenliegend
- [4] Simulationsmodell des Gebäudes Energybase, aufgestellt von Arsenal Research, übermittelt ans Institut für Wärmetechnik am 17. Jänner 2007 per mail.



Forschungsprojekt  
INTEREG IIIa AT – SK

## **TECHbase Centrope**

**Umsetzung eines Nachhaltigen Gebäude- und Energiekonzeptes für  
das Büro- und Gewerbegebäude „Sunny Energy Building“**

## **Fachlicher Teilbericht**

**Strömungssimulation (CFD) im Bauvorhaben ENERGYbase**

## **Fachlicher Schlussbericht 2008**

Wien, im Juni 2008

## **ENERGYbase Strömungssimulation (CFD)**

Während der Planung des ENERGYbase Gebäudes wurden verschiedenste Fragestellungen hinsichtlich Gebäudehülle, Bauteilaktivierung, Grundwassernutzung, außen- bzw. innen liegender Verschattung mittels dynamischer Gebäude- und Anlagensimulation (TRNSYS) für den gesamten Jahresgang untersucht. Weiters wurde vom Planungsteam die Untersuchung verschiedener Konzepte zur Heizung und Belüftung der Mittel- und Südbereiche des Gebäudes hinter der gefalteten Südfassade hinsichtlich deren Auswirkung auf den Innenraumkomfort nachgefragt. Zur Beantwortung der spezifischen Fragestellungen bei diesen innovativen Heizungs- und Belüftungskonzepten wurde numerische Strömungssimulation, CFD (Computational Fluid Dynamics), als zusätzliches Simulationswerkzeug eingesetzt. Spezielle Aussagen hinsichtlich Innenraumkomfort, die verknüpft sind mit z.B. Temperaturschichtung oder Frischluftdurchmischung in den Räumen, können nur auf Basis dieser detaillierten physikalischen Simulationen abgeleitet werden. Die Ergebnisse unterstützen im Rahmen der wissenschaftlichen Planungsbegleitung das Planungsteam. Aufgrund des großen Rechenaufwandes bei CFD-Simulationen ist die Berechnung eines Jahresganges analog zu den TRNSYS-Simulationen mit der heute verfügbaren Rechnerleistung unmöglich. Daher ist eine Beschränkung auf ausgesuchte Szenarien (d.h. einen ausgewählten Satz an Randbedingungen für bestimmte Zeitpunkte des Jahres) notwendig.

Beantwortet wurden folgende Fragestellungen des Planungsteams in Phase 1 der CFD-Simulationen:

- 1) Besteht die Notwendigkeit einer die Bauteilaktivierung ergänzenden Zusatzheizung im Rahmen des Belüftungssystems an der Südfassade?
- 2) Kommt es zum Auftreten einer sommerlichen Überhitzung in den Südräumen?
- 3) Erfolgt genügend Frischluftdurchmischung ( $\text{CO}_2$  Konzentration) der Südräume?

Weiters wurden folgende Punkte in Phase 2 der CFD-Simulationen untersucht:

- 4) Temperatur- und Strömungssituation bei vollkommen neuen Auslasstypen
- 5) Auswertung des thermischen Komforts, PPD, nach ISO7730
- 6) Zugluftrisiko Auswertung nach ISO7730

### **Modellerstellung CFD-Simulation**

Zuerst wurde ein dreidimensionales, alle relevanten geometrischen Details berücksichtigendes Modell des betrachteten Bereiches erstellt. Entsprechend der konkreten Fragestellungen und nach Maßgabe der verfügbaren Rechnerleistung wurde der Bereich des Gebäudes, der mittels CFD-Simulationen im Detail untersucht wird, auf den westlichen Randmodul des dritten Obergeschoßes eingeschränkt.

Abbildung 1 zeigt schwarz umrandet den ausgewählten Bereich. Abbildung 2 zeigt das erstellte Geometriemodell, das die Türschlitze zur Überströmung der Luft aus dem Nordteil, sämtliche weiteren Zu- und Abströmöffnungen des Südteils, Wände und Möblierung enthält.

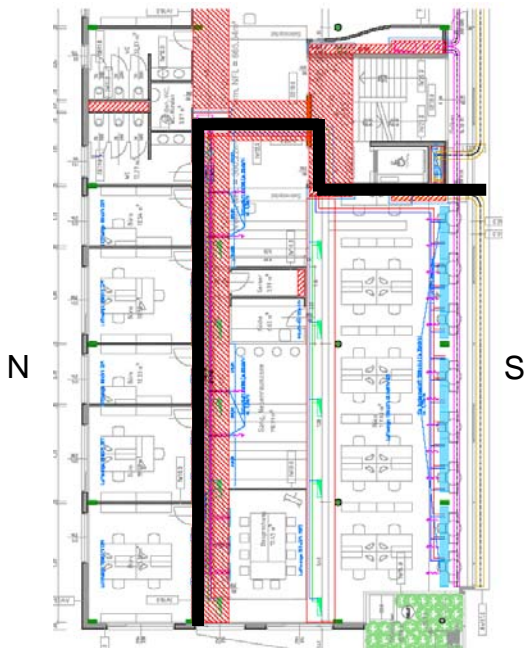


Abbildung 1: Planausschnitt

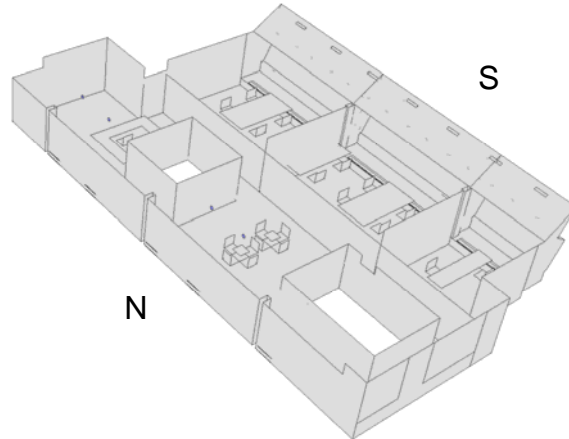


Abbildung 2: Geometriemodell

Aufgrund bereits gemachter Erfahrungen wurden die Untersuchungen für die Außenklima-Bedingungen des Meteonorm Datensatzes 5. Jänner, 12 Uhr Mittags und 12. September 12 Uhr Mittags festgelegt (Abbildung 3).

Die Schnittstelle zwischen TRNSYS- und CFD-Simulationen umfasst insgesamt: Die Meteonorm Daten für einen gegebenen Zeitpunkt, die in TRNSYS daraus zusätzlich abgeleiteten Strahlungsdaten auf die Fassade, und die aus den dynamischen, thermischen Gebäude- und Energiesystemsimulationen mittels TRNSYS für genau diese Stunde des Jahres resultierenden Temperaturen der Raumumschließungsflächen (Abbildung 4) sowie die Zulufttemperaturen.

Stundenwerte für den 5. Jänner											
Ausgangsdaten aus Meteonorm [Meteonorm], Standort Wien								mit TRNSYS [TRNSYS] berechnete Solarstrahlung auf			
Stunde des Jahres	Stunde des Tages	Sonnenhöhe	Azimet	Globalstrahlung horizontal	Diffusstrahlung horizontal	Lufttemperatur	relative Luftfeuchtigkeit	vertikale Süd-fassade	vertikale West-fassade	Solar-paneel	Süd-verglasung
[h]	[h]	[°]	[°]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[°C]	[%]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]
108	12	18.9	-7	33.31	33.31	-2.1	91	20	19.99	31	13.94

Stundenwerte für den 12. September											
Ausgangsdaten aus Meteonorm [Meteonorm], Standort Wien								mit TRNSYS [TRNSYS] berechnete Solarstrahlung auf			
Stunde des Jahres	Stunde des Tages	Sonnenhöhe	Azimet	Globalstrahlung horizontal	Diffusstrahlung horizontal	Lufttemperatur	relative Luftfeuchtigkeit	vertikale Süd-fassade	vertikale West-fassade	Solar-paneel	Süd-verglasung
[h]	[h]	[°]	[°]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[°C]	[%]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]
6108	12	45,8	-7,2	716.19	143.01	19,9	49	758	500.81	957	380.9

Abbildung 3: Meteonorm Datensatz 5. Jänner, 12 Uhr Mittags und 12. September 12 Uhr Mittags



**Abbildung 4: Beispielhaft die Temperaturen der Raumumschließungsflächen aus der TRNSYS-Simulation für 5. Jänner, 12 Uhr Mittags. Alle Zulufttemperaturen sind in diesem Fall mit 20°C festgelegt.**

Alle Simulationen der Phase 1 der CFD Simulationen wurden für Zweischiebenverglasung der Südfassade mit  $u=1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$  und  $g=0.63$  durchgeführt. Schließlich umfassen die Randbedingungen für eine CFD-Simulation nicht nur die Außenklima-Bedingungen, die Temperaturen der Raumumschließungsflächen und die Zulufttemperaturen. Entscheidend für das Strömungsfeld im Raum sind auch Geometrie und Volumenstrom der Zu- und Abluftöffnungen. Im speziellen Fall mussten besonders an der Südfassade die 1.2m langen und 0.34m breiten Bodenluftauslässe mit Induktionswirkung und integrierter Zusatzheizung hinsichtlich Geometrie und Funktionsweise sinnvoll abgebildet werden, ohne diese Auslässe in Geometrie und Durchströmung im Detail mitzusimulieren.

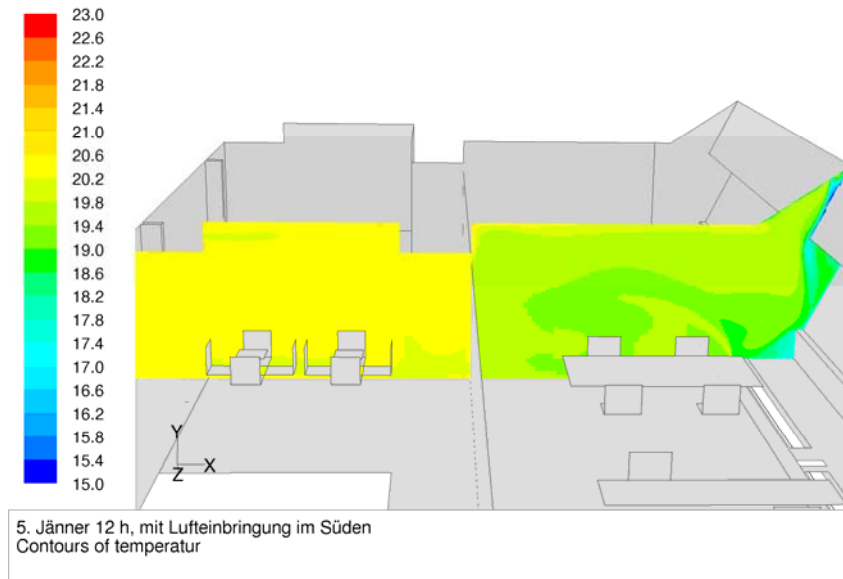
Das Geometriemodell wird dann mit einem Berechnungsnetz aus Volumenzellen gefüllt, in denen die Strömungs-, Temperatur- und Strahlungsgleichungen gelöst werden. Als Lösung erhält man das Strömungsfeld in der untersuchten Geometrie hinsichtlich Geschwindigkeitsbetrag und Strömungsrichtung, sowie die Temperaturverteilung im Raum. Abhängig von den Analyseergebnissen können in weiterer Folge die Auswirkungen von Randbedingungsvariationen kostengünstig bereits im Planungsstadium untersucht werden.

### Ergebnisse CFD-Simulation – Phase 1

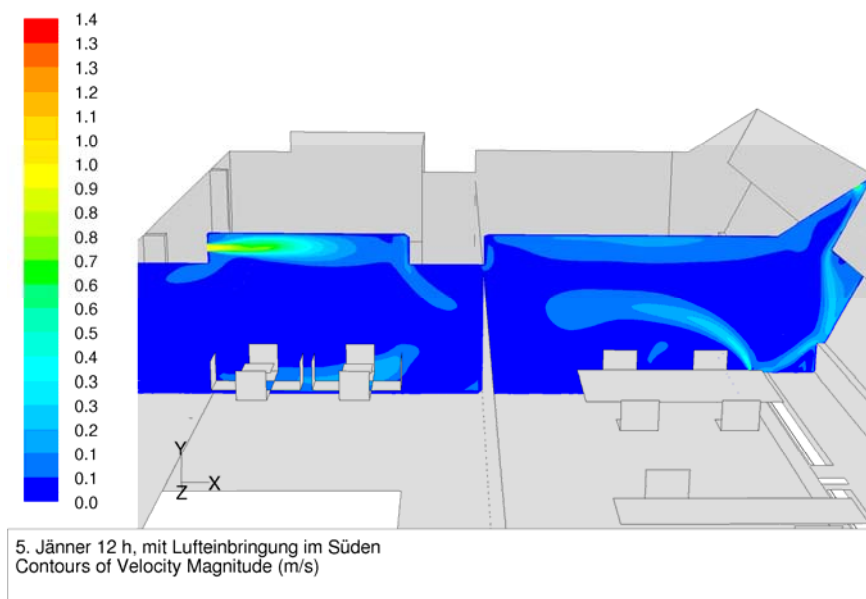
Die im Rahmen der ersten Phase untersuchten Luftführungsvarianten im westlichen Randmodul des dritten Obergeschosses und die erzielten Ergebnisse sind zusammengefasst:

<b>Variante 1:</b> „Überströmung Besprechungsraum“ 5. Jänner, 12h:	<b>Variante 2:</b> „Lufteinbringung Südfassade“ 5. Jänner, 12h:
Überströmung aus den Nordbüros über 5x2 Türschlitze mit 20°C, 440 m <sup>3</sup> /h	
Frischlufte aus 4 Wandquellenauslässen im Mittelteil mit 20°C, 260 m <sup>3</sup> /h	
Überströmung aus dem mit Frischluft versorgten Besprechungsraum in den	Keine Überströmung aus dem Besprechungsraum

Südbereich mit 20°C, 455 m <sup>3</sup> /h	
Keine Zuluft einbringung an der Südfassade	13 Bodenluftauslässe, 1.2m x 0.34 m, entlang der Südfassade, mit Induktionswirkung und integrierter Zusatzheizung, Zuluft 1137.5 m <sup>3</sup> /h davon 455 m <sup>3</sup> /h Primärluft, (13 mal 35 m <sup>3</sup> /h Primärluft, 52.5 m <sup>3</sup> /h Induktionsluft), Zulufttemperatur 20°C
Abluftabsaugung an der Süddecke über 7 Absaugöffnungen, 1055 m <sup>3</sup> /h	
Abluftabsaugung in der Küche über 2 Türschlitze, 100 m <sup>3</sup> /h	



**Abbildung 5: Variante 2: „Lufteinbringung Südfassade“ 5. Jänner, 12h, Temperaturverteilung [°C], 13 Bodenluftauslässe mit Induktionswirkung**



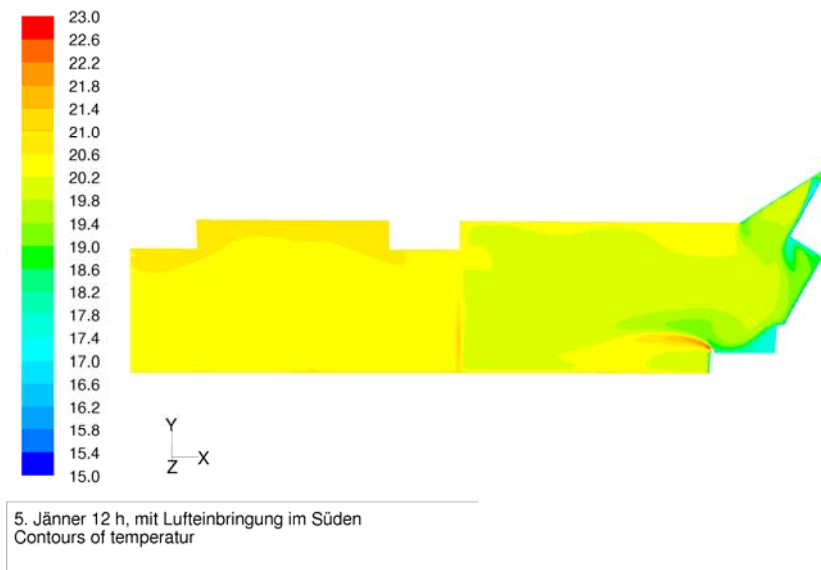
**Abbildung 6: Variante 2: „Lufteinbringung Südfassade“ 5. Jänner, 12h, Geschwindigkeitsverteilung [m/s], 13 Bodenluftauslässe mit Induktionswirkung**

Abbildung 5 zeigt die Temperaturverteilung [°C] in der Schnittebene z=10.5 m. Abbildung 6 gibt die Verteilung des Betrags der Luftgeschwindigkeit [m/s] in der Schnittebene z=10.5 m an.

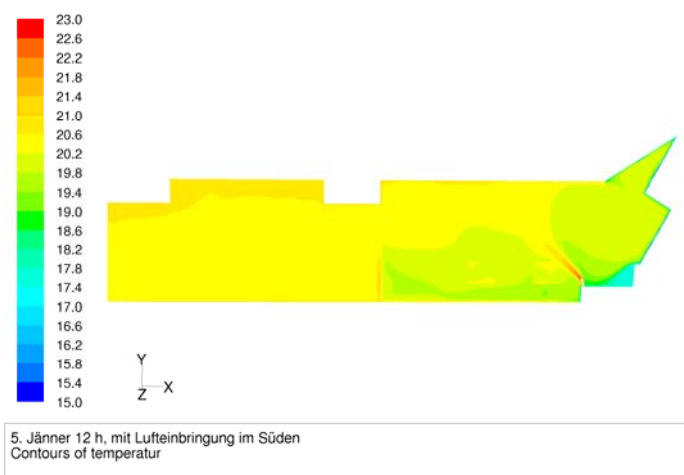
Ergebnis der Berechnungen von Variante 1 und Variante 2: Ohne Zuluft einbringung an der Südfassade kann kein hinreichend behagliches Raumklima in den Südräumen erzeugt werden. Diese Zuluft an der Südfassade kann zentral temperiert werden, eine lokale Zusatzheizung in den Bodenluftauslässen ist nicht erforderlich. Die Wandquellauslässe im Mittelteil sind für eine ausgewogene Frischluftverteilung bei Lufteinbringung an der Südfassade nicht notwendig. Das Belüftungskonzept für die Südräume und für den Besprechungsraum wurde dementsprechend abgeändert.

Im Winterfall dient die Induktionswirkung der Bodenluftauslässe an der Südfassade der Absaugung und Erwärmung der kalten Luft, die an der Fassade abfällt. Im Sommerfall ist die Induktionswirkung der Bodenluftauslässe aufgrund der lokalen Mischung der Primärluft im Auslass mit der Luft im heißen Fassadenbereich eher ungünstig. Daher wurden in weiterer Folge auch Berechnungen ohne Induktionswirkung durchgeführt.

<b>Variante 3:</b> „Lufteinbringung Südfassade“ 5. Jänner, 12h: 13 Bodenluftauslässe, zentral temperierte Zuluft 25°C	<b>Variante 4:</b> „Lufteinbringung Südfassade“ 5. Jänner, 12h: 8 Bodenluftauslässe, zentral temperierte Zuluft 25°C, Volumenstrom pro Auslass erhöht
Überströmung aus den Nordbüros über 5x2 Türschlitze mit 20°C, 440m <sup>3</sup> /h	
Keine Wandquellauslässe im Mittelteil	
Keine Überströmung aus dem Besprechungsraum	
13 Bodenluftauslässe, 1.2m x 0.038 m, entlang der Südfassade, ohne Induktionswirkung, Zulufttemperatur 25°C, 715 m <sup>3</sup> /h, 13 mal 55 m <sup>3</sup> /h	8 Bodenluftauslässe, 1.2m x 0.038 m, entlang der Südfassade, ohne Induktionswirkung, Zulufttemperatur 25°C, 715 m <sup>3</sup> /h, entsprechend erhöhter Volumenstrom pro Auslass, 8 mal 89.4 m <sup>3</sup> /h
Abluftabsaugung an der Süddecke über 7 Absaugöffnungen, 1055 m <sup>3</sup> /h	
Abluftabsaugung in der Küche über 2 Türschlitze, 100 m <sup>3</sup> /h	



**Abbildung 7: Variante 3: „Lufteinbringung Südfassade“ 5. Jänner, 12h, Temperaturverteilung [°C], 13 Bodenluftauslässe ohne Induktionswirkung**

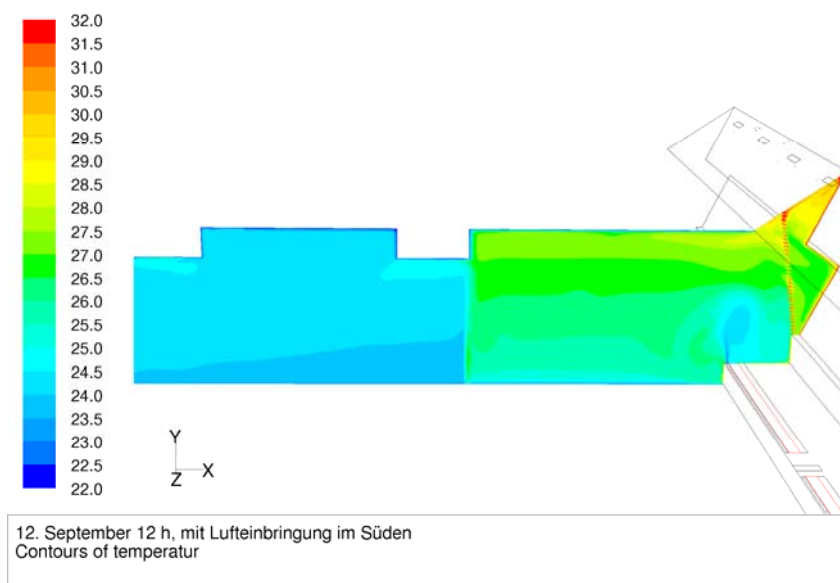


**Abbildung 8: Variante 4: „Lufteinbringung Südfassade“ 5. Jänner, 12h, Temperaturverteilung [°C], 8 Bodenluftauslässe ohne Induktionswirkung**

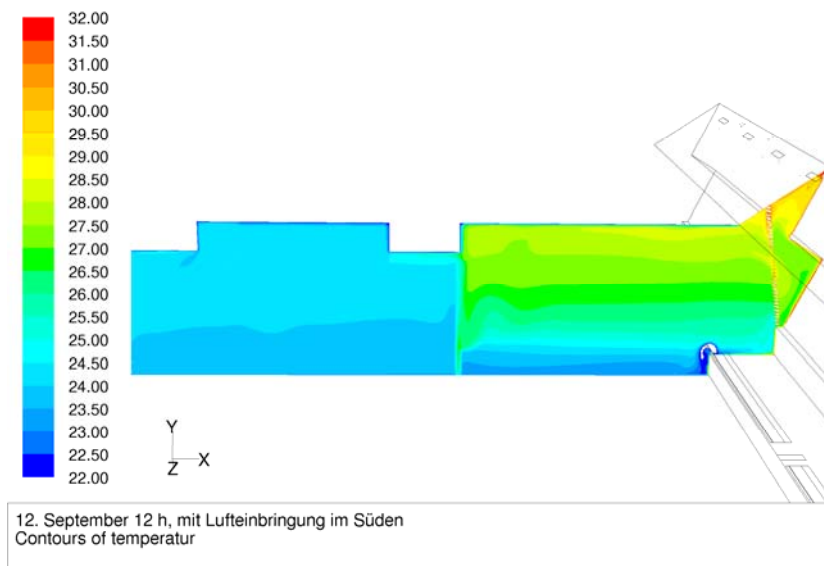
Abbildung 7 zeigt die Temperaturverteilung [°C] in der Schnittebene  $z=10.5$  m im Fall von 13 Bodenluftauslässen, die mit einer Zulufttemperatur von  $25^{\circ}\text{C}$  betrieben werden. Abbildung 8 veranschaulicht die Wirkung des - entsprechend der reduzierten Auslassanzahl - pro Auslass erhöhten Volumenstromes auf die Temperaturverteilung [°C] in der Schnittebene  $z=11.5$  m.

Ergebnis der Berechnungen von Variante 3 und Variante 4: Es wurde eine zentrale Temperierung der Zuluft für den Südbereich auf  $25^{\circ}\text{C}$  angenommen. Dadurch kann das Temperaturniveau im Südbereich unter den für den 5. Jänner, 12h, gegebenen Randbedingungen deutlich verbessert werden. Aufgrund der Zuluftteinbringung mit erhöhter Temperatur ist es auch möglich die Anzahl der Bodenluftauslässe zu reduzieren ohne dass sich ein massiver Kaltluftabfall in den Raumbereichen zwischen den Luftauslässen einstellen würde.

<b>Variante 5:</b> „Lufteinbringung Südfassade“ 12. September, 12h:	<b>Variante 6:</b> „Lufteinbringung Südfassade“ 12. September, 12h:
Überströmung aus den Nordbüros über 5x2 Türschlitze mit 23°C, 440 m <sup>3</sup> /h	
Keine Wandquellauslässe im Mittelteil	
Keine Überströmung aus dem Besprechungsraum	
13 Bodenluftauslässe, 1.2m x 0.34 m, entlang der Südfassade, mit Induktionswirkung, Zulufttemperatur 23.1°C, 1787,5 m <sup>3</sup> /h davon 715 m <sup>3</sup> /h Primärluft, 13 mal 55 m <sup>3</sup> /h Primärluft (20°C) und 82.5 m <sup>3</sup> /h Induktionsluft (25.4°C)	13 Bodenluftauslässe, 1.2m x 0.038 m, entlang der Südfassade, ohne Induktionswirkung, Zulufttemperatur 20°C, 715 m <sup>3</sup> /h, 13 mal 55 m <sup>3</sup> /h
Abluftabsaugung an der Süddecke über 7 Absaugöffnungen 1055 m <sup>3</sup> /h	
Abluftabsaugung in der Küche über 2 Türschlitze 100m <sup>3</sup> /h	



**Abbildung 9: Variante 5: „Lufteinbringung Südfassade“ 5. September, 12h, Temperaturverteilung [°C], 13 Bodenluftauslässe mit Induktionswirkung**





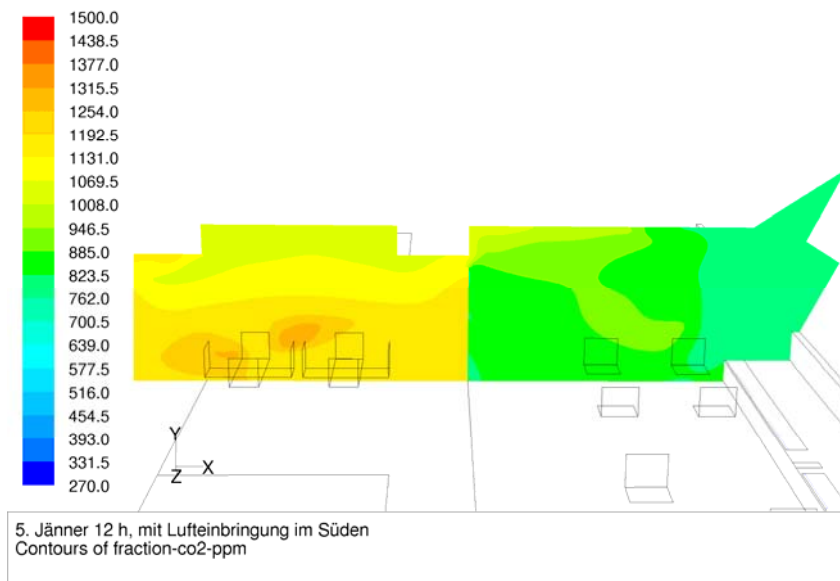
**Abbildung 10: Variante 6: „Lufteinbringung Südfassade“ 5. September, 12h, Temperaturverteilung [°C], 13 Bodenluftauslässe ohne Induktionswirkung**

Abbildung 9 zeigt die Temperaturverteilung [°C] in der Schnittebene  $z=10.5$  m im Fall von 13 Bodenluftauslässen mit Induktionswirkung, durch die sich eine Zulufttemperatur von  $23.1^{\circ}\text{C}$  ergibt. Abbildung 10 zeigt die Temperaturverteilung [°C] der analogen Rechnung mit 13 Bodenluftauslässen aber ohne Induktionswirkung in der Schnittebene  $z=10.5$  m.

Ergebnis der Berechnungen von Variante 5 und 6: Im Sommerfall ist die Induktionswirkung der Bodenluftauslässe aufgrund der lokalen Mischung der Primärluft im Auslass mit der Luft im heißen Fassadenbereich eher ungünstig. In der Simulation ergab sich die Temperatur der Induktionsluft zu  $25.4^{\circ}\text{C}$ . Bei einer angenommenen Temperatur der Primärluft von  $20^{\circ}\text{C}$  ergab sich aufgrund des Induktionsverhältnisses eine Zulufttemperatur von  $23.1^{\circ}\text{C}$  (Abbildung 9). In Variante 6 beträgt die Zulufttemperatur hingegen  $20^{\circ}\text{C}$  und ist außerhalb des Bereiches der Temperaturskala in Abbildung 10 und daher weiß dargestellt.

Eine Gefahr sommerlicher Überhitzung ging aus den Rechnungen nicht hervor. Die Verschattungswirkung der gefalteten Fassade, in die PV-Panele integriert sind, ist auf den Sonnenhöchststand optimiert. Im September steht die Sonne bereits tiefer als im Juli und fällt daher direkt in den Südbereich ein. Daher wurde auch ein Blendschutz in Form einer innenliegenden Jalousie in den Simulationen berücksichtigt.

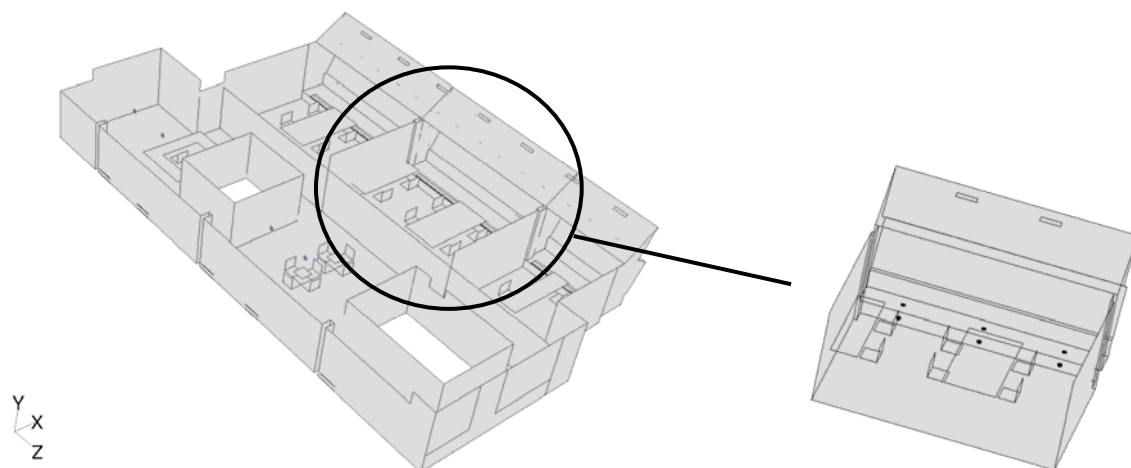
Die Frischlufteinbringung erfolgt im Nordteil als auch im Südteil des westlichen Randmoduls des dritten Obergeschosses. Das Belüftungskonzept sieht  $33\text{ m}^3/\text{h}$  Frischluft pro Person bei Vollbelegung vor. Vollbelegung heißt für den westlichen Randmodul, dass sich 12 Personen in den Nordbüros befinden (Luftüberströmung über die Türschlitze), 9 Personen im Mittelgang und 14 Personen im Südbereich. Aufgrund des Belüftungskonzeptes und der für die Simulationen angenommenen Wandaufstellung ergibt sich der Mittelgang als der am stärksten  $\text{CO}_2$  belastete Bereich. Aber auch in diesem Bereich ergibt sich eine  $\text{CO}_2$  Konzentration bei Vollbelegung von unter  $1500\text{ppm}$  (Abbildung 11).



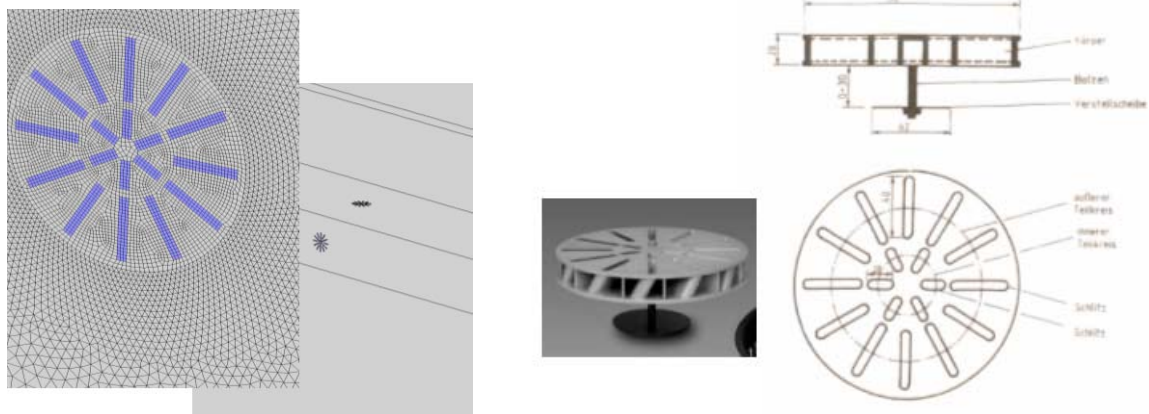
**Abbildung 11: ad Variante4, CO<sub>2</sub> Konzentration, 8 Bodenluftauslässe ohne Induktionswirkung, Schnittebene z=10.5 m**

## Ergebnisse CFD-Simulation – Phase 2

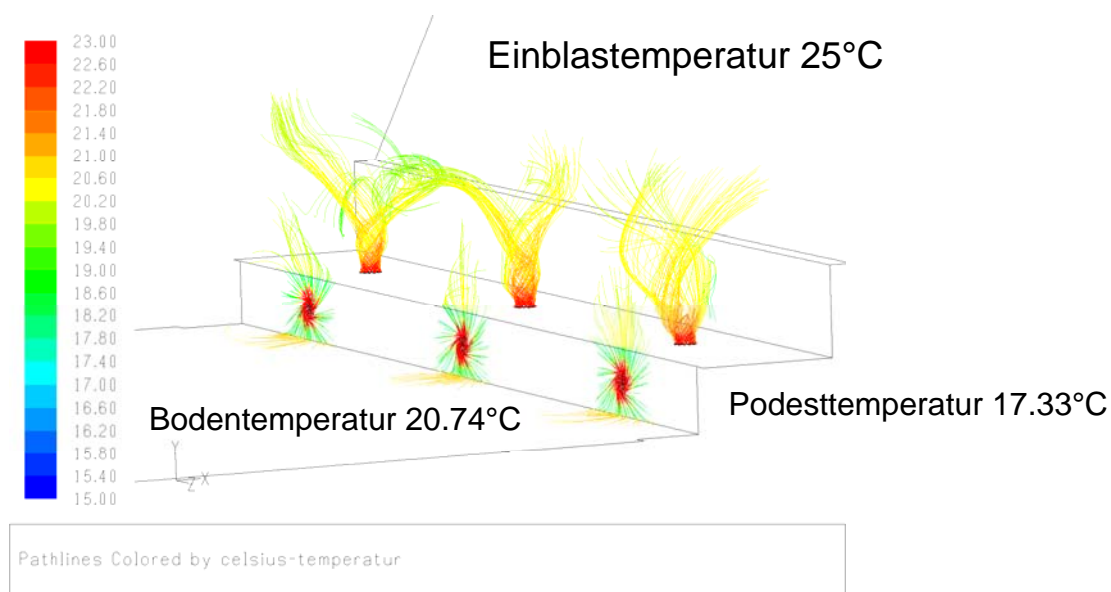
Aufgrund der Resultate der Strömungssimulationen in Phase 1 (insbesondere Variante 4, Abbildung 8) entschloss sich das Planungsteam, die Lufteinbringung an der Südfassade mit vollkommen anderen Auslastypen zu realisieren. Um die Funktionalität dieser Auslässe abbilden zu können, bedurfte es eines deutlich feineren Berechnungsnetzes an der Südfassade, weshalb das Berechnungsgebiet auf einen Raum eingeschränkt werden musste (Abbildung 12). Die nun vorgesehenen Bodenauslässe können im Betrieb von Drallfunktion auf Quellfunktion umgestellt werden. In Abbildung 13 ist die neue Auslassgeometrie schematisch dargestellt. Abbildung 14 gibt die Nachbildung der Funktionalität der Bodenauslässe in der CFD-Simulation wieder.



**Abbildung 12: Eingeschränktes Berechnungsgebiet.**



**Abbildung 13: In der Funktionalität verstellbarer Bodenauslass, Geometriemodell und Konstruktion.**



**Abbildung 14: Pfadlinien der Luft aus den in ihrer Funktionalität nachgebildeten Bodenauslässen, Winterfall 5.Jänner, 12h. 3 Drallauslässe an der Podestdeckfläche, 3 Quellauslässe an der Podeststirnfläche.**

Weiters wurden in Phase 2 der CFD-Simulationen Untersuchungen hinsichtlich des Einflusses von Zweischieben- und Dreischiebenverglasung der Südfassade auf die Luftgeschwindigkeitsverteilung, Temperaturverteilung und das Komfortempfinden angestellt. Alle in weiterer Folge dargestellten Ergebnisse wurden unter der Annahme von Dreischiebenverglasung mit  $k=0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$  und  $g=0.42$  erstellt.

Auf Wunsch des Planungsteams wurden die Ergebnisse der Strömungssimulationen in Phase 2 auch hinsichtlich des vorausgesagten Prozentsatzes der unzufriedenen Raumnutzer aufgrund der thermischen Gegebenheiten (PPD, thermischer Komfort) und hinsichtlich des vorausgesagten Prozentsatzes der unzufriedenen Raumnutzer

aufgrund von Zugluft (DR, „Zugluftrisiko“) ausgewertet. Laut EN ISO 7730 ist das „Zugluftrisiko“ DR (Draft Risk) eine Größe zur Bewertung lokaler Unbehaglichkeit eines Raumnutzers aufgrund von unangenehmer Zugluft und geht daher auch in die drei Komfortkategorien ein, die in Abbildung 15 dargestellt sind. Die Abschätzung des Zugluftrisikos anhand einer empirischen Gleichung dient der Begrenzung einer zu hohen konvektiven Wärmeabgabe der zugempfindlichen Körperteile (Nacken, Fußgelenke). Parameter dieser empirischen Gleichung sind 1) die charakteristische Oberflächentemperatur der für Zugluft empfindlichen Körperteile, die standardmäßig mit 34°C angenommen wird, 2) die körperliche Aktivitätsrate, die die Einheit Metabolic Rate (met) hat und bei sitzender Tätigkeit um 1 met liegt und 3) der Bekleidungszustand (clothing factor, Einheit clo), der standardmäßig in der Gleichung mit 0.8 clo angenommen wird.

Tabelle A.1 — Drei Kategorien des Umgebungsklimas

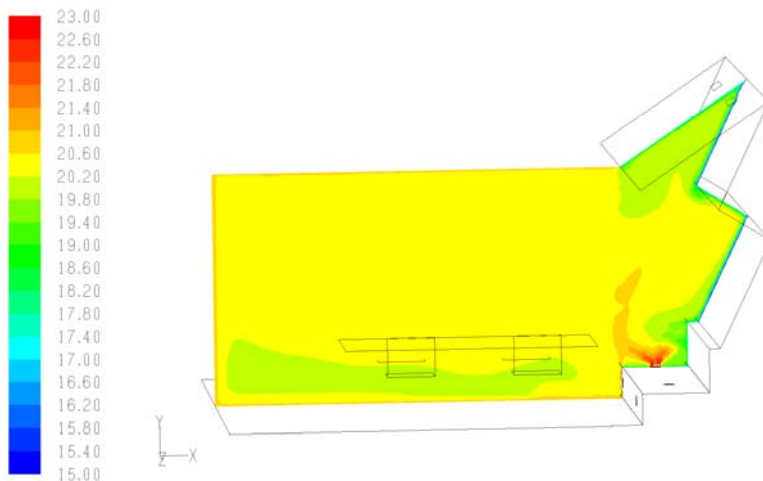
Kategorie	Thermischer Zustand des Körpers insgesamt		Lokale Unbehaglichkeit			
	Vorausgesetzter Prozentsatz an Unzufriedenen	Vorausgesetztes mittleres Votum	Prozentsatz an Unzufriedenen auf Grund von Zugluft	Prozentsatz an Unzufriedenen auf Grund vertikaler Lufttemperatur-unterschiede	Prozentsatz an Unzufriedenen auf Grund warmer oder kalter Fußböden	Prozentsatz an Unzufriedenen auf Grund von asymmetrischer Strahlung
	PPD %	PMV	DR %	%	%	%
A	< 6	-0,2<PMV<0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0,5<PMV<+0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	0,7<PMV<+0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

Abbildung 15: Auszug aus EN ISO 7730

Neue Auslässe Variante 1: 5. Jänner, 12h:	Neue Auslässe Variante 2: 12. September, 12h:
Keine Überströmung aus anderen Räumen	
3 Drallauslässe zu je 50 m <sup>3</sup> /h an der Podestdeckfläche, 3 Quellauslässe zu je 35 m <sup>3</sup> /h an der Podeststirnfläche, Zuluft 255 m <sup>3</sup> /h, 25°C	3 Drallauslässe zu je 50 m <sup>3</sup> /h an der Podestdeckfläche, 3 Quellauslässe zu je 35 m <sup>3</sup> /h an der Podeststirnfläche, Zuluft 255 m <sup>3</sup> /h, 20°C
Abluftabsaugung an der Süddecke über 2 Absaugöffnungen, 255 m <sup>3</sup> /h	

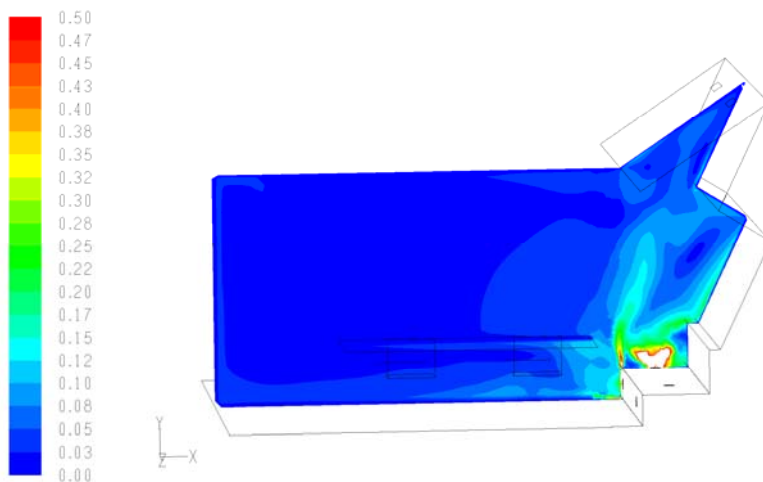
Abbildung 16 bis Abbildung 19 stellen exemplarisch die Ergebnisse der Strömungssimulation und Komfortauswertung für den Winterfall 5. Jänner, 12h zusammen.

In Abbildung 16 ist das Temperaturfeld in einer Schnittebene im Bereich des Südraumes dargestellt. Die Darstellungsebene geht durch die zwei mittleren Luftauslässe. Der Bereich um die Luftauslässe ist in der Darstellung orangerot ersichtlich, da die Einblastemperatur im Winterfall 25°C beträgt,



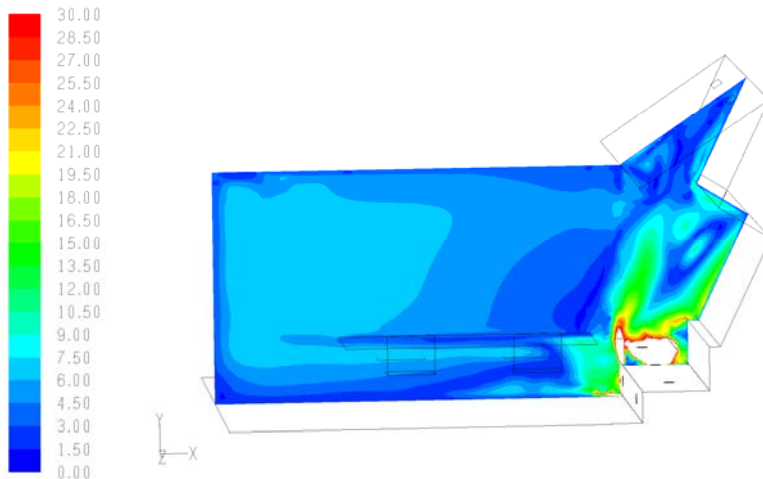
**Abbildung 16: 5. Jänner 12h, Temperaturverteilung [°C], Schnittbene z=9.15m.**

In der untenstehenden Abbildung ist das Geschwindigkeitsfeld in der Schnittbene mit Luftauslässen im Bereich der Südfassade dargestellt. Direkt an den Auslässen liegt die Strömungsgeschwindigkeit bei den angenommenen Volumenströmen jenseits der 0.5 m/s. Dieser Bereich erscheint in der Abbildung weiß, da diese Geschwindigkeitswerte nicht in der Skala enthalten sind.



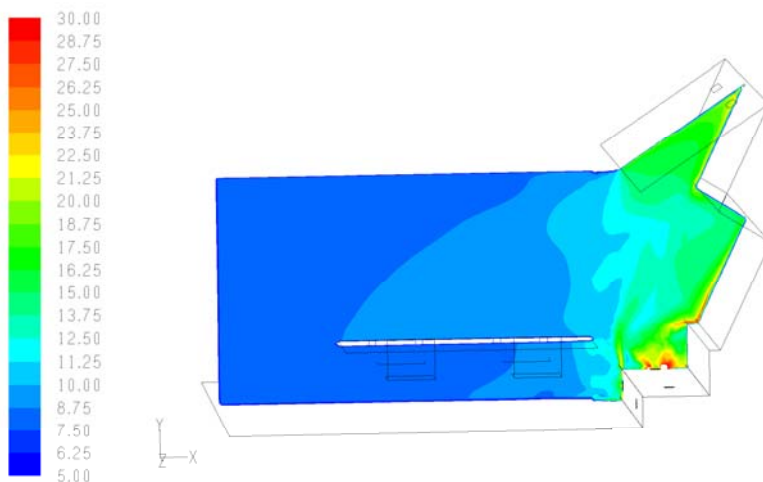
**Abbildung 17: 5. Jänner 12h, Geschwindigkeitsverteilung [m/s], Schnittbene z=9.15m.**

Wertet man auf Basis des berechneten Temperatur- und Geschwindigkeitsfeldes der Raumluft die empirische Gleichung für das Zugluftrisiko aus, so ist der naturgemäß gegebene starke Zusammenhang mit dem Geschwindigkeitsfeld deutlich ersichtlich (Abbildung 18).



**Abbildung 18:** 5. Jänner 12h, Zugluftrisiko DR [%], Schnittebene z=9.15m.

Das berechnete Zugluftrisiko im Bereich der Arbeitsplätze an der Südfassade nahe bei den Luftauslässen liegt im Bereich der Komfortklasse B im simulierten Winterfall. Aus der Auswertung des - verglichen zum Zugluftrisiko physikalisch deutlich komplexeren - empirischen Ansatzes zur Abschätzung des thermischen Komforts PPD ergibt sich bei den Arbeitsplätzen an der Südfassade für den thermischen Komfort ebenfalls Komfortklasse B (Abbildung 19). Dabei ist darauf hinzuweisen, dass Komfortklasse A des thermischen Komforts definiert ist für bis zu 6% vorausgesagter unzufriedener Raumnutzer. Die empirische Gleichung für den thermischen Komfort PPD ist aufgrund von Experimenten so definiert, dass immer 5% der Raumnutzer als unzufrieden prognostiziert werden, da man es nie allen Personen in einem Raum gleichzeitig recht machen kann. Parameter der empirischen Gleichung sind die körperliche Aktivitätsrate (Metabolic Rate, met) und der Bekleidungszustand (clothing factor, clo).

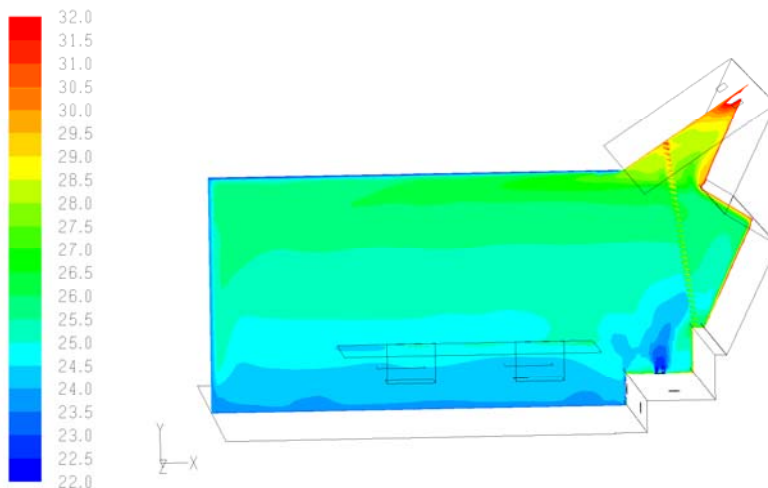


Contours of User Scalar 2

**Abbildung 19:** 5. Jänner, 12h, vorausgesagter Prozentsatz Unzufriedener PPD[%], met 1.2, clo 1

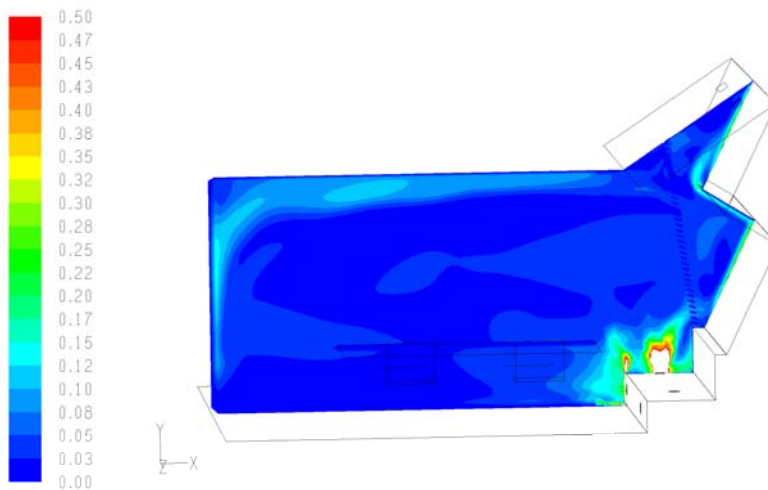
Analog stellen die Abbildung 20 bis Abbildung 23 exemplarisch die Ergebnisse die Strömungssimulation und Komfortauswertung für den Sommerfall 12. September, 12h zusammen.

In Abbildung 20 ist das Temperaturfeld im simulierten Sommerfall dargestellt. Der Bereich um die Luftauslässe ist in der Darstellung gut ersichtlich, da die Einblastemperatur 20°C beträgt.



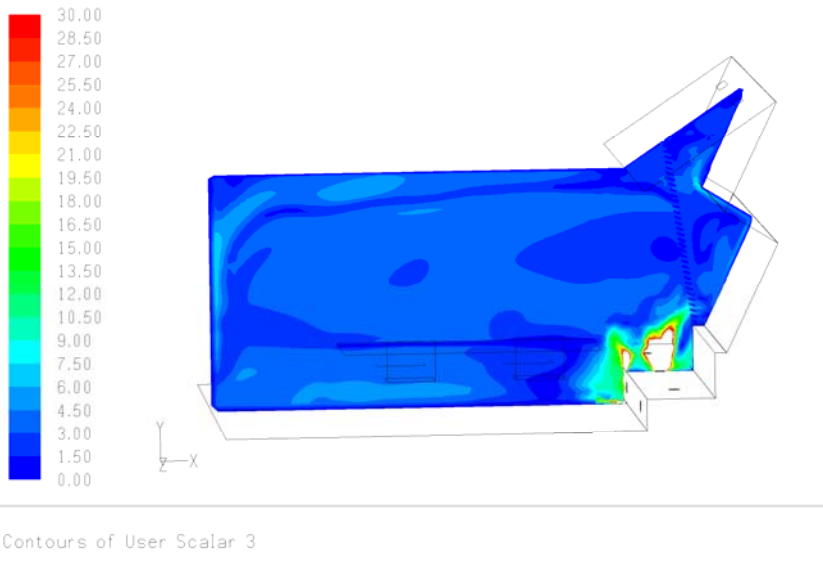
**Abbildung 20: 12. September 12h, Temperaturverteilung [°C], Schnittebene z=9.15m.**

Bei der Darstellung des zugehörigen Geschwindigkeitsfeldes in Abbildung 21 liegt die Strömungsgeschwindigkeit direkt an den Auslässen jenseits der 0.5 m/s und ist in der Skala nicht enthalten und daher weiß dargestellt. Abbildung 22 gibt das entsprechende Zugluftisiko im Raum an.



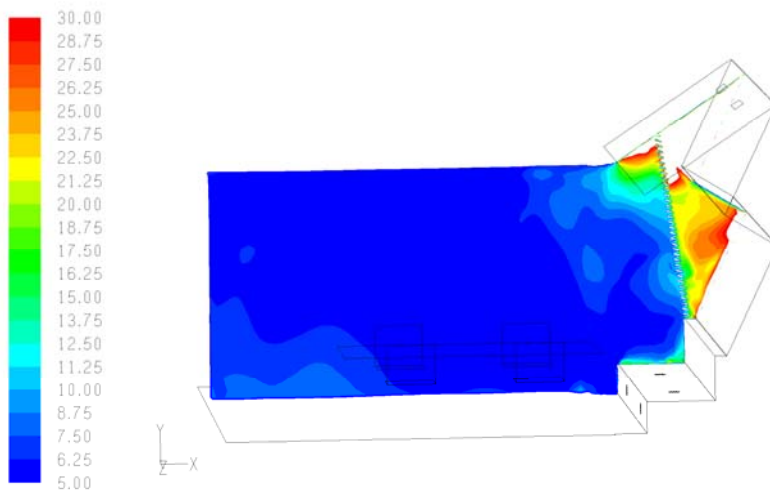
Contours of Velocity Magnitude (m/s)

**Abbildung 21: 12. September 12h, Geschwindigkeitsverteilung [m/s], Schnittebene z=9.15m.**



**Abbildung 22: 12.September 12h, Zugluftrisiko DR [%], Schnittebene z=9.15m.**

Auch im simulierten Sommerfall liegt das berechnete Zugluftrisiko im Bereich der Arbeitsplätze an der Südfassade nahe bei den Luftauslässen im Bereich der Komfortklasse B. Die Auswertung des thermischen Komforts PPD ergibt bei den Arbeitsplätzen an der Südfassade unter der Annahme eines sommerlichen Bekleidungsfaktors von 0.5 clo sogar Komfortklasse A (Abbildung 23).



**Abbildung 23: 12. September 12h, vorausgesagter Prozentsatz Unzufriedener, PPD[%], met 1.2, clo 0.5, Schnittebene z=10.5 m**