



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 14. Mai 2009 / Rev. 10. Juni 2009

Energie-Detailbilanz des Eawag Forum Chriesbach

eawag
aquatic research

EMPA 
Materials Science & Technology

3-PLAN
HAUSTECHNIK

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Eawag, CH-8600 Dübendorf
Empa, CH-8600 Dübendorf
3-Plan Haustechnik AG, CH-8404 Winterthur
ETH-Rat, CH-8092 Zürich

Auftragnehmer:

Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Eawag
Überlandstrasse 133
CH-8600 Dübendorf
www.eawag.ch

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Empa
Abteilung Bautechnologien
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
www.empa.ch

3-Plan Haustechnik AG
Fröschenweidstrasse 10
CH-8404 Winterthur
www.3-plan.ch

Autoren:

Herbert Güttinger, Eawag, herbert.guettinger@eawag.ch
Stefan van Velsen, 3-Plan, stefan.vanvelsen@3-plan.ch
Beat Lehmann, Empa, beat.lehmann@empa.ch
Thomas Frank, Empa, thomas.frank@empa.ch
Viktor Dorer, Empa, viktor.dorer@empa.ch
Thomas Lichtensteiger, Eawag, thomas.lichtensteiger@eawag.ch
Max Mauz, Eawag, max.mauz@eawag.ch
Daniel Beerle, Empa Bau, daniel.beerle@empa.ch

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Charles Filleux

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 152987 / 102374

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	8
1.1	Projekthintergrund.....	8
1.2	Das Gebäude Forum Chriesbach	10
2	Projektziele.....	15
3	Methoden und Vorgehensweise	16
3.1	Methoden	16
3.1.1	Dynamische Gebäudesimulation mit TRNSYS.....	16
3.1.2	Messungen.....	16
3.2	Vorgehen und Teilprojekte.....	17
3.2.1	Simulation « Stand Planung».....	17
3.2.2	Simulation «Stand Effektive Nutzung»	18
3.2.3	Sensitivitätsanalysen	18
3.2.4	Messungen.....	18
3.2.5	Energiebedingte Mehr- und Minderkosten.....	18
3.2.6	Dokumentation	19
3.2.7	Informationsveranstaltung «Eawag Forum Chriesbach - Vision und Realität»	19
4	Simulationen Planung und effektive Nutzung im Vergleich zu Messdaten.....	20
4.1	Modellbeschreibung.....	20
4.1.1	Modellierung.....	20
4.1.2	Bau- und Technischelemente	23
4.1.3	Externe Randbedingungen	30
4.1.4	Interne Lasten	30
4.2	Resultate Temperaturverhalten	33
4.2.1	Einleitung / Zielsetzung.....	33
4.2.2	Vergleichsperiode und Datenauswertung.....	33
4.2.3	Möglichkeiten und Grenzen des Modells.....	34
4.2.4	Ausgewählte Resultate	35
4.2.5	Vergleich zu Planwerten	38
4.2.6	Schlussfolgerungen zum Temperaturverhalten	39
4.3	Resultate Energiebilanz	39
4.3.1	Einleitung / Zielsetzung.....	39
4.3.2	Vergleichsperiode und Datenauswertung.....	39
4.3.3	Resultate Wärme	40
4.3.4	Resultate Kälte.....	43
4.3.5	Vergleich zu Planwerten	45
4.3.6	Schlussfolgerungen zur Energiebilanz	48
5	Parameterstudien.....	49
5.1	Einfluss von Klima und Belegung	49
5.1.1	Einfluss von Klima.....	49
5.1.2	Einfluss von Belegung	52
5.2	Einfluss von baulichen Komponenten.....	55
5.2.1	Sensitivitätsanalyse Gebäudemasse.....	55
5.2.2	Sensitivitätsanalyse Fluchtbalkone und Beschattung.....	55
5.2.3	Sensitivitätsanalyse Atriumbeschattung	57
5.3	Einfluss von technischen Komponenten.....	59
6	Messungen.....	62
6.1	Messdaten MSRL.....	62
6.2	Komfortmessungen	64
6.3	Tageslichtmessungen	76
7	Kostenanalyse.....	80
7.1	Ausgangslage und Aufgabe.....	80

7.2	Grundlagen	80
7.3	Definition «Standardgebäude»	81
7.4	Resultate	82
7.5	Schlussfolgerungen zur Kostenanalyse.....	85
8	Diskussion und Schlusswort	87
8.1	Diskussion.....	87
8.1.1	Planung und Ist-Zustand.....	87
8.1.2	Interne Lasten	88
8.1.3	Energiebedarf.....	88
8.1.4	Wirkung der einzelnen Technikkomponenten.....	90
8.1.5	Dynamische Simulationen	90
8.1.6	Mehrkosten der energierelevanten Bauteile	91
8.1.7	Bauprozess und Fachkompetenz	91
8.1.8	Kommunikation	91
8.2	Schlusswort.....	92
9	Teilprojekte und Referenzen	93
10	Anhang	94

Projektbeiträge

Das Gebäudemodell im TRNSYS wurde von der Firma 3-Plan Haustechnik AG (S. van Velsen, A. Thiemann, N. Artmann) definiert. Dasselbe Team führte auch die Simulationen zu den Energieflüssen und die entsprechenden Sensitivitätsanalysen durch. Die Temperaturanalysen wurden an der Empa von B. Lehmann und V. Dorer gerechnet und die Messungen von T. Frank (Empa) durchgeführt. Die Kostenanalyse wurde extern an die Firma Reuss Engineering AG vergeben und von A. Pfeiffer erarbeitet. Verantwortlich für die Informationsveranstaltung vom 23. Januar 2009 zeichnete die Eawag mit T. Lichtensteiger. Die entsprechenden Beiträge in diesem Bericht stammen hauptsächlich von diesen Personen. Für die allgemeinen Kapitel und die Redaktion war H. Güttinger verantwortlich. Das ganze Projekt-Team hat sich an der Redaktion und Überarbeitung der Entwürfe beteiligt.

Dank

Zu diesem Projekt wertvolle Beiträge geleistet haben: Vom Technischen Dienst der Empa insbesondere Rolf Aeberli, Urs Tremp und Erich Eschmann und vom TD Eawag Markus Oser. Wertvolle Unterstützung erhielten wir auch von Daniel Lauper Marlabur AG, Jean-Marc Chuard Enerconom, von Raoul Schaffner, Andri Bryner, Sandra Ziegler, Suzanne Benz, Arianne Maniglia, Maria Huber, Gérard Mohler, Yvonne Lehnhard Eawag, von Klaus Ferst, Stefan Carl, Roger von Bank Empa und von vielen weiteren Personen. Ihnen allen gehört unser grosser Dank. Auch dem Team von Bob Gysin + Partner BGP Architekten danken wir ganz herzlich für ihre Unterstützung. Dem BFE-Programmliter, Charles Filleux danken wir für die wohlwollende Unterstützung und viele wertvolle Hinweise, inkl. Literatur. Dem BFE mit dem zuständigen Bereichsleiter Andreas Eckmanns danken wir für die Finanzierung des Projektes. Ebenso danken wir den Direktionen der Eawag und der Empa sowie dem ETH-Rat für die Unterstützung des Projektes.

Bei den Quellennachweisen der Bilder und Grafiken stehen BGP für Bob Gysin + Partner, BGP (Generalplaner), BaFA für Bauten Forschungsanstalten (heute Empa Bau), 3-Plan für 3-Plan Haustechnik AG. und Reuss für Reuss Engineering AG.

Zusammenfassung

Im Juni 2006 hat die Eawag ihr neues Hauptgebäude, das Forum Chriesbach bezogen. Der Bau fällt durch sein äusseres Erscheinungsbild auf: ein kompakter, rechteckiger 6-stöckiger Bau mit einer Fassade aus 1232 blauen Glaslamellen. Das Eawag Forum Chriesbach beherbergt 150 Büroarbeitsplätze, ein Personalrestaurant, Schulungs- und Sitzungsräume sowie die Bibliothek von Eawag und Empa. Es ist ein Vorzeigebau für «nachhaltige» Bauweise und in der Schweiz eines der bekanntesten Gebäude. Es wurde mit diversen Preisen ausgezeichnet und in zahlreichen nationalen und internationalen Publikationen beschrieben. Das Gebäude ist modern, funktionell, ästhetisch und verwendet als Heizenergie neben der Sonne hauptsächlich die Abwärme von Menschen, elektrischen Geräten und Lichtquellen. Der Kältebedarf ist sehr tief. Nur der Strombedarf und die graue Energie fallen ins Gewicht. Rund ein Drittel des benötigten Stroms, nämlich 70 MWh/a, wird mit Sonnenenergie auf dem Dach des Gebäudes produziert und der Rest wird als Ökostrom «naturemade star» beschafft.

Während einer zweijährigen Betriebsoptimierungsphase wurde das Gebäude einreguliert und den Betreibern übergeben. Ab Herbst 2007 untersuchten Eawag, Empa und 3-Plan Haustechnik AG im Projekt Energie-Detailbilanz Eawag Forum Chriesbach anhand von Messungen, ob die Planungsannahmen und die Simulationsvorhersagen der Realität entsprechen. Computersimulationen mit TRNSYS ergaben zudem Hinweise auf die energetischen Beiträge der einzelnen Gebäudekomponenten und die Sensitivität auf äussere Parameter.

Die Temperaturen an heissen Sommertagen sind immer in komfortablen Bereichen unterhalb 26°C und im Winter meist zwischen 20 und 23°C. Der Wärme- und Strombedarf ist zwar höher als prognostiziert, aber mit 5.7 kWh/m² EBF immer noch äusserst tief. Die Differenz lässt sich durch überschätzte interne Personenlasten, wesentlich intensivere Nutzung der Küche sowie höhere Verbräuche für Wassererwärmung und Beleuchtung erklären. Die thermische Solaranlage, die Rückgewinnung der gewerblichen Abwärme und der Wärmebezug aus dem Arealnetz konkurrenzieren sich gegenseitig teilweise und so gibt es noch etwas Optimierungspotential bei der Speicherbewirtschaftung. Das Lufregister trägt neben der Vorwärmung der Zuluft im Winter und der Vorkühlung im Sommer vor allem auch beim Freecooling der Computerserver wesentlich zur guten Energiebilanz bei.

Eine Kostenanalyse ergab, dass die Investitionsmehrkosten für das Forum Chriesbach weniger als 5% betragen und durch die tieferen Jahreskosten nach 13 Jahren bereits amortisiert sind.

Abstract

In June 2006 Eawag moved into its new headquarters, Forum Chriesbach. The building's external appearance is striking owing to the 1232 blue glass panels which clad the compact 6-storey rectangular structure. Eawag Forum Chriesbach houses 150 workplaces, a staff cafeteria, meeting and seminar rooms as well as the library of Eawag and Empa. It is an exemplary illustration of 'sustainable' construction design and is one of the best known buildings in Switzerland. It has been awarded several prizes and described in numerous national and international publications. The building is modern, functional, aesthetic, and uses a unique array of sources for heating, including the sun as well as waste heat from light sources, electric appliances and people. Cooling requirements are very low. Only electricity requirements and the embedded energy of construction materials are of significance. Approximately one third of the electricity required, namely 70 MWh/a, is produced by photovoltaic panels on the roof, and the rest is purchased as renewable electricity from the utilities under the label 'nature-made star'.

During a two-year optimization period the building's control system was adjusted and know-how was transferred from planners and builders to owners and facility managers. From autumn 2007 Eawag, Empa and 3-Plan Haustechnik AG carried out temperature and energy measurements to determine the extent to which original planning assumptions and simulation forecasts corresponded to actual experience. Computer simulations with TRNSYS have revealed the relative contribution of individual building components to the overall energy balance and their sensitivity to external parameters.

Temperatures during hot summer days have remained in comfortable ranges below 26 C and have usually ranged between 20 and 23 C in winter. Although heating and electricity requirements have exceeded predicted levels, at 5.7 kWh/m² weighted energy reference area the amount required remains extremely low. The difference results from overly high estimates of personnel loads as well as higher needs for warm water production, kitchen use and lighting. However, there is still some optimization potential possible by better coordinating the thermal solar collectors, the waste heat recovery from cooling equipment and consumption of energy from the area heating system, all of which compete with each other. The thermal register not only pre-heats fresh incoming air in winter and cools it in summer, but contributes to a favourable overall energy balance by effectively cooling the computer servers as well.

Financial analysis has shown that the investment costs for Forum Chriesbach amount to less than 5% above those for a comparable standard structure and that the annual operating costs are lower. These additional costs are compensated for by the lower annual costs within a period of about 13 years.

Résumé

En juin 2006, l'Eawag a intégré ses nouveaux locaux du Forum Chriesbach. Le nouveau bâtiment principal de l'institut sort de l'ordinaire : une construction rectangulaire compacte de 6 étages à la façade recouverte de 1232 panneaux de verre aux reflets bleu-vert. Le Forum Chriesbach de l'Eawag abrite 150 postes de travail, une cafétéria, diverses salles de conférence et de réunion et la bibliothèque commune à l'Eawag et à l'Empa. Bâtiment phare de la construction écologique, il est maintenant l'un des plus connus de Suisse.

Récompensé par plusieurs prix de renom, il a été décrit dans un grand nombre de revues nationales et internationales. Alliant modernité, fonctionnalité et esthétique, le bâtiment est chauffé à la fois par l'énergie solaire et par récupération de la chaleur dégagée par les occupants, les appareils électriques et l'éclairage. Les besoins en froid sont maintenus à un niveau très modeste. Seules la consommation en électricité et l'énergie grise pèsent encore dans la balance écologique. Près d'un tiers de l'électricité consommée soit 70 MWh/a est produite par des panneaux solaires installés sur le toit ; le reste, acheté, est produit de façon éco-compatible et certifié « naturemade star ».

Une période d'optimisation de deux ans a été aménagée afin d'ajuster les mécanismes de régulation énergétique avant de confier définitivement le bâtiment à ses utilisateurs. Associés dans le projet de recherche sur le bilan énergétique du Forum Chriesbach « Energie-Detailbilanz Eawag Forum Chriesbach », l'Eawag, l'Empa et la société 3-Plan Haustechnik AG ont ainsi effectué de nombreuses analyses et mesures à partir de l'automne 2007 pour évaluer le degré d'adéquation des prévisions avec la situation réelle. Des simulations numériques effectuées avec TRNSYS ont d'autre part permis d'évaluer la participation énergétique individuelle des différents éléments du bâtiment et d'en estimer la sensibilité aux variations des conditions extérieures.

Le système de régulation thermique est efficace : les températures n'excèdent pas 26°C en été et se situent généralement entre 20 et 23°C en hiver. Les besoins de chaleur et d'électricité sont certes plus élevés que prévu mais restent tout de même particulièrement faibles avec seulement 5,7 kWh/m² SRE. La différence s'explique par une surestimation du degré d'occupation des locaux et une consommation plus élevée pour la production d'eau chaude, les cuisines et l'éclairage. Etant donné que l'installation solaire thermique, la récupération de chaleur émise dans le bâtiment et les apports d'énergie à partir du réseau de chaleur du site Empa/Eawag se font mutuellement concurrence, certaines possibilités d'optimisation peuvent encore être exploitées. L'échangeur de chaleur souterrain dans lequel l'air extérieur est réchauffé en hiver et rafraîchi en été avant d'être diffusé dans le Forum contribue fortement au bon bilan énergétique obtenu, notamment grâce à la mise en place d'un système de free-cooling pour les serveurs de la salle informatique.

Une analyse des coûts a montré que les investissements supplémentaires consentis pour les mesures d'efficacité énergétique du Forum Chriesbach atteignaient à peine 5% et que du fait de la réduction des coûts annuels, leur amortissement devrait prendre environ 13 ans.

1 Ausgangslage

1.1 Projekthintergrund

Am 8. Oktober 2001 hat die Eawag ihre Baubedürfnisse dem ETH-Rat als Grundlage für die Baubotschaft übermittelt. Der Neubau Center West (das heutige Forum Chriesbach) ist Teil eines Gesamtpakets von Umsetzungsmassnahmen zum Arealkonzept Dübendorf von Empa und Eawag. Ziel des Konzeptes ist es, das Immobilienportfolio zu optimieren und zu bereinigen sowie unwirtschaftliche, unzweckmässige und unökologische Bauten zu ersetzen und den Gebäudepark hinsichtlich seiner Nachhaltigkeit aufzuwerten. 2002 wurde ein Studienwettbewerb mit Präqualifikation durchgeführt, an welchem sich 6 Teams beteiligt haben und aus dem das Projekt Vision vom Planungsteam Bob Gysin + Partner BGP, Zürich als Sieger hervorgegangen ist. In der Botschaft des Bundesrats über das Bauprogramm 2004 des ETH-Bereichs vom 3. Juni 2003 wurden für das Forum Chriesbach 32'720'000 CHF veranschlagt. Die Direktionen der Eawag und der Empa, unterstützt vom BaFA (Bauten Forschungsanstalten) haben eine gesamtheitliche Betrachtung der Nachhaltigkeit unter Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeit, Umwelt und Gesellschaft gefordert. Die Resultate der Forschungstätigkeit der beiden Institutionen in den Bereichen Wasser, Energie und Bauwesen sollten exemplarisch angewendet werden. Im Pflichtenheft für den Studienauftrag des Forum Chriesbach wurde verlangt, dass die Aspekte der Nachhaltigkeit in vorbildlicher und progressiver Form umzusetzen sind. Die Aktivitäten der Eawag sollten mit einem sparsamen Umgang mit dem Rohstoff Wasser veranschaulicht werden. Die baulichen und technischen Massnahmen sollten innovativ sein und sich an die Grenzen des heute machbaren heran tasten sowie die örtlichen Gegebenheiten (Umwelt, Klima, Standort, usw.) berücksichtigen. Das Kosten-/Nutzenverhältnis musste mit in die Überlegungen einbezogen werden.



Abbildung 1-1: Die Südostseite des Forum Chriesbach im Januar 2006 (BaFA)

Januar 2000	Definition Bedürfnisse
Juni 2001	Ausschreibung Studienauftrag
Juni 2002	Abgabe (6) Projekte Studienauftrag
September 2002	Abgabe Überarbeitung (2) Projekte
Januar 2003	Entscheid für Projekt 'Vision' BGP
Dezember 2003	Bewilligung Baubotschaft durch eidg. Parlament
April 2004	Vergabe GU-Mandat an Zschokke (Implenia)
Juli 2004	Beginn Aushub
1. Oktober 2004	Grundsteinlegung
1. Juni 2005	Aufrichte
6. Juni 2006	Schlüsselübergabe und Bezug
1./2. September 2006	Eröffnungsfeier
Juli 2006	Betriebsoptimierung (bis Juli 2008)
Oktober 2007	Projekt Energie-Detailbilanz (bis Januar 2009)
23. Januar 2009	Informationsveranstaltung 'Vision und Realität'

Tabelle 1-1: Übersicht über die Planungs-, Bau- und Betriebsprozesse

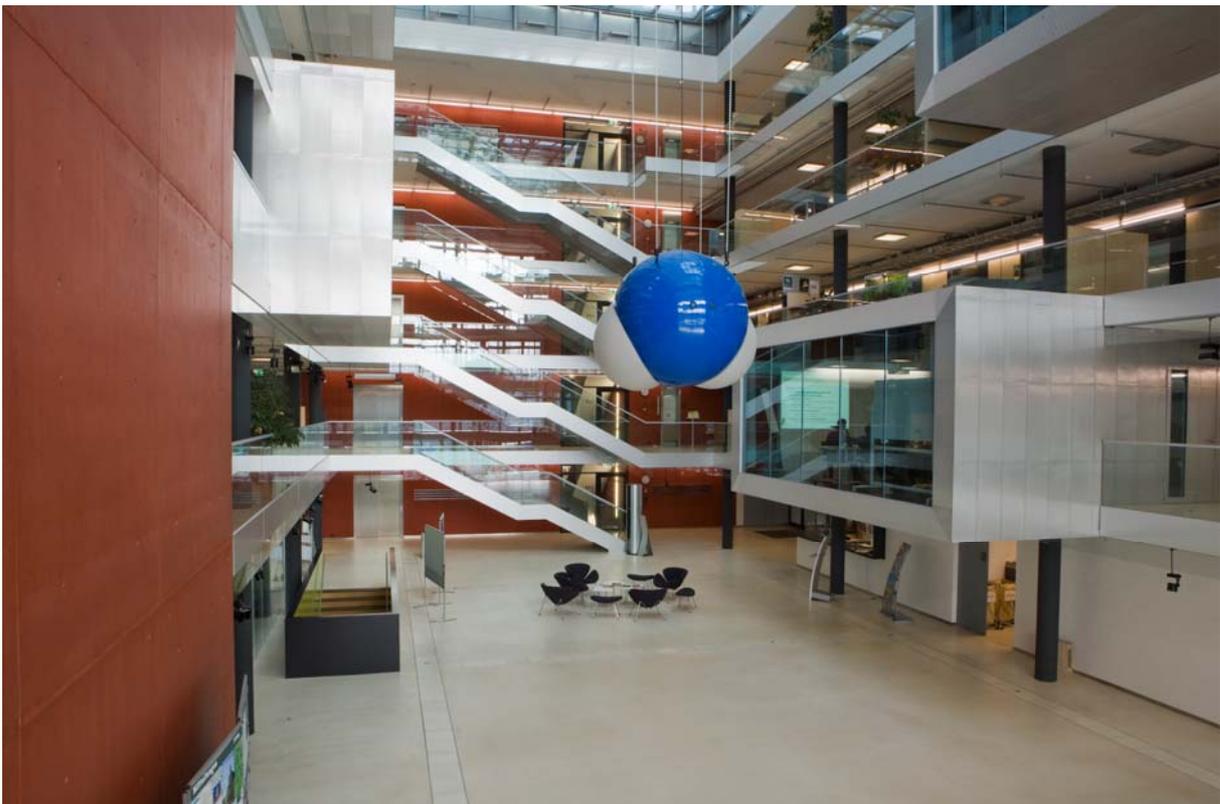


Abbildung 1-2: Das Atrium des Forum Chriesbach mit dem Modell eines Wassermoleküls (H₂O) (Eawag)

Die eidgenössischen Räte haben diese Vorgaben honoriert und im Dezember 2003 den beantragten Kredit genehmigt. Im April 2004 erfolgte die Vergabe des GU Mandats an Zschokke Generalunternehmung AG (heute Implenia Generalunternehmung AG). Knapp 2

Jahre nach Baubeginn konnte die Eawag im Juni 2006 die Schlüssel für ihr neues Hauptgebäude übernehmen. Am 2. September 2006 wurde das Forum Chriesbach offiziell eingeweiht.

1.2 Das Gebäude Forum Chriesbach

Das Forum Chriesbach ist ein Vorzeigeobjekt für ein nach Kriterien der nachhaltigen Entwicklung gebautes Forschungs-, Schulungs- und Verwaltungsgebäude. Es demonstriert eindrücklich wie funktionelle, ästhetische, ökologische und ökonomische Aspekte so integriert werden können, dass ein Ganzes entsteht, das wesentlich mehr als die Summe der Einzelteile ist. Für die Heizung und Kühlung kommt das Gebäude gemäss Planung mit $3.2 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$ zugeführter Endenergie aus und $\frac{1}{3}$ des Strombedarfs (ohne Server) wird mit einer Photovoltaikanlage auf dem Dach produziert. Das Gebäude verfügt weder über ein konventionelles Kühl- noch über ein Heizsystem. Zur Wärmeerzeugung dienen eine thermische Solaranlage und vor allem auch die internen Quellen Mensch, Elektrogeräte und Beleuchtung. Ein Erdregister sowie die automatische Nachtauskühlung gewährleisten auch in sehr heissen Sommern angenehme Temperaturen. 1232 drehbare blaue Glaslamellen zur Beschattung geben dem Gebäude den prägenden Charakter. Die angewandten Techniken können von den Mitarbeitenden der Eawag erlebt und von den Gästen und Besuchenden gesehen werden.



Abbildung 1-3: Der Eingangsbereich des Eawag Forum Chriesbach (Eawag)

Das Gebäude stösst auf sehr grosses Interesse sowohl in Fachkreisen als auch in der Öffentlichkeit. Es wurde bereits mit verschiedenen Preisen ausgezeichnet; unter anderen mit dem schweizerischen Solarpreis (2006), mit dem Prix Watt d'Or des BFE, dem Swisspor Innovationspreis und dem Velux Tageslicht Award (2007) und 2008 mit dem Marketing und Architektur und dem Gebäudetechnik Award. Ca. 2'000 Personen jährlich haben das Gebäude seit 2006 besucht und jede Woche kommen weitere Besuchergruppen aus dem In- und Ausland nach Dübendorf um den Neubau zu sehen. Eine Vielzahl von Beiträgen in Fachzeitschriften und in den Tagesmedien sowie zwei Bücher über das Gebäude sind bereits erschienen (BGP 2006, Wentz 2007). Das Ende Mai 2007 abgelaufene erste Betriebsjahr bestätigte die vorherberechneten Temperaturen und Energieflüsse recht gut, ein systematischer Vergleich von Planungs- und Messdaten fehlte aber bis anhin. Das MSRL mit den nötigen Zählern und Systemkomponenten ist zwar vorhanden, aber die erhobenen Daten wurden noch nicht systematisch ausgewertet.

Das Raumprogramm des Forum Chriesbach umfasst 150 Büroarbeitsplätze, Schulungs- und Sitzungsräume für ca. 300 Personen, die gemeinsame Bibliothek von Eawag und Empa sowie das Personalrestaurant aQa. Im Rahmen der Bereinigung des Raumprogramms der ganzen Eawag wurden die Büronutzungen aus dem Laborgebäude (LA) in das Bürogebäude (BU) transferiert und die allgemeinen Räume im Forum Chriesbach (FC) konzentriert. Sie sind sowohl für Mitarbeitende der Eawag als auch der Empa nutzbar. Im FC wurden zudem die Computer-Server für die ganze Eawag installiert. Sie können dank des Lufteredregisters den grössten Teil des Jahres im Freecooling Betrieb gekühlt werden und ihre Abwärme dient im Winter der Vorwärmung der Frischluft.

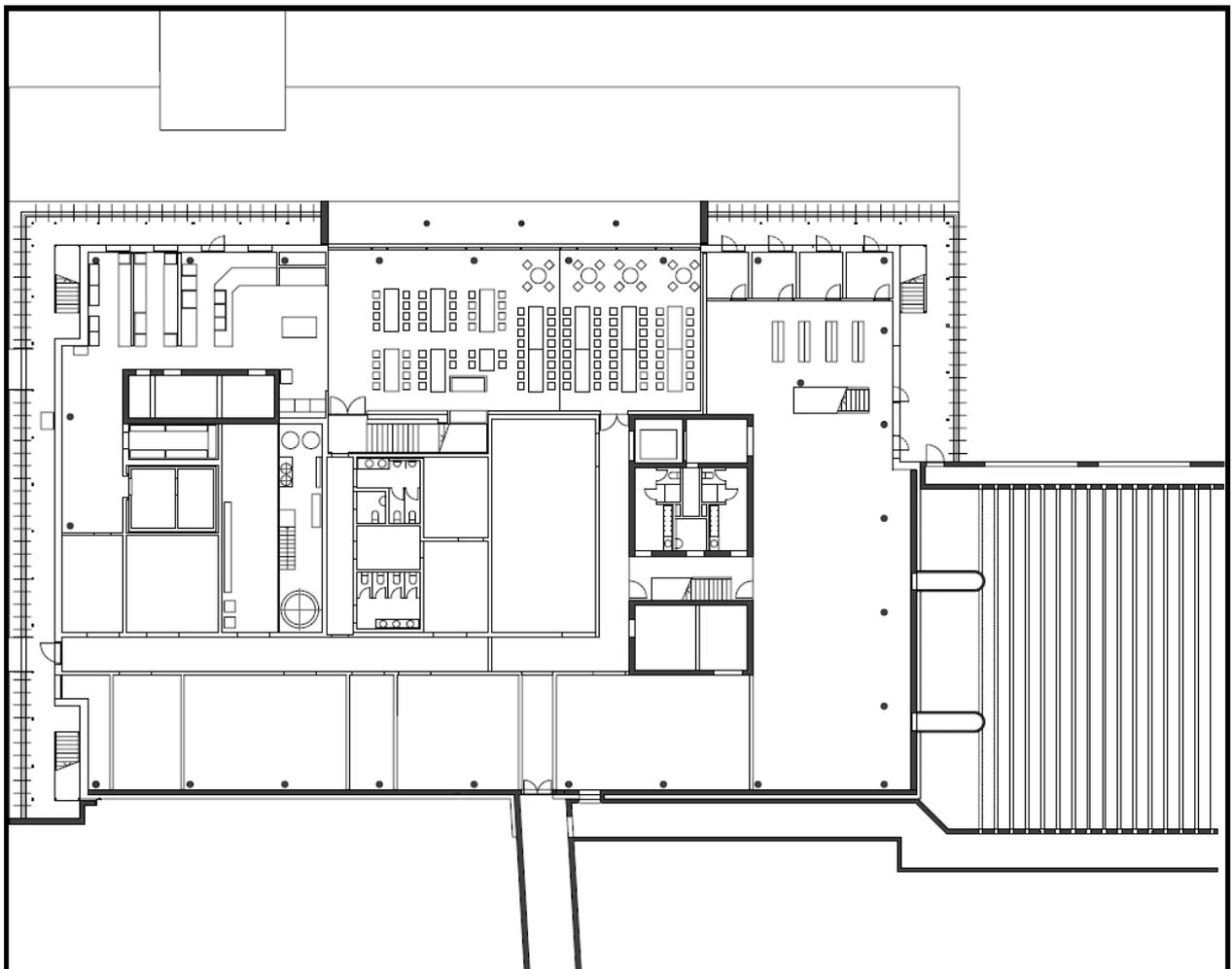


Abbildung 1-4: Grundriss des A-Geschosses mit Personalrestaurant aQa und Lufteredregister (BGP)

U-förmig um das Atrium sind die breiten Korridore als Kommunikationszonen gestaltet und entlang der Aussenfassaden sind die Büroräume angeordnet. Im Süden ist das U offen und lässt Raum für allfällige Erweiterungen.

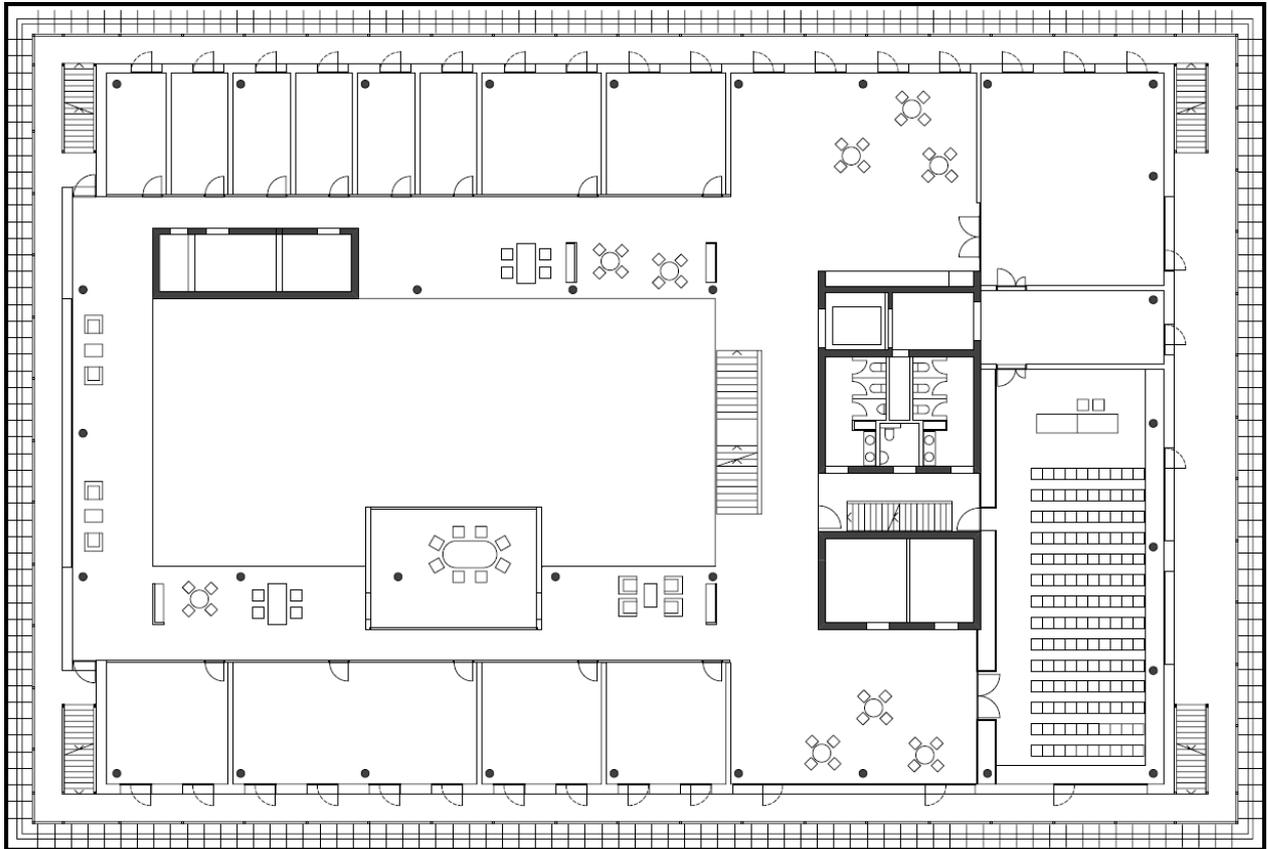


Abbildung 1-5: Grundriss des C-Geschosses mit Vortragssaal und Seminarraum an der Nordseite. (BGP)

Volumen SIA 116	38'615 m ³
Volumen SIA 416	32'986 m ³
Volumen inkl. Fluchtbalkone SIA 416	38'840 m ³
Volumen Atrium ohne Doppeldach SIA 416	4'788 m ³
Gebäudeoberfläche	5'174 m ²
Hauptnutzfläche HNF SIA 416	5'012 m ²
Geschossfläche GF SIA 416	8'533 m ²
Dachfläche (Gebäudegrundfläche)	1'886 m ²
Energiebezugsfläche EBF	11'170 m ²
Energiebezugsfläche ₀ EBF ₀	8'270 m ²

Tabelle 1-2: Volumina und Flächen des Forum Chriesbach

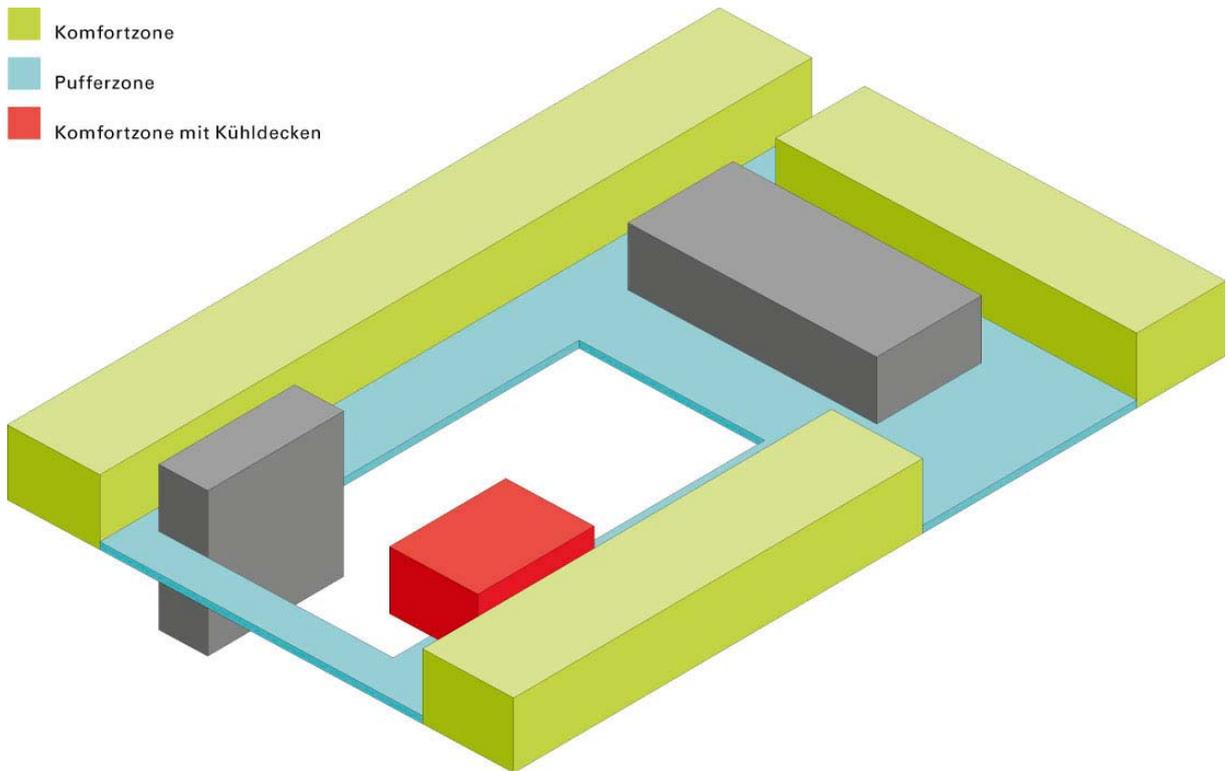


Abbildung 1-6: Schematische Darstellung der verschiedenen Zonen (BGP)



Abbildung 1-7: Das Sitzungszimmer FC-C71, eines der 4 ins Atrium hinein ragenden «Aquarien» (Eawag)



Abbildung 1-8: Das Personalrestaurant aQa (Eawag)

2 Projektziele

Als öffentliche Forschungs- und Lehrinstitutionen wollen die Eawag und die mitbeteiligte Empa ihre Erfahrungen aus der Planung und dem Betrieb des Gebäudes Forum Chriesbach weitergeben, nicht nur ihren Mitarbeitenden (inkl. ca. 200 Doktorierenden), einer Vielzahl von Studierenden sondern auch der Wirtschaft, Politik, Verwaltung und Öffentlichkeit.

Das Projekt Energie-Detailbilanz Eawag Forum Chriesbach dient dazu, den Betrieb des Gebäudes mit Leistungsdaten bezüglich Energie und thermischen Komfort zu erfassen und zu dokumentieren, und diese mit den Planungswerten zu vergleichen. Damit sollen einerseits die Realisierbarkeit einer nachhaltigen Bauweise und andererseits die Möglichkeiten und Grenzen von Simulationen für die Planung solcher Gebäude aufgezeigt werden. Mit dem Simulationswerkzeug TRNSYS wurde ein dynamisches Mehrzonen-Gebäudemodell für das Forum Chriesbach definiert, mit welchem das Verhalten der unterschiedlichen thermischen Zonen individuell erfasst werden kann. Das Modell dient auch der Berechnung der energetischen und thermischen Beiträge verschiedener Bau- und Technischelemente sowie der Durchführung von Sensitivitätsanalysen bezüglich Randbedingungen. Ziel des Projektes war es auch, das MSRL System (Messen, Steuern, Regeln, Leiten) noch weiter zu optimieren und wichtige Messungen einem breiteren Publikum zugänglich zu machen. In einem speziellen Teilprojekt wurden zudem die Lebenszykluskosten des Forum Chriesbach analysiert und denjenigen eines konventionellen analogen Gebäudes gegenübergestellt.

Die Unterstützung des Projektes durch das BFE Forschungsprogramm Energie in Gebäuden gewährleistete nicht nur eine fachkundige Prüfung des Projektvorhabens und von dessen Durchführung, sondern auch eine effiziente Bekanntmachung der Ergebnisse bei den interessierten Kreisen. Dies soll auch Vergleiche mit anderen energetisch hervorragenden Bauten ermöglichen, wie beispielsweise dem vor rund 10 Jahren gebauten Geschäftshaus von Basler & Hofmann AG in Esslingen über welches ebenfalls eine ausführliche Dokumentation existiert (Filleux 2001).

Das Projekt umfasste folgende Teilprojekte:

- Definition eines dynamischen Mehrzonen-Gebäudemodells mit der Simulationsumgebung TRNSYS und Simulation der Temperaturen und Energieflüsse basierend auf den Planungsvorgaben.
- Simulationen und Sensitivitätsanalyse der verschiedenen Bau- und Technischelemente
- Vergleich von Planungs- und Messwerten und Evaluation der Stärken und Schwächen
- Dokumentation der Ergebnisse in Publikationen, einem Synthesebericht und Organisation einer Tagung über das Forum Chriesbach.

3 Methoden und Vorgehensweise

3.1 Methoden

Für die Analyse des Verhaltens bezüglich Energie und thermischem Komfort wurden einerseits dynamische Gebäudesimulationen durchgeführt und andererseits Daten des Leitsystems, ergänzt mit zusätzlichen Messungen, analysiert.

3.1.1 Dynamische Gebäudesimulation mit TRNSYS

Für die Gebäudesimulation wurde ein dynamisches Mehrzonen-Gebäudemodell mitsamt den hauptsächlichen Gebäudetechnik-Komponenten für das Simulationsprogramm TRNSYS definiert. Unterschiedliche thermische Zonen des Gebäudes wurden in TRNSYS individuell erfasst, siehe Kapitel 4.

TRNSYS ist ein Programmpaket zur Simulation zeitabhängiger Prozesse. Das Programm erlaubt Systeme zu simulieren, die aus einzelnen Komponenten aufgebaut werden können. Durch den modularen Aufbau und den frei wählbaren Zeitschritt ist es besonders für haustechnische Systeme geeignet, die in ihrem regelungstechnischen Verhalten untersucht werden sollen. Die Möglichkeit, eigene Komponenten zu definieren und in TRNSYS zu integrieren, erhöht die Flexibilität weiter, ebenso die Offenheit für die Kopplung mit anderen Programmen. Es hat u.a. auch integrierte Modelle für thermoaktive Bauteile wie Betonkernaktivierung, Fußbodenheizung, Kapillarrohrmatten und Kühldecken. Zudem stehen eine grosse Standardkomponenten-Bibliothek und eine Auswahl verschiedenster Zusatzkomponenten z.B. für geothermische Energienutzung oder Luftströmung im Gebäude zur Verfügung.

Das Gebäude kann in unterschiedlicher Komplexität mit einbezogen werden. In diesem Projekt wurde das Mehrzonenmodell (Type 56) verwendet. Dieses Modell berücksichtigt den Wärmedurchgang durch Wände eindimensional mittels „transfer functions“ und den Wärmeaustausch zwischen den einzelnen Wänden unter Berücksichtigung der konvektiven und radiativen Komponenten.

In TRNSYS können das Gebäude und die Anlagentechnik gekoppelt simuliert werden; unter voller Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussungen.

TRNSYS wurde an der Universität von Wisconsin, USA, am Institut für Solartechnik von Klein, Duffie und Beckmann 1975 entwickelt, ursprünglich hauptsächlich für dynamische Simulationen von aktiven Solarsystemen. In der letzten Zeit waren vor allem die europäischen Vertreter von TRNSYS (Transsolar (D), CSTB (F), SERC (S)) für Weiterentwicklungen besorgt.

Für Simulationen in diesem Projekt wurde die Version TRNSYS 16.1 (TRNSYS 2005) verwendet.

3.1.2 Messungen

Das Gebäude ist mit einem umfassenden MSRL ausgerüstet. Dieses wird vom Technischen Dienst der Empa gemeinsam mit demjenigen der Eawag betrieben. Das ganze System (GAMS) umfasst auch eine Alarmorganisation, welche an diejenige der ETHZ angeschlossen ist. Im Forum Chriesbach werden sehr viele Daten automatisch und permanent erfasst und können mit entsprechender Berechtigung jederzeit auch rückwirkend gesichtet werden. Einige der interessantesten Messwerte sind auf dem Internet abrufbar, so dass jedermann verfolgen kann, wie sich das Gebäude in den verschiedenen Jahreszeiten und bei unterschiedlichen Wettersituationen verhält.

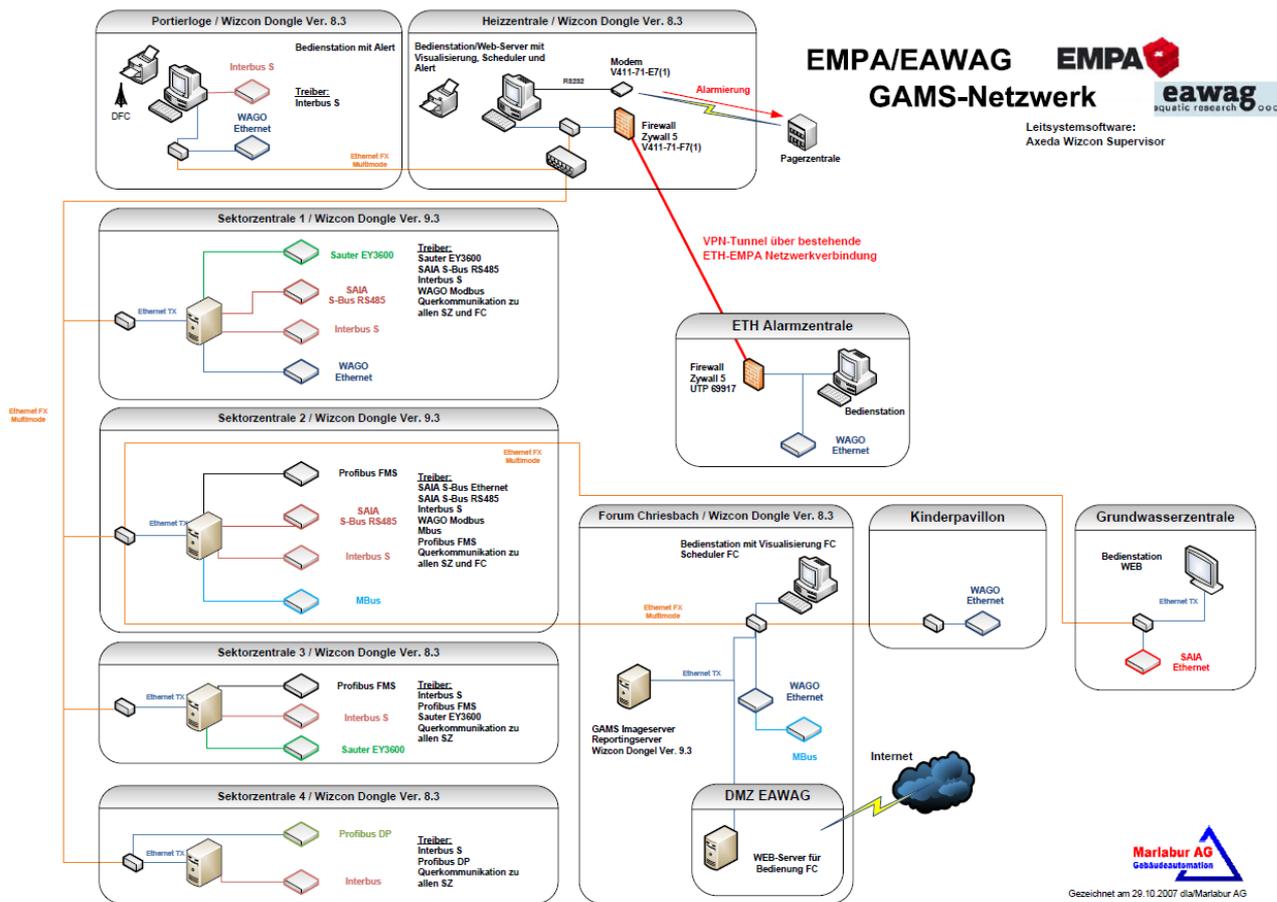


Abbildung 3-1: Schematischer Aufbau des MSRL-Netzwerks des Forum Chriesbach (Marlabur AG)

Die Messungen wurden ergänzt durch detaillierte Komfortmessungen für ausgewählte Perioden und in ausgewählten Räumen des Gebäudes (siehe Kapitel 6). Einige Messwerte, wie ausgewählte Raumtemperaturen, Leistung der Photovoltaikanlage und Strombedarf werden live im Internet publiziert. Im Rahmen der Umweltberichterstattung (RUMBA) veröffentlicht die Eawag zudem jährlich Zusammenfassungen ihrer Ressourcen- und Energieverbrauchsdaten.

3.2 Vorgehen und Teilprojekte

3.2.1 Simulation « Stand Planung »

Für die Simulationsumgebung TRNSYS wurde ein dynamisches Mehrzonen-Gebäudemodell definiert. Unterschiedliche thermische Zonen des Gebäudes wurden in TRNSYS individuell erfasst. Das erweiterte Gebäudemodell enthält Bau- und Technischelemente: Lüfterdregister, WRG-Server, Lüftungsanlagen, Thermische Solaranlage, Kombispeicher, WRG-Kälte, Arealheiznetz, Warmwassersystem, Nachtauskühlungssteuerung, Taglüftung, 3-Jahreszeitensteuerung, Tageslichtsteuerung, Heizbegrenzklappen, Sonnenschutz, Speichermasse, aktive Kühlung.

Mit diesem Modell wurde in der Planungsphase das Gebäude für den Zustand „Planung“ simuliert. Individuelle Raumtemperaturen und Energieflüsse der verschiedenen Zonen als

auch des Gesamtsystems wurden als Tages-, Wochen- und Jahresverläufe gerechnet. Die Beiträge der verschiedenen Elemente an die Gesamtbilanz im Jahresverlauf wurden durch Simulationen ermittelt und die Sensitivität des Gesamtsystems bezüglich dieser einzelnen Elemente geprüft.

Modellierung und Resultate sind detailliert in einem separaten Bericht dokumentiert (3-Plan Haustechnik AG, 2009/1) und in Kapitel 4 zusammengefasst.

3.2.2 Simulation «Stand Effektive Nutzung»

Nach der Inbetriebnahme und der Betriebsoptimierung wurde das Gebäudemodell an die aktuellen Verhältnisse angepasst, und für diesen Zustand „Effektive Nutzung“ wurden wiederum Simulationen durchgeführt (siehe Kapitel 4). Der Zustand „Effektive Nutzung“ wurde dabei aus Messdaten vom Leitsystem, aus Informationen aus der Betriebsoptimierung (BO), und aus zusätzlichen Erhebungen festgelegt.

Untersucht wurden Temperaturen in den Zonen, der Bedarf für Wärme und Kälte, und es wurden Energiebilanzen erstellt. Die Resultate der Simulationen wurden soweit möglich und sinnvoll mit Messresultaten verglichen. (siehe Bericht 3-Plan Haustechnik AG, 2009/2)

3.2.3 Sensitivitätsanalysen

Für verschiedene Randbedingungen sowie Bau- und Technischelemente wurden Parameterstudien durchgeführt und damit die Sensitivitäten der einzelnen Einflussparameter untersucht, siehe Kapitel 5. Ausgangspunkt für diese Parameterstudien war das auf den Zustand „Effektive Nutzung“ angepasste Simulationsmodell.

Untersucht wurden die Sensitivität auf Belegungsvariationen (Unter- und Überbelegung) und Wetter-/Klimaeinflüsse (Hitze- und Kälteperioden), sowie der Einfluss baulicher Aspekte (Fluchtbalkone, Atrium).

Ebenso wurden die Beiträge der einzelnen Technischelemente zur Bedarfsreduktion und zur Wärmebereitstellung untersucht.

3.2.4 Messungen

In einer engen Interaktion mit der Betriebsoptimierung wurden Messdaten aus dem MSRL System aufbereitet und für die Definition von Eingabewerten für die Simulation und für die Erstellung der Energiebilanzen verwendet. Des Weiteren wurden die Daten für die Komfortuntersuchungen und den Vergleich mit Simulationen aufbereitet und dargestellt. Für die Komfortuntersuchungen wurden auch zusätzliche, detaillierte Messungen in einzelnen Räumen durchgeführt. Resultate der Messungen sind im Kapitel 6, sowie in den Vergleichen mit Simulation in den Kapiteln 4 und 5 gegeben.

3.2.5 Energiebedingte Mehr- und Minderkosten

Nebst der energetischen Überprüfung wurden auch die energiebedingten Mehr- und Minderkosten evaluiert. Im Vordergrund standen die Ermittlung der Mehrkosten durch Solarsysteme, Lüftung, passive Kühlung und zusätzliche Wärmedämmung, sowie der Minderkosten durch den Wegfall eines Heiz- und Kühlsystems. In der Kostenanalyse wurden Bauinvestitionen mit Einsparungen im Betrieb für unterschiedliche Zukunftsszenarien der Energiepreise verglichen. Für den Vergleich wurde auch ein architektonisch identisches „Standard-Gebäude“ berücksichtigt. Die Resultate dieser Untersuchungen sind ebenfalls in einem separaten Bericht dokumentiert und in Kapitel 7 zusammengefasst.

3.2.6 Dokumentation

Die Ergebnisse der Simulationen und Messungen sowie die daraus gezogenen Erkenntnisse sind in diesem Schlussbericht, in verschiedenen Publikationen, Tagungsberichten sowie in zwei detaillierten Berichten dokumentiert.

3.2.7 Informationsveranstaltung «Eawag Forum Chriesbach - Vision und Realität»

Die wichtigsten Aspekte des Projektes sowie Schlussfolgerungen betreffend den ganzen Ablauf des Bauverfahrens von der Bedarfsermittlung über die Erstellung des Pflichtenhefts bis hin zur Bauübernahme und zum Betrieb des Gebäudes Forum Chriesbach, wurden der Fachwelt und der breiteren Öffentlichkeit an einer Fachtagung am 23. Jan. 2009 vorgestellt. Eine Medienmitteilung und die Referate wurden den Teilnehmenden abgegeben. Verschiedene Berichte erschienen in der Presse.



Abbildung 3-2: Informationsveranstaltung vom 23. Januar 2009 im Atrium des Forum Chriesbach (Eawag)

4 Simulationen Planung und effektive Nutzung im Vergleich zu Messdaten

Die Modellierung und Simulation wurde durch 3-Plan Haustechnik AG durchgeführt. Die Resultate der Simulationen für die beiden Zustände sind in ausführlichen separaten Berichten dokumentiert, zum Zustand „Planung“ in (Bericht Phase 1, 3-Plan, 16.1.2009) und zum Zustand „Effektive Nutzung“ in (Bericht Phase 2, 3-Plan, 18.1.2009).

4.1 Modellbeschreibung

4.1.1 Modellierung

Mit der thermischen Gebäudesimulation wird das dynamische Verhalten des Gebäudes in einem Computermodell abgebildet. Die Art der Modellierung, die Annahmen, Rahmenbedingungen und der Komplexitätsgrad definieren die Aussagekraft der Resultate. In diesem Kapitel wird aufgezeigt, wie die Planung in das Modell übersetzt und nicht, warum das Gebäude so oder so geplant wurde.

Bei den Input-Grössen wird unterschieden zwischen den Randbedingungen und den Gebäude-Parametern. Als Randbedingungen zählen alle Grössen, die nicht im Sinne einer Optimierung des Gebäudes variiert werden können. Dazu zählen insbesondere Aussentemperatur, solare Einstrahlung, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit, Erdreichtemperatur, etc. Gebäude-Parameter dagegen repräsentieren eine hinterfragbare und optimierbare Entscheidung im Design des Gebäudes (z.B. Grenzwerte für Steuerungs- und Regelungsprozesse).

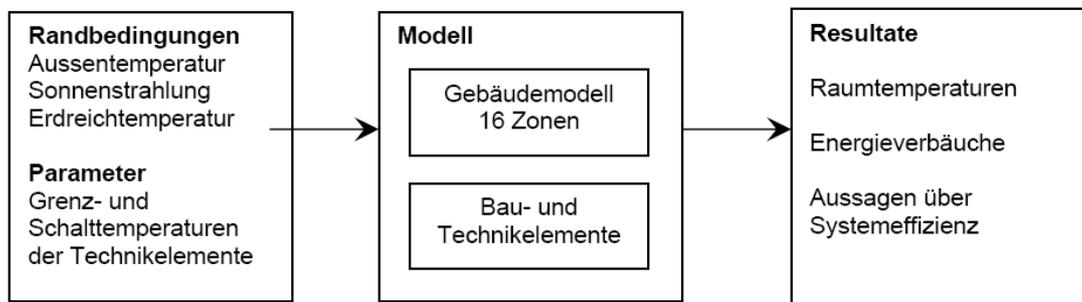


Abbildung 4-1: Übersicht Modellierung (3-Plan)

Es wurde ein dynamisches Mehrzonen-Gebäudemodell inklusive der relevanten haustechnischen Systeme aufgesetzt und in einem 3D-Modell visualisiert. Das Gebäude wurde in 16 thermische Zonen¹ aufgeteilt, um eine möglichst differenzierte Betrachtung der Nutzung zu ermöglichen.

Das Gebäudemodell wurde mit den Kern-Komponenten der Gebäudetechnik erweitert. Mit diesem Gesamtsystem wurden für ein Jahr die Energieflüsse und Temperaturen der Bau- und Technischelemente im Stundenschritt abgebildet.

Das betrachtete System umfasst alle thermischen Energieflüsse, die in das und aus dem Gebäude führen sowie die thermischen Energieflüsse zwischen den 16 Zonen des

¹.Die Simulationen mit TRNSYS wurden mit der Summe der Zonen-EBF, nämlich 11'161 m² gerechnet und nicht mit dem sonst verwendeten gerundeten Wert von 11'170 m².

Gebäudes, Es beinhaltet auch die modellhafte Repräsentation der physikalischen Umwandlungseffekte von thermischer Energie im Gebäude sowie den Bau und die Technischelemente.

Die relevanten Energieströme lassen sich wie folgt abbilden.

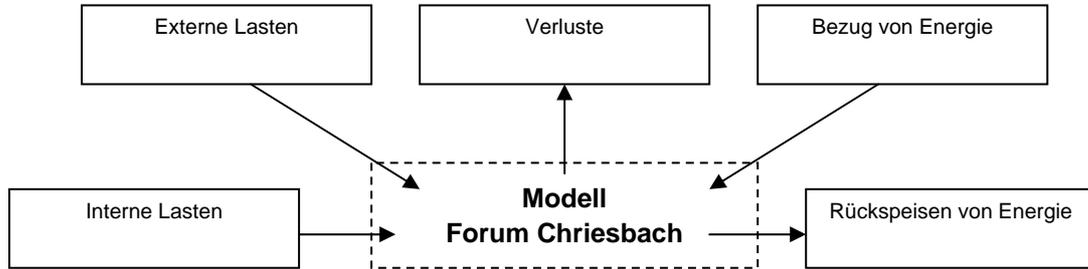
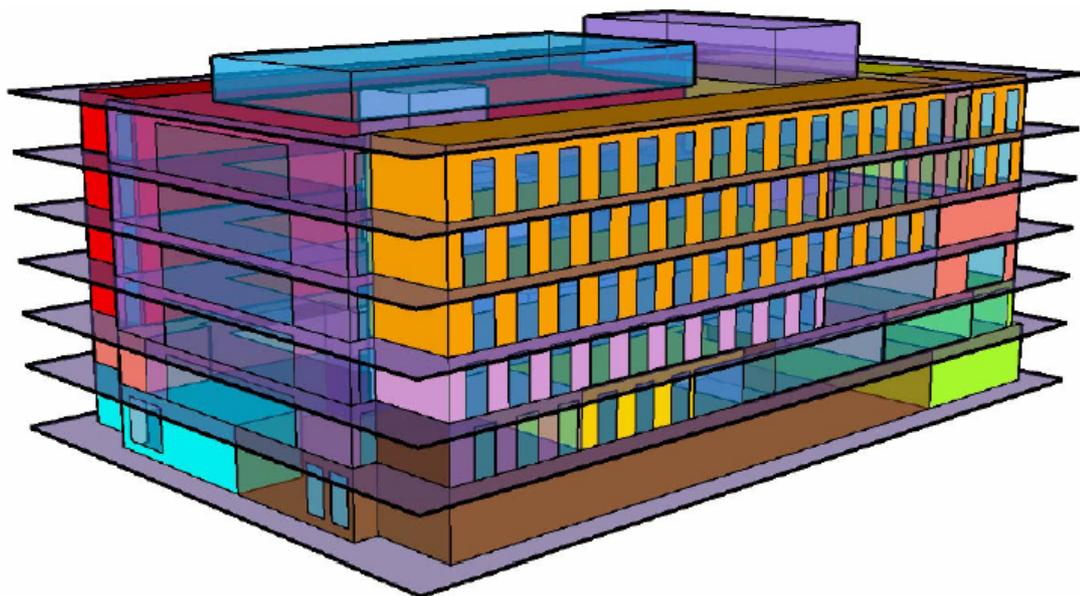


Abbildung 4-2: Systemübersicht für das Gebäudemodell (3-Plan)

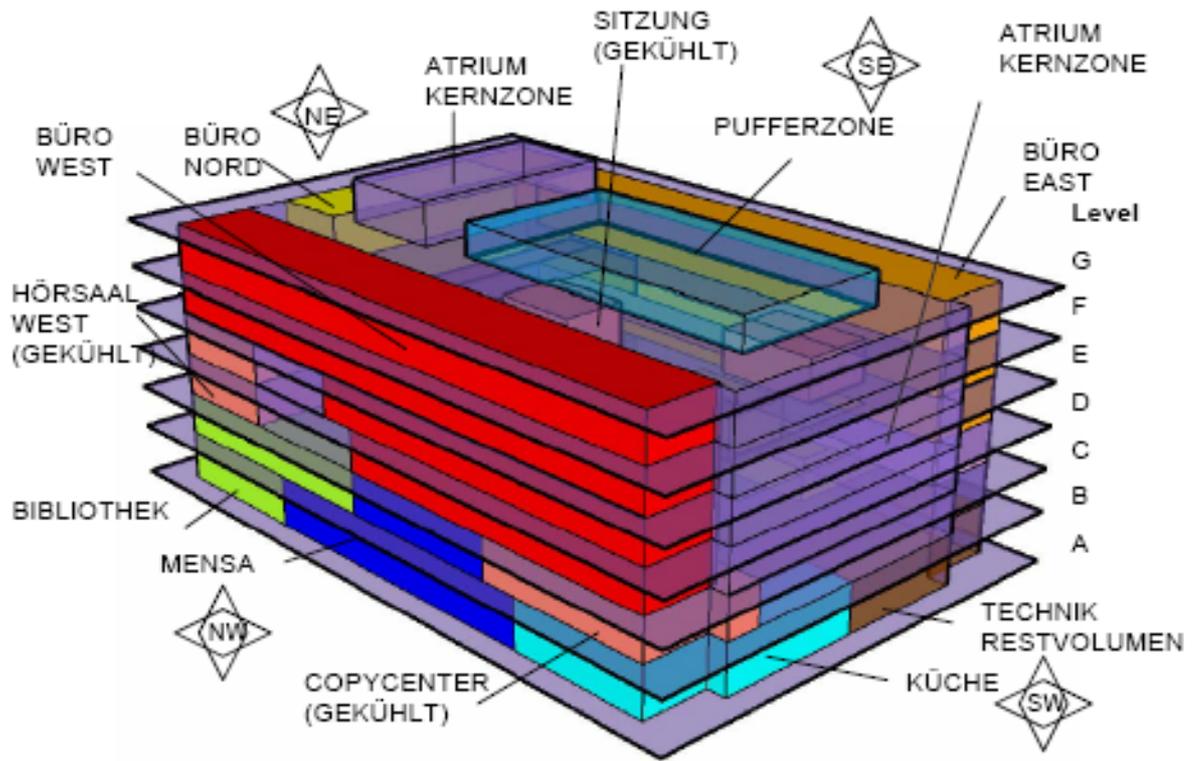
Gebäudehülle und Zonierung

Die Flächen, Volumina und U-Werte sind praktisch identisch für die beiden Zustände (siehe Berichte 3-Plan 2009/1 und 2009/2).

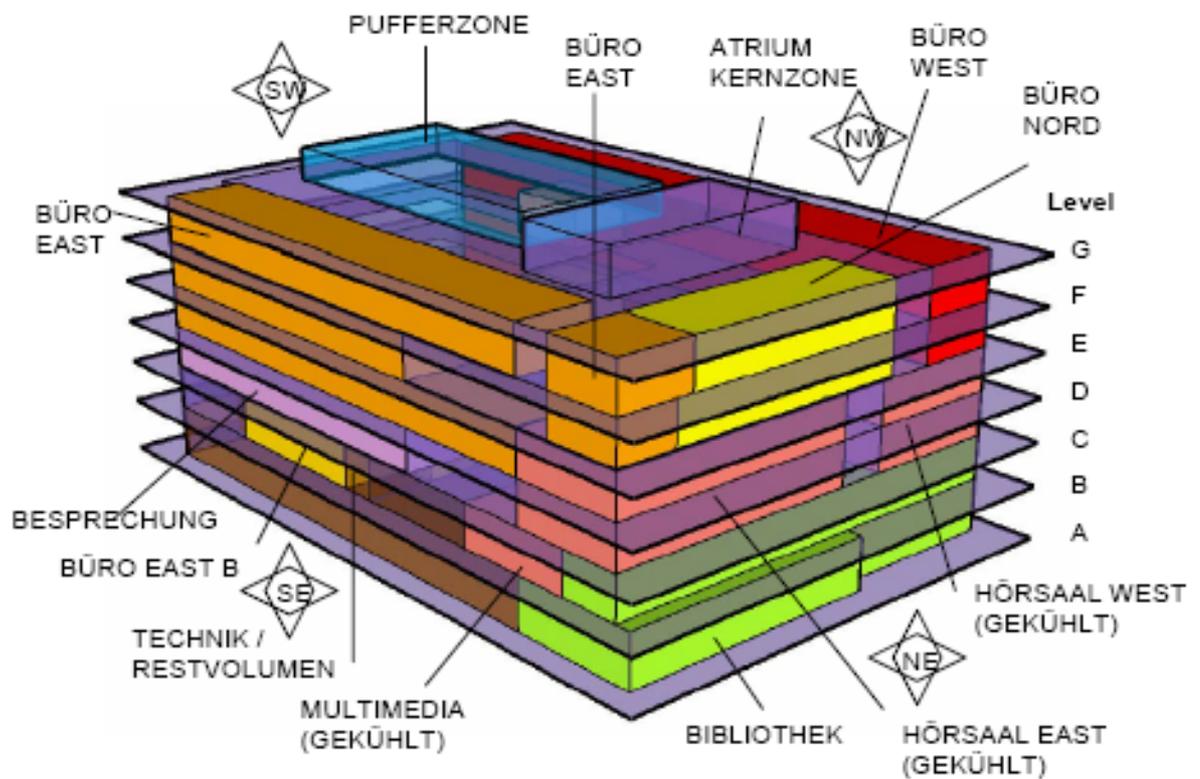


Süd-Ansicht mit Fenstern

Abbildung 4-3a: 3D- Modell, Zonierung: Südansicht (3-Plan)



Westansicht des Gebäudemodells mit Zonengliederung



Ostansicht des Gebäudemodells mit Zonengliederung

Abbildung 4-3b: 3D- Modell, Zonierung: West- und Ostansicht (3-Plan)

4.1.2 Bau- und Technischelemente

Als Bau- und Technischelemente wurden modelliert:

- Gebäudehülle / Tageslichtnutzung
 - Kontrollierte natürliche Nachtauskühlung
 - Sonnenschutz / Tageslichtnutzung / Doppeldach
- Lüftungsanlagen
 - Lüfterdregister
 - WRG Serverabwärme / Freecooling Server
 - WRG Lüftungsanlagen
 - Luftkühler / Lüfterhitzer / Nachtheizung (Temperaturhaltung)
- Zusatz- Wärme und Kälteabgabesysteme
 - Statische Heizung Spezialzonen UG/EG resp. Level A/B
 - Aktive Kühlung Spezialzonen
- Wärmebereitstellung / Kombispeicher
 - Abwärmenutzung der gewerblichen Kälteanlage
 - Thermische Solaranlage mit Kombispeicher
 - Arealheiznetz
- Kältebereitstellung
 - Arealkältenetz

Gebäudehülle / Tageslichtnutzung

Obwohl die folgenden Einrichtungen eigentlich zu den baulichen Elementen zählen, sind sie aufgrund ihrer spezifischen Funktion und des entscheidenden Einflusses auf das Raumklima im Planungsablauf gewerksübergreifend zu betrachten.

Kontrollierte natürliche Nachtauskühlung

Mittels in der Aussenfassade und in den Trennwänden zur Atriumszone eingebauten Lüftungsklappen ist eine Nachtauskühlung mit 2-fachem Aussenluftwechsel vorgesehen. Diese Lüfrate wurde durch externe, fluid-dynamische Simulationsrechnungen ermittelt und stellt eine konservative Schätzung dar. Die Nachtauskühlung ist über die momentane Aussentemperatur (T_a), die mittlere Aussentemperatur über 24 Stunden (T_{a24}) sowie die Lufttemperatur (T_{air}) und die empfundene Raumtemperatur (T_{op}) der jeweiligen Zone gesteuert.

Durch eine optimierte Regelung konnte eine unnötig starke Auskühlung während der Übergangszeit verhindert werden (siehe Abbildung 4-4).

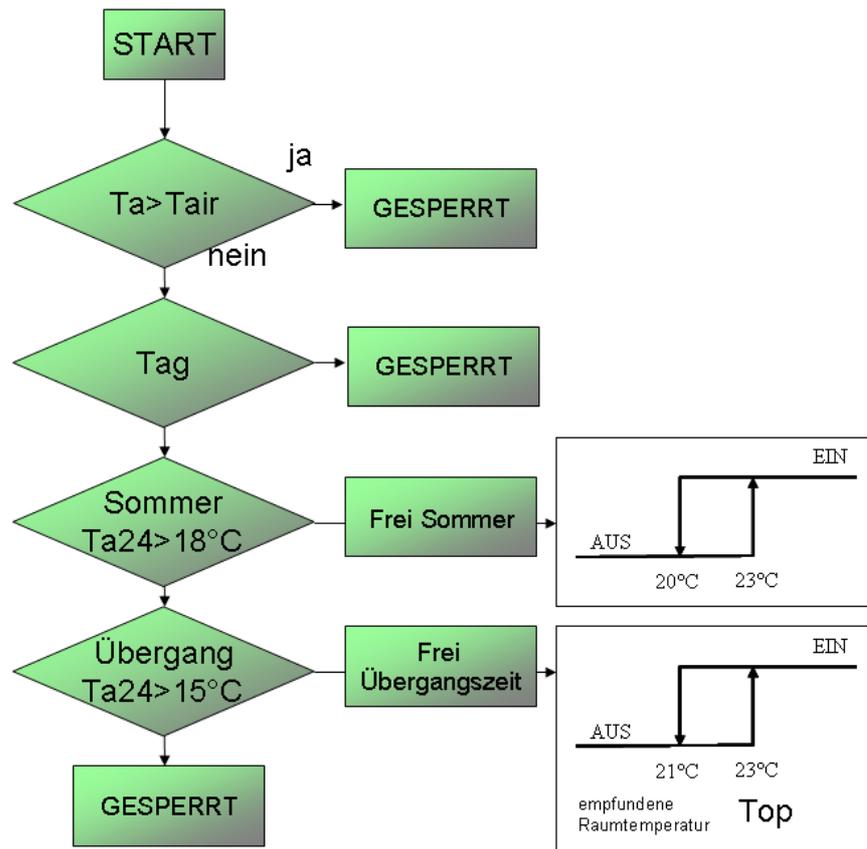


Abbildung 4-4: Regelung Nachtauskühlung «effektive Nutzung» (3-Plan)

Sonnenschutz / Tageslichtnutzung / Doppeldach

Der Sonnenschutz der Fassaden (bewegliche, vertikale, aussenliegende, bedruckte Glaslamellen) wird saisonal gesteuert. Unterschieden werden drei Modi:

Winter ($Ta_{24} < 10^\circ\text{C}$): Kein Sonnenschutz. Lamellen fahren parallel zur Sonnenstrahlung.

Übergangsperioden (Ta_{24} zw. 10°C und 15°C): Während den Übergangsperioden geht die Fassade nur bei starker Sonneneinstrahlung in den Modus „Sonnenschutz“ ($I_{\text{tot}} > 300 \text{ W/m}^2$). Deaktivierung Sonnenschutz mit Hysterese, sobald $I_{\text{tot}} < 120 \text{ W/m}^2$.

Sommer (Ta_{24} über 15°C): Während der Sommerperiode muss als Überhitzungsschutz schon bei tieferen Strahlungswerten ($I_{\text{tot}} > 140 \text{ W/m}^2$) in den Sonnenschutz-Modus geschaltet werden.

Effekte wie Reflexion an den Lamellen werden nicht erfasst, die Sonnenschutzfunktion kann aber hinreichend genau abgebildet werden.

Tageslichtnutzung

Die elektrische Beleuchtung schaltet nach Bedarf ein resp. aus. Es sind Präsenzsensoren und Einstrahlungsmessgeräte auf dem Dach und an den Fassaden vorhanden. Modelliert ist die Beleuchtung als interne Last (gain) mit den entsprechenden Leistungen je Zone, und gewichtet mit einem Beleuchtungsfahrplan. Dort wo Tageslichtnutzung vorgesehen und möglich ist, wird zusätzlich die interne Last nach der gemessenen Strahlungsintensität geschaltet. Bei nicht ausreichender Einstrahlung in die Horizontalebene wird die Beleuchtung ganzjährig aktiviert.

Licht EIN bei $I_{\text{tot}} < 110 \text{ W/m}^2$, Licht AUS bei $I_{\text{tot}} > 170 \text{ W/m}^2$

Doppeldach

Das Doppeldach wurde als eigene thermische Zone abgebildet. Dies erlaubt sowohl im Sommer als auch im Winter optimal auf die Erfordernisse zu reagieren. Im Winter durch optimalen Wärmeschutz (Tiefe U-Werte, unten 3-IV, oben 2-IV) und im Sommer durch guten Sonnenschutz (tiefer Grund- g-Wert, mechanischer horizontaler, hinterlüfteter, beweglicher Sonnenschutz). Die Steuerung des beweglichen Sonnenschutzes erfolgt analog dem Sonnenschutz der Fassaden.

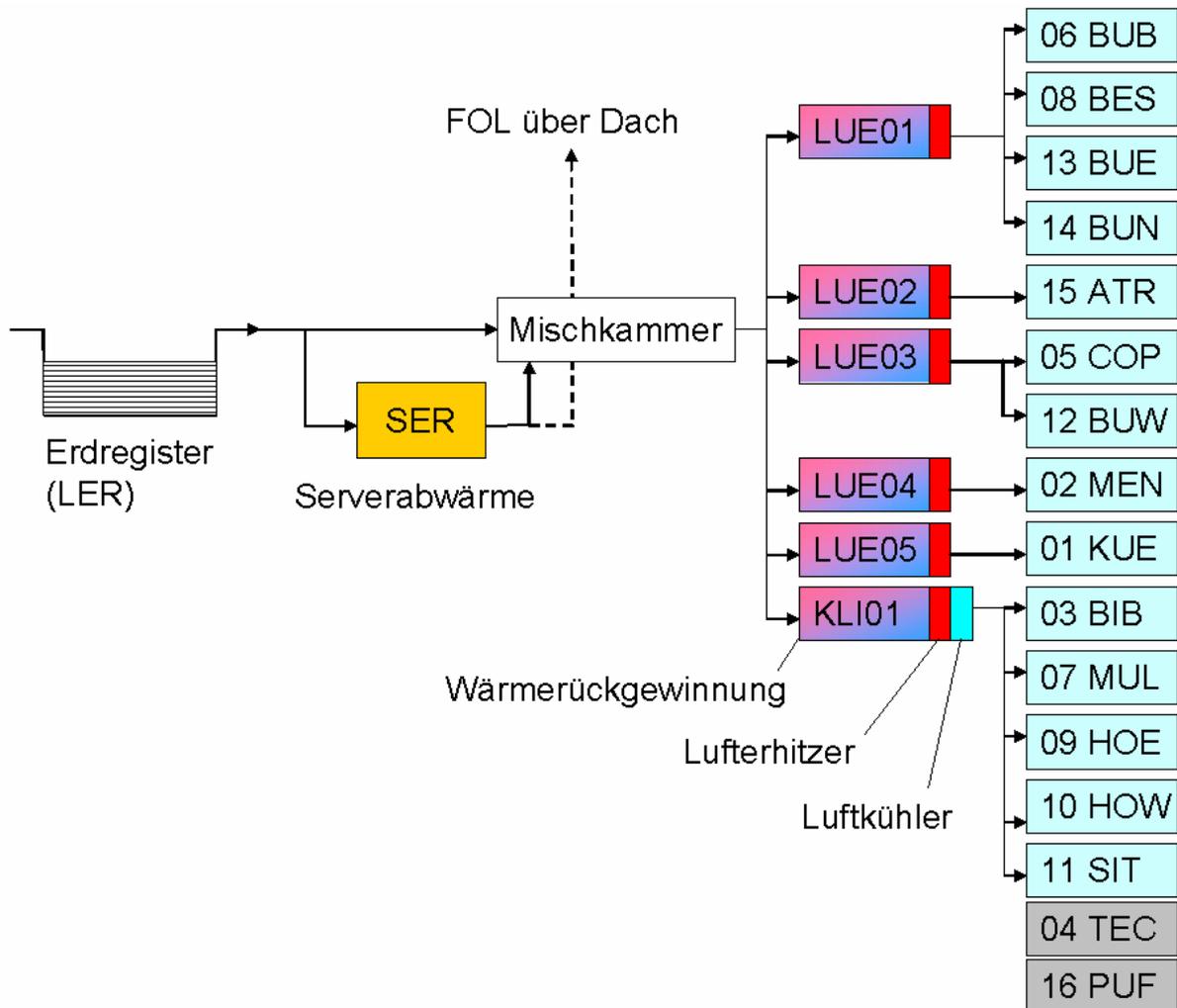


Abbildung 4-5: Übersicht Luftwege (3-Plan)

Mechanische Lüftungsanlagen

Die „Lunge“ des Gebäudes bilden die Lüftungsanlagen. Die Aussenluft durchströmt vereinfacht folgende vier Stationen bevor sie gefiltert den Komfortzonen (siehe Abbildung 1-6) zugeführt wird.

1. Lüfterregister
2. WRG Serverabwärme / Freecooling Serverwärme
3. WRG Lüftungsanlagen
4. Luftkühler / Lüfterhitzer / Nachtheizung (Temperaturhaltung)

Die gesamte Atriumszone ist rein natürlich belüftet.

Lufterdregister

Durch das Lufterdregister (LER) wird die Temperatur der Aussenluft im Winter erhöht und im Sommer abgesenkt. Für die Planung wurde eine konservative Übertragungsfunktion angenommen. Für die „Effektive Nutzung“ wurde auf der Basis von bestehenden Messungen im Jahr 2007 (ausschliesslich Sommermessungen) eine vereinfachte Polynomfunktion definiert, welche berücksichtigt, wie stark tägliche Temperaturschwankungen gedämpft werden und wie viel von der abgegebenen Wärme / Kälte gespeichert wird. Da zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichtes nur eine kurze sommerliche Messreihe von ca. zwei Monaten vorlag, ist insbesondere das winterliche Verhalten sehr unsicher.

WRG Serverabwärme / Freecooling Server

Die anfallende Abwärme der Server (die angenommenen 16kW „Stand Planung“, wurden messtechnisch validiert und übernommen) kann im Winter direkt zur Erwärmung der Aussenluft genutzt werden. Die Server schöpfen sich kühle Aussenluft aus dem Erdregister und bringen die erwärmte Luft in eine Mischkammer wodurch der gesamte Aussenluftvolumenstrom des Gebäudes um die eingebrachte Energiemenge erwärmt wird.

Im Sommerfall wird die durch das Erdregister abgekühlte Aussenluft direkt dazu verwendet, die Server im Freecoolingbetrieb zu kühlen. Statt sie anschliessend in die Mischkammer zu führen, wird die erwärmte Luft in diesem Fall über das Dach weg geführt. Übersteigt die Zulufttemperatur in den Serverraum einen Schwellenwert, so wird auf Umluftkühlung umgeschaltet. Dieser Schwellenwert betrug im Stand „Planung“ 20°C und wurde bedingt durch die für den Serverbetrieb geforderte tiefere Raumtemperatur auf 18°C, entsprechend der „effektiven Nutzung“ angepasst. Die Solltemperatur des Serverraums hat somit einen direkten Einfluss auf den Kältebedarf ab Arealnetz.

WRG Lüftungsanlagen

Durch die Wärmerückgewinnung in den Lüftungsanlagen wird die Überwärme der aus den Zonen strömenden Luft der eintretenden Luft zugeführt. Auf diese Weise reduzieren sich die Lüftungswärmeverluste.

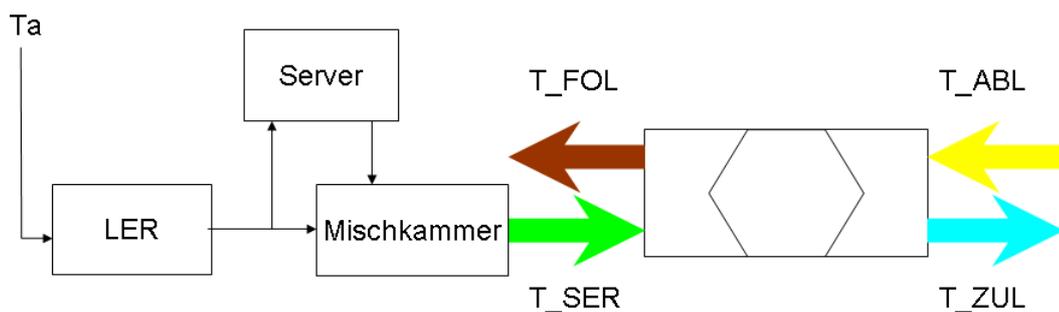


Abbildung 4-6: Schema Lüftungsanlagen (3-Plan)

Der Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung wurde konstant mit 0.75 angenommen (bester bekannter Wert als Mittel der Lüftungsanlagen, ohne Berücksichtigung der Erwärmung durch die Ventilatorabwärme). Der Wärmeaustausch wird so betrieben, dass die maximale Energiemenge zurück gewonnen wird, ohne dass sich die Zuluft dabei auf unnötig hohe Temperaturen vorwärmt. Damit es zu keiner unnötigen Überhitzung kommt, wird zum Beispiel im Winter der Küche Zuluft bei 20 °C zugeführt, auch wenn höhere Rückgewinnungsgrade möglich wären. Die Abwärme der Ventilatoren wurde für die „effektive Nutzung“ indirekt über die internen Lasten erfasst.

Im Zustand „Effektive Nutzung“ wurde die Zulufttemperatur in die Zonen (T_{ZUL}) durch die folgende Funktion modelliert:

$$T_{ZUL} = \text{MIN} \left(\underbrace{\text{MAX} \left(\underbrace{\text{MIN} (T_{SER}, T_{WRG})}_{\text{Hochsommer}}, \text{Top_SET} \right)}_{\text{Winter}}, \underbrace{T_{WRG}}_{\text{Übergangszeit}} \right)$$

mit:
 $T_{WRG} = T_{SER} + (T_{ABL} - T_{SER}) \times \text{Eta}_{WRG}$

Mit dieser Darstellung wird erreicht, dass die Zuluft - sofern möglich - der Top_SET entspricht. Top_SET ist die gewünschte Einblastemperatur der Zone. Die gleiche Temperatur wird als Sollwert für die Lufterhitzer verwendet.

Luftkühler / Lufterhitzer / Nachtheizung (Temperaturhaltung)

Die Lüftungsanlagen übernehmen das ganze Jahr während den Betriebszeiten (in der Regel 07:00h bis 19:00h) die Funktion des Lüftens.

Luftkühler sind nur bei den Zonen mit aktiver Kühldecke wie z.B. Auditorium und Seminarräume vorgesehen (vergleiche Aktive Kühlung Spezialzonen) und begrenzen die Zulufttemperatur auf 26.5°C. Sowohl im Modell wie auch nach den Messwerten, trifft dies aufgrund des vorgeschalteten Erdregisters praktisch nie ein (Kälteverbrauch Null).

Die Lufterhitzer bringen die Zulufttemperatur durch Zuführung von Wärme ab Kombispeicher (siehe Wärmebereitstellung / Kombispeicher) auf den gewünschten Sollwert (während den Nutzungszeiten ca. 0.5 K unter Sollwert Raum). Dadurch wird eine gute Lüftungseffizienz erreicht.

Während kalten Jahreszeiten ($T_{a24} < 5^\circ\text{C}$) ausserhalb der Betriebszeiten kann die Lüftungsanlage dazu verwendet werden, die fehlenden internen Lasten zu ersetzen. Damit kann ein Auskühlen der Räume verhindert werden. Dabei wird zwischen „kalten“ und „sehr kalten“ Zeiten unterschieden: während „kalten“ Zeiten ($T_{a24} < 5^\circ\text{C}$) wird nur an Wochenenden während der Nacht geheizt, bei „sehr kalten“ Jahreszeiten ($T_{a24} < 0^\circ\text{C}$) ist die Nachtheizung während der Nacht immer freigegeben und aktiv.

Bei der Nachtheizung werden die Lüftungsanlagen auf Umluft gestellt ($\text{WRG} = 100\%$). Zusätzlich wird die Zuluft auf einen Sollwert von 36°C erwärmt („effektive Nutzung“). Beim Erreichen der raumspezifischen Solltemperatur erfolgt eine Schliessung der entsprechenden Lüftungsklappen.

Gegenüber dem Zustand „Planung“ wurden die Raumtemperatursollwerte während Nachtheizbetrieb einheitlich von 20°C auf 21°C angepasst.

Zusatz- Wärme- und Kälteabgabesysteme

In speziellen Bereichen wird „konventionell“ geheizt und gekühlt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Vorlauftemperaturen möglichst tief (Heizfall) respektive möglichst hoch (Kühlfall) gehalten werden können.

Statische Heizung Spezialzonen UG/EG resp. Level A/B

In speziellen Zonen im Bereich UG / EG sind aus Komfortgründen statische Heizkörper installiert. Der Raumtemperatur-Sollwert für alle Heizkörper betrug im Zustand „Planung“ 20°C, die Vorlauftemperatur 36°C. Im Zustand „Effektive Nutzung“ wurden unterschiedliche

Raumtemperatur-Sollwerte eingesetzt. Da die Thermostatventile auch während des Jahres verstellt wurden, stellen diese Werte nur eine Annäherung dar.

Zustand „Effektive Nutzung“:

- Buero B (EG): 24.5°C, gesperrt bei $T_{a24} > 13^\circ\text{C}$ sowie
- Buero B (EG): gegenüber Bericht Phase 1 eine um 325W auf 975W erhöhte Leistung
- Bibliothek und Mensa (EG / UG) 23.8°C, gesperrt bei $T_{a24} > 13^\circ\text{C}$
- weitere Heizkörper EG/UG (Küche, Copycenter, Multimedia): 21°C

Eine in der Simulation Planung vernachlässigte Heizleistung im Bereich des Windfangs (Atrium/Kernzone) wurde für die Simulation effektive Nutzung eingefügt.

Aktive Kühlung Spezialzonen

In speziellen Zonen wurden bedingt durch die zu erwartenden grossen internen Lasten aktive Kühldecken installiert. Namentlich:

- Copycenter
- Multimedia
- Hörsaal East
- Hörsaal West
- Sitzung

Die Kühldecken werden, soweit nötig, mit voller Leistung aktiv, wenn die Raumtemperatur über 26.5°C steigt. Vorlauftemperatur 20°C. Sowohl im Modell wie auch nach den Messwerten, trifft dies selten ein (Kälteverbrauch marginal).

Wärmebereitstellung / Kombispeicher

Des „Herz“ des Gebäudes bildet der rund 12m³ grosse Kombispeicher (Stand Planung 13m³). Er versorgt auf seiner „Outputseite“ das Gebäude mit der notwendigen Heizwärme (Lufterhitzer und in Spezialzonen statische Heizung, Niveau 40°C) sowie dem Wärmebedarf für Warmwasser (Niveau 55°C), dominiert durch die gewerbliche Grossküche. Entsprechend dem physikalischen Aufbau und den technischen Daten der effektiven Anlage wurde ein Modell erstellt und mit dem Gebäudemodell zu einem Gesamtsystem verknüpft.

Das Modell wurde für die „effektive“ Nutzung unverändert übernommen. Angepasst wurden einzelne Regelparameter wie Schaltwerte der Temperaturen entsprechend den aktuellen Einstellungen.

Auf der Outputseite wurde der mit 81.7 kWh/d angenommene Warmwasserbedarf („Stand Planung“) auf die gemessene Grösse von 117 kWh/d angepasst („effektive Nutzung“).

Auf der Inputseite wird die Wärme in drei Sequenzen bereitgestellt:

1. Abwärmenutzung der gewerblichen Kälteanlage
2. Thermische Solaranlage
3. Arealwärmenetz

Abwärmenutzung der gewerblichen Kälteanlage

Die anfallende Abwärme der gewerblichen Kälte wird primär genutzt und vermag das Wasser auf 36°C zu erwärmen. Der Ertrag der Wärmerückgewinnung der Kälteanlage wurde entsprechend der effektiven Nutzung angepasst, was bei 12.1 kW Kälteleistung einer Erhöhung von 9 auf 16 Volllaststunden entspricht.

Thermische Solaranlage

Mittels einer nachgeschalteten thermischen Solaranlage (Vakuurröhrenkollektoren) wird die Temperatur auf ein nutzbares Niveau gebracht. Vakuurröhren wurden gewählt, weil die Anlage in Kombination mit der WRG der gewerblichen Kälteanlage über genügend Tieftemperaturpotential verfügt und deshalb vor allem noch ein Bedarf an hoher Temperatur vorhanden ist.

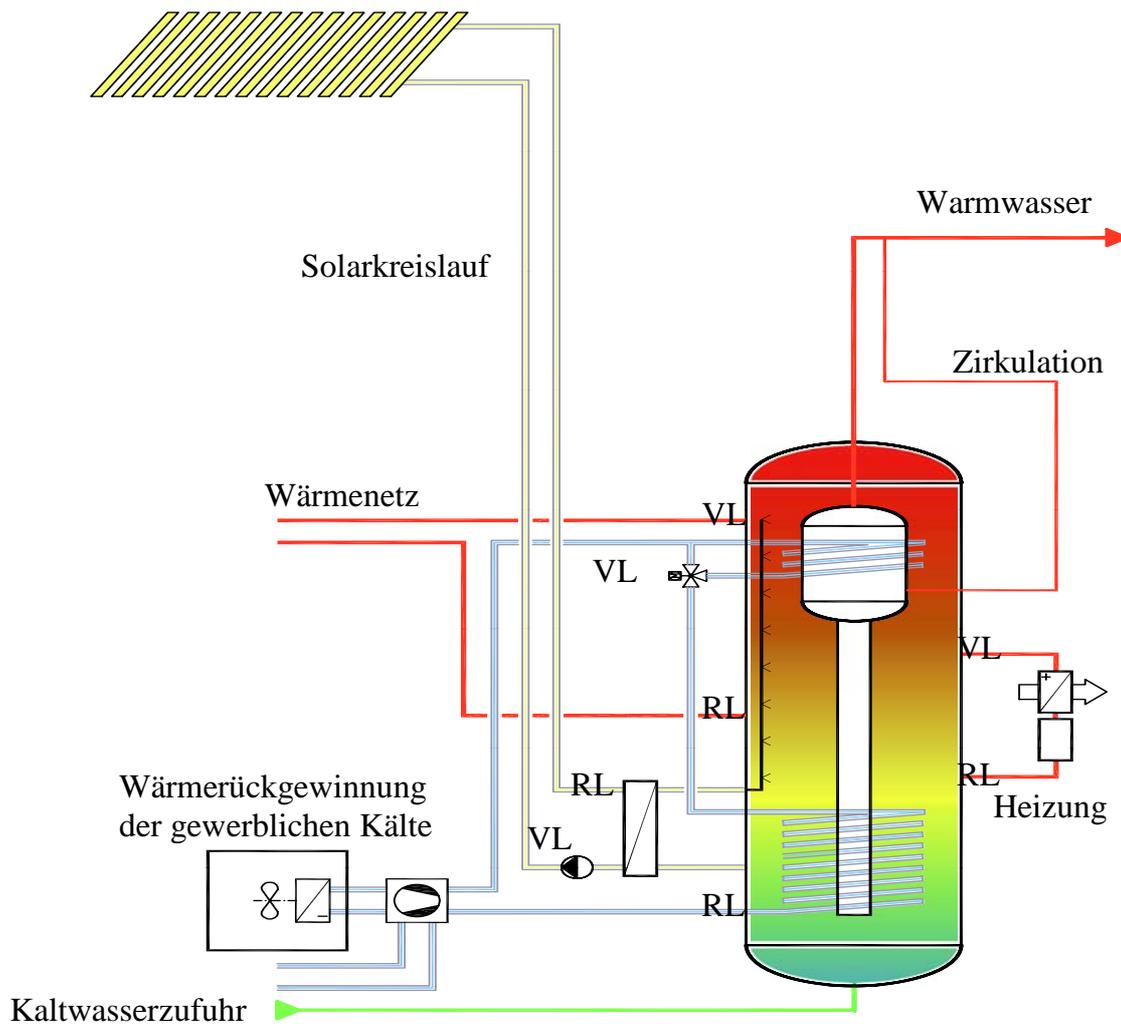


Abbildung 4-7: Schema Kombispeicher (3-Plan)

Arealheiznetz

Reicht die WRG der gewerblichen Kälte in Kombination mit der Solaranlage nicht aus, wird Wärme aus dem Arealwärmernetz bezogen, resp. bei Überschuss (Sommer) Wärme ins Arealnetz zurückgespielen.

Auf eine eigene Wärmeerzeugungsanlage wurde aufgrund des zu erwartenden geringen Heizenergiebedarfes und der Situation des vorhandenen Arealwärmernetzes mit Rückspeisungsmöglichkeit verzichtet.

Kältebereitstellung

Aufgrund des zu erwartenden marginalen Kälteverbrauchs und des auf dem Areal zur Verfügung stehenden Kältenetzes, wurde auf eine eigene Kälteerzeugung verzichtet und an das bestehende Netz angeschlossen.

Arealkältenetz

Der Bezug ab Netz wird gesondert für Klimakälte und Serverkälte erfasst. Die Server benötigen dann Kälte, wenn 20°C (Stand „Planung“) resp. 18°C (Stand „effektive Nutzung“) nach dem Erdregister nicht gehalten werden können (vergleiche Kapitel 4.3.4).

4.1.3 Externe Randbedingungen

Meteodaten

Zustand	Verwendete Daten
Stand Planung	KlotenDRY.tm2 Standard-Wetterdatenfile
Effektive Nutzung	NABEL Messdaten 2007 Standort EMPA Dübendorf

Temperatur Erdreich und unbeheizte Bereiche

Die Temperatur des Erdreiches und des unbeheizten Bereiches des FC wurde mit einer einfachen Funktion modelliert. Die Temperatur (T_{unh}) hängt grundsätzlich nicht nur von den Verlusten ins Erdreich und Gewinnen aus anderen Zonen ab, sondern vor allem von der Abwärme der technischen Einrichtungen. Der entsprechende Aufwand zur Modellierung ist hier nicht gerechtfertigt, da der unbeheizte Raum keine speziellen Temperaturanforderungen zu erfüllen hat.

$$g(z,t) = g_m + g_0 \cdot e^{-z \cdot \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot T}}} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t + \pi - z \cdot \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot T}}\right)$$

		Erdreich		Unbeheizt	
		Tgro		Tunh	
Mitteltemperatur	ϑ_m	Tmg	11°C	Tmu	18°C
Amplitude	ϑ_0	Tog	4°C	Tou	2.5°C
Tiefe im Erdreich	z		2m		
Temperaturleitfähigkeit	a		0.002398 m ² /h		
Periodendauer	T		8760 h		

Die Erdreichtemperatur wurde gegenüber dem Stand Planung unverändert übernommen. Die Jahresmitteltemperatur des unbeheizten Volumens wurde aufgrund der effektiven Temperaturen von 18°C auf 21°C angehoben und die jährlichen Schwankungen von +/- 2.5°C auf +/- 1°C reduziert.

Tabelle 4-1: Temperaturverlauf Randbedingung Erdreich und Unbeheizt (3-Plan)

4.1.4 Interne Lasten

Die internen Lasten „Stand Planung“ basieren auf der SWKI Richtlinie 95-3. Der Reduktionsfaktor Tageslicht [%] bezeichnet welcher Anteil der Beleuchtungsenergie trotz Tageslichtnutzung nötig ist. Dieser Wert ist von den Wetterdaten abhängig. Die internen Lasten „effektive Nutzung“ basieren auf den Erhebungen von M. Bauer (Bauer 2007) und

wurden durch Plausibilisierung mittels Messdaten aus der Betriebsoptimierung (3-Plan Haustechnik AG 2008) sowie Angaben des Betreibers angepasst.

Die Verteilung der Volllaststunden [h/d] ist aus Tabelle 4-2 und Tabelle 4-3 ersichtlich. Im Modell fallen bei starker Sonneneinstrahlung in gewissen Zonen keine Beleuchtungslasten an. Ein Vergleich der internen elektrischen Lasten Stand Planung und Stand effektive Nutzung kann Tabelle 4-4 entnommen werden, die Personenlasten der Tabelle 4-5.

ZONE	NGF m ²	Personen				Geräte				Beleuchtung				TOTAL		
		h/a	W/m ²	MJ/m ² a	MJ/a	h/a	W/ m ²	MJ/m2a	MJ/a	h/a	W/m ²	% ¹	MJ/m ² a	MJ/a	MJ/m ² a ²	MJ/a
1 KÜCHE	116	1'820	8	52	6'080	1'300	200	936	108'576	2'340	8	100%	67	7'817	1'056	122'474
2 MENSA	225	780	59	164	36'960	1'300	2	9	2'106	1'820	10	40%	26	5'897	200	44'963
3 BIBLIOTHEK	630	1'300	7	30	19'165	1'300	-	-	-	2'340	10	100%	84	53'071	115	72'236
4 TECHNIK / RESTVOL.	820															
5 COPYCENTER	110	1'560	4	22	2'471	1'560	15	84	9'266	2'860	9	100%	93	10'193	199	21'930
6 BÜRO EAST B	107	1'560	5	28	3'005	1'560	7	39	4'206	2'860	11	46%	52	5'574	119	12'785
7 MULTIMEDIA	61	1'040	18	66	3'997	1'040	28	105	6'395	1'560	9	40%	20	1'233	191	11'625
8 BESPRECHUNG	149	1'040	24	88	13'110	1'040	2	7	1'116	1'560	11	40%	25	3'682	120	17'907
9 HÖRSAAL EAST	149	1'560	70	393	58'575	1'560	4	22	3'347	2'600	12	100%	112	16'736	528	78'658
10 HÖRSAAL WEST	157	1'560	70	393	61'720	1'560	4	22	3'527	2'600	12	100%	112	17'634	528	82'881
11 SITZUNG	126	1'040	24	88	11'086	1'040	2	7	943	1'560	11	100%	62	7'784	157	19'813
12 BÜRO WEST	818	1'560	5	28	22'969	1'560	7	39	32'157	2'860	11	46%	52	42'616	119	97'743
13 BÜRO EAST	618	1'560	5	28	17'353	1'560	7	39	24'295	2'860	11	46%	52	32'196	119	73'845
14 BÜRO NORD	192	1'560	5	28	5'391	1'560	7	39	7'548	2'860	11	46%	52	10'003	119	22'942
15 ATRIUM / KERNZONE	3'137	1'560	5	28	88'087	1'560	-	-	-	2'860	8	27%	22	69'765	50	157'852
FC GESAMT				349'969				203'483					284'202		837'653	

	m ²	MJ/m ² a	MJ/m ² a	MJ/m ² a	MJ/m ² a
bez. auf NGF	7'415	47.2	27.4	38.3	113.0
bez. auf EBF ₀	8'238	42.5	24.7	34.5	101.7
bez. auf EBF	11'161	31.4	18.2	25.5	75.1

* gerechnet mit 260 Arbeitstagen pro J ahr

¹ Reduktionsfaktor Tageslichtnutzung

² Bezogen auf die NGF

Tabelle 4-2: Interne Lasten Stand Planung (3-Plan)

ZONE ²	NGF m ²	Personen				Geräte				Beleuchtung				TOTAL		
		h/a	W/m ²	MJ/m ² a	MJ/a	h/a	W/ m ²	MJ/m2a	MJ/a	h/a	W/m ²	% ¹	MJ/m ² a	MJ/a	MJ/m ² a ²	MJ/a
1 KÜCHE	116	1'820	4	26	3'040	1'820	240	1'572	182'408	2'912	8	100%	84	9'728	1'683	195'176
2 MENSA	225	650	70	164	36'855	1'300	2	9	2'106	3'120	10	46%	52	11'625	225	50'586
3 BIBLIOTHEK	630	780	3	8	5'307	1'300	2	9	5'897	2'028	10	100%	73	45'995	91	57'199
4 TECHNIK / RESTVOL.	820											0%				
5 COPYCENTER	110	520	2	4	412	104	10	4	412	1'144	9	100%	37	4'077	45	4'901
6 BÜRO EAST B	107	2'080	2	15	1'602	2'340	4	34	3'605	2'704	10	46%	45	4'791	93	9'999
7 MULTIMEDIA	61	520	11	21	1'256	988	14	50	3'038	1'560	9	40%	20	1'233	91	5'527
8 BESPRECHUNG	149	1'040	5	19	2'830	1'560	1	6	837	1'820	8	40%	22	3'302	47	6'969
9 HÖRSAAL EAST	149	260	47	44	6'555	624	5	11	1'674	624	10	100%	22	3'347	78	11'576
10 HÖRSAAL WEST	157	260	45	42	6'613	624	4	9	1'411	624	8	100%	18	2'821	69	10'845
11 SITZUNG	126	312	22	25	3'114	312	10	11	1'415	936	10	100%	34	4'246	70	8'774
12 BÜRO WEST	818	1'456	5	26	21'438	1'482	7	37	30'549	2'860	11	46%	52	42'616	116	94'603
13 BÜRO EAST	618	1'456	5	26	16'197	1'482	10	53	32'972	2'860	8	46%	38	23'416	117	72'584
14 BÜRO NORD	192	1'456	4	21	4'026	1'482	7	37	7'171	2'860	11	46%	52	10'003	110	21'199
15 ATRIUM / KERNZONE	3'137	260	4	4	11'745	338	1	1	3'817	2'444	8	59%	42	130'275	46	145'837
FC GESAMT				120'989				277'310					297'476		695'775	

	m ²	MJ/m ² a	MJ/m ² a	MJ/m2a	MJ/m2a
bez. auf NGF	7'415	16.3	37.4	40.1	93.8
bez. auf EBF ₀	8'238	14.7	33.7	36.1	84.5
bez. auf EBF	11'161	10.8	24.8	26.7	62.3

¹ Reduktionsfaktor Tageslichtnutzung

² Alle Zonen 260 Arbeitstage pro Jahr

Tabelle 4-3: Interne LastenStand Effektive Nutzung (3-Plan)

Vergleicht man die internen Lasten von Geräten und Beleuchtung so fällt auf, dass die Küche und die Mensa intensiver genutzt werden. Die Hörsäle werden deutlich weniger genutzt. Die Sitzungszimmer sind mit mehr Geräten bestückt und im Atrium ist wesentlich mehr Beleuchtungsleistung installiert als gemäss Stand Planung. Anhand des geplanten gesamten Elektroverbrauches, sowie des gemessenen gesamten Elektroverbrauches lässt sich auf den Verbrauch für Technik, Restvolumen, Aussenraum schliessen. Es zeigt sich dass dieser deutlich höher liegt als gemäss Stand Planung.

ZONE	Elektro (Ger. u. Bel)		Geräte		Beleuchtung	
	Plan	eff. Nutzung	Plan	eff. Nutzung	Plan	eff. Nutzung
	MJ/a	MJ/a	MJ/a	MJ/a	MJ/a	MJ/a
1 KÜCHE	116'393	192'136	108'576	182'408	7'817	9'728
2 MENSA	8'003	13'731	2'106	2'106	5'897	11'625
3 BIBLIOTHEK	53'071	51'892		5'897	53'071	45'995
4 TECHNIK / RESTVOL.						
5 COPYCENTER	19'459	4'489	9'266	412	10'193	4'077
6 BÜRO EAST B	9'781	8'397	4'206	3'605	5'574	4'791
7 MULTIMEDIA	7'628	4'271	6'395	3'038	1'233	1'233
8 BESPRECHUNG	4'798	4'139	1'116	837	3'682	3'302
9 HÖRSAAL EAST	20'083	5'021	3'347	1'674	16'736	3'347
10 HÖRSAAL WEST	21'161	4'232	3'527	1'411	17'634	2'821
11 SITZUNG	8'727	5'661	943	1'415	7'784	4'246
12 BÜRO WEST	74'773	73'165	32'157	30'549	42'616	42'616
13 BÜRO EAST	56'491	56'387	24'295	32'972	32'196	23'416
14 BÜRO NORD	17'551	17'173	7'548	7'171	10'003	10'003
15 ATRIUM / KERNZONE	69'765	134'092		3'817	69'765	130'275
FC GESAMT	487'684	574'786	203'483	277'310	284'202	297'476

FC GESAMT	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a	kWh/a
	Interne Lasten Elektro	135'468	159'663	56'523	77'031	78'945
Elektroverbrauch Technik / Restvolumen / Aussenraum	44'532	106'337				
Elektroverbrauch total	180'000	266'000				

Tabelle 4-4: Vergleich interne Lasten Stand Planung und effektive Nutzung (3-Plan)

ZONE	Personen		Personen	
	Plan	eff. Nutzung	Plan	eff. Nutzung
	[MJ/a]	[MJ/a]	[Ph/d] ¹	[Ph/d] ¹
1 KÜCHE	6'080	3'040	93	46
2 MENSA	36'960	36'855	564	563
3 BIBLIOTHEK	19'165	5'307	293	81
4 TECHNIK / RESTVOL.				
5 COPYCENTER	2'471	412	38	6
6 BÜRO EAST B	3'005	1'602	46	24
7 MULTIMEDIA	3'997	1'256	61	19
8 BESPRECHUNG	13'110	2'830	200	43
9 HÖRSAAL EAST	58'575	6'555	894	100
10 HÖRSAAL WEST	61'720	6'613	942	101
11 SITZUNG	11'086	3'114	169	48
12 BÜRO WEST	22'969	21'438	351	327
13 BÜRO EAST	17'353	16'197	265	247
14 BÜRO NORD	5'391	4'026	82	61
15 ATRIUM / KERNZONE	88'087	11'745	1'344	179
FC GESAMT	349'969	120'989	5'341	1'847

FC GESAMT	kWh/a	kWh/a
		97'214

¹ Personen-Stunden à 70Wh je Arbeitstag

Tabelle 4-5: Vergleich Personenlasten Stand Planung mit effektiver Nutzung (3-Plan)

Um die internen Lasten durch Personen zu veranschaulichen, sind für den Zustand „Stand Planung“ sowie für Zustand „Effektive Nutzung“ die Personen-Stunden pro Arbeitstag ([Ph/d]) dargestellt. Es zeigt sich, dass die personelle Belegung in der effektiven Nutzung deutlich tiefer ist als im Stand Planung eingesetzt. Ein Mitarbeiter, der an einem Tag 8 Stunden anwesend ist, gibt 8 Ph/d Wärme ab. In der Bibliothek sind im Fall „Effektive Nutzung“ 81 Personen je eine Stunde pro Tag anwesend oder 10 Personen 8.1 Stunden.

Beleuchtung

Die Beleuchtung wird neben dem Fahrplan (siehe Berichte 3-Plan Haustechnik AG 2009/1 und 2009/2) in den Zonen mit einem Tageslichtfaktor verschieden von 100%, nach der Sonneneinstrahlung in die Horizontalebene und mit einer Hysterese geschaltet. Diese Schaltung berücksichtigt sowohl die automatische Lichtsteuerung als auch das manuelle Ein- und Ausschalten der Benutzer.

	Licht ein W/m ²	Licht aus W/m ²
Stand Planung	120	200
Effektive Nutzung	110	170

Tabelle 4-6: Beleuchtungssteuerung (3-Plan)

4.2 Resultate Temperaturverhalten

4.2.1 Einleitung / Zielsetzung

Basierend auf Simulationsberechnungen werden im Kapitel 5 anhand von Parameterstudien Aussagen über das Gebäudeverhalten und die Robustheit der Haustechniksysteme und deren Regelung unter veränderten Rahmenbedingungen gemacht. Das Ziel des vorliegenden Abschnittes ist es deshalb, durch den Vergleich von Resultaten aus der Simulation „Effektive Nutzung“ mit Messwerten aus dem realen Betrieb den Nachweis zu erbringen, dass im verwendeten Gebäude- und System-Simulationsmodell die wesentlichen Eigenschaften des Gebäudes und der Technischelemente abgebildet sind und somit das prinzipielle thermische und energetische Verhalten mit ausreichender Genauigkeit nachgebildet werden kann.

4.2.2 Vergleichsperiode und Datenauswertung

Da das Jahr 2007 zum Zeitpunkt des Projektes das erste vollständige Betriebsjahr mit einigermaßen verfügbaren Messdaten darstellte, wird als Vergleichsperiode das Kalenderjahr 2007 verwendet. Dass die ausgewählte Periode vollumfänglich in die zweijährige, von Juli 2006 bis Juni 2008 dauernde Betriebsoptimierungsphase fällt, stellt zwar eine suboptimale Voraussetzung dar. Wie in den nachfolgenden Abschnitten gezeigt wird, konnten jedoch die hauptsächlichen Einstellungs-Änderungen in der Simulation übernommen werden. Damit wird zumindest für die zweite Jahreshälfte eine akzeptable Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation erzielt.

Die Beurteilung des thermischen Gebäudeverhaltens erfolgt primär durch den Vergleich der Raumtemperaturen. Da jeweils mehrere reale Räume in einer Modell-Zone zusammengefasst sind, wurden die entsprechenden Einzelraummessungen pro Zone und – wo anwendbar – zusätzlich pro Stockwerk gemittelt.

Da die Energiemessdaten infolge verschiedener Faktoren zum Teil grosse Lücken aufweisen, war für die Ermittlung des effektiven Bedarfs eine Hochrechnung der verfügbaren Messdaten auf eine Jahresperiode notwendig (vgl. Kapitel 6). Für den Vergleich mit den Werten aus der Simulation mussten zudem einige der im nachfolgenden Abschnitt aufgeführten Sonderfaktoren berücksichtigt werden.

4.2.3 Möglichkeiten und Grenzen des Modells

Wie gut die erzielbare Übereinstimmung zwischen Simulation und Realität ist, hängt letztlich immer mit der verwendeten Modelltiefe zusammen. Im Folgenden werden einige Faktoren aufgelistet, welche in der Modellierung nicht berücksichtigt wurden respektive nicht berücksichtigt werden konnten, und dementsprechend zu potentiellen Abweichungen von den Messresultaten führen.

- Zonierung: Die Simulations-Zonen enthalten in der Regel immer mehrere reale Räume mit ähnlicher Nutzungscharakteristik. Die Resultate einer Simulationszone stellen deshalb immer einen Mittelwert des entsprechenden Nutzungstyps dar, individuelle Faktoren pro Raum wie Einstellungen, Belegung etc. können nicht abgebildet werden. Dies kann gegenüber der Realität zu abweichendem Regelungsverhalten führen. Beobachtete Beispiele sind u.a. zeitlich unterschiedliches Erreichen von Schalttemperaturen der Nachtheizung über die Lüftung oder bei der Nachtauskühlung.
- Nutzungsänderungen und -anomalien: Die nicht dauerhaft vorgesehene Benutzung einer externen Zugangstür in die Mensa in den Monaten Januar-März 2007 hatte einen erhöhten Aussenluftwechsel in dieser Zone zur Folge. Um dies zu kompensieren, wurden die Thermostatventile höher eingestellt, was eine höhere Wärmeabgabe und dadurch insgesamt höhere Raumtemperaturen bewirkte.
- Anpassung von Einstellungen: Die einheitliche Einstellung der Thermostatventile in Räumen mit Heizkörpern erfolgte erst im Juli 2007. In der Heizperiode anfangs Jahr waren diese z.T. auf hohe Werte eingestellt, was entsprechend hohe Raumtemperaturen zur Folge hatte.
- Atriumbeschattung: In der gesamten Vergleichsperiode funktionierten die Mechanik und die Steuerung der Atriumbeschattung nur teilweise. Erwünschte solare Wärmegewinne im Winter wurden so z.T. abgeblockt, unerwünschte im Sommer z.T. durchgelassen.
- Systematische Abweichungen bei den Raumtemperaturen: Die Raumtemperaturfühler in den Büroräumen sind alle an den Innenwänden zum Atrium montiert. Wie mit Kontrollmessungen gezeigt werden konnte, zeigen diese Fühler gegenüber einem Fühler in der Mitte des Raumes ganzjährig eine um ca. 1 °C höhere Temperatur an. Gegenüber den Simulationsresultaten ergibt sich somit in diesen Zonen eine systematische Abweichung in der gleichen Grössenordnung. Ein ähnlicher Effekt ist im Atrium zu erwarten, wo die Temperaturfühler an die Decken montiert sind.
- Modellierung Nachtauskühlung: Die Nachtauskühlung durch Öffnen der Kippfenster wurde basierend auf einer detaillierten Studie mit einem fixen Wert für den Luftwechsel modelliert. Da letzterer von der Temperaturdifferenz Innen-Aussen abhängig ist, ergeben sich im dynamischen Verlauf der Raumtemperatur Unterschiede. Energetisch werden jedoch keine grossen Unterschiede erwartet, da die Steuerung temperaturabhängig erfolgt. Die Ungenauigkeiten der Modellierung werden so mindestens teilweise durch automatisch angepasste Öffnungszeiten der Fenster kompensiert.

Raumtemperaturen: Einzelraumvariabilität vs. Zonenmittelwert

Infolge der Zusammenfassung mehrerer Einzelräume in eine thermische Zone in der Simulation werden die Sonderfaktoren pro Raum gemittelt. Diese sind deshalb im Mittelwert nicht mehr erkennbar. Wie stark ein Einzelraum von den in der Simulation berechneten

Zonenmittelwerten abweichen kann, ist aus Abbildung 4-8 abschätzbar. Darin sind die Messwerte der stündlichen Raumtemperaturen für verschiedene Einzelräume des 3. Obergeschosses in der Zone „Büro West“ für das Jahr 2007 dargestellt. Vergleicht man diese Daten mit dem für den gleichen Zeitraum berechneten Zonenmittelwert aus der Simulation, so können bezüglich der Einzelraumvariabilität die folgenden Aussagen gemacht werden:

- Die Spitzenwerte der Raumtemperatur in Einzelräumen können bei hohen Aussentemperaturen (d. h. im Sommer) den berechneten Mittelwert um 1.0 bis 1.5 K überschreiten.
- Die Tiefstwerte der Raumtemperatur in Einzelräumen können bei tiefen Aussentemperaturen (d. h. im Winter) den berechneten Mittelwert um 0.5 bis 1.0 K unterschreiten.

Für Aussagen zu Absolutwerten der Raumtemperatur sind diese Einzelraumvariabilitäten bei der Interpretation der Resultate von Sensitivitätsanalysen (Kapitel 5) additiv zu berücksichtigen.

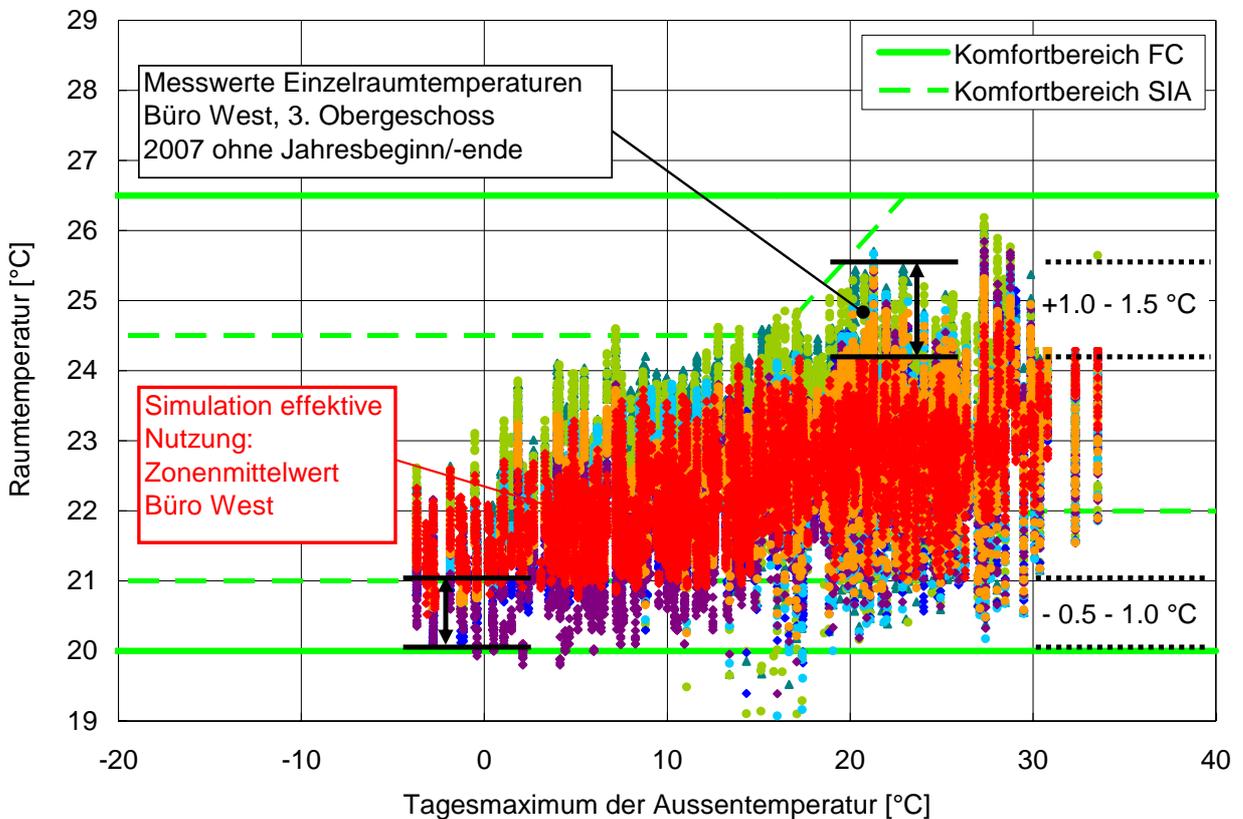


Abbildung 4-8: Zu erwartende Einzelraumvariabilität im Vergleich zu den berechneten Zonenmittelwerten der Raumtemperatur (Empa)

4.2.4 Ausgewählte Resultate

Der Vergleich zwischen den Messwerten und der Simulation „effektive Nutzung“ erfolgt an dieser Stelle lediglich für die nachfolgend dargestellten Zonen. Die nicht aufgeführten Zonen zeigen entweder eine generell gute Übereinstimmung mit den Messresultaten oder sind aufgrund des geringen Flächenanteils im Gesamtzusammenhang von untergeordneter Bedeutung.

Für den Vergleich massgebend ist die Gegenüberstellung der gemessenen Zonenmittelwerte (blaue Kurven) gegen simulierte Raumtemperaturen (grüne Kurven).

Schema der Bezeichnungen in den Diagrammen

MG_BUW_C_Temp	Gruppenmittelwert aller gemessenen Temperaturen der Räume im C-Stock der Zone BUW
MZ_BUW__Temp	Zonenmittelwert aller gemessenen Temperaturen der Räume der Zone BUW
Top_Buw Sim eff Nutz	simulierte Raumtemperatur der Zone BUW
Ta24	über 24 Stunden gemittelte Temperatur der Aussenluft

Tabelle 4-7: Bezeichnungen in den Abbildungen (Empa)

Die Gruppenmittelwerte pro Stock geben einen Anhaltspunkt, ob und wie gross die Schwankungen innerhalb einer Zone sind. Einzelne Räume innerhalb einer Zone können gemäss vorangehendem Abschnitt je nach Belegung noch grössere Differenzen aufweisen.

Wie in den vorangehenden Kapiteln handelt es sich bei allen Temperaturen um empfundene Raumtemperaturen.

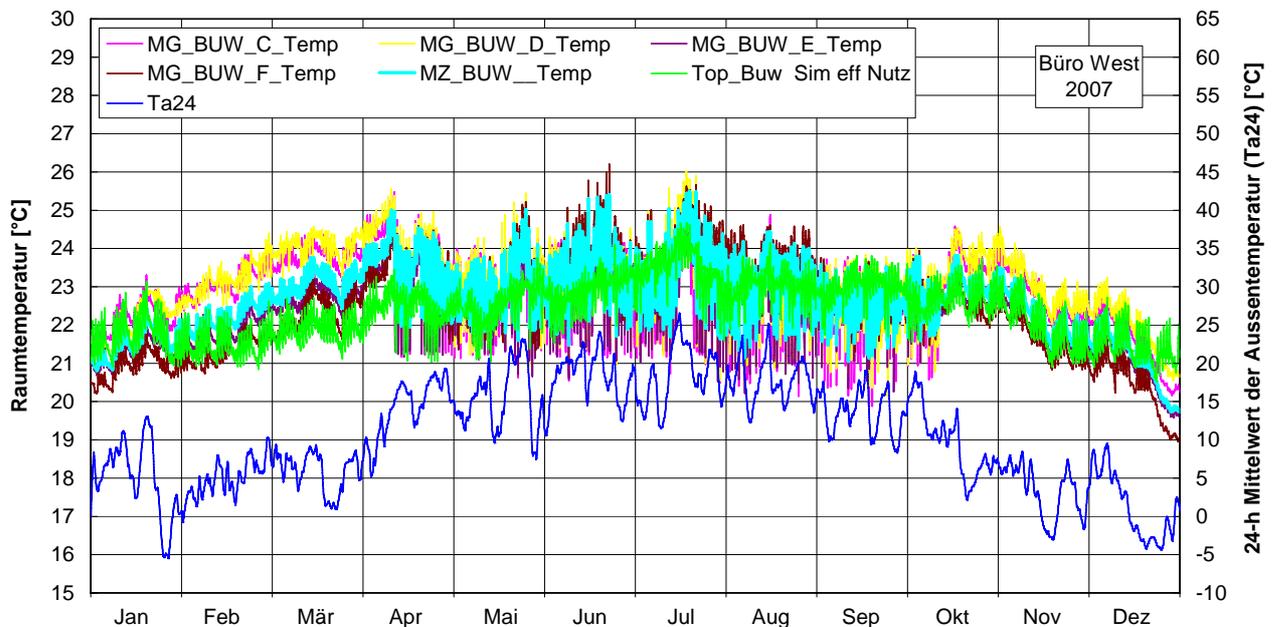


Abbildung 4-9: Temperaturverläufe Simulation und Messung für die Zone Büro West (Empa)

Auffallend bei der Zone Büro West sind die Abweichungen in den ersten drei Monaten des Jahres. Diese sind auf die wie erwähnt hohen Einstellungen der Thermostatventile in den Räumen mit Heizkörpern zurück zu führen. Dadurch wird in Realität mehr Heizleistung in das Gebäude eingebracht, was ein generell höheres Temperaturniveau auch in Zonen ohne Heizkörper zur Folge hat. Der markante Temperatureinschnitt bei den gemessenen Temperaturen Anfangs April ist durch den Beginn der Nachtauskühlperiode bedingt. Weil die Raumtemperatur in der Simulation noch nicht so hoch ist, findet die Nachtauskühlung auf einem tieferen Temperaturniveau statt und deshalb bleiben die simulierten Temperaturen unter den gemessenen Werten. Im Verlaufe des Sommers gleicht sich diese Situation mehr und mehr an. In den Monaten Juli bis September stimmt das Temperaturniveau dann generell recht gut mit den gemessenen Werten überein. Die Ausschläge der Messung in dieser Zeit bis auf 21 °C sind kurzfristiger Natur und auf die hohen Luftwechsel zu Beginn

der Nachtauskühlung zurückzuführen, welche im Modell nur vereinfacht abgebildet wurde. Der Vergleich für die letzten drei Monate des Jahres zeigt, dass nach den erfolgten Einstellungen in der Betriebsoptimierungsphase nun auch der Heizfall gut modelliert ist.

Bei der Zone Atrium zeigt sich im Heizfall ein analoges Bild wie bei der Zone Büro West: erklärbare Abweichungen zu Beginn des Jahres, gute Übereinstimmung Ende Jahr. Während den Sommermonaten liegt die simulierte Temperatur um bis zu 2.0 °C tiefer als der gemessene Mittelwert. Einerseits ist dies bedingt durch die erwartete systematische Differenz von ca. 1 °C infolge der Messstellen, welche an den Geschossdecken montiert sind. Andererseits wird vermutet, dass infolge der defekten Storensteuerung in Realität zum Teil deutlich höhere solare Gewinne resultierten, was ebenso zu den beobachtbaren höheren Temperaturen beiträgt. Als Erkenntnis aus dieser Tatsache kann wiederum festgehalten werden, dass zwar die generelle Dynamik gut nachgebildet werden kann, dass jedoch speziell im Falle des Atriums anhand der Simulation eine Aussage über die zu erwartenden absoluten Temperaturen nur bedingt möglich ist. Insbesondere gilt dies für auftretende Spitzenwerte der Temperatur, welche im Modell mit nur einem (mittleren) Temperaturknoten pro Zone gar nicht abgebildet werden können. Dennoch lassen sich mit den Sensitivitätsanalysen problemlos relative Aussagen zum Einfluss von Veränderungen machen.

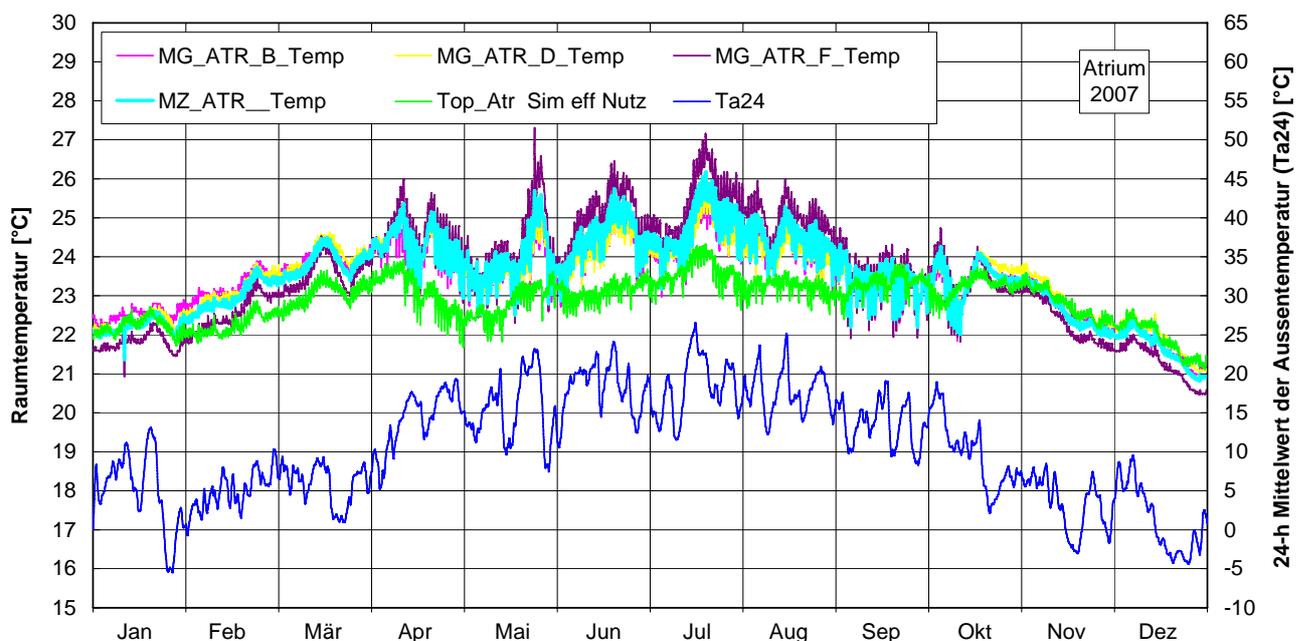


Abbildung 4-10: Temperaturverläufe Simulation und Messung für die Zone Atrium (Empa)

Aus den Messresultaten kann zudem abgelesen werden, dass entgegen der verbreiteten Auffassung im Atrium des Forum Chriesbach kein ausgeprägter Temperaturgradient herrscht. Dies kann damit erklärt werden, dass das Atrium zwar als Zone ohne fixe Komfortanforderungen konzipiert ist, jedoch gegenüber dem Aussenklima eine ähnlich gute Wärmedämmung aufweist wie die übrigen Gebäudeteile.

Die Mensa gehört zu denjenigen Zonen, welche aufgrund der stark variierenden Nutzungscharakteristik eher schwierig zu modellieren sind. Dies ist auch aus dem Vergleich mit den Messdaten ersichtlich. Während die simulierte Temperatur ein stereotypes Verhalten mit immer gleichem Fahrplan zeigt, ist in Realität ein distinktiertes dynamisches Verhalten erkennbar. Trotzdem kann auch in dieser Zone das generelle Verhalten gut nachgebildet

werden. Da der gemessene Zonenmittelwert lediglich auf einem Messfühler basiert, sind den entsprechenden Temperaturspitzen im Sommer nicht allzu grosse Bedeutung beizumessen (vermutlich Solareinfluss auf den Messfühler).

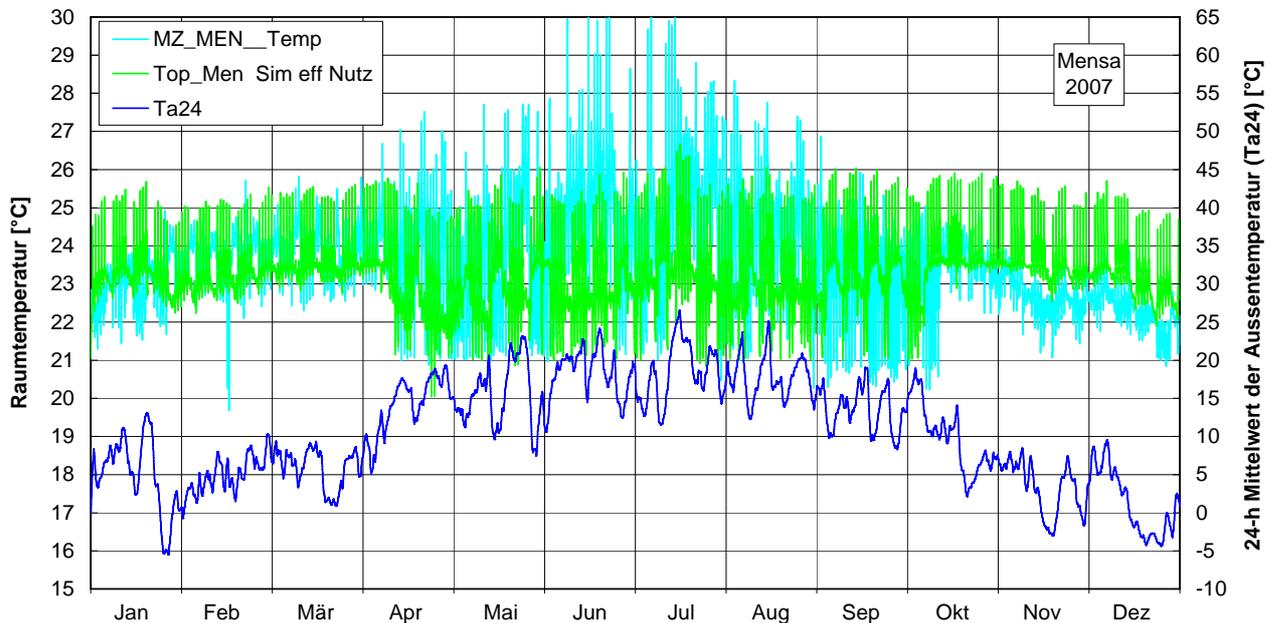


Abbildung 4-11: Temperaturverläufe Simulation und Messung für die Zone Mensa (Empa)

4.2.5 Vergleich zu Planwerten

Die Raumtemperaturen der Simulation „Stand Planung“ sind im **Winterfall** generell ca. 1 K tiefer als in der Simulation „effektive Nutzung“ (ohne Grafik). Diese Unterschiede lassen sich wie folgt erklären:

- Die Temperaturrandbedingung in der Zone Technik war in der Planung zu tief angenommen und wurde angehoben.
- Die Zulufttemperatur der Nachtlüftung in die Büros wurde von 30°C auf den Wert ab Lüftungsanlage (36°C) angehoben. Auch wenn aufgrund von Leitungsverlusten in den Büros effektiv eine tiefere Zulufttemperatur zu verzeichnen ist, wird so durch die Lüftung die der Realität entsprechende Energiemenge in das Gebäude eingebracht.
- In einigen Zonen mit Heizkörpern mussten die Raumtemperatur-Sollwerte angehoben werden, weil in den entsprechenden Räumen die Thermostatventile effektiv höher eingestellt sind als während der Planung angenommen.
- Die im Windfang des Atriums eingebauten Heizkörper sowie die durch Speichertankverluste über den Atriumsboden abgegebene Wärme waren in der Simulation Stand Planung noch nicht berücksichtigt.
- Das Jahresmittel der Aussentemperatur für das Jahr 2007 in Dübendorf war im Vergleich zu dem in der Planung verwendeten Standard-Wetterdaten-File um ca. 1 °C höher.

Im **Sommerfall** liegen die Temperaturen der Simulation Planung in der Tendenz ebenfalls um 0.5 – 1.0 K tiefer als in der Simulation effektive Nutzung. Die Differenzen sind in diesem Fall hauptsächlich bedingt durch:

- längere Nachtauskühlphasen (Fensterschliessung in den Übergangszeiten erst bei Erreichen einer Raumtemperatur von 20°C statt 21°C).

- Überschätzte Luftwechselraten der Nachtauskühlung im Atrium.
- Unterschiede bezüglich der Wetterentwicklung. Sowohl die Aussentemperaturen als auch die Solareinstrahlungssumme waren im Jahr 2007 höher als im Standardjahr, welches für die Planungs-Simulation verwendet wurde.

Wie aus den Aufzählungen ersichtlich ist, weicht die effektive Nutzung in Details zum Teil erheblich von den Annahmen des Planungszustandes ab. Trotzdem erlaubten die nach damaligem Kenntnisstand getroffenen Annahmen ausreichend genaue und sichere Vorhersagen von Temperaturverhalten und Energiebedarf im FC. Auch im Rückblick können somit die Planungsergebnisse als zuverlässige Basis für die Systementscheidung und für die Aufnahme der Ausführungsplanung betrachtet werden.

4.2.6 Schlussfolgerungen zum Temperaturverhalten

Durch die Adaption von Belegungsdichten, Nutzungszeiten sowie Regler- und Betriebseinstellungen konnte das Modell so weit wie möglich an die realen Gegebenheiten angepasst werden. Wie die Vergleiche zwischen den gemessenen und den simulierten Zonentemperaturen zeigen, kann das Temperaturverhalten des Forum Chriesbach im Mittel pro Zone gut nachgebildet werden. Relative Vergleiche von Varianten und Massnahmen in den Sensitivitätsanalysen sind deshalb gut möglich. Bezüglich absoluten Temperaturentwürfen ist dabei immer in Rechnung zu stellen, dass mit dem Modell Zonenmittelwerte resultieren. Die absoluten Temperaturwerte können deshalb in Realität infolge von in den Einzelräumen abweichenden Belegungsdichten und -zeiten deutlich von diesen Zonenmittelwerten abweichen. Als Richtwerte dieser Einzelraumvariabilität in den Büroräumen können für die Spitzenwerte der Raumtemperaturen im Sommer +1.0 bis +1.5 K, für die Tiefstwerte im Winter -0.5 bis -1.0 K veranschlagt werden.

4.3 Resultate Energiebilanz

4.3.1 Einleitung / Zielsetzung

Im Kapitel Energiebilanz sind die wichtigsten thermischen Energieflüsse bilanziert und in Monatsgrafiken dargestellt. Auch ein Seitenblick zur Berechnung SIA 380/1, wie dies bei üblichen Energienachweisen der Fall ist, wurde gemacht um dadurch eine weitere Sicherheit zu erhalten, sowie die Grenzen der SIA 380/1 resp. des Simulationsmodells besser zu erkennen.

Der elektrische Energiefluss wird lediglich dazu verwendet um eine Gesamtbilanz zu erhalten und dient zusammen mit den Erhebungen von M. Bauer (Bauer 2007) primär der Bestimmung der Höhe und der Verteilung der internen Lasten im Gebäude. Eine Detailanalyse des elektrischen Verbrauchs, z.B. aufgeteilt nach Verbrauchergruppen, ist nicht Sache dieses Berichtes.

4.3.2 Vergleichsperiode und Datenauswertung

Es wurde eine Energiedatengrundlage für eine komplette Jahresperiode, korrespondierend mit den Temperaturmessdaten und Wetterdaten, für das Kalenderjahr 2007 zusammengestellt. Da die Energiemessdaten infolge verschiedener Faktoren (3-Plan Haustechnik AG 2008) zum Teil Lücken aufweisen, wurden die fehlenden Daten bestmöglich ergänzt und plausibilisiert. Die Energiedaten der gewerblichen Kälteanlage mussten gegenüber dem Stand der BO nochmals bereinigt werden.

Es lässt sich schnell eine gute Übereinstimmung der Energiemengen der effektiven Nutzung mit den Messdaten erkennen. Dies ist kein Zufall, sondern bewusst der Weg, um mit den

bekanntem Grössen (z.B. effektiver Verbrauch Warmwasser, Verbrauch gewerblicher Kälte...) ein stimmendes Modell zu erhalten, welches in energetischer Sache wie auch im Temperaturverhalten übereinstimmt.

4.3.3 Resultate Wärme

Abbildung 4-12 und Abbildung 4-13 zeigen die Energieflüsse in der Jahresbilanz, einmal simuliert und einmal gemessen. Auf der rechten Seite ist jeweils der Output (Wärmebedarf) dargestellt und auf der linken Seite der Energieinput, mit welchem der Bedarf gedeckt wird.

Als Endenergie (bezahlte Energie) ist für die Wärmenutzung lediglich der Netto Bezug ab Arealheiznetz relevant. Die Solaranlage sowie die Nutzung der nicht anderweitig verwendbaren Abwärme der gewerblichen Kälteanlagen wirken bedarfsreduzierend. Es wäre eine falsche Betrachtung, den Ertrag einer thermischen Solaranlage als Endenergie zu betrachten. Wird die vom Arealheiznetz bezogene Wärmemenge ins Verhältnis zur Energiebezugsfläche (EBF) gesetzt, resultiert die Energiekennzahl Wärme. Der Vergleich ist in Tabelle 4-8 dargestellt.

Nutzwärmebilanz, simuliert	101'400 kWh/a	100%
Nutzwärmebilanz, Basis Messdaten	106'410 kWh/a	105%
Energiekennzahl Wärme, simuliert	$= 55'300\text{kWh} / 11'170\text{m}^2 \text{ EBF} =$	5.0kWh/m ² EBF
Energiekennzahl Wärme, Basis Messdaten	$= 63'971\text{kWh} / 11'170\text{m}^2 \text{ EBF} =$	5.7kWh/m ² EBF

Tabelle 4-8: Gegenüberstellung Energiekennzahlen Wärme, Messung und Simulation (3-Plan)

Jahreswärmebilanz Basis Simulation

Energiekennzahl Wärme, simuliert = $56'600 \text{ kWh} / 11'170 \text{ m}^2 = 5.1 \text{ kWh/m}^2 \text{ EBF}$

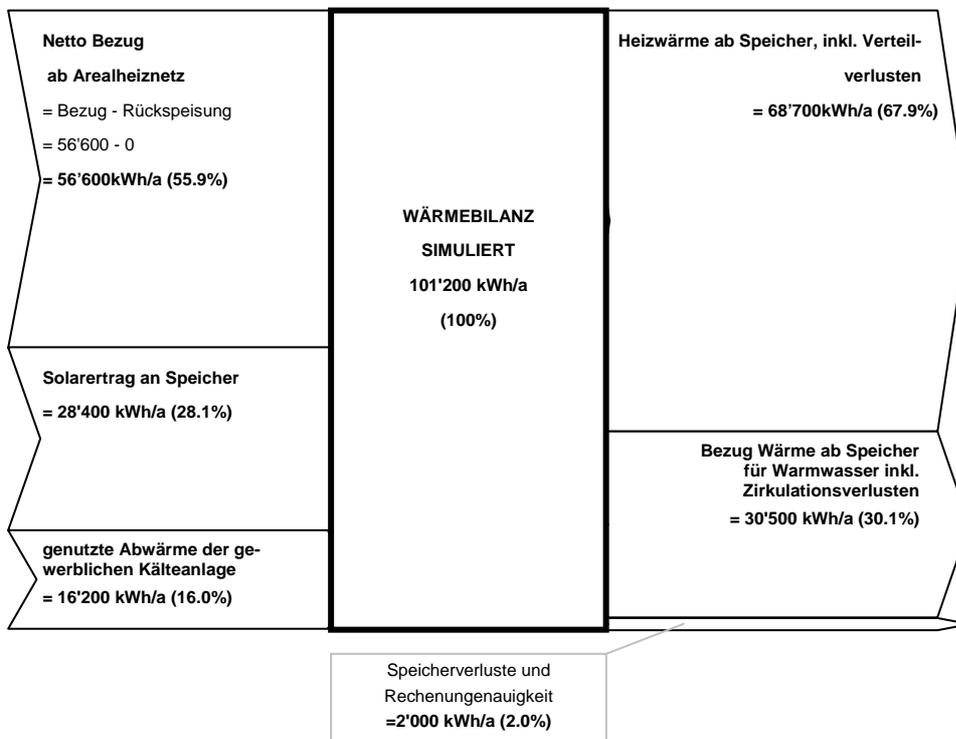


Abbildung 4-12: Energiefluss Wärme simuliert (3-Plan)

Die Detailbilanzen (Abbildung 4-14 und Abbildung 4-15), zeigen die Energieflüsse als Monatsgrafiken. Dabei wurden zur besseren Lesbarkeit die Speicherverluste und Bilanzungenauigkeiten ausgeblendet. Als Verluste sind die Speicherverluste inkl. der Anschlussverluste, Messungenauigkeiten aber im Falle der Simulation auch Rechenungenauigkeiten, wie Initialwerte beim Start des Rechenvorgangs und Rundungsfehler, zu verstehen.

Die Messwerte zeigen im Bereich Heizwärmebedarf grundsätzlich leicht höhere Werte als die simulierten Werte. Der zeitliche Verlauf der simulierten Energiemengen folgt aber gut den Messdaten. Insbesondere der gerechnete und gemessene Solarertrag stimmen gut überein. Es ist dabei zu beachten, dass nicht nur die Energie sondern auch das Temperaturverhalten und das mittlere Temperaturniveau je Zone mit den Messungen übereinstimmen sollen. Zusammengefasst zeigt sich ein plausibles und gutes Gesamtergebnis.

Jahreswärmebilanz Basis Messdaten

Energiekennzahl Wärme, Basis Messdaten = $63'971 \text{ kWh} / 11'170 \text{ m}^2 = 5.7 \text{ kWh/m}^2 \text{ EBF}$

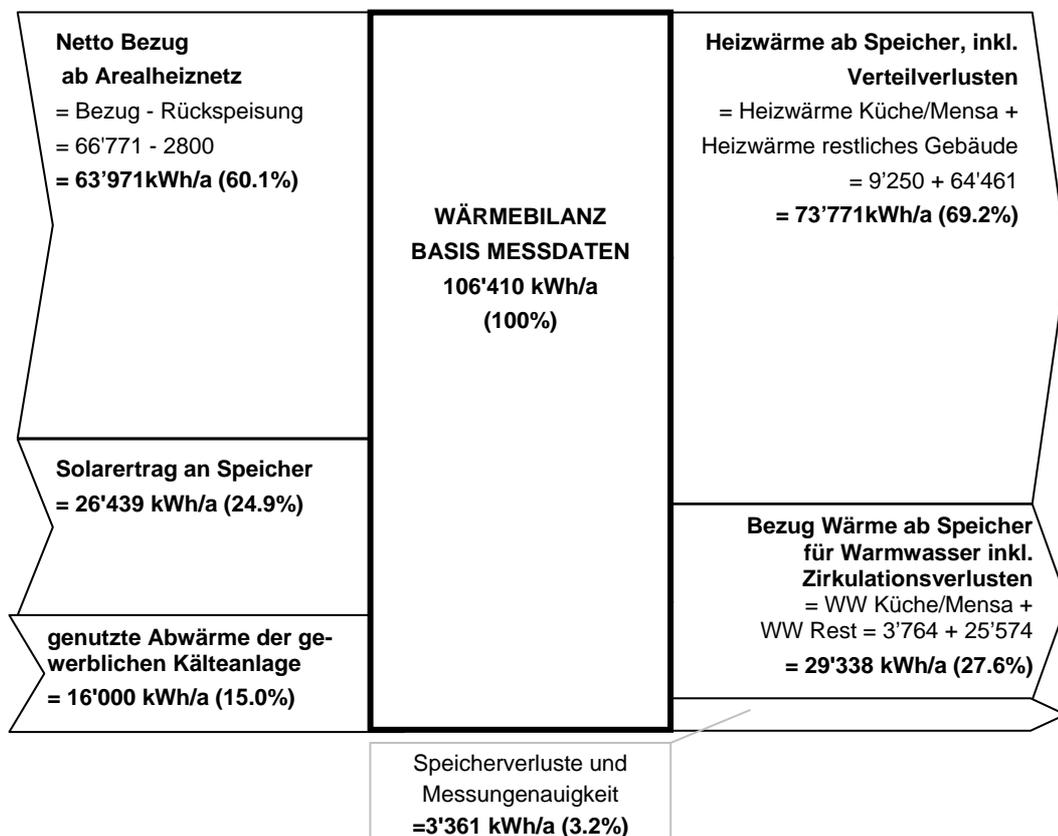


Abbildung 4-13: Energiefluss Wärme, Basis Messdaten (3-Plan)

Detailwärmebilanz simuliert

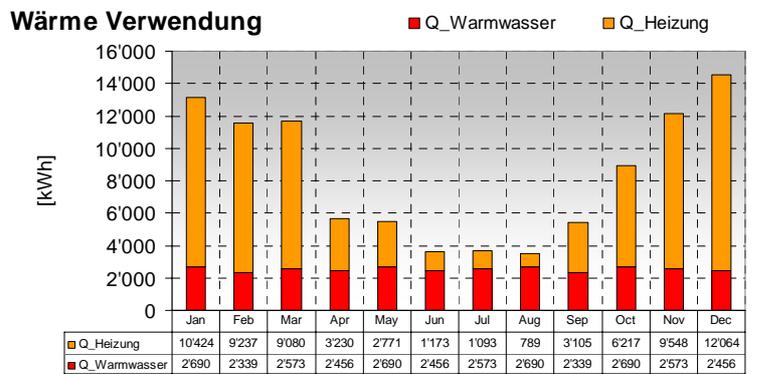
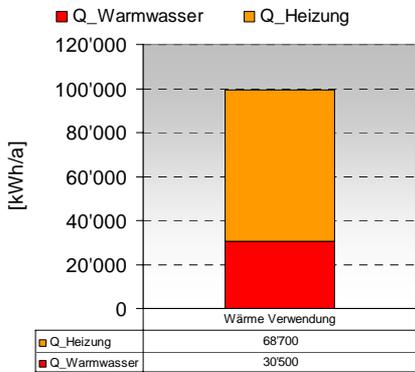
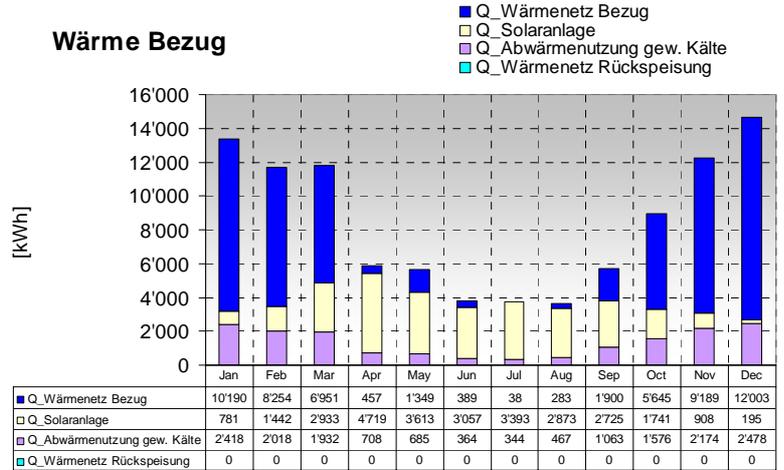
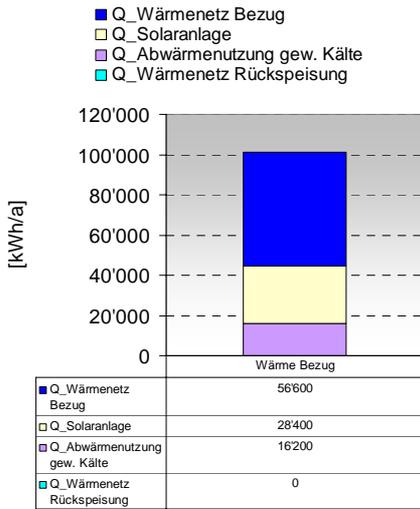
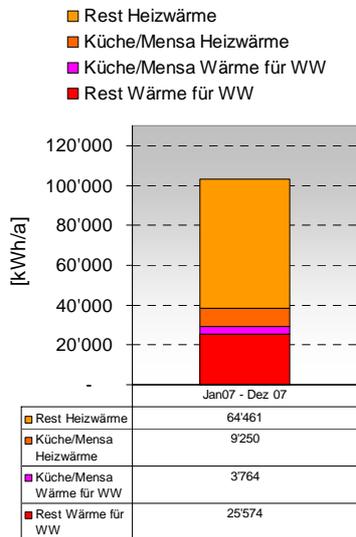
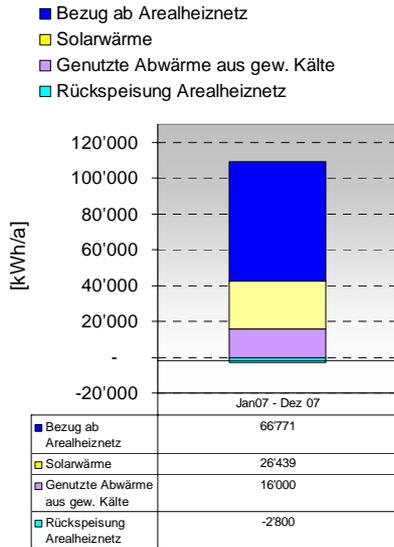
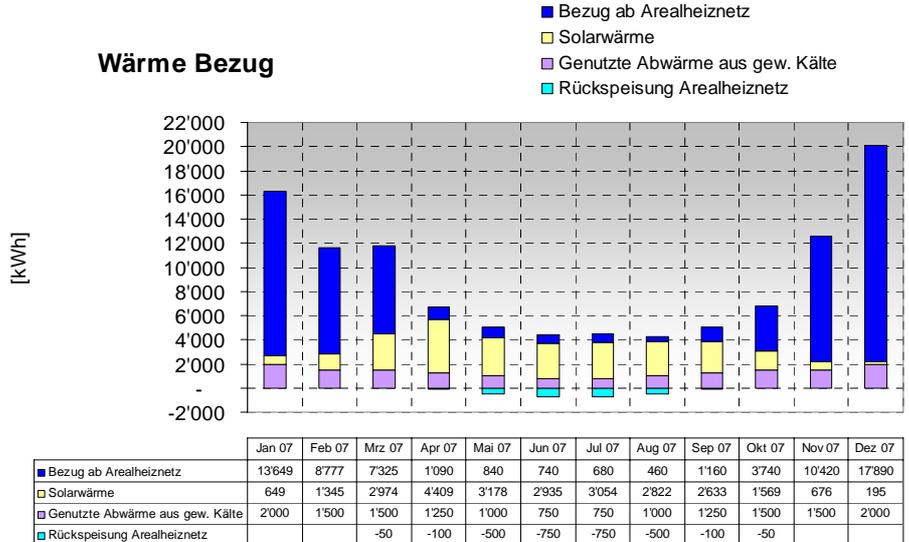


Abbildung 4-14: Detailwärmebilanz simuliert (3-Plan)

Detailwärmebilanz gemessen, bereinigt



Wärme Bezug



Wärme Verwendung

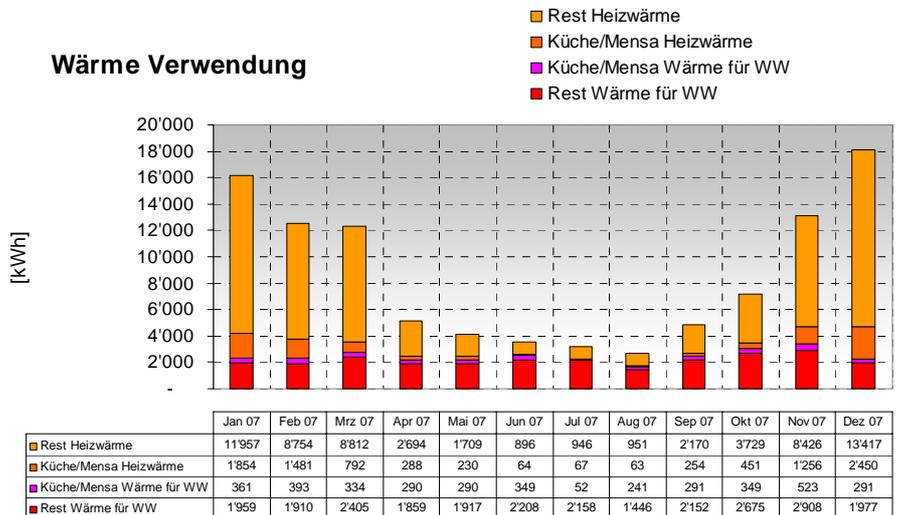


Abbildung 4-15: Detailwärmebilanz gemessen, bereinigt (3-Plan)

4.3.4 Resultate Kälte

Die Kältebilanz ist in diesem Gebäude sehr einfach und wird dominiert von der Serverkühlung.

Der Bedarf der Luftkühler (Q_Luftkühler) sowie die Klimatisierung über Kühldecken (Q_Klimakälte) sind beim Forum Chriesbach in der effektiven Nutzung vernachlässigbar.

Der Serverraum muss nur während denjenigen Stunden aktiv gekühlt werden, während denen die Aussenluft nach dem Erdregister zu warm ist, um den Raum im Freecooling-Betrieb genügend kühlen zu können. Der Kältebedarf der Server beträgt 15'392 kWh Kälteenergie pro Jahr.

Das Erdregister wirkt also multifunktional und deckt insbesondere einen grossen Teil des Kühlenergiebedarfs des Serverraums.

Kältebilanz simuliert

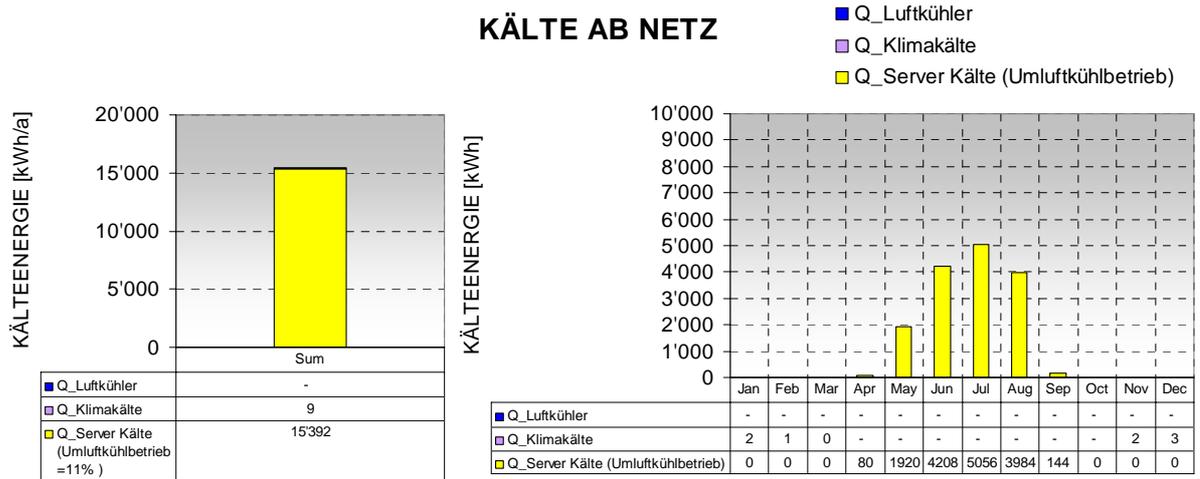


Abbildung 4-16: Zusammenstellung Kältebilanz simuliert (3-Plan)

Im Verlauf des Jahres 2007 wurde die Kühlung des Serverraums optimiert und mit einem zweiten Ventilator versehen. Die Messdaten für dieses Jahr sind also nicht repräsentativ. Da der Stromverbrauch der Server aber ziemlich konstant ist, wurden zum Vergleich die extrapolierten Daten des Jahres 2008 verwendet. Die Daten für die Klimakälte sind inkl. Luftkühler und dienen dem Vergleich mit den Simulationswerten vom Jahr 2007.

Kältebilanz gemessen, prognostiziert

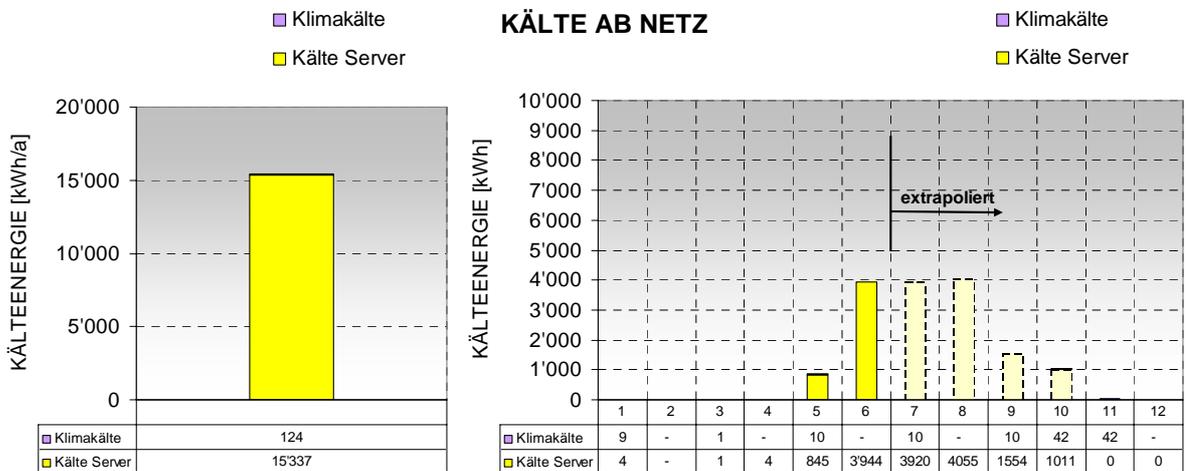


Abbildung 4-17: Zusammenstellung Kältebilanz gemessen, bereinigt (3-Plan)

Analyse Kältebilanz Freecooling

Die mittlere elektrische Leistungsaufnahme von 16 kW des Serverraums würde einen theoretischen Kühlbedarf von $16\text{ kW} \cdot 24\text{ h} \cdot 365\text{ d} = 140'160\text{ kWh/a}$ benötigen. Der effektiv zur Deckung dieses Bedarfs notwendige Bezug ab Kältenetz hängt stark vom Erdregister, den zulässigen Temperaturen im Serverraum, sowie den zulässigen Temperaturen der Zuluft ab.

Aus Abbildung 4-18 ist ersichtlich, dass 32% der Serverwärme zu Heizzwecken genutzt werden können. Der Anteil Freecooling total übers Jahr beträgt 89% (32+57%). Der Rest (11%) muss im Umluftkühlbetrieb durch das Arealkältenetz gekühlt werden.

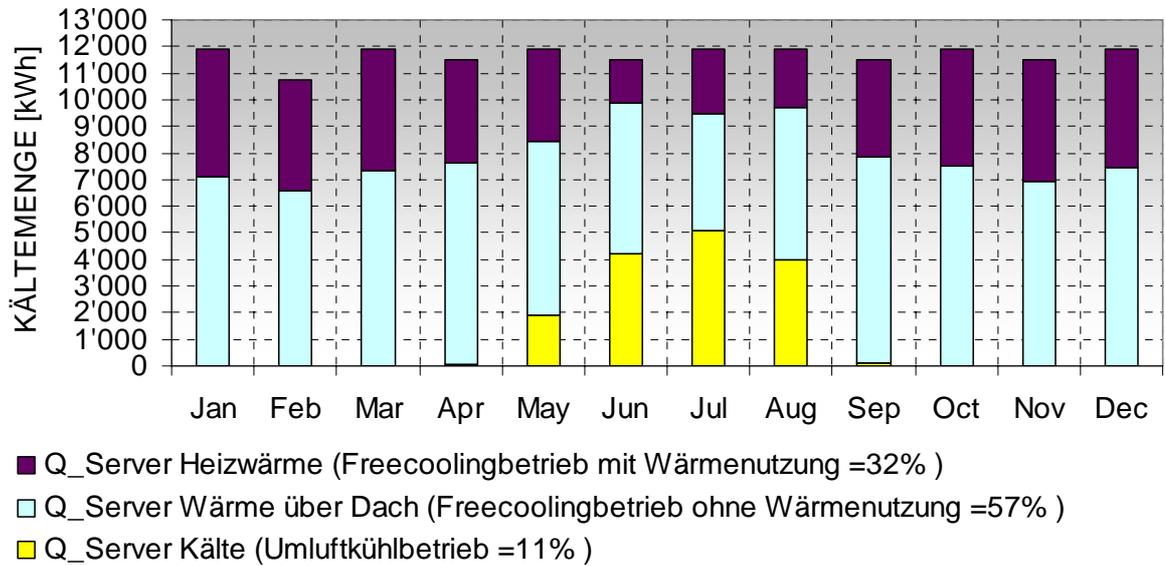


Abbildung 4-18: Bilanz Serverabwärme / Anteil Freecooling (3-Plan)

Mit der aktuellen Modellierung des Erdregisters würde eine Erhöhung der Grenztemperatur für Freecooling von 18 auf 20°C (zurück zum Basiswert Planung) zu einer Reduktion des Kältebedarfs um zwei Drittel auf 5'000 kWh/a führen.

Die Solltemperaturen von Serverräumen sollen daher insbesondere bei Anlagen mit Freecooling nicht unnötig tief gehalten werden. Oft entscheidender ist, dass es keinen lokalen Wärmestau innerhalb der Serverracks gibt. Entsprechende Absprachen mit dem IT-Fachpersonal lohnen sich.

4.3.5 Vergleich zu Planwerten

Vergleich Stufe Nutzenergie

Der Vergleich mit fortschrittlichen Gebäudestandards lässt sich am besten auf Stufe Wärmebedarf (Nutzwärme) gemäss SIA 380/1 erstellen. Tabelle 4-9 verschafft einen Überblick für den Heizwärmebedarf und Tabelle 4-10 für den Wärmebedarf für Warmwasser.

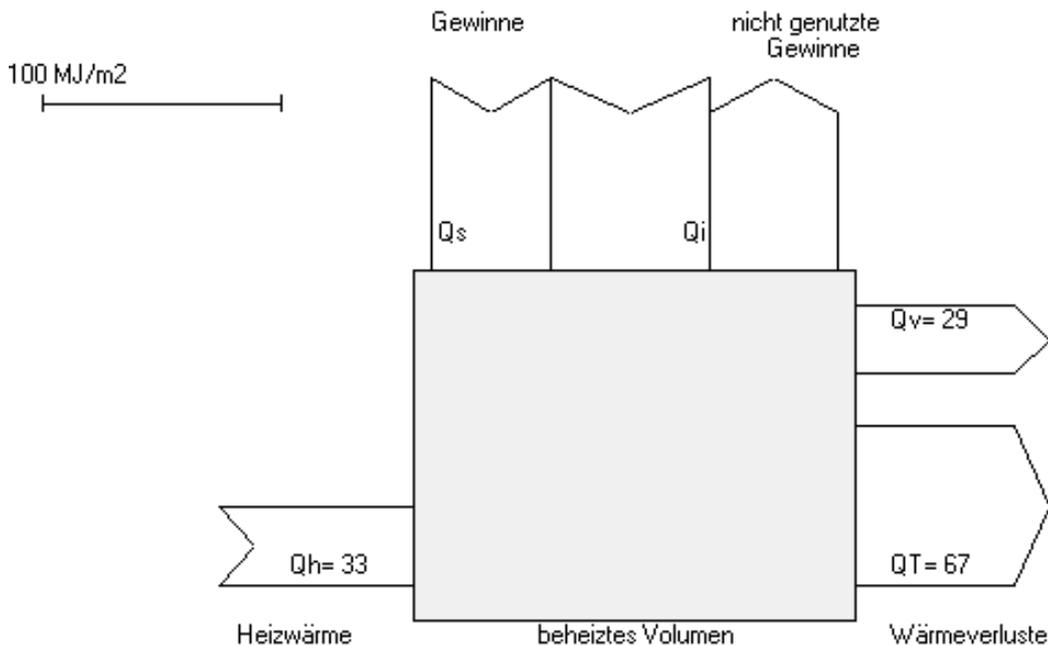


Abbildung 4-19: FC-Wärmebilanz 380/1:2001 zum Vergleich mit Primäranforderung Minergie-P (3-Plan)

Der Vergleich der elektrischen Energie wird innerhalb der 380/1 Bilanzgrenze ebenfalls dargestellt.

Eine Analyse im Kältebereich mit statistischen Zahlen ist, bedingt durch unterschiedliche Systeme und interne Lasten, schwierig, Eine Gegenüberstellung wird aber trotzdem versucht.

Heizwärmebedarf

Referenzwerte		EBF = 11'170 m ² , EBF0 = 8270 m ²
Gesetz	128 MJ/m ² a	Heizwärmebedarf Qh, Grenzwert gemäss Gesetz 2008 (V.th = 0.70 m ² /m ² h, QE0 = 80MJ/m ² a)
Minergie-P	36 MJ/m ² a	Heizwärmebedarf Qh, Primäranforderung Minergie-P (V.th = 0.32 m ² /m ² h, QE0 = 60MJ/m ² a)
Forum Chriesbach		EBF=11'161m ²
FC Plan 380/1, MP	33 MJ/m ² a	Qh, Forum Chriesbach nach 380/1:2001 aber Bedingungen nach Minergie-P (V.th = 0.32 m ² /m ² h, QE0 = 60MJ/m ² a)
FC Plan simuliert, ohne	16 MJ/m ² a	Qh simuliert <u>ohne</u> Lufterdwärmeregister und Server. (V.th = 0.35 m ² /m ² h, QE0 = 59 MJ/m ² a)
FC Plan simuliert, mit	11 MJ/m ² a	Heizwärmebedarf simuliert <u>mit</u> Lufterdwärmeregister und Server. (V.th = 0.35 m ² /m ² h, QE0 = 59 MJ/m ² a)
Effektive Nutzung Simulation	22 MJ/m ² a	Heizwärmebedarf simuliert <u>mit</u> Lufterdwärmeregister und Server. (V.th = 0.35 m ² /m ² h, QE0 = 70 MJ/m ² a)
Effektive Nutzung Messwerte	24 MJ/m ² a	Heizwärmebedarf simuliert <u>mit</u> Lufterdwärmeregister und Server. (V.th effektiv = 0.35 m ² /m ² h, QE0 = 70 MJ/m ² a)

Tabelle 4-9: Vergleich auf Basis Nutzheizwärme (3-Plan)

Wärmebedarf für Warmwasser

Referenzwerte

Q _{ww} Standardwert Verwaltung <u>mit</u> WW	25 MJ/m ² a	Q _{ww} , ohne Verluste
Q _{ww} Standardwert Verwaltung <u>ohne</u> WW	0 MJ/m ² a	Q _{ww} , ohne Warmwasser (nur Handwaschbecken dezentral)
<i>Forum Chriesbach</i>		EBF ₀ = 8'270 m ²
<i>FC Stand Planung</i>	9 MJ/m ² a	Q _{ww} , inkl. Zirkulationsverlusten Schätzung Bedarf (21'300 kWh/a / 8'238 m ² x 3.6)
<i>Effektive Nutzung Simulation</i>	13 MJ/m ² a	Q _{ww} , inkl. Zirkulationsverlusten, ohne sonst. Verluste (30'500 kWh/a / 8'238 m ² x 3.6)
<i>Effektive Nutzung Messwerte</i>	13 MJ/m ² a	Q _{ww} , inkl. Zirkulationsverlusten, ohne sonst. Verluste (29'338 kWh/a / 8'270 m ² x 3.6)

Tabelle 4-10: Vergleich Wärmebedarf für Warmwasser (3-Plan)

Kühlbedarf ohne Server

Referenzwerte		EBF = 11'170 m ²
Standard Kühlbedarf*	32.4 MJ/m ² a	Standard Kühlbedarf (Wärmeenergie) Bürogebäude, ohne Server, Neubau Schweiz = 9kWh/m ² a * 3.6 = 32.4MJ/EBFa *Quelle: Sia Merkblatt 2024:2006 Q _c = 25.7W/m ² bei 210 Vollaststunden = 5.4kWh/m ² a Q _c = 40.5W/m ² bei 530 Vollaststunden = 21.5kWh/m ² a Annahme HNF des FC = gekühlte Fläche: 5012m ² HNF * rund 20kWh/m ² a = rund 100'000kWh/a → 100'000kWh/a / 11'170m ² EBF, FC = 9 kWh/m ² EBF
<i>Forum Chriesbach</i>		
<i>FC Stand Planung</i>	3.9 MJ/m ² a	Kühlbedarf für Klimatisierung (Luftkühler und Kühldecken) wobei der Kühlbedarf für Luftkühler mit 0 geschätzt wurde.
<i>Effektive Nutzung Simulation</i>	0 MJ/m ² a	Kühlbedarf für Klimatisierung (Luftkühler und Kühldecken) wobei der Kühlbedarf für Luftkühler 0 beträgt und der Bedarf für Kühldecken vernachlässigbar klein ist (9kWh/a).
<i>Effektive Nutzung Messwerte</i>	0 MJ/m ² a	Kühlbedarf für Klimatisierung (Luftkühler und Kühldecken) wobei der Kühlbedarf für Luftkühler 0 beträgt und der Bedarf für Kühldecken vernachlässigbar klein ist (124kWh/a).

Tabelle 4-11: Kühlbedarf ohne Server (3-Plan)

Kühlbedarf mit Server

Referenzwerte		EBF=11'170m ²
Standard Kühlbedarf, inkl. Server	77.5 MJ/m ² a	Standard Kühlbedarf, ohne Server, rund 100'000kWh/a + 16kW * 24h *365d = <u>140'160kWh/a</u> Total, inkl. Server = <u>240'160kWh/a</u> → 240'160kWh/a / 11'170m ² EBF, FC = 21.5 kWh/m ² EBF
<i>Forum Chriesbach</i>		
<i>FC Stand Planung</i>	4.2 MJ/m ² a	Vorhersage, Bericht Phase1
<i>Effektive Nutzung Simulation</i>	5 MJ/m ² a	15'392kWh/a
<i>Effektive Nutzung Messwerte, Prognose</i>	5 MJ/m ² a	15'337kWh/a

Tabelle 4-12: Kühlbedarf mit Server (3-Plan)

4.3.6 Schlussfolgerungen zur Energiebilanz

Es zeigt sich, dass die Wärmebilanzen der Simulation und derjenigen mit den bereinigten Messdaten gut übereinstimmen. Dies nicht nur in der Jahresgrafik sondern auch im monatlichen Verlauf.

Im Vergleich mit dem Wärmebedarf nach SIA 380/1 liegen die Werte unter jenen von Minergie-P auf grundsätzlich sehr tiefen Level.

Der Wärmebedarf setzt sich zusammen aus ca. $\frac{1}{3}$ Warmwasser und $\frac{2}{3}$ Heizwärme, der Kühlbedarf ausschliesslich aus Kühlung der Server während Wärmeperioden.

Gedeckt wird der Wärmebedarf zu ca. 40% aus Solarenergie und Abwärme der gewerblichen Kälte, der Restwärmebedarf sowie die Kühlenergie ab Arealnetz.

Der Bezug von Endenergie (Wärme und Kälte) ist extrem gering. Im Vergleich zur Prognose liegen die Verbrauchswerte Wärme höher und jene der Kälte deutlich geringer als vorhergesagt.

Abweichungen lassen sich begründen. So ist zum Beispiel die Personenbelegung bei Räumen mit grossen Personenlasten (Vortragssaal, Seminarräume, Sitzungszimmer...) deutlich geringer als jene der Standardnutzung, bzw. als für die Planung vorgegeben. Entsprechend muss weniger gekühlt aber mehr Wärme zugeführt werden. Weiter ist der Warmwasserbedarf für Händewaschen höher als in der Planung geschätzt und die Raumtemperaturen im Winter mussten mit diversen Massnahmen von 20°C auf 21°C und höher angehoben werden. Insbesondere in den Zonen mit Heizkörpern (Eingangsbereich B-Geschoss und Personalrestaurant) war der Wärmeverlust grösser als geplant. Gründe dafür sind unter anderem die häufige Benützung der Aussentüren im Restaurant und die hoch eingestellten Thermostatventile.

Der gemessene, spezifische Stromverbrauch innerhalb des bilanzierten Perimeters liegt mit rund 70 MJ/m² über jenen der Schätzungen von 59 MJ/m² und bestätigt, dass die „alten“ Werte welche für Minergie-P:2006 eingesetzt wurden (60 MJ/m²a) schwierig zu erreichen sind. Minergie-P:2009 rechnet neu mit 80 MJ/m²a <http://www.minergie.ch/>. In der Küche werden zwischen 50% und 100% mehr Mahlzeiten als geplant zubereitet und die Beleuchtung in den Korridoren ist auch häufiger als vorhergesehen eingeschaltet. Einerseits, weil sehr viele Leute abends noch arbeiten und auch das Reinigungspersonal in den Abendstunden arbeitet.

Grundsätzlich zeigte sich, dass kleinste Veränderungen grosse Auswirkungen auf den effektiven Verbrauch haben und somit alle Modelle bei solch geringem Bedarf an Ihre Grenzen stossen. Eine Betriebsoptimierungsphase wird daher wärmstens empfohlen.

Im Modell der effektiven Nutzung kann das messtechnisch erfasste Temperaturverhalten des Forum Chriesbach gut nachgebildet werden (siehe Kapitel 4.2). Dabei stimmen der resultierende Energiebedarf (Heizung, Kühlung) sowie die zugeführte Elektrizität gut mit den plausibilisierten Messwerten überein. Damit ist der Nachweis erbracht, dass im Simulationsmodell die wesentlichen Eigenschaften des Gebäudes und der Technikelemente abgebildet sind und das Modell damit eine zuverlässige Basis für die Sensitivitätsanalysen respektive Parameterstudien darstellt.

5 Parameterstudien

In den nachfolgenden Abschnitten werden unter Verwendung des auf die effektive Nutzung angepassten Simulationsmodells (siehe Kapitel 4.1) Sensitivitätsanalysen zu verschiedenen Randbedingungen und Einflussfaktoren durchgeführt.

Aussagen zu Einflüssen auf das thermische Gebäudeverhalten beziehen sich dabei hauptsächlich auf die thermische Raumzone „Büro West“ im Simulationsmodell. Der Grund dafür ist, dass in dieser Zone am meisten Einzelräume zusammengefasst sind und dass der Bürobetrieb der Hauptnutzungscharakteristik des Gesamtgebäudes entspricht.

Die in den Parameterstudien vorhergesagten Temperaturen entsprechen immer Zonenmittelwerten. Einzelräume können in Realität mehr oder weniger stark von diesen Mittelwerten abweichen (siehe dazu auch Kapitel 4.2).

5.1 Einfluss von Klima und Belegung

5.1.1 Einfluss von Klima

Klimadaten

Für die Untersuchung des Klimaeinflusses auf das Forum Chriesbach Gebäude werden Simulationsberechnungen mit dem Simulationsmodell „effektive Nutzung“ unter Variation der Klimadaten durchgeführt. Für solche Zwecke stehen seit dem Erscheinen des neuen SIA-Merkblattes 2028 (SIA 2008) neue Design Reference Year (DRY) Klimadatensätze zur Verfügung. Neben den wie bisher üblichen Datensätzen für mittlere Jahre, gibt es neu auch Datensätze für extreme, das heisst kalte und warme Jahre. Basierend auf diesen Datensätzen kann der Einfluss der im Zusammenhang mit der Klimaerwärmung zunehmenden Variabilität des Klimas untersucht werden. Für die Berechnungen des Klimaeinflusses wurde die Station Zürich Kloten ausgewählt, welche sowohl in Bezug auf Standort als auch Charakteristik dem Standort Dübendorf am besten entspricht. Die verwendeten Klimadatensätze sind somit KLO-DRY_cold, KLO-DRY_mean und KLO-DRY_warm. Das warme Jahr entspricht dabei gemäss ProClim (OcCC / ProClim 2007) dem oberen Rand der für die Schweiz bis 2050 erwarteten Klimaerwärmung.

Abbildung 5-1 enthält eine Auswertung der Aussentemperaturen sowie der Globalstrahlungssummen dieser drei Klimadatensätze. In Ergänzung dazu sind auch die Werte des in der Simulation „effektive Nutzung“ verwendeten Klimadatensatzes eingetragen, welcher auf Messdaten für das Jahr 2007 der Nabel-Station Dübendorf beruht. Wie dem Diagramm zu entnehmen ist, weisen das kalte und das warme Jahr jeweils eine um 3.2 °C tiefere respektive höhere Jahresmitteltemperatur auf als das durchschnittliche Jahr. Das Jahr 2007 in Dübendorf liegt zwischen den beiden DRY-Datensätzen mean und warm. Eine analoge Situation zeigt sich bei den jährlichen Globalstrahlungssummen, wobei das kalte und warme Jahr jeweils um gut 10% nach unten und oben von einem mittleren Jahr abweichen.

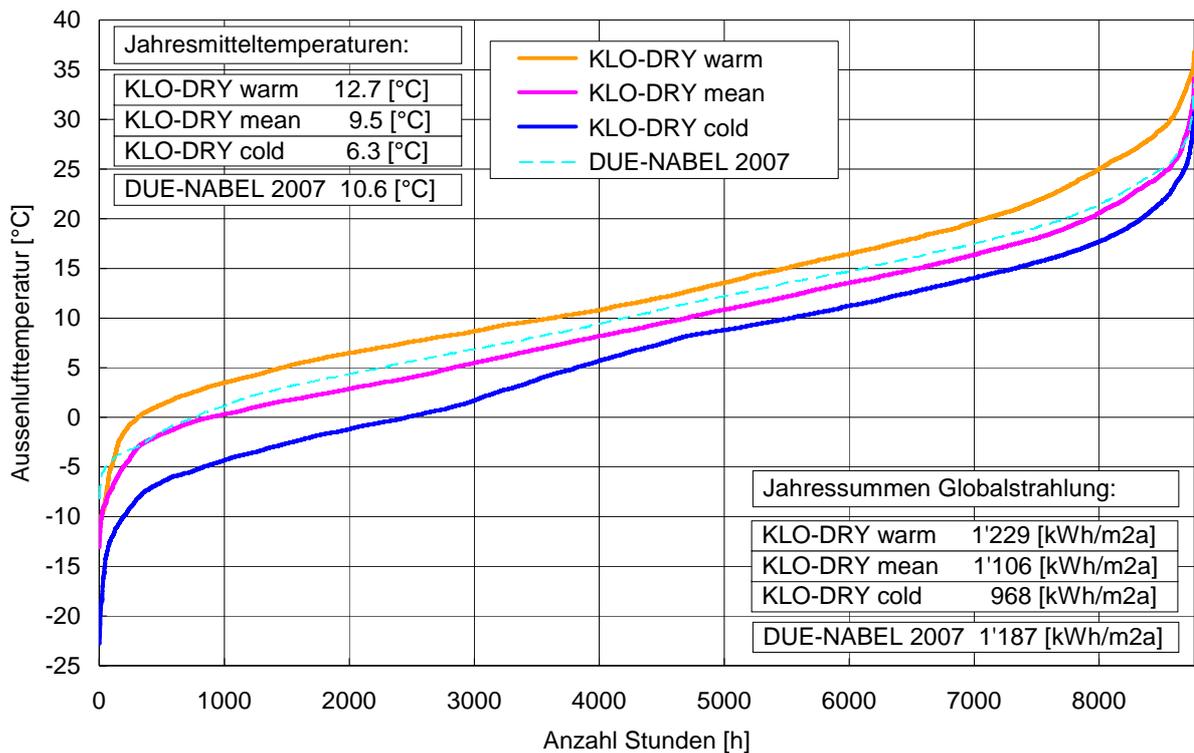


Abbildung 5-1: Jahres-Summenhäufigkeitskurven der Aussenlufttemperatur sowie Globalstrahlungssummen der verwendeten Klimadaten (Empa)

Klimaeinfluss auf die Raumtemperaturen

Bürozonen:

In einem kalten Jahr unterscheiden sich die Raumtemperaturen kaum von den Werten in einem mittleren Jahr. Lediglich bei ganz tiefen Aussentemperaturen sinkt die Raumtemperatur im Mittel auf gegen 20°C ab. Diese Tiefstwerte treten jedoch hauptsächlich ausserhalb der Nutzungszeiten d.h. in der Nacht oder an Wochenenden auf. Dies bedeutet, dass die für das Forum Chriesbach festgelegte untere Komfortgrenze von 20 °C in einem kalten Jahr auch bei Berücksichtigung der Einzelraumvariabilität von -0.5 bis -1.0 K noch knapp eingehalten werden kann. Durch die Anpassung der Regelung (Verlängerung des Nachtlüftungsbetriebes zur Temperaturstützung) könnten solch tiefe Temperaturen zudem weitgehend vermieden werden.

In einem warmen Jahr sind im Sommer 1.0 bis 1.5 K höhere Raumtemperaturen zu erwarten als in einem durchschnittlichen Jahr. Auch unter Berücksichtigung der sommerlichen Einzelraumvariabilität von +1.0 bis +1.5 K sollte jedoch die obere Komfortgrenze von 26.5 °C kaum oder nur selten überschritten werden.

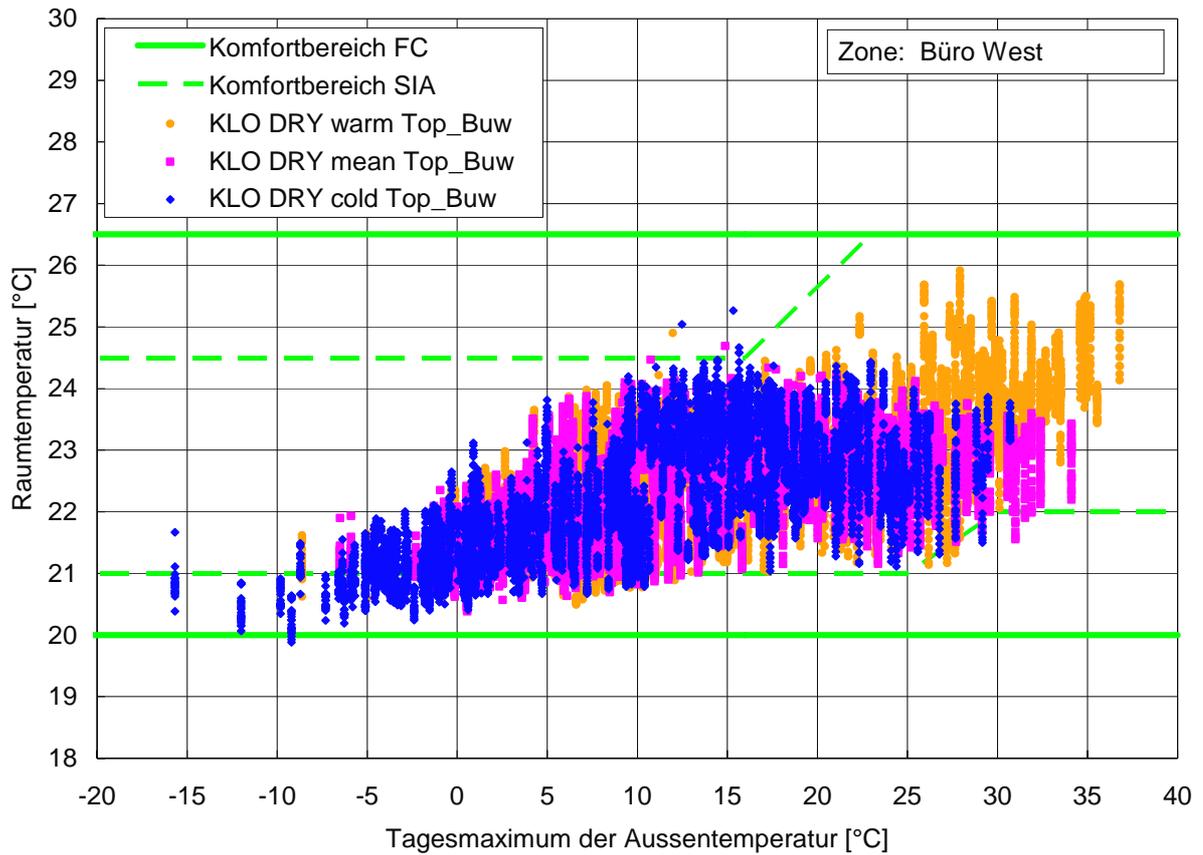


Abbildung 5-2: Klimaeinfluss auf die Temperatur in der Zone Büro West (Empa)

Klimaeinfluss auf den Energiebedarf

In einem kalten Jahr erhöht sich der Wärmebezug ab Arealheiznetz im Vergleich zu einem durchschnittlichen Jahr um knapp 50% und der Kältebezug ab Arealkühlnetz reduziert sich auf noch gut 40%. In einem warmen Jahr tritt erwartungsgemäss der umgekehrte Fall ein: Reduktion des Wärmebezugs um 20%, Anstieg des Kältebezugs um 135%. Kältebedarf besteht dabei in allen Varianten hauptsächlich für die Serverkühlung, der Kältebedarf für die Klimatisierung der Spezialzonen (Sitzungsboxen, Hörsäle, ...) ist auch in warmen Jahren vernachlässigbar.

Energie kWh/a	Heizwärmebedarf Qh	Bezug ab Arealheiznetz		Solarertrag Q_SOL		Abwärme gew. Kälte Q_WRG		
Simul. eff. Nutzung	68'700		56'600	28'400		16'200		
Klima KLO DRY cold	107'400	139%	98'500	46%	20'000	80%	21'400	124%
Klima KLO DRY mean	77'100	100%	67'400	100%	24'900	100%	17'200	100%
Klima KLO DRY warm	60'600	79%	53'700	80%	28'300	114%	14'100	82%
		Bezug ab Arealkühlnetz		Serverkälte		Klimakälte		
Simul. eff. Nutzung	15'392		15'392		-			
Klima KLO DRY cold	6'016	42%	6'016	42%	-			
Klima KLO DRY mean	14'352	100%	14'352	100%	-			
Klima KLO DRY warm	33'744	235%	33'744	235%	-			

Tabelle 5-1: Klimaeinfluss auf den Wärme- und Kältebedarf (Empa)

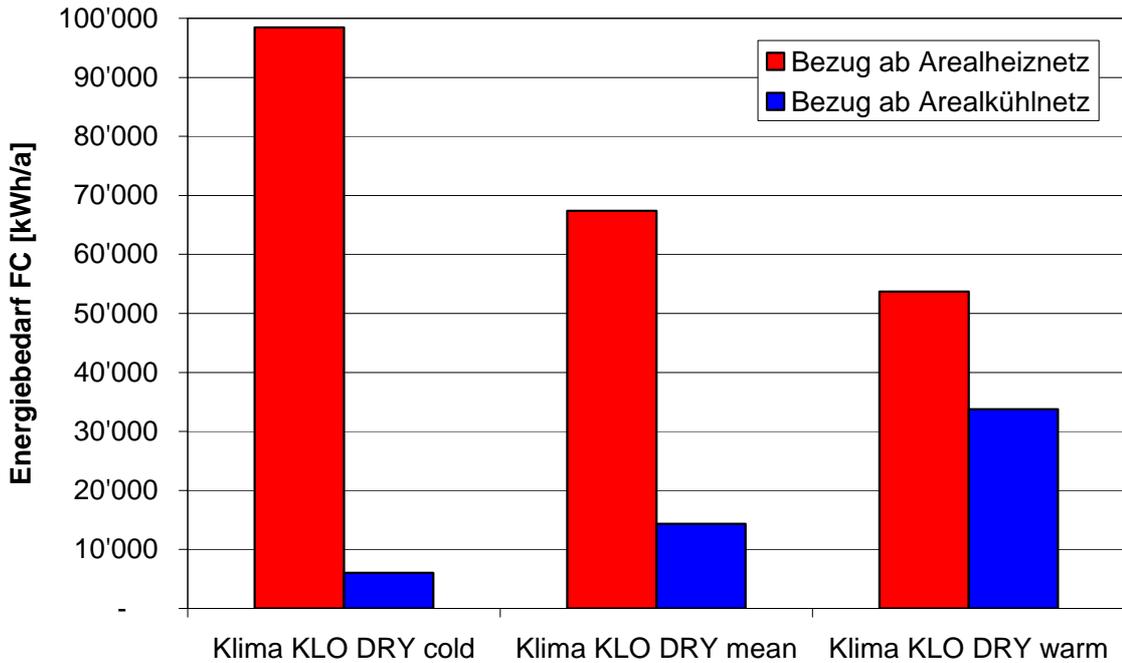


Abbildung 5-3: Klimaeinfluss auf den Wärme- und Kältebedarf (inkl. Server) (Empa)

5.1.2 Einfluss von Belegung

Die Erhebungen zur Ermittlung der internen Wärmelasten von Personen, Geräten und Beleuchtung (Bauer 2007) ergaben, dass die Personenbelegung im FC tiefer ist als in der Planung angenommen wurde. Auch für zukünftige Änderungen der Belegungsdichte interessiert deren Einfluss auf die Raumtemperaturen.

Variation der Belegungsdichte

Ausgehend von der effektiven Nutzung und basierend auf den Standard-Nutzungsbedingungen für „Einzel- und Gruppenbüros“ gemäss SIA (SIA 2006) wurden deshalb für die **Büroräume** minimale und maximale Belegungsdichten für Personen und Geräte definiert. Im Vergleich zum Planungs-Layout des FC sind die Büroräume bei tiefer Belegung zu 50%, bei hoher Belegung zu 100% genutzt.

		Belegungsdichte		
		tief	mittel	hoch
Personenfläche	m ² /Pers.	20	14	10
Belegungsgrad Büros im FC	%	50	70	100
Spezifische Personenbelegung	W/m ²	3.75	5.0	7.5
Volllaststunden Personen	h/d	5.6	5.6	5.6
Spezifische Personenenergie	Wh/m ² d	21.0	28.0	42.0
Spezifische Gerätelast	W/m ²	4.0	7.0	12.0
Volllaststunden Geräte	h/d	5.7	5.7	5.7
Spezifische Geräteenergie	m ²	22.8	39.9	68.4

Table 5-2: Definition der Belegungsdichten für die Bürozone Büro Nord, Ost, West (Empa)

In den **restlichen Zonen** erfolgte ebenfalls eine Skalierung der internen Wärmelasten im Vergleich zur effektiven Nutzung: Variante tiefe Belegung 75%, Variante hohe Belegung 150% der effektiven Nutzung. In Sonderzonen wurden z.T. individuelle, sinnvollere Faktoren angenommen (z.B. Geräte in der Küche etc.).

Einfluss der Belegungsdichte auf die Raumtemperaturen

Bei hoher Belegungsdichte ist in den Bürozonnen gegenüber der effektiven Nutzung ganzjährig mit um ca. 1.0 K höheren Raumtemperaturen zu rechnen. Unter Berücksichtigung der Einzelraumvariabilität können in Einzelräumen Temperaturen nahe an der oberen Komfortgrenze auftreten.

Bei tiefer Belegungsdichte würden die Spitzenwerte der Raumtemperatur in den Büroräumen ganzjährig ca. 0.5 K tiefer ausfallen als heute, die Tiefstwerte hingegen wären nur unbedeutend tiefer als bei der effektiven Nutzung.

Die nicht dargestellten Bürozonnen Nord und Ost verhalten sich mit kleinen Abweichungen prinzipiell gleich wie die Zone Büro West.

Da im Atrium keine extensive Personen-Nutzung stattfindet sind auch die Auswirkungen von Belegungsänderungen auf die Temperaturen in dieser Zone unbedeutend.

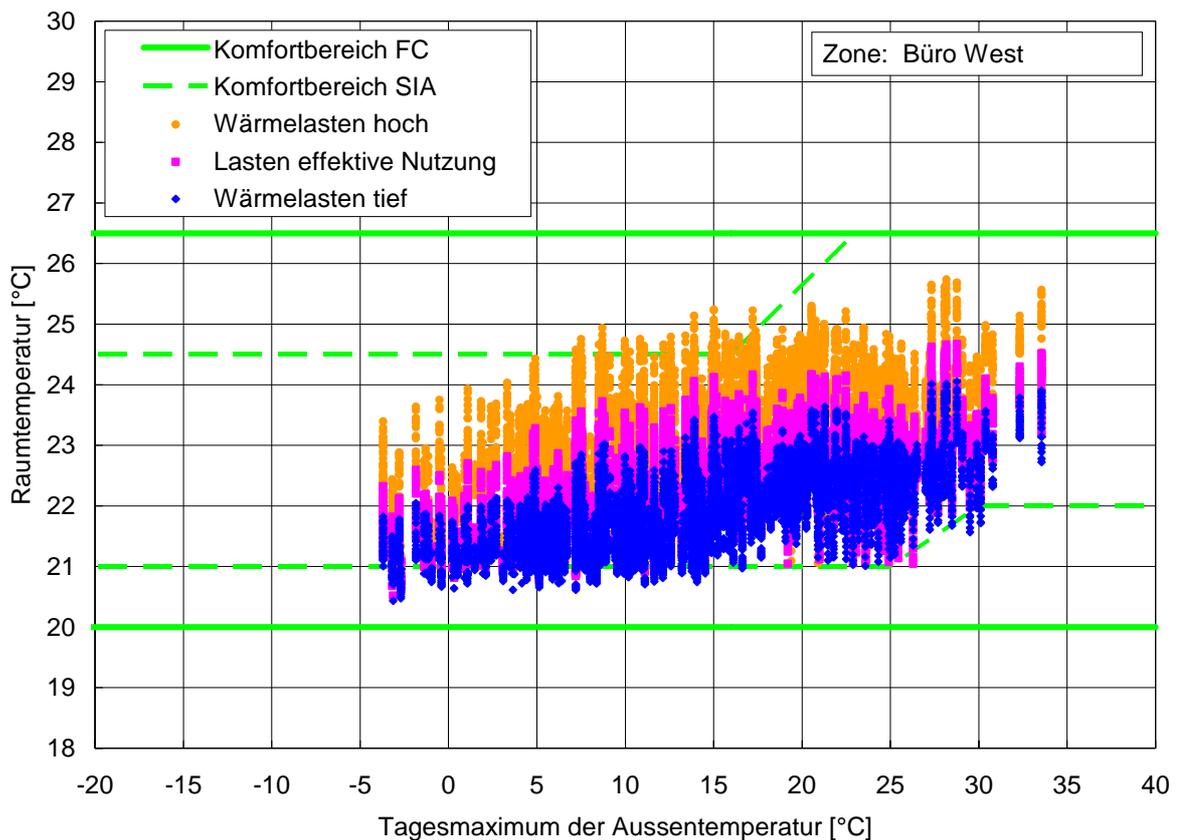


Abbildung 5-4: Einfluss der Belegungsdichte auf die Raumtemperatur in der Zone Büro West (Empa)

Kombinationen hohe Belegung – warmes Klima und tiefe Belegung – kaltes Klima

Wie das FC auf kombinierte Extrema von Belegung und Klima reagiert, wurde anhand der zwei Simulationen „hohe Belegung – warmes Klima“ und „tiefe Belegung – kaltes Klima“ untersucht.

In einem warmen Jahr mit hoher Belegung wird im Hochsommer bereits im Mittel die obere Komfortgrenze erreicht. Dies bedeutet, dass in Einzelräumen Temperaturüberschreitungen bis 28°C nicht zu vermeiden sein werden. Das infolge des wärmeren Klimas reduzierte Nachtauskühlpotential reicht folglich nicht mehr aus, um die von den hohen Lasten anfallenden Energien vollumfänglich abzuführen.

Die tendenziell hohen Temperaturen in den Übergangszeiten (bei Tagesmaxima der Aussentemperatur von 5-15°C) sind bedingt durch die auf teilweisen Wärmegewinn optimierte Beschattungssteuerung. Durch eine konsequentere Beschattung unter Anwendung tieferer Beschattungsgrenzwerte liessen sich die Raumtemperaturen in den entsprechenden Perioden noch etwas reduzieren.

Eine analoge Situation zeigt sich auch für ein kaltes Jahr mit tiefer Belegung. In diesem Fall kann die untere Komfortgrenze im Mittel knapp gehalten werden. Einzelräume würden aber auf bis zu 19°C auskühlen. Wenn die tiefe Belegung systematisch und vorhersehbar ist, besteht allerdings die Möglichkeit, durch die Ausdehnung des Luftheiz-Betriebs die Situation mit regeltechnischen Massnahmen in den Griff zu bekommen, wie dies bereits mit dem Temperaturstützungsbetrieb über den Jahreswechsel 2008/2009 (keine Belegung) erfolgreich praktiziert wurde.

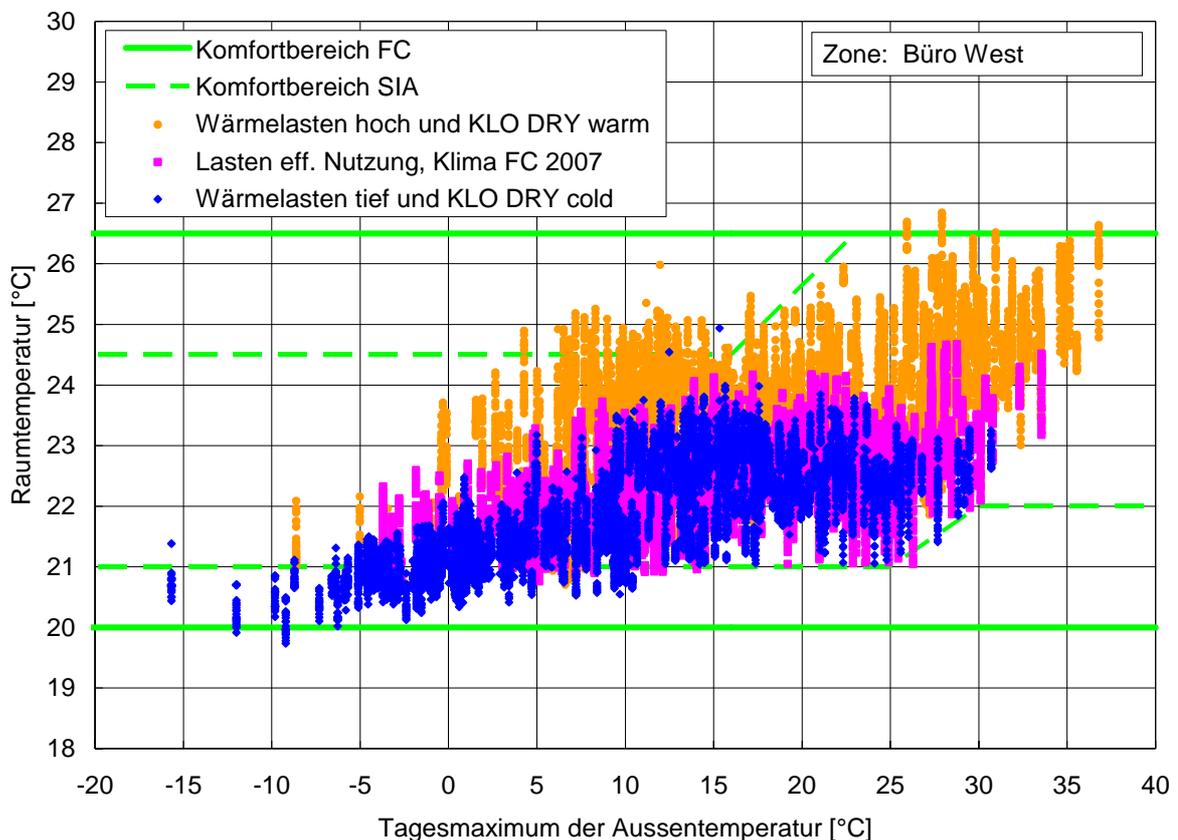


Abbildung 5-5: Zu erwartende Raumtemperatur in den Situationen „hohe Belegung – warmes Klima“ und „tiefe Belegung – kaltes Klima“ (Zone Büro West) (Empa)

5.2 Einfluss von baulichen Komponenten

5.2.1 Sensitivitätsanalyse Gebäudemasse

Mit den im FC eingebauten Lehmwänden und der weitgehend unverkleideten Baustruktur verfügen die Räume im FC über eine grosse thermisch-dynamische Speicherkapazität, welche sich dämpfend auf die Raumtemperaturen auswirkt. Um zu untersuchen, wie gross dieser Einfluss ist, wurde basierend auf dem Simulationsmodell Stand Planung (3-Plan Haustechnik 2009/1) eine Sensitivitätsanalyse zum Einfluss der Gebäudemasse durchgeführt.

Um ein vergleichbares Gebäude ohne nennenswerte Speichermassen zu erhalten, wurden im Simulationsmodell alle massiven Bauteile mit einer 2 cm dicken Isolationsschicht versehen. Wie gezeigt wurde, entspricht dies einer weitgehenden Entkopplung der Speichermasse vom Raum.

Im Vergleich zur realen Situation im FC fallen die Raumtemperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht infolge der Entkopplung von der Speichermasse bei gleich bleibendem Mittelwert ganzjährig deutlich höher aus. Sowohl Spitzenwerte im Sommer als auch Minima im Winter liegen bis zu 1.0 K höher respektive tiefer. Dies ist mit einer entsprechenden Verschlechterung der Komfortbedingungen verbunden.

Die im FC vorhandene hohe und thermisch auch ansprechbare Speicherkapazität trägt also wesentlich zum guten Raumklima bei.

5.2.2 Sensitivitätsanalyse Fluchtbalkone und Beschattung

Als Konsequenz der offenen Gestaltung des Atriums musste aus feuerpolizeilichen Gründen eine externe Entfluchtung der Räume gewählt werden. Dies wird mittels an die Fassade vorgehängter Fluchtbalkone gewährleistet. Diese auf den SE-, SW-, NW-Fassaden 2.0 m breiten, auf der NE-Fassade 3.5 m breiten Fluchtbalkone wirken als baulicher Sonnenschutz. Je nach Orientierung werden alleine durch die Fixbeschattung 40-50% der jährlichen auf der jeweiligen Fassade auftreffenden Solareinstrahlung abgeblockt. Zusätzlich ergibt sich eine kleine Fixbeschattung infolge der Aufhängung und Mechanik der Lamellenkonstruktion sowie der nichtpermanenten Nachführung der Lamellen an den aktuellen Sonnenstand.

Für analoge Gebäude, bei welchen die Entfluchtung anders gelöst und demzufolge auf die Fluchtbalkone verzichtet werden kann, stellte sich demzufolge die Frage, welches die Auswirkungen des Wegfalls der Fixbeschattung auf die Raumtemperaturen sind.

Identisches Gebäude ohne Fluchtbalkone: Einfluss auf die Raumtemperaturen

Die in einem identischen Gebäude ohne Fluchtbalkone, jedoch mit gleicher Lamellenfassade, gleichem Haustechnik-Konzept und gleicher Regelung wie im FC zu erwartenden Raumtemperaturen in den Büroräumen sind aus Abbildung 5-6 ersichtlich. Im Sommer und den Übergangszeiten wären gegenüber dem heutigen Zustand bis 1.5 K höhere Raumtemperaturen einzuplanen. Mit einer angepassten Beschattungssteuerung auf tiefere Beschattungsgrenzwerte liesse sich diese Differenz auf noch ca. 0.5 K reduzieren. Die Komfortgrenzen könnten also auch ohne Fluchtbalkone eingehalten werden, wobei diese Grenzen in Einzelräumen mit grosser Wahrscheinlichkeit ausgeschöpft würde. Weil die Beschattungswirkung der Glaslamellen mit einer Transparenz von 35% auch im voll geschlossenen Zustand eher knapp ist, bestünde also kaum noch Potential für höhere Wärmelasten oder ein wärmeres Klima.

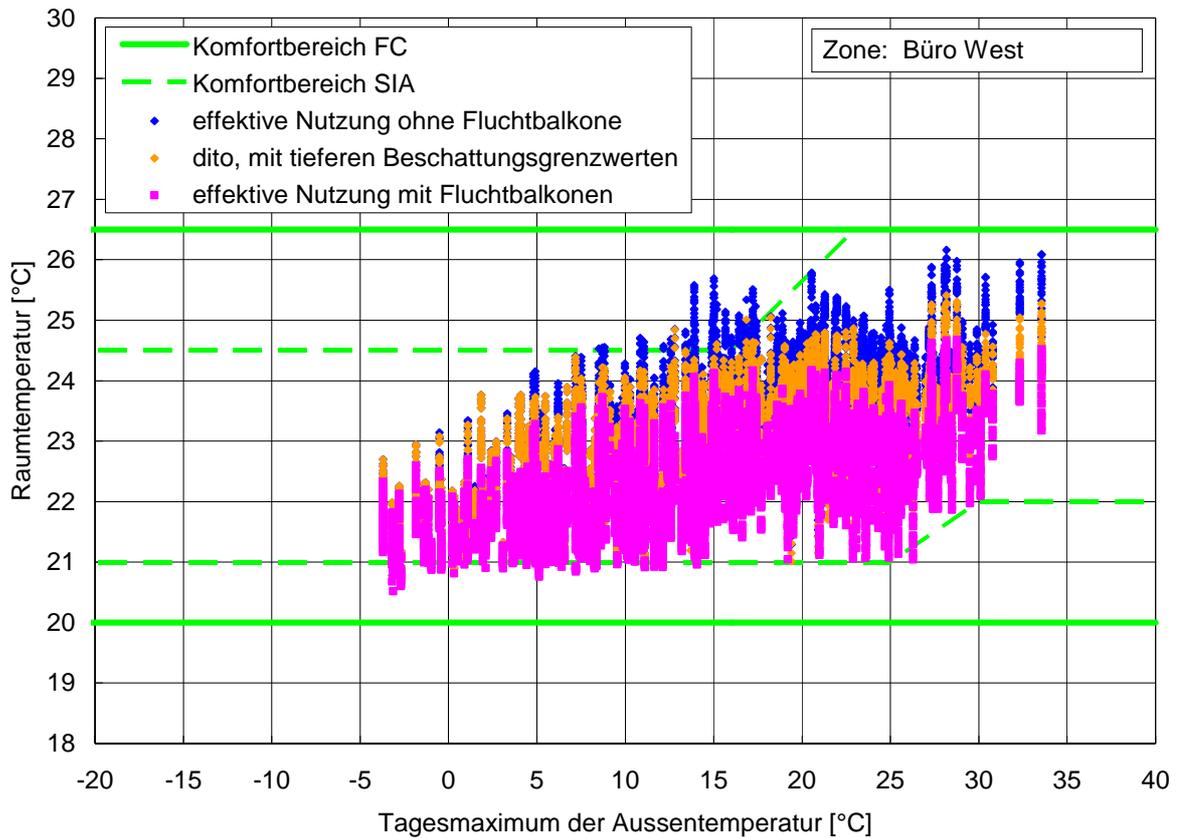


Abbildung 5-6: Einfluss der Fixbeschattung durch Fluchtbalkone auf die Raumtemperatur in der Zone Büro West (Empa)

Diese Untersuchungen zeigen, dass die Fluchtbalkone – auch wenn sie etwas Tageslicht abschirmen – entscheidend zum guten sommerlichen Wärmeschutz im FC beitragen. Als Umkehrschluss kann gefolgert werden, dass der Beschattungsanteil durch die Lamellen von weniger grosser Bedeutung ist. Die Beschattungssteuerung kann deshalb in einer Interessenabwägung zwischen thermischem Komfort und Tageslichtnutzung tendenziell zugunsten der Tageslichtnutzung optimiert werden.

Konventionelles Gebäude, konventionelle Fassade und Beschattungseinrichtung

Als gestalterisches Element verleiht die Lamellenfassade dem FC seine unverwechselbare architektonische Charakteristik. Allerdings ist dies sowohl konstruktiv als auch kostenmässig relativ aufwändig. Es stellt sich somit die Frage, ob das Konzept des FC auch in einem konventionellen Gebäude mit konventioneller Fassade und Beschattung funktionieren würde.

Um dies zu untersuchen wurden im Simulationsmodell die Lamellenfassade, die Fluchtbalkone sowie die restliche Fixbeschattung entfernt und stattdessen ein konventioneller Sonnenschutz eingebaut. Die solare Transmission der verwendeten Rafflammellenstore beträgt im geschlossenen Zustand $\tau_e = 20\%$.

Als Beschattungssteuerung gelangen zwei Varianten zur Anwendung:

Fall 1: Beschattungssteuerung gleich wie bei Lamellenfassade im FC
Gleiche Jahreszeitensteuerung und Einstrahlungsgrenzwerte zur Aktivierung der Beschattung.

Fall 2: Konsequente Beschattungssteuerung

- Sonneneinlassstellung nur im Hochwinter, wenn die mittlere Aussentemperatur $T_{a24} < 5^\circ\text{C}$.
Ansonsten konsequente Aktivierung der Beschattung wenn:

- $I_{dir} > 0 \text{ W/m}^2$ (Direktstrahlung auf die betreffende Fassade),
oder wenn
- $I_{tot} * g\text{-Wert} > 90 \text{ W/m}^2$ (Diffusstrahlung zu gross).

Der Vergleich gegenüber dem Ist-Zustand zeigt, dass der höhere Beschattungsfaktor der Rafflamellenstore den Wegfall der Fluchtbalkone und des Fixbeschattungsanteils der Lamellen zwar nicht vollständig zu kompensieren vermag, dass sich aber andererseits die Temperaturzunahme in Grenzen hält. Durch die Anwendung der konsequenten Beschattungssteuerung sind zudem die Temperaturen vor allem in den Übergangszeiten noch leicht reduzierbar.

Zusammengefasst bedeutet dies, dass ein analoges Konzept wie im FC auch in einem 'konventionellen' Gebäude mit 'konventioneller' Fassade und Beschattung funktionieren würde. Allerdings geht durch den Wegfall der Lamellenfassade sowohl die architektonische Charakteristik als auch die Transparenz der Fassade verloren.

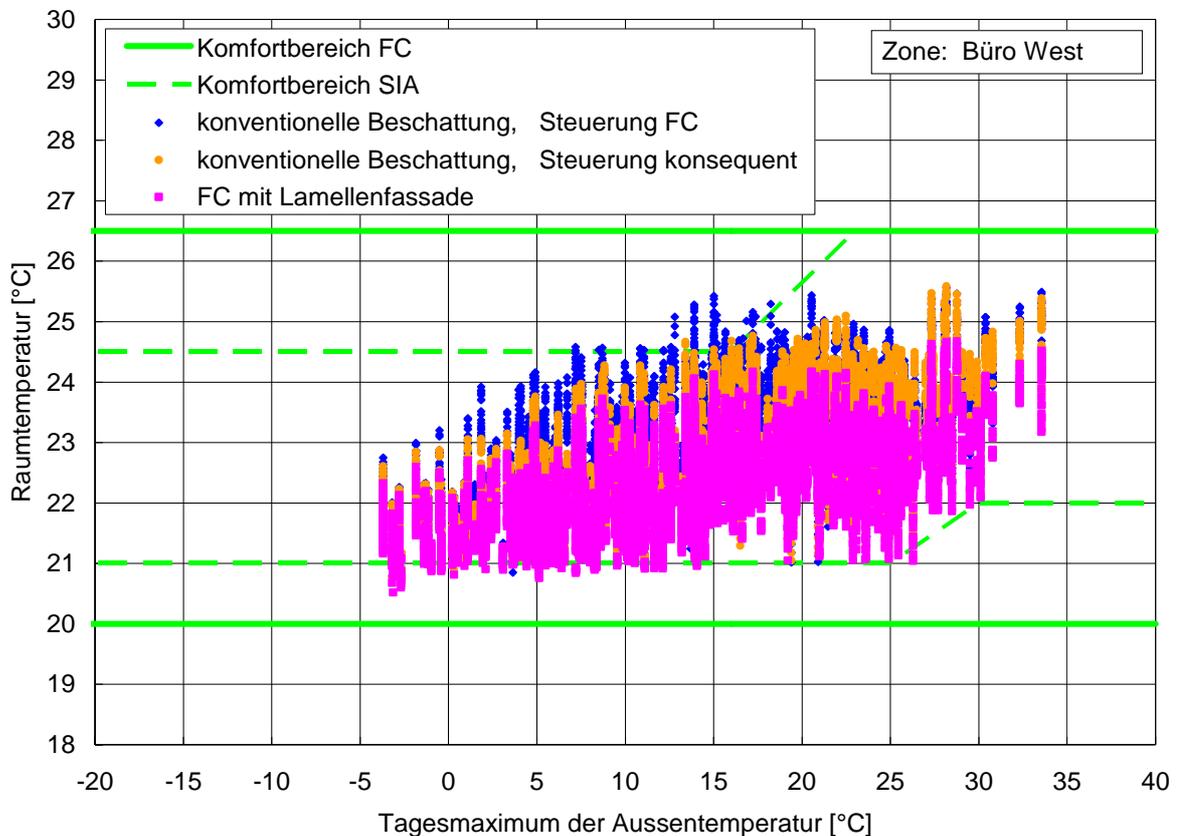


Abbildung 5-7: Einfluss der Beschattungssteuerung auf die Raumtemperaturen beim Einsatz einer konventionellen Fassade und Beschattung (Rafflamellenstore, Zone Büro West) (Empa)

5.2.3 Sensitivitätsanalyse Atriumbeschattung

Atrien mit ihren grossen Verglasungsflächen sind in der Regel bezüglich ihres Komforts sowohl im Winter als auch im Sommer anspruchsvolle Räume. Auch wenn das Atrium im FC als Pufferzone mit reduzierten Komfortanforderungen konzipiert ist, interessiert insbesondere welche Rolle den Solargewinnen im Atrium zukommt.

Mit der Sensitivitätsanalyse „Atriumbeschattung“ wird deshalb untersucht, wie wichtig die Atriumbeschattung für die Steuerung der solaren Gewinne im Gebäude und den Schutz vor Überhitzung des Atriums ist.

Konstruktion Pufferraum und Atriumdach

Durch den verglasten Pufferraum im Atriumdach ist das Atrium gegen die Aussenwelt abgetrennt. Der Pufferraum weist die folgenden Merkmale auf:

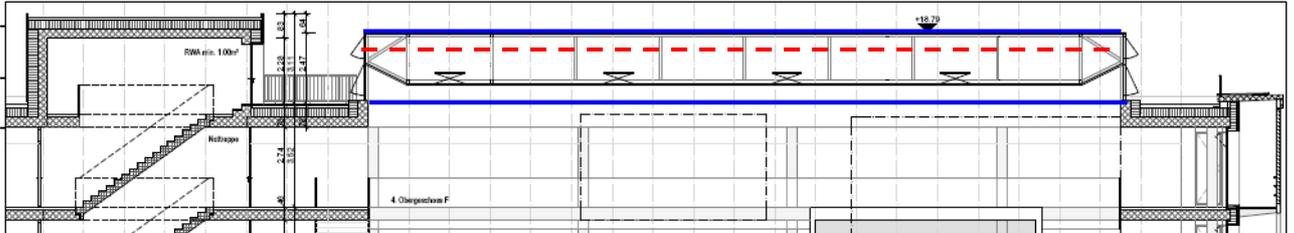


Abbildung 5-8: Längsschnitt durch das Atriumdach mit Pufferraum und Lage der Atriumbeschattung (BGP)

Analyse

Alleine die beiden Verglasungen wirken infolge der tiefen g-Werte zusammen wie eine effiziente Beschattung: der kombinierte g-Wert beträgt lediglich ca. 21%.

Infolge der seitlichen Verglasungen und Reflexion am Fachwerk im Pufferraum erreicht zudem lediglich ein reduzierter Anteil der eintreffenden Strahlung das Atrium. Als grobe Annahme über alle Sonnenstände und Einstrahlungssituationen kann von ca. 70% ausgegangen werden.

Ohne Atriumbeschattung resultiert so ein Gesamt g-Wert von ca. 15%, mit Atriumbeschattung ein solcher von ca. 10%.

Im Verhältnis zur Verglasungsfläche im Atriumdach weist das Atrium grosse Flächen auf, in welchen die solaren Gewinne absorbiert werden können. Die thermischen Massen im Atrium wirken also stark dämpfend und ausgleichend auf die Raumtemperatur.

Fazit

- Die solaren Gewinne durch das Atriumdach sind infolge der geringen Gesamttransparenz und der relativ gesehen kleinen Gewinnfläche unbedeutend im Verhältnis zu Volumen und Masse des Atriums.
- Mit oder ohne aktivierter Atriumbeschattung besteht nur ein geringer Unterschied im Gesamt g-Wert von ca. 5%. Auch wenn dies in den oberen Stockwerken v.a. bei hohen Solareinstrahlungen lokal von Bedeutung ist, so kann der Einfluss der Atriumbeschattung auf die mittlere Temperatur im Atrium als unbedeutend bezeichnet werden.

Simulationen mit dem TRNSYS-Simulationsmodell mit und ohne Atriumbeschattung zeigen denn auch kaum Unterschiede in der mittleren Atriumstemperatur. Allerdings wären zur rechnerischen Untersuchung der komplexen Vorgänge im Pufferraum infolge der Wechselwirkungen zwischen Solareinstrahlung, Absorption, Wärmedurchgang und der Ablüftung des Pufferraumes eigentlich detailliertere Modelle und Berechnungsverfahren notwendig. Aufgrund der oben dargestellten Sachverhalte wären hingegen keine grundsätzlich anderen Resultate bezüglich der effektiven Solargewinne und der Auswirkungen auf die Atriumstemperatur zu erwarten.

Die obigen Aussagen werden auch gestützt durch die im Atrium gemessenen Raumtemperaturen. Anhand der Messdaten aus dem Jahre 2007 (Abbildung 4-10) ist ersichtlich, dass sich zwar die langfristige Temperaturentwicklung auf das Atrium überträgt, dass auf der anderen Seite aber keine ausgeprägten täglichen Temperaturschwankungen zu verzeichnen sind. Zudem tritt im Atrium nur während langen Schönwetterperioden überhaupt eine nennenswerte Temperaturschichtung auf.

Es ist bei diesen Aussagen allerdings zu berücksichtigen, dass für die Praxis natürlich auch die Lichtverhältnisse berücksichtigt werden müssen. Diese waren jedoch nicht Teil des vorliegenden Projektes.

5.3 Einfluss von technischen Komponenten

In diesem Kapitel wird der Einfluss der einzelnen Technikelemente zur Bedarfsreduktion und rund um den Kombispeicher zur Wärmebereitstellung untersucht. Dabei gilt es zu beachten, dass die einzelnen Technikelemente als System fungieren und nebst Energieeinsparung Ihren Nutzen in mehreren Dimensionen bringen.

Technik- element	weniger Wärme- energie	weniger Kälte- energie	Komfort- steigerung im Raum	Erhöhung Redundanz und Systemsicherheit	Weitere Zusatznutzen
Lufterdregister	Ja	Ja	Ja Kühlere Zuluft im Sommerfall, verbesserte Lüftungseffizienz	Ja Auch wenn Kälte- oder Wärmeversorgung ausfallen, wird die Aussentemperatur gebrochen.	Ja Beitrag an Lösung Vereisungsproblem Lufterhitzer im Winterfall Kühlung und Entfeuchtung Sommerfall und dadurch Verzicht auf Luftkühler / Entfeuchter Reduktion Installationskosten und elektrischer Energie durch Möglichkeit Wahl tieferer Luftmengen durch die Lüftungseffizienz
Serverabwärme Freecooling Server	Ja	Ja	Nein	Ja Auch bei Ausfall Kälteversorgung werden die Server noch gekühlt Auch bei Ausfall Wärmenetz oder WRG Lüftung wird Aussenluft im Winter noch vorgewärmt	Ja Beitrag an Lösung Vereisungsproblem Lufterhitzer Winterfall Reduktion Stromverbrauch durch kürzere Laufzeit WRG der Lüftungsanlagen (Minderung Druckverlust)
Abwärmenutzung der gewerblichen Kälteanlage	Ja	(Ja) Siehe Zusatznutzen	Nein	Ja Auch bei Ausfall Wärmenetz steht Wärme für Heizzwecke bereit	Ja Reduktion Rückkühlenergie zur Vernichtung der Abwärme
Thermische Solaranlage	Ja	Nein	Nein	Ja Auch bei Ausfall Wärmenetz steht Wärme für Heizzwecke bereit	Ja Nutzung Wärmeüberschuss durch Arealheiznetz für umliegende Bauten Visuelles Signal an die Öffentlichkeit zur Nutzung der Sonnenenergie

Tabelle 5-3: Mehrfachnutzen Technikelemente (3-Plan)

Es wurde darauf verzichtet, den Nutzen der Rotations- und Plattenwärmetauscher zu untersuchen, da diese ohnehin gesetzlich gefordert sind und es darüber viele Publikationen gibt. Eigentlich ist auch die Abwärmenutzung von anfallender Wärme aus der gewerblichen Kälteanlage wie auch der Server gesetzlich vorgeschrieben, wird aber heute oft durch Einholung einer Ausnahmegewilligung weggelassen, mit der Begründung, dass kein Wärmebedarf vorhanden sei. Daher wurde der Einfluss durch Wegfall dieser Wärmerückgewinnungselemente mit untersucht.

Streng genommen sind als „freiwillige“ Massnahmen lediglich die Solaranlage und das Erdregister zu betrachten. Das Erdregister wie auch die Solaranlage haben aber Zusatznutzen was ein Verzicht unter Berücksichtigung des Gesamtsystems und der Zielsetzungen der Bauherrschaft als nicht empfehlenswert zeigt.

Bei Kosten-Nutzenüberlegungen werden oft die Mehrdimensionalen Nutzen vergessen und lediglich der Einfluss auf eine Dimension untersucht, was zu Falschaussagen führen kann.

Verzicht auf das Luft-Erdwärmeregisters (LER)

Das Lufterdwärmeregister wirkt sich minimal auf den Wärmebedarf aus. Entsprechend wird auch der Wärmebezug ab Netz wenig beeinflusst. Wäre die Serverabwärme nicht vorhanden oder die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlagen schlechter, wäre der Effekt für den Heizwärmebedarf deutlicher. Im Winterfall hat das LER keinen Komforteinfluss. Im Sommerfall ist der positive Einfluss vor allem in Zonen mit hohem Luftwechsel sichtbar. Auf den Kältebedarf des Servers hat das LER einen massiven Einfluss. Wird es weggelassen steigt der Kältebedarf Kältebezug ab Netz um ca. 67%.

Verzicht auf die Nutzung der Serverabwärme (SER)

Ein Grossteil der Serverabwärme fällt im Sommer oder nachts an und kann deshalb schlecht genutzt werden. Wird auch tagsüber die Serverwärme im Winterfall nicht genutzt, so wird der Effekt durch die Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlagen teilweise kompensiert. So erklärt sich, dass ohne Nutzung der Serverabwärme der Wärmebedarf und Bezug ab Netz lediglich um etwa 10% steigt. Interessant ist aber, dass die WRG länger „gebypasst“ werden kann, was sich wiederum positiv auf den Stromverbrauch auswirkt.

Verzicht auf die Nutzung der Abwärme der gewerblichen Kälte (KAE)

Wird die Abwärme der gewerblichen Kälte nicht genutzt, beeinflusst dies die andern Teilsysteme wenig. Die fehlende Wärme muss vom Arealnetz bezogen werden. Der Bezug ab Arealwärmenetz steigt um ca. 26%. Dazu kommt, dass die nicht genutzte Abwärme zusätzlich Rückgekühlt werden muss.

Verzicht auf die thermische Solaranlage (SOL)

Ohne thermische Solaranlage steigt der Ertrag der Abwärmenutzung der gewerblichen Kälte etwas an. Die restliche Solarwärme wird mit dem Arealwärmenetz kompensiert. Der Bezug ab Netz steigt um ca. 37%.

Tabelle 5-4 zeigt eine Übersicht der einzelnen Technikelemente des Energiesystems und deren quantitative Einflüsse.

Würde das Gebäude ohne weitere Massnahmen, rein ab Arealnetz beheizt, so würde der Verbrauch an Wärme um rund 80% ansteigen.

Es zeigt sich am Beispiel Forum Chriesbach gut, dass es nebst Suffizienz (Genügsamkeit) beides braucht: Energieeffizienz und die Nutzung erneuerbarer Energien.

Variante	Heizwärmebedarf		Wärmebezug ab Netz		Abwärme gew. Kälte		Solarertrag thermisch		Bezug Kälte ab Netz für Server		Bemerkungen
	Qh		Ew		[KAE]		[SOL]		[SER]		
	kWh		kWh		kWh		kWh		kWh		wichtig
Simulation eff. Nutzung	68'700	100%	56'600	100%	16'200	100%	28'400	100%	15'392	100%	
ohne Luft-Erdwärmeregister [LER]	70'200	102%	58'000	102%	16'300	101%	28'400	100%	25'71	167%	1
ohne Server [SER]	74'200	108%	61'600	109%	16'700	103%	28'400	100%	15'392	100%	2
ohne Luft-Erdwärmeregister und ohne Server	75'700	110%	63'000	111%	16'800	104%	28'400	100%	25'712	167%	1,2
ohne Abwärme gew. Kälte [KEA]	68'700	100%	71'700	127%			29'100	102%	15'392	100%	3
ohne Solaranlage	68'700	100%	77'300	137%	23'700	146%			15'392	100%	

1 Ausserdem Einfluss auf Raumtemperaturen im Sommerfall

2 Ausserdem Stromeinsparungen bei redzuerter Laufzeit/Laufgeschwindigkeit der Lüftungs-WRG

3 Ausserdem reduzierter Stromverbrauch Rückkühlung

Tabelle 5-4: Zusammenfassung Resultate Sensitivitätsanalysen (3-Plan)

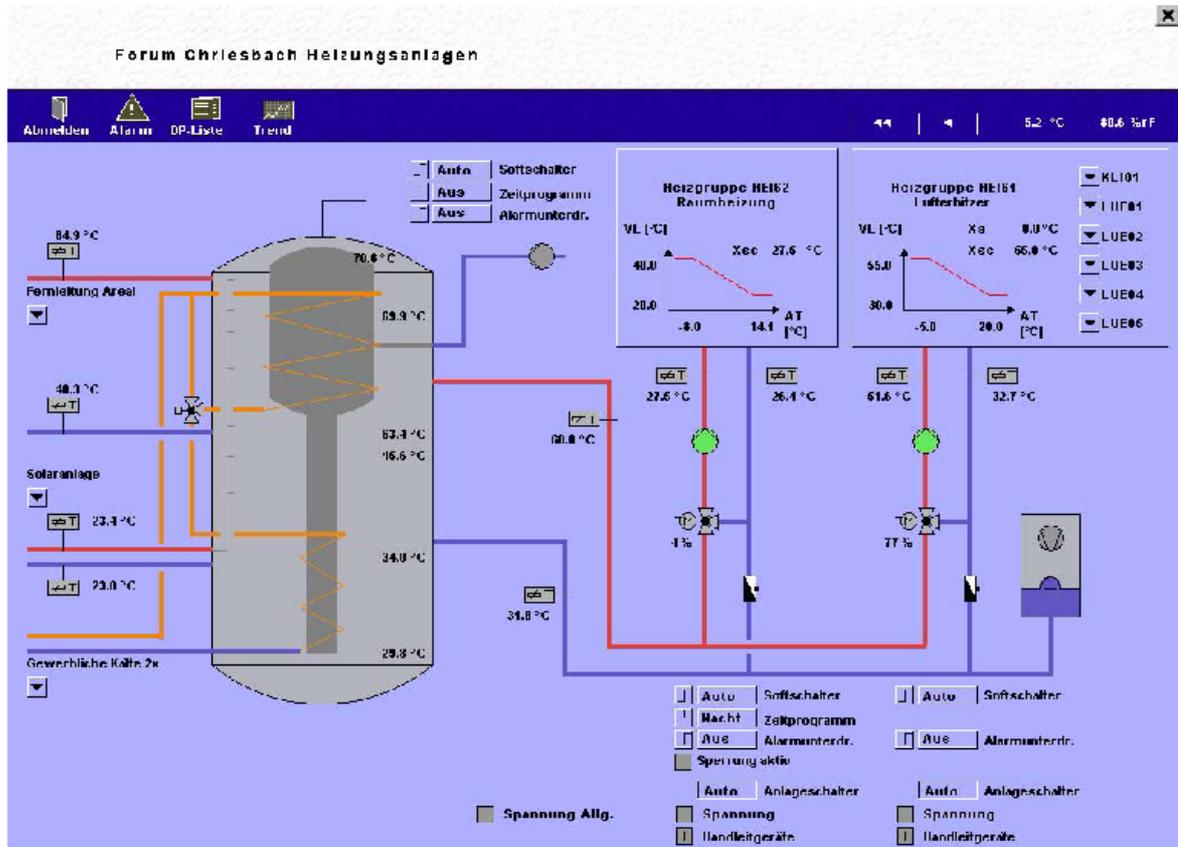
6 Messungen

6.1 Messdaten MSRL

Für die Gebäudeautomation und die Sicherheitsüberwachung wird in Dübendorf für die Empa und Eawag ein gemeinsames MSRL-Netzwerk unter der Bezeichnung GAMS gemäss Abbildung 3-1 verwendet, welches im Forum Chriesbach gegen 4000 Mess- und Zustandsgrössen (Temperaturen, Energiezähler, Elektro- und Wasserzähler, Wetterdaten, Taster- und Schalterstellungen, Sollwerte, Ereignis- und Alarmmeldungen, etc.) auf dezentralen Rechneranlagen erfasst und auf einem zentralen Reporting Server speichert. Die Daten liegen entweder als Ereigniswerte, 5-Minutenwerte oder Stundenwerte vor.

Wizcon-Applikation

Page 1 of 1



<http://forum-gams.emp-eaw.ch/>

07.01.2009

Abbildung 6-1: Ausdruck aus dem Wizcon Überwachungssystem: Heizungsanlagen (Eawag)

Bei den Raumlufttemperaturen wurde ein Vergleich der MSRL-Messungen mit vor Ort in Raummitte eingesetzten Präzisionsmessfühler durchgeführt. Bedingt durch die Art der Temperaturfühler und die Montage an der Innenwand der Büroräume sind Abweichungen von 0.5-1.5 K möglich. Die Wandfühler zeigten dabei höhere Werte und ein trägeres Verhalten auf.

Ausgewählte Daten der MSRL-Messanlage zu den Raumlufttemperaturen im Gebäude, zur Photovoltaik und Globalstrahlung sowie zum Stromverbrauch und zur PV-Stromerzeugung werden online auf einem Info-Terminal angezeigt (Abbildung 6-2). Die aktuellen Messdaten können auch online über das Internet auf folgender Webseite abgefragt werden:

<http://www.forumchriesbach.eawag.ch/> .

Forum Chriesbach

Messdaten vom 19.02.2009, 13:36 Uhr

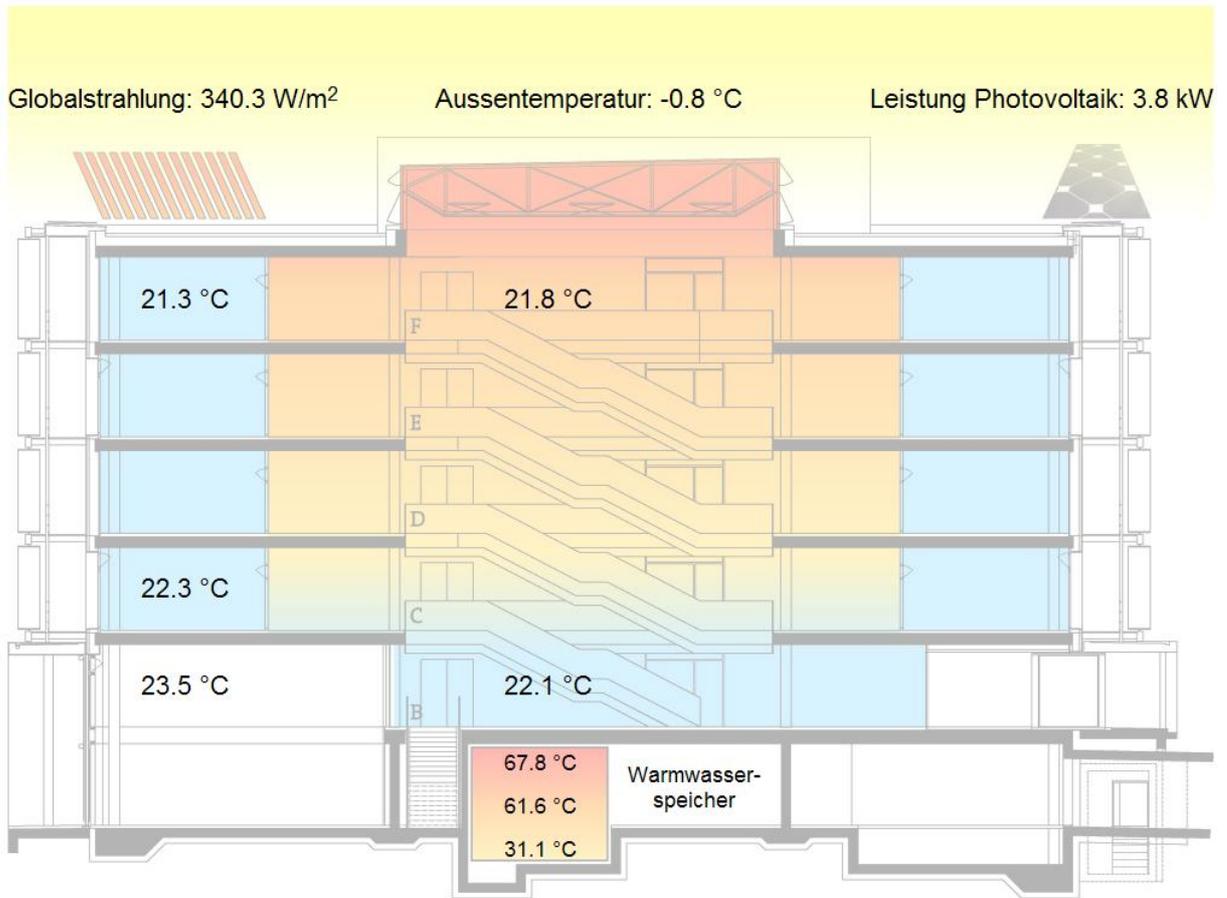


Abbildung 6-2: Beispiel der Darstellung der aktuellen Messdaten auf dem Info-Terminal der Eawag (Eawag)

Für die vorliegende Studie wurden die MSRL-Messdaten (GAMS) auszugsweise für den Sommer 2006 und für das ganze Jahr 2007 als Stundenwerte aufbereitet. Zusätzlich wurden für das Aussenklima Messdaten der Empa (Solarprüfstand) und der NABEL-Station Dübendorf (BAFU-Empa) verwendet.

In Ergänzung dazu wurden detaillierte Raumklimamessungen in verschiedenen Büroräumen über eine Periode von 4 Wochen im Sommer 2006 und Winter 2007 sowie Lufttemperaturmessungen in einem Büroraum über 2 Jahre durchgeführt.

In Abbildung 6-3 ist der Aussentemperaturverlauf von Dübendorf über die letzten drei Jahre und die ausgewertete Messperiode (rot markiert) dargestellt.

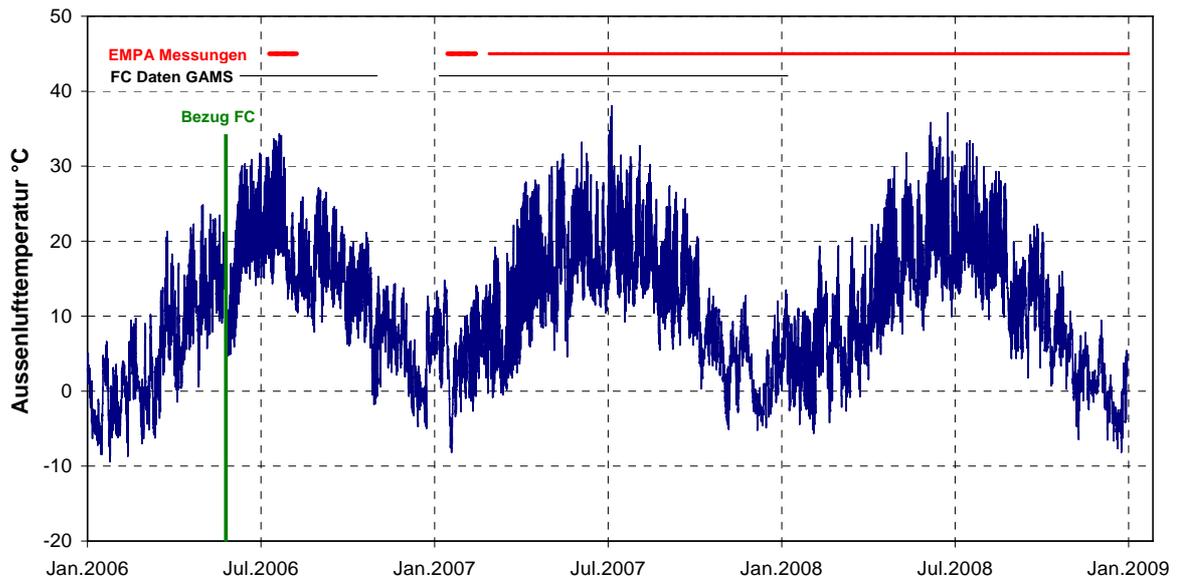


Abbildung 6-3: Verlauf der Lufttemperatur von Dübendorf und Übersicht der ausgewerteten Messperioden (Empa)

6.2 Komfortmessungen

Mit detaillierten Komfortmessungen wurden stichprobenweise die Raumklimabedingungen in Büroräumen mit unterschiedlicher Exposition im Sommer sowie im Winter durchgeführt und damit das Funktionieren des hybriden Lüftungskonzeptes überprüft. In Abbildung 6-4 ist das Konzept bildlich dargestellt: Tagsüber wird mechanisch ein hygienisch erforderlicher Aussenluftvolumenstrom von ca. 30 m³/h pro Person den Räumen zugeführt, wobei die Aussenluft über das Erdwärmeregister vorkonditioniert wird. In der Nacht kann eine passive Kühlung der Räume durch Fensterlüftung erfolgen. In den Geschossen B bis E wird dabei eine Querlüftung von der Fassade über das Atriumdach angewendet (siehe Abbildung 6-5), im obersten Geschoss F eine einseitige Fensterlüftung. Als Komfort-Anforderungen werden die Vorgaben der SIA Normen 180 und 382/2 verwendet.

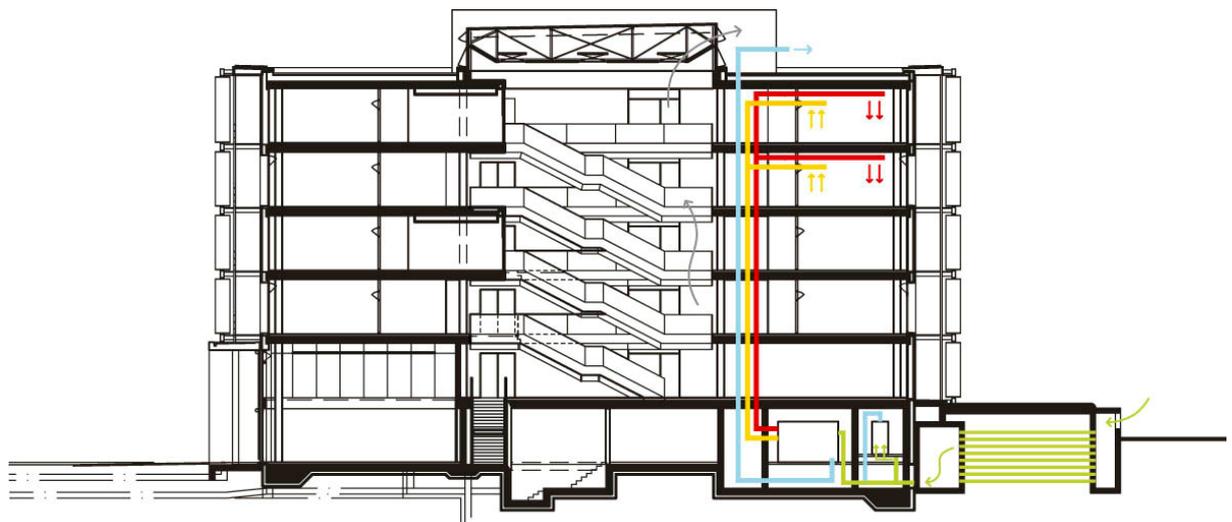


Abbildung 6-4: Mechanische Lüftung der Büroräume am Tag. Grün eingezeichnet ist das Lufterdregister mit den 78 im Boden verlegten 20m langen Röhren (BGP)

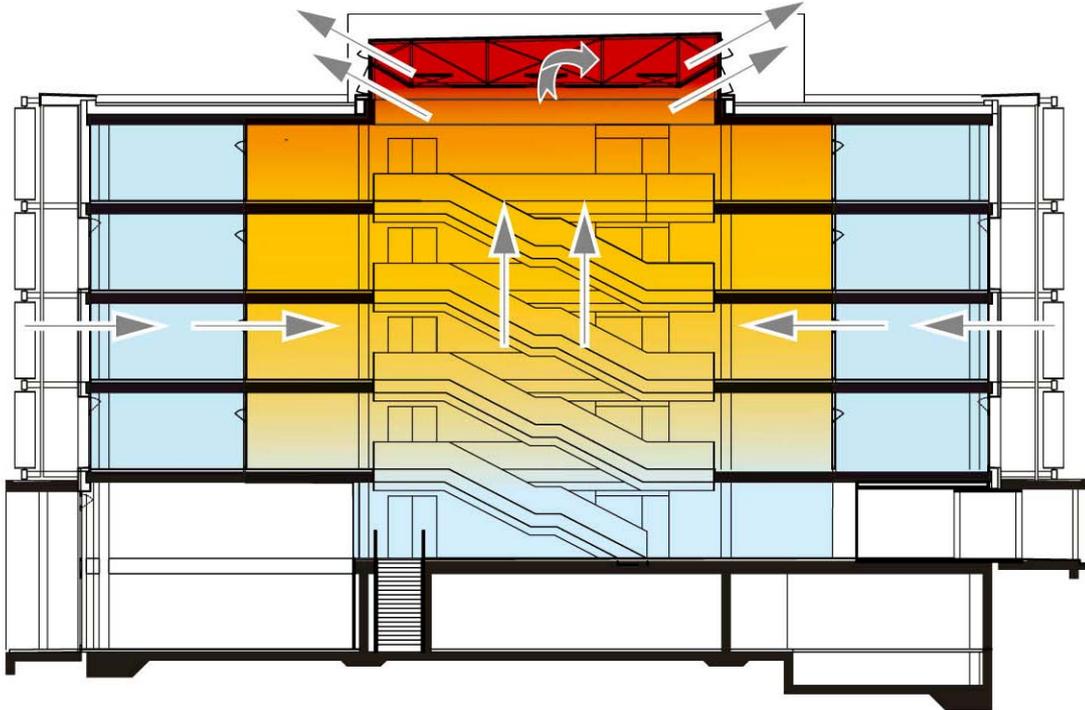


Abbildung 6-5: Passives Kühlen durch Fenster-Querlüftung von der Fassade zum Atrium während der Nacht (BGP)

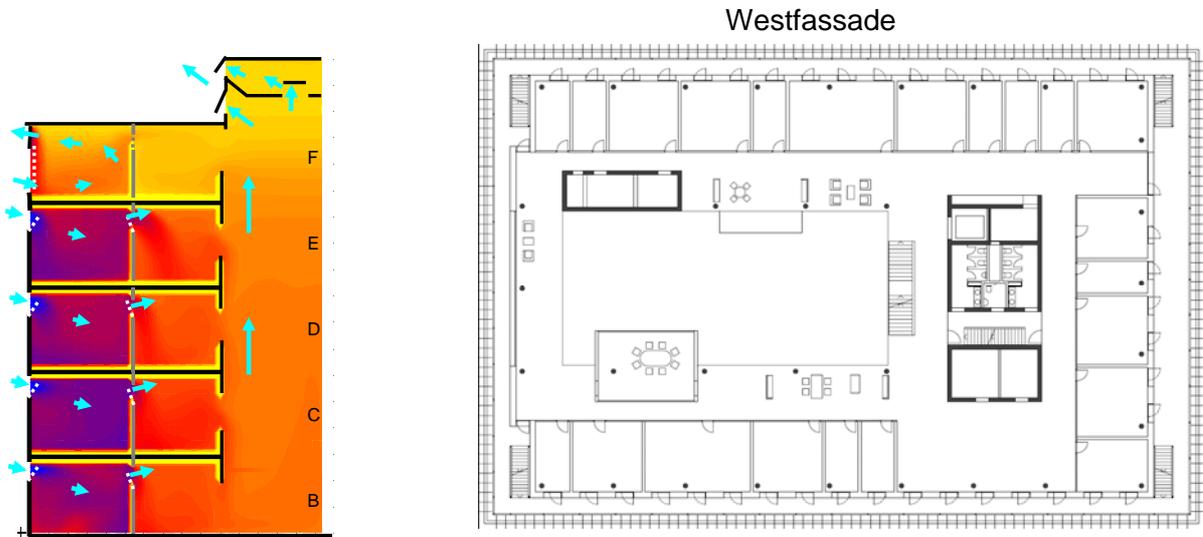


Abbildung 6-6: Vertikalschnitt des Gebäudes (Bild links) und Grundriss 3.OG (Bild rechts) des Forum Chriesbach (BGP)

Die Komfortuntersuchungen wurden in folgenden Räumen durchgeführt:

- Gruppenbüroraum im 2.OG an der Westfassade (Abbildung 6-7) mit 30 m² Bodenfläche und max. 4 Arbeitsplätzen.
- Einzelbüroräume im 3.OG und 4.OG an den Ost-, Nord- und Westfassaden mit je 12 m² Bodenfläche und 1 Arbeitsplatz.

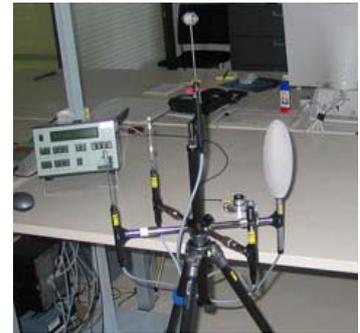


Abbildung 6-7: Untersuchter Gruppenbüroraum an der Westfassade im 2.OG mit Komfort-Analysers (Empa)

Für die Untersuchungen wurden sowohl MSRL-Daten als auch Daten von detaillierten Messungen vor Ort verwendet, wobei folgende Grössen erfasst wurden:

Messgrösse		Messfühler / Messgerät
- Raumlufttemperatur	°C	(M34 - B&K Comfort Analyser 1213)
- rel. Raumluftfeuchtigkeit	%	(M37 - B&K Comfort Analyser 1213)
- Operative Temperatur	°C	(M60 - B&K Comfort Analyser 1213)
- Strahlungsasymmetrie	°C	(M36 - B&K Comfort Analyser 1213)
- Luftgeschwindigkeit	m/s	(M38 - B&K Comfort Analyser 1213)
- CO2 Konzentration	ppm	(Vaisala Elpro Hotbox)
- Zulufttemperatur	°C	(Vaisala Elpro Hotbox)
- rel. Zuluftfeuchtigkeit	%	(Vaisala Elpro Hotbox)

Tabelle 6-1: Übersicht über die Messgrössen und -geräte (Empa)

In Abbildung 6-8 ist der Verlauf der Aussenluft- und Raumlufttemperatur im Gruppenbüro West über die Sommerperiode 2006 dargestellt. Der nach SIA 382/1 geforderte Komfortbereich wird dabei während der Belegungszeit nicht überschritten (Abbildung 6-9). In Abbildung 6-10 ist die mit dem Komfort-Analyser ermittelte operative Raumtemperatur über die Hitzeperiode des Sommers 2006 dargestellt. Die maximal zulässige Raumtemperatur von 26.5°C wird nicht überschritten, Abbildung 6-11 zeigt die Wirkung der Vorkonditionierung der Zuluft durch das Erdregister. Bei Aussenlufttemperaturen von bis zu 35°C kann die Zulufttemperatur durch das Erdregister auf maximal 25°C begrenzt werden. Der Verlauf der CO₂ Konzentration sowie der internen Wärmelasten durch Personen und elektrische Geräte ist in den Abbildung 6-12 und Abbildung 6-13 dargestellt. Dabei fällt auf, dass während der 4 wöchigen Messdauer das Büro an allen Wochenenden belegt war. Trotz dieser intensiven Nutzung lag die Raumluftqualität immer innerhalb des zulässigen Bereiches, die obere Grenze von 1500 ppm wurde nicht erreicht. In Tabelle 6-2 sind die Mittel- und Maximalwerte der Messungen im Büroraum West über die Hitzeperiode zusammengestellt.

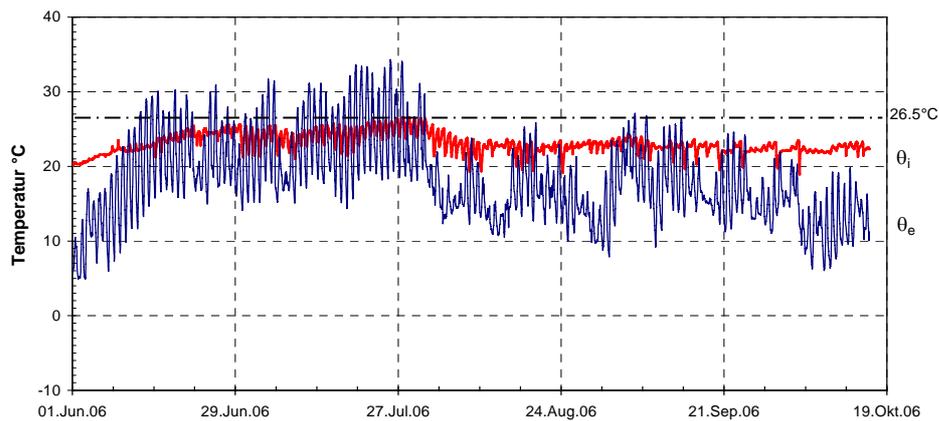


Abbildung 6-8: Verlauf der Lufttemperaturen im Gruppenbüroraum West im 2.OG im Sommer 2006 (Empa)

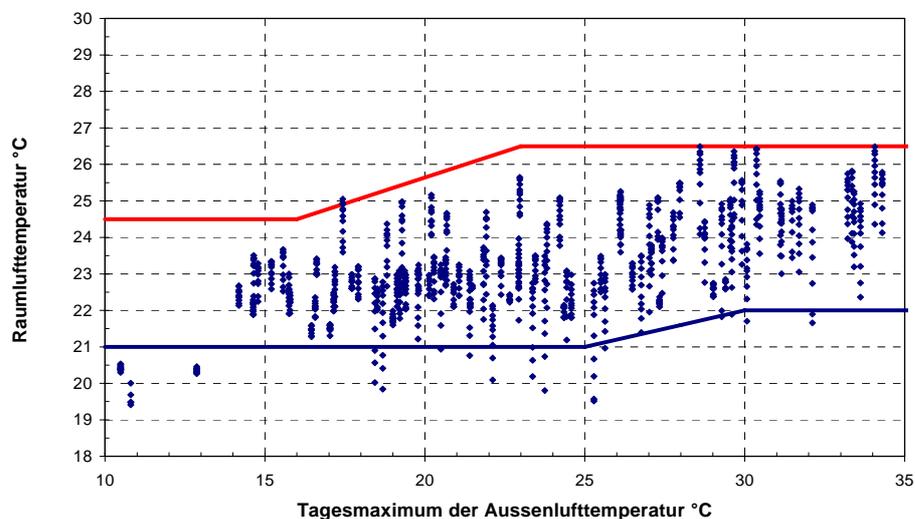


Abbildung 6-9: Bereich der Raumlufttemperaturen im Gruppenbüroraum West im 2.OG gemäss SIA 382/1 im Sommer 2006 (Empa)

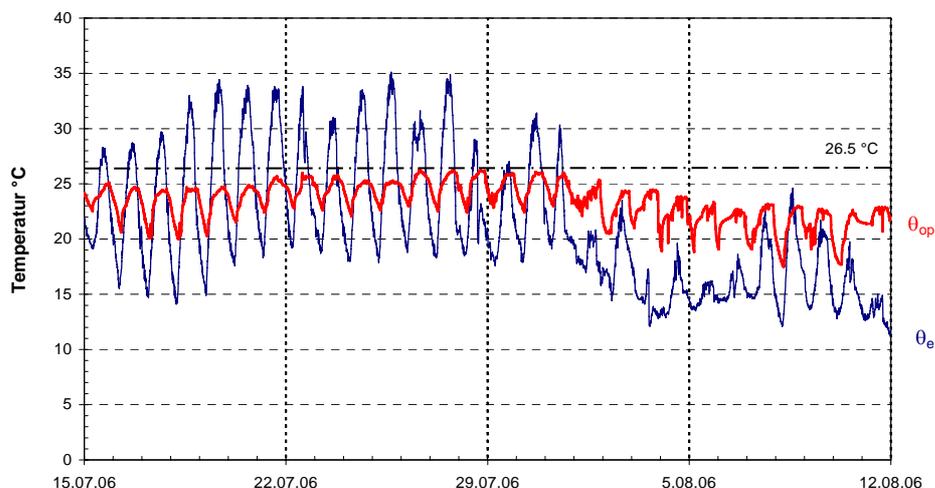


Abbildung 6-10: Detailmessungen im Gruppenbüroraum West im 2.OG während der Hitzeperiode im Sommer 2006 (Empa)

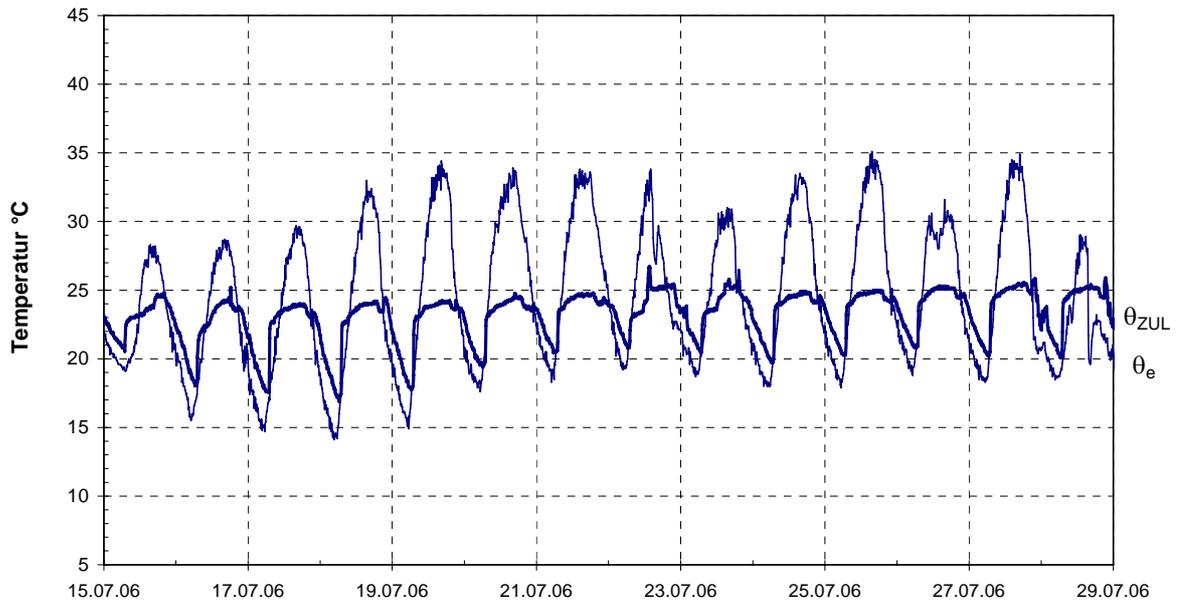


Abbildung 6-11: Vergleich der Aussenlufttemperatur mit der Zulufttemperatur über das Erdregister (Empa)

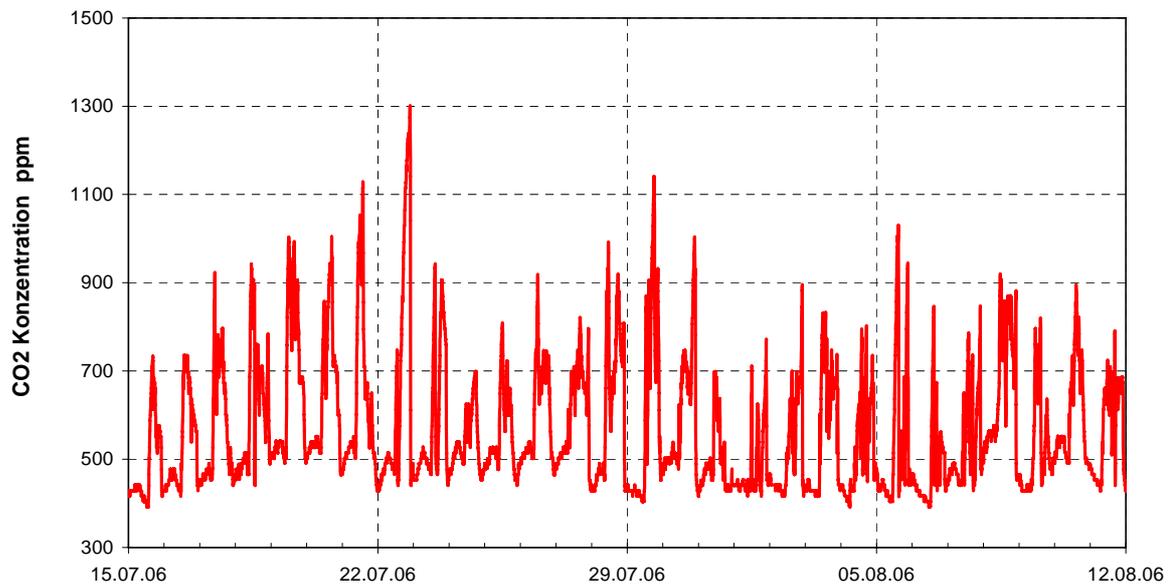


Abbildung 6-12: Verlauf der CO₂-Konzentration im Gruppenbüroraum West im 2.OG während der Hitzeperiode im Sommer 2006 (Empa)

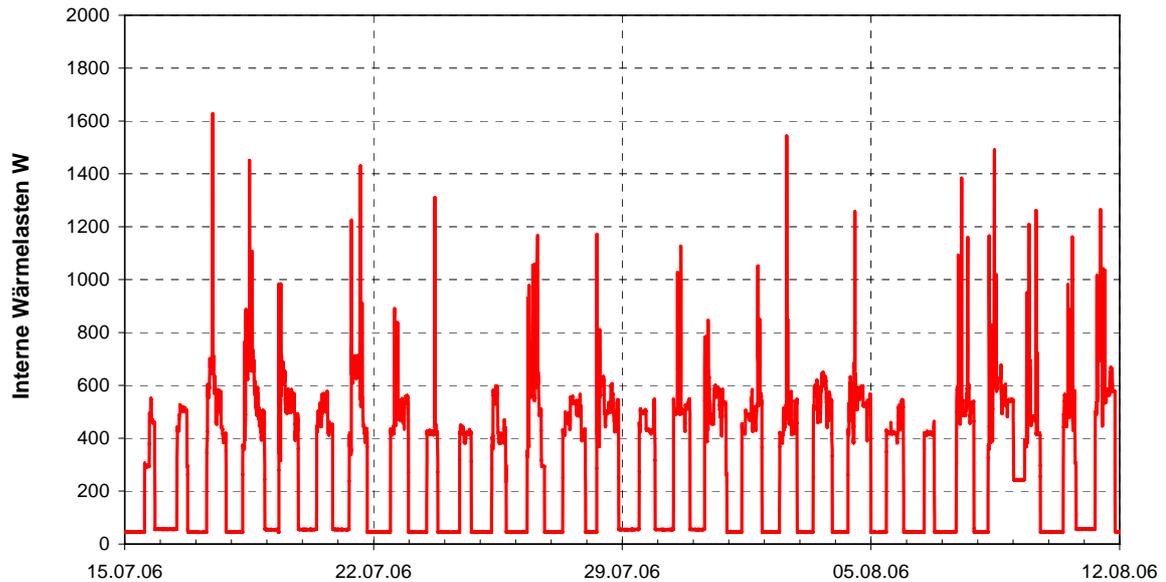


Abbildung 6-13: Verlauf der internen Wärmelasten im Gruppenbüroraum West im 2.OG während der Hitzeperiode 2006 (Empa)

Die Raumlufttemperaturen in den Einzelbüroräumen an der Ost- und Nordfassade im 3. OG über die Hitzeperiode im Sommer 2006 sind in den Abbildung 6-14 und Abbildung 6-15 abgebildet. Die Werte liegen deutlich unterhalb der 26.5°C Grenze. In Abbildung 6-16 ist die Raumlufttemperatur im Büroraum Ost des 4. OG dargestellt. Hier ist erkennbar, dass die Wirkung der Nachtlüftung durch die einseitige Fensteröffnung wesentlich geringer ist und die Grenztemperatur von 26.5°C zeitweise erreicht wird.

Die Komfortmessungen während einer milden Winterperiode 2007 sind in den Abbildung 6-17 und Abbildung 6-18 dargestellt. Die untere Grenztemperatur von 20.0°C wird dabei nie unterschritten.

Parameter		Mittelwerte	Maximalwerte
Aussenklima			
Lufttemperatur	°C	24,3	35,1
Relative Feuchte	%	57,7	96,1
Globale Horizontalstrahlung	W/m ²	271	931
Innenraumklima			
Interne Lasten (Personen, Geräte, Licht)	W/m ²	18,4	20,5
Anzahl Stunden Belegung pro Tag	h	11,5	15,5
Tagessumme interne Lasten (Personen, Geräte, Licht)	W/m ²	211	292
Raumlufttemperatur	°C	24,1	26,5
Operative Raumtemperatur	°C	24,2	26,3
Rel. Feuchte der Raumluft	%	57,1	80,6
Luftgeschwindigkeit	m/s	0,053	0,190
CO ₂ Konzentration	ppm	585	1301

Tabelle 6-2: Zusammenstellung der Messdaten vom Gruppenbüroraum West im 2.OG über die Hitzeperiode 2006 (Empa)

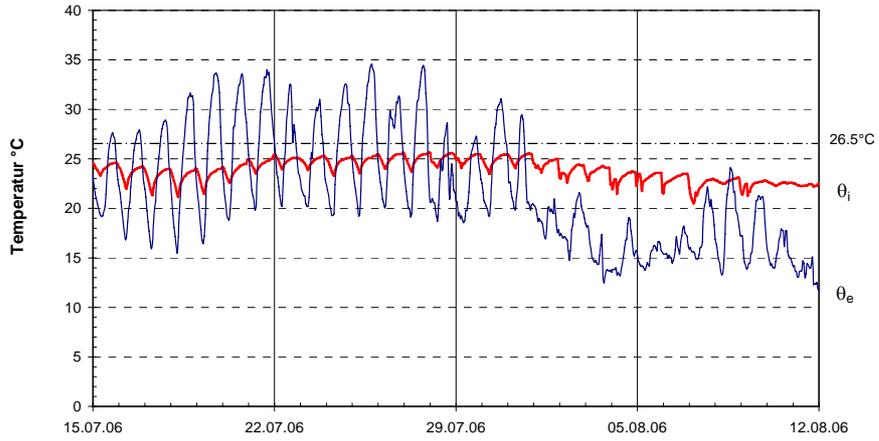


Abbildung 6-14: Raumlufttemperatur im Einzelbüroraum Ost im 3.OG während der Hitzeperiode im Sommer 2006 (Empa)

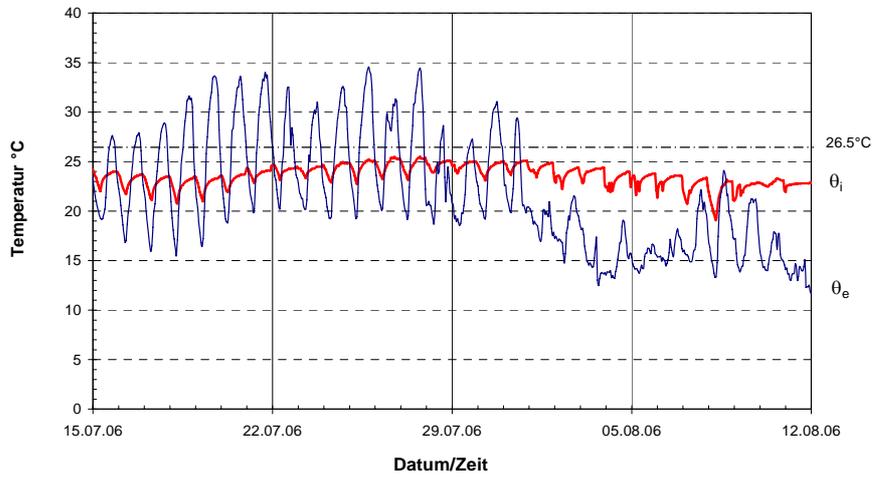


Abbildung 6-15: Raumlufttemperatur im Einzelbüroraum Nord im 3.OG während der Hitzeperiode im Sommer 2006 (Empa)

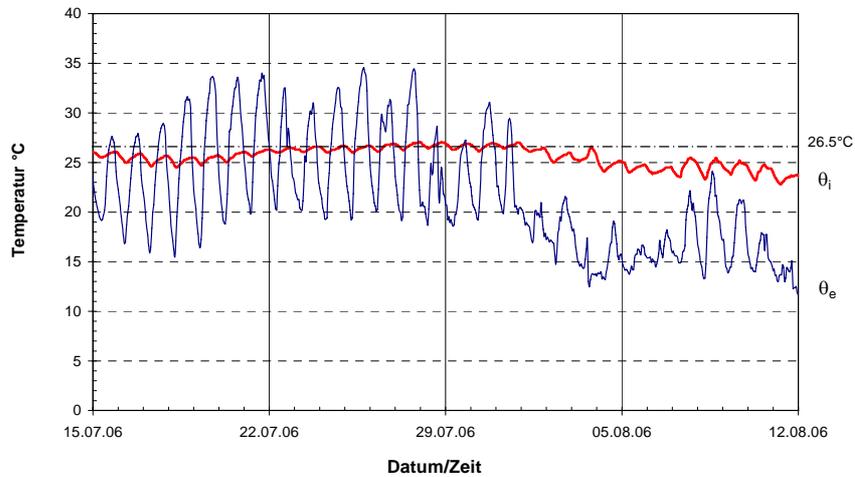


Abbildung 6-16: Raumlufttemperatur im Einzelbüroraum Ost im 4.OG während der Hitzeperiode im Sommer 2006. In diesem Raum wird die obere Komfortgrenze zeitweise erreicht. (Empa)

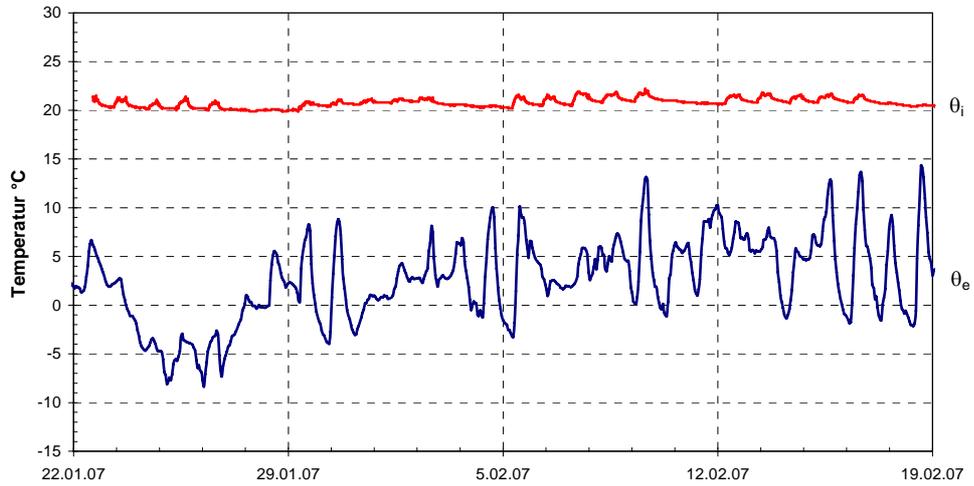


Abbildung 6-17: Raumlufttemperatur im Gruppenbüroraum West im 2.OG während einer Winterperiode 2007 (Empa)

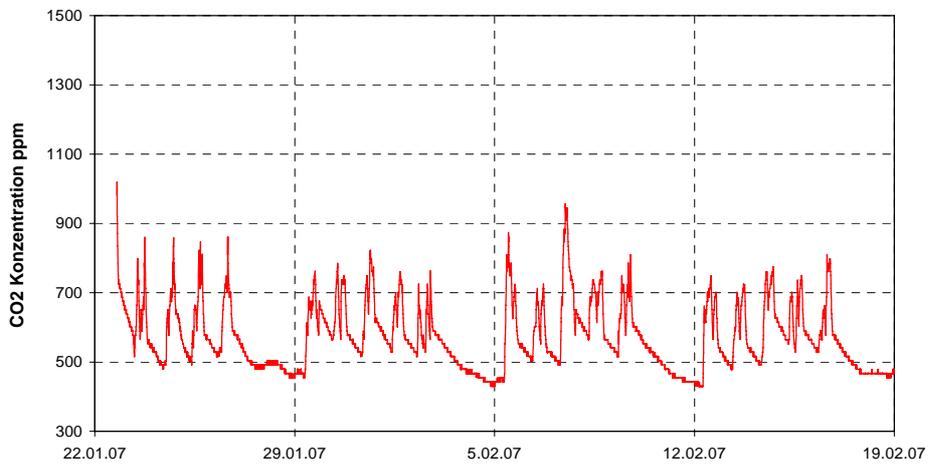


Abbildung 6-18: Raumluftqualität im Gruppenbüroraum West im 2.OG während einer Winterperiode 2007 (Empa)

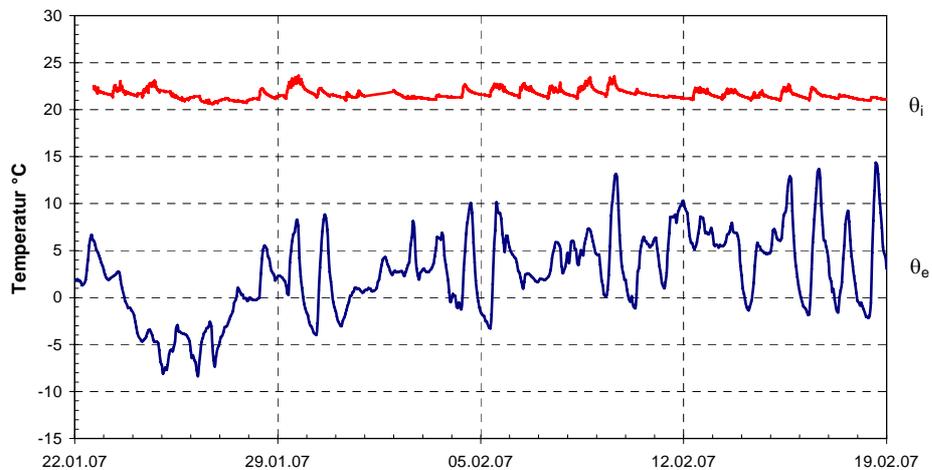


Abbildung 6-19: Verlauf der Raumlufttemperatur im Einzelbüroraum Ost im 4.OG während einer Winterperiode 2007 (Empa)

Nach Abschluss der Komfortmessungen im Gruppenbüroraum West im 2.OG wurden mit autonomen Messmodulen vom Typ Elpro Ecolog TH1 die Raumlufttemperatur, die Aussenlufttemperatur vor der Fassade sowie die Raumlufttemperatur im Atrium über 2 Jahre aufgezeichnet. Damit können Aussagen zum Komfort über 2 weitere Sommer- und Winterperioden gemacht werden.

In Abbildung 6-20 ist der Verlauf der Raumlufttemperatur über die Sommerperiode 2007, ein Sommer mit wenigen Hitzetagen, ersichtlich. Die Abbildung 6-21 zeigt, dass die Raumlufttemperaturen den oberen Grenzbereich gar nie erreichen.

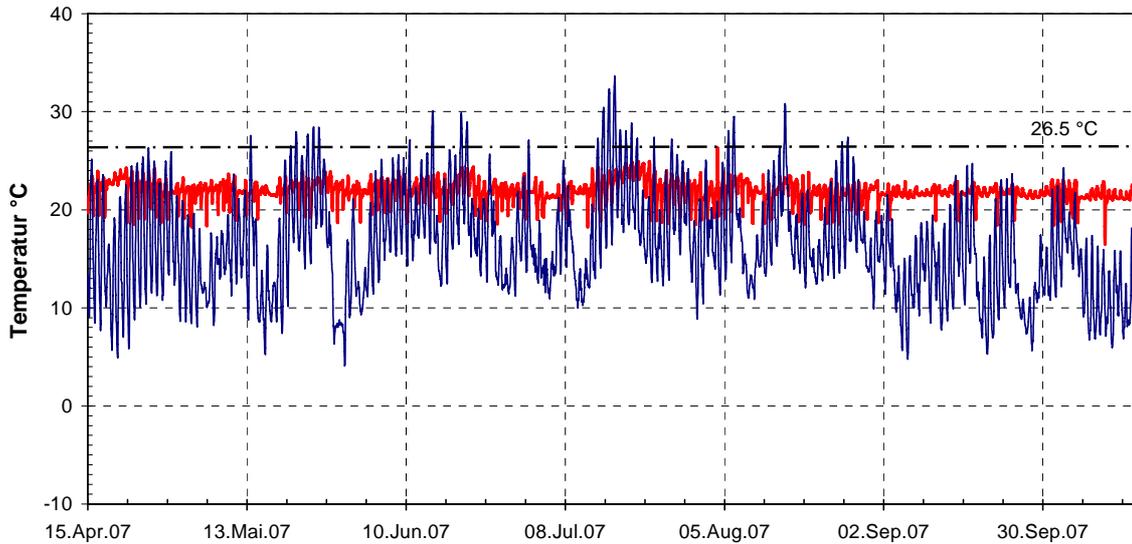


Abbildung 6-20: Verlauf der Raumlufttemperatur im Gruppenbüroraum West im 2.OG im Sommer 2007 (Empa)

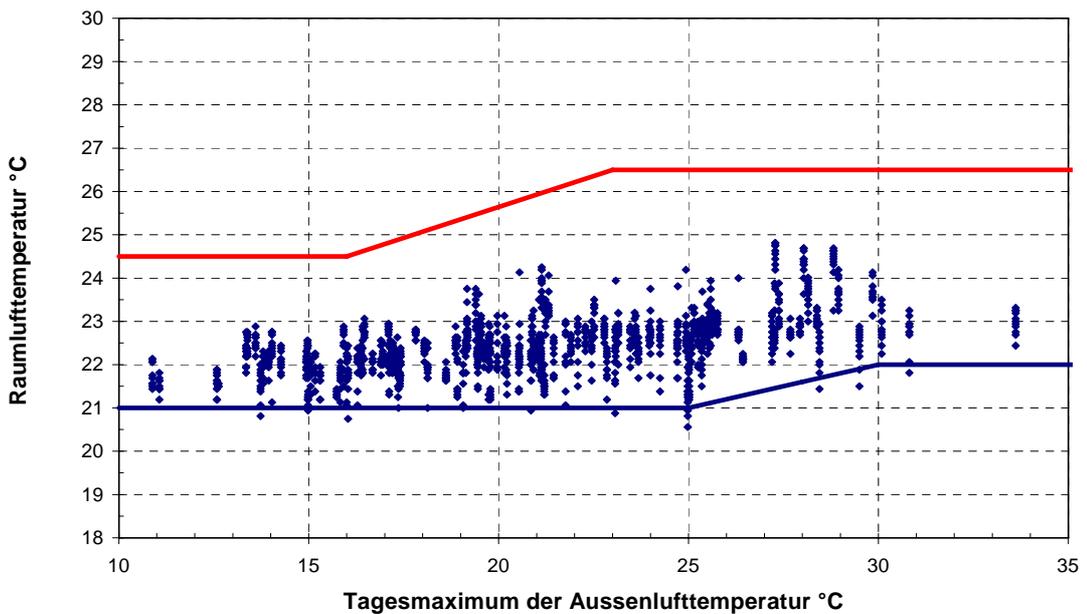


Abbildung 6-21: Bereich der Raumlufttemperaturen im Guppenbüroraum West im 2.OG gemäss SIA 382/1 im Sommer 2007 (Empa)

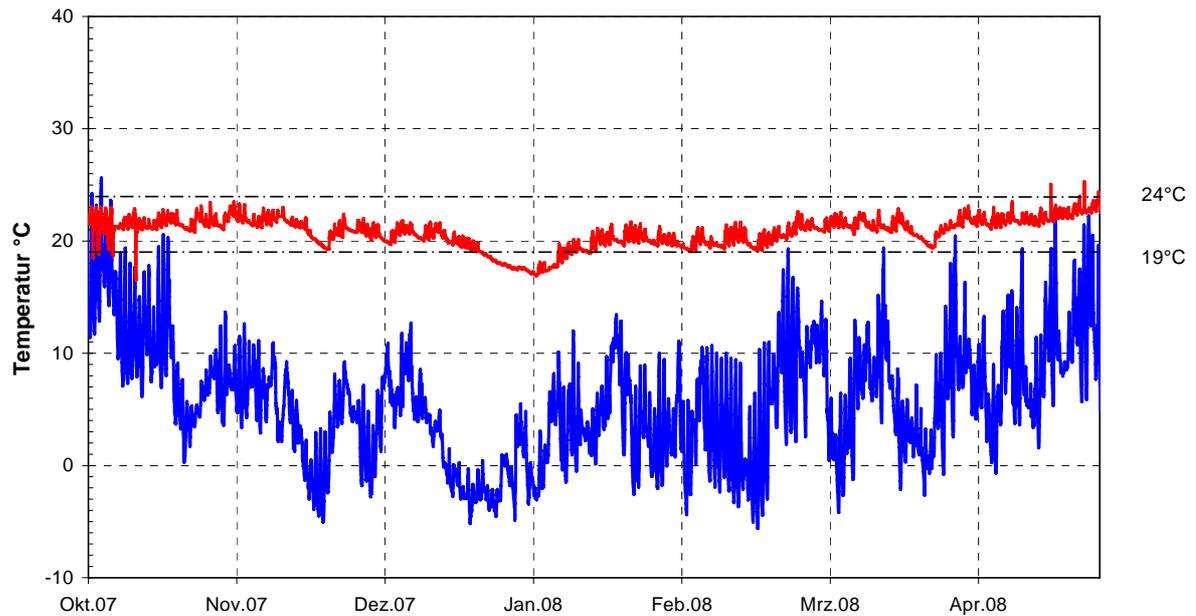


Abbildung 6-22: Verlauf der Raumlufttemperatur im Gruppenbüroraum West 2.OG im Winter 2007-2008 (Empa)

Die Temperaturen des Winters 2007 / 2008 sind in Abbildung 6-22 dargestellt. Die Raumlufttemperatur liegt durchwegs im Komfortband von 19°C - 24°C, während den Betriebsferien über Weihnachten wurden die Temperaturen abgesenkt.

In Abbildung 6-23 sind die Raumlufttemperaturen während der Belegungszeit in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur dargestellt. 99% der Messpunkte liegen dabei im breiten Komfortband von 19°C – 24°C, 64% liegen im engeren Komfortband von 20.5°C – 22.5°C.

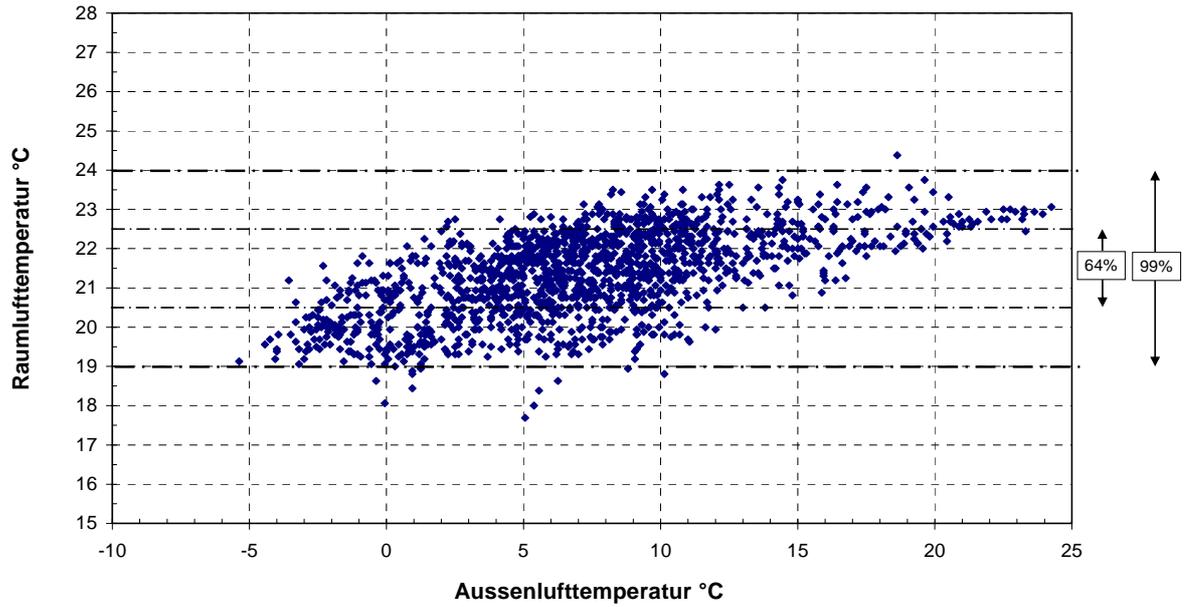


Abbildung 6-23: Bereich der Raumlufttemperaturen im Gruppenbüroraum West 2.OG im Winter 2007-2008 (Empa)

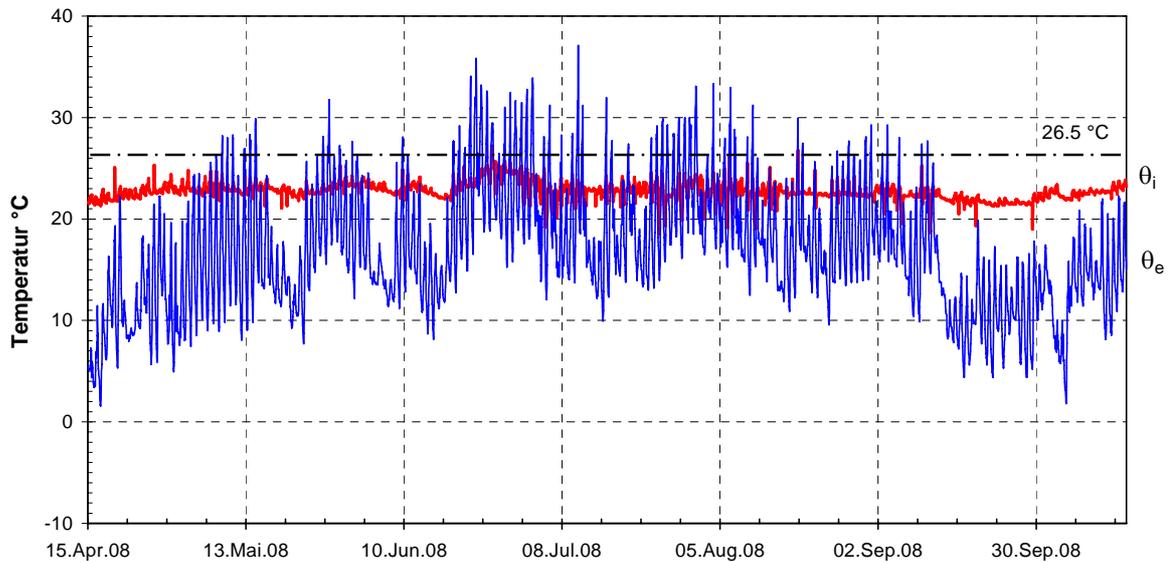


Abbildung 6-24: Verlauf der Raumlufttemperatur im Gruppenbüroraum West 2.OG im Sommer 2008 (Empa)

Die Temperaturbedingungen im Sommer 2008 sind in Abbildung 6-24 dargestellt. Dieser Sommer weist wieder eine grössere Anzahl Hitzetage auf. Gemäss Abbildung 6-25 liegen die Raumlufttemperaturen mit Ausnahme von wenigen Stunden immer deutlich unterhalb der zulässigen oberen Grenzkurve.

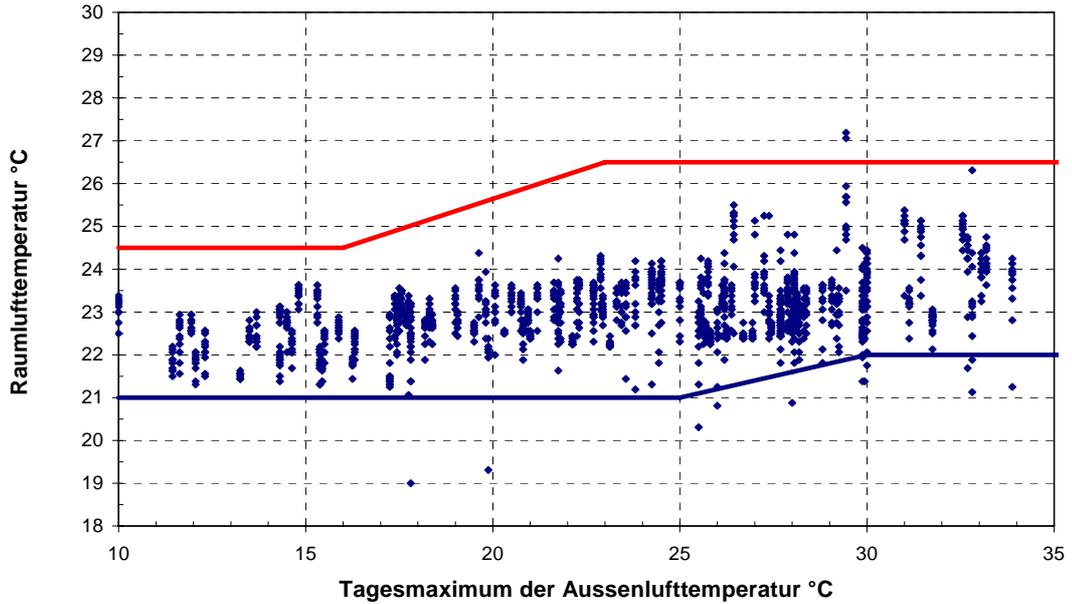


Abbildung 6-25: Bereich der Raumlufthtemperen im Gruppenbüroraum West 2.OG gemäss SIA 382/1 im Sommer 2008 (Empa)

Der Temperaturverlauf zu Beginn der Winterperiode 2008 / 2009 ist aus Abbildung 6-26 ersichtlich. Die Raumtemperaturabsenkung während den Betriebsferien über Weihnachten fällt hier weniger stark aus.

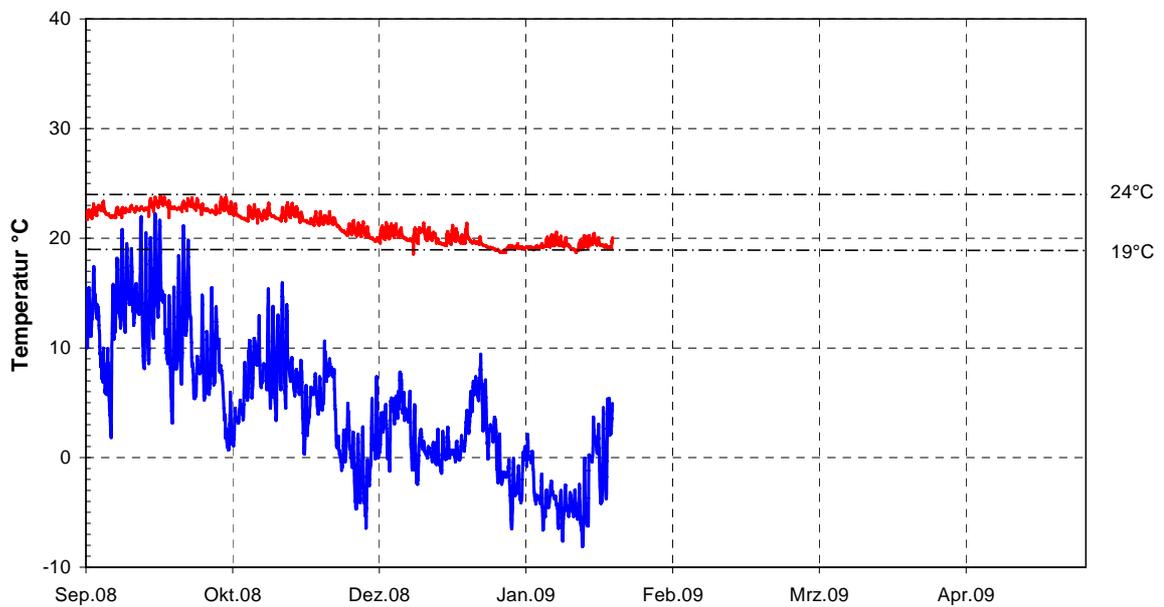


Abbildung 6-26: Verlauf der Raumlufthtemperatur im Gruppenbüroraum West im 2.OG im Winter 2008-2009 (Empa)

In Abbildung 6-27 ist die Raumlufttemperatur in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur dargestellt. Von den Messpunkten liegen 99% innerhalb des breiten Komfortbandes von 19°C – 24°C, 35% liegen innerhalb des engen Komfortbandes von 20.5°C – 22.5°C.

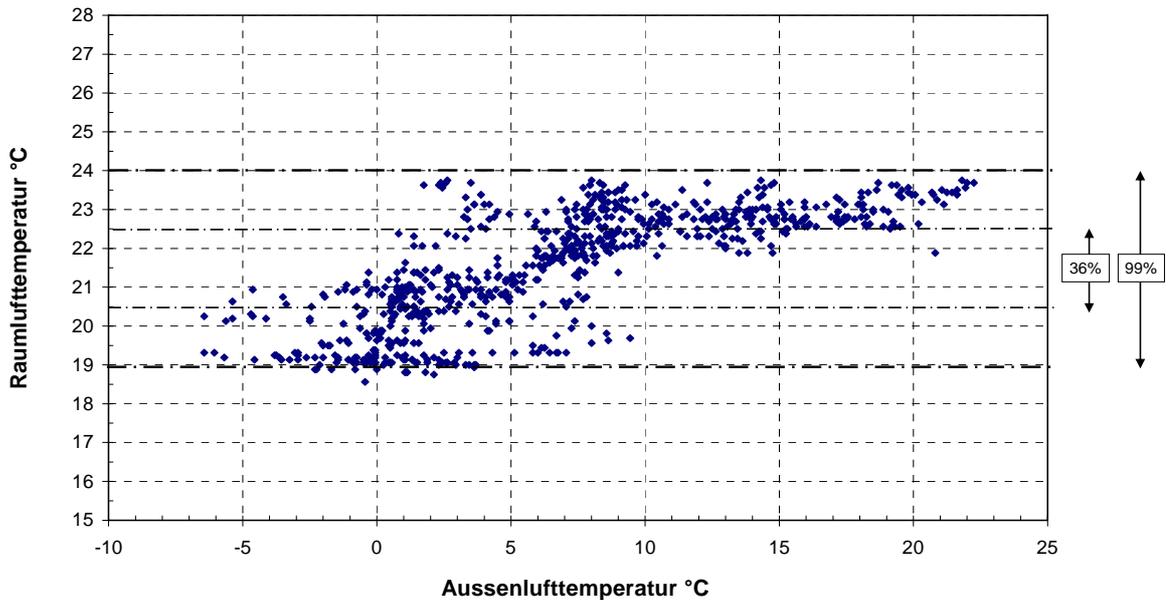


Abbildung 6-27: Bereich der Raumlufttemperaturen im Gruppenbüroraum West im 2.OG im Winter 2008-2009 (Empa)

6.3 Tageslichtmessungen

Die Tageslichtverhältnisse in Abhängigkeit der Stellung der an der Fassade montierten Gitterroste, welche als Fluchtweg dienen, wurden am 15. November 2007 an einem bewölkten Tag in drei Einzelbüroräumen an den verschiedenen Fassadenausrichtungen (siehe Abbildung 6-28) ausgemessen. Die Gitterroste behindern den Lichteinfall in den Raum. Um das Ausmass und den Einfluss der Position der Roste auf die Tageslichtbedingungen abzuklären, wurden drei Situationen untersucht (siehe Abbildung 6-29):

- mit Gitterrost in unveränderter Stellung
- mit Gitterrost in gedrehter Stellung
- ohne Gitterrost

Die Beleuchtungsstärke auf Tischhöhe wurde in drei Abständen von der Fensterfront gemessen (1m, 2m, 3m).

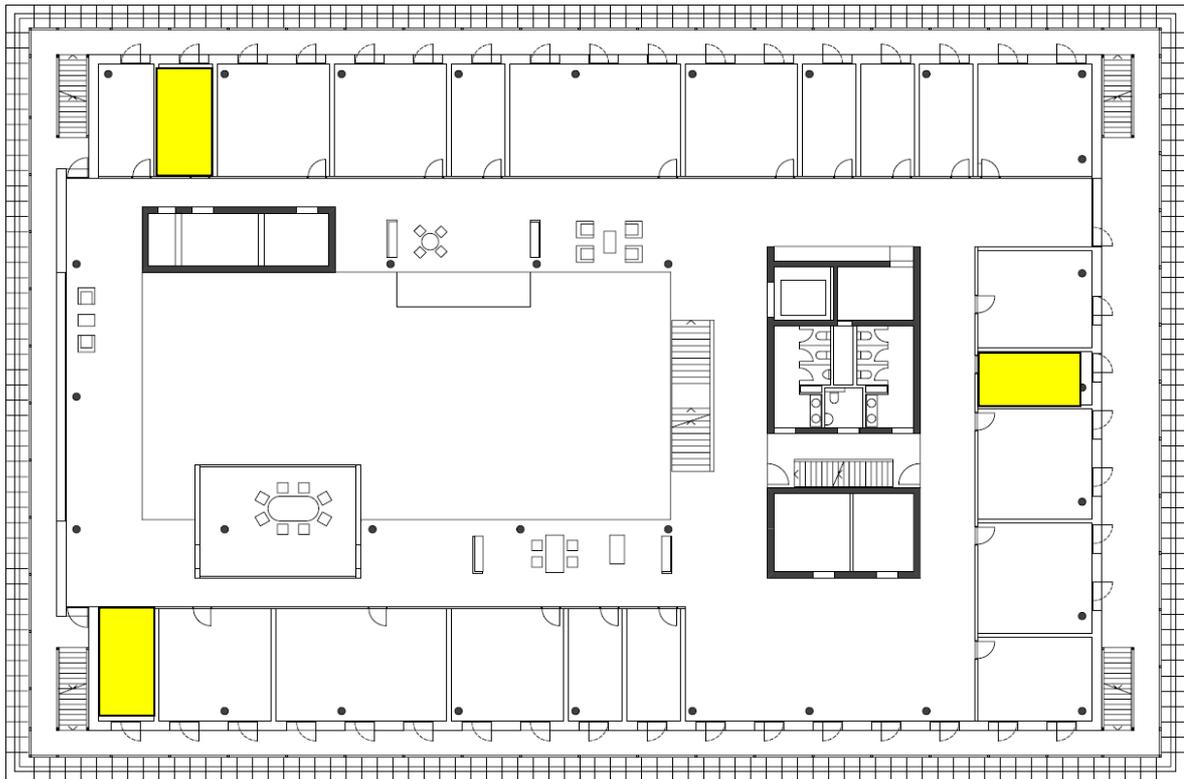


Abbildung 6-28: Grundriss 3.OG mit Angabe der untersuchten Einzelbüroräume Ost, Nord und West (BGP, Empa)



Abbildung 6-29: Anordnung der Gitterroste: linkes Bild von oben (links Normalstellung, rechts gedreht), rechtes Bild von unten in gedrehter Stellung (Eawag)

Die Messanordnungen und die Ergebnisse bezüglich Tageslichtquotienten sind in den nachfolgenden Abbildung 6-30 bis Abbildung 6-32 zusammengestellt. Aus den Messungen und fotografischen Darstellungen der Räume können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Der Einfluss der Veränderung der äusseren Gitterroste auf den Tageslichtquotienten ist relativ gering.
- Der grosse Rahmenflächenanteil des Fensters, insbesondere die Rahmenfläche des oberen Kippfensters, vermindert die Lichteinstrahlung in den Raum.

- Die Tageslichtquotienten an der Nordfassade sind am geringsten, bedingt durch die wesentlich grössere Tiefe der Gitterroste.

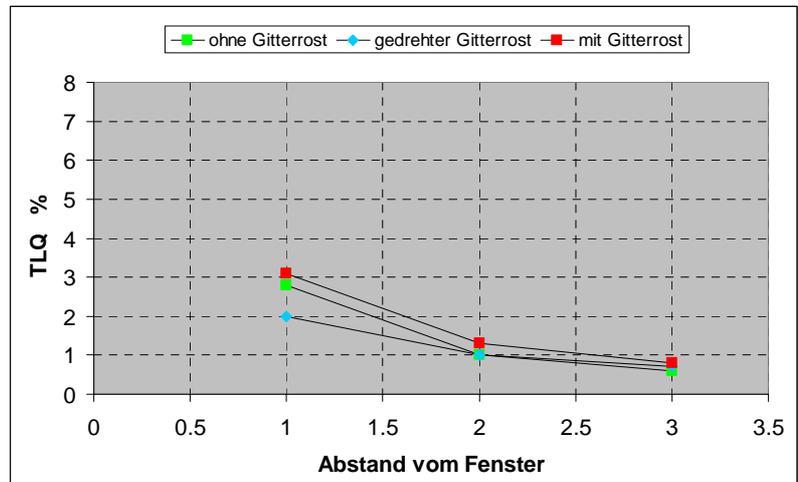


Abbildung 6-30: Tageslichtmessung Büro Ost im 3 OG, Einfluss des Gitterrostes auf den Tageslichtquotienten (Empa)

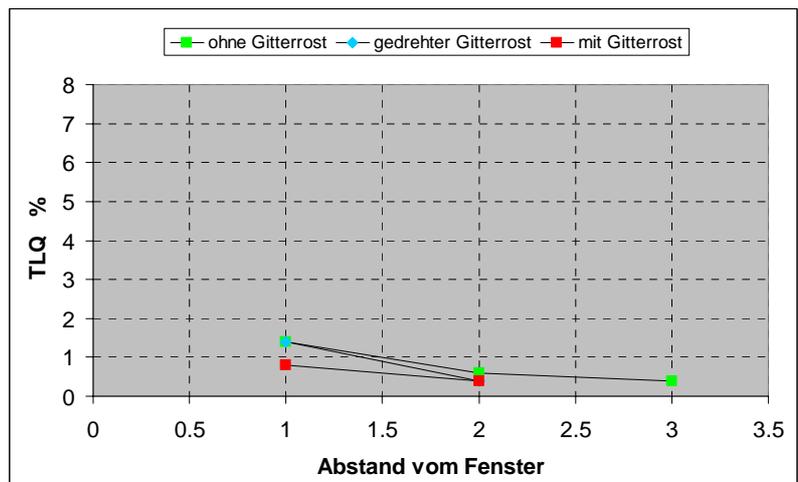


Abbildung 6-31: Tageslichtmessung Büro Nord im 3. OG, Einfluss des Gitterrostes auf den Tageslichtquotienten (Empa)

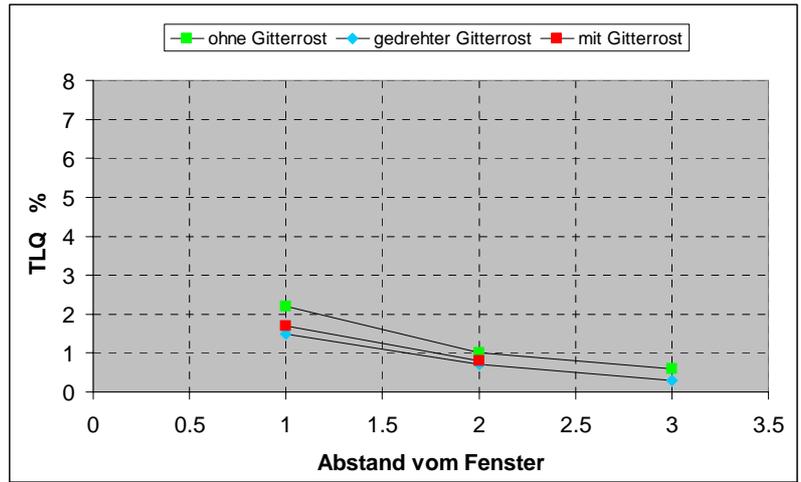


Abbildung 6-32: Tageslichtmessung Büro West im 3.OG, Einfluss des Gitterrostes auf den Tageslichtquotienten (Empa)

7 Kostenanalyse²

7.1 Ausgangslage und Aufgabe

Das Forum Chriesbach lockt mit seinem besonders tiefen spezifischen Energieverbrauch Interessierte aus dem In- und Ausland an. Häufig wird die Frage nach den Kosten für ein solches Gebäude gestellt. Inwieweit werden höhere Investitionskosten durch tiefere Betriebskosten kompensiert? Das Ziel der Kostenanalyse war es deshalb, die Investitions-, Betriebs- und Gesamtkosten des Forum Chriesbach mit einem analogen, energetisch nach den gesetzlichen Minimalanforderungen (zur Zeit der Planung des FC im Jahr 2000) gebauten Gebäude zu vergleichen.

Die Aufgabe umfasst die Definition eines architektonisch 'gleichen' «Standardgebäudes» und die Berechnung von dessen Kosten. Sie werden denjenigen des Forum Chriesbach gegenübergestellt und die Wirtschaftlichkeit der getroffenen Massnahmen abgeschätzt. Dabei werden weder ästhetische noch funktionale Anforderungen überprüft.

7.2 Grundlagen

Im Schlussbericht der zweijährigen Betriebsoptimierungen sind die geplanten und gemessenen Jahresverbräuche von Wärme, Kälte, Strom und Gas zusammengestellt. Sie sind in Abbildung 7-1 visualisiert.

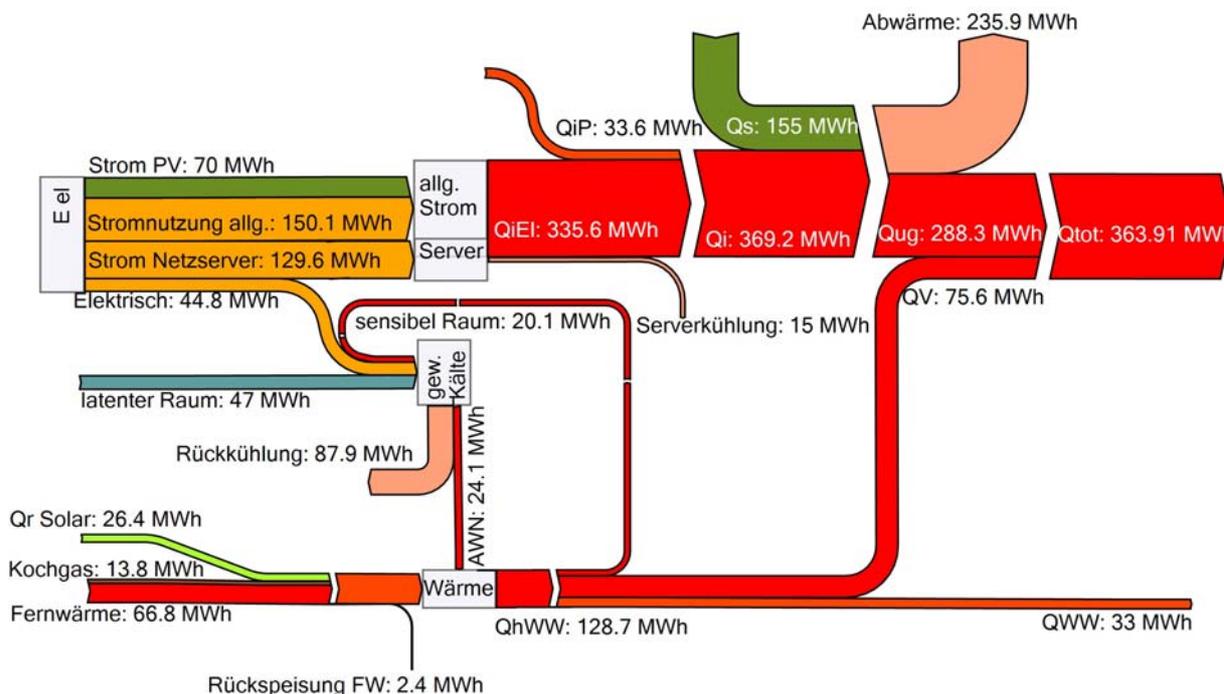


Abbildung 7-1: Energieflussdiagramm der Ist-Situation (Daten 3-Plan Haustechnik AG, z.T. aus 3-Plan 2008) (Reuss)

² Dieses Kapitel ist ein Auszug aus der von Reuss Engineering AG (A. Pfeiffer) im Auftrag der Eawag verfassten Studie ‚Eawag Forum Chriesbach. Einfluss der energetischen Massnahmen auf die Lebenszykluskosten. 11. Mai 2009.

Für das System bezeichnend ist, dass ein hoher Anteil der internen Wärmegewinne genutzt werden kann. Zudem wird ca. ein Drittel des allgemeinen Elektrizitätsbedarfes mit der hauseigenen Photovoltaikanlage produziert. Die thermische Solaranlage deckt rund 20% des totalen Wärmebedarfes ab.

Die berechneten, jährlichen Mehrkosten eines «Standardgebäudes» sind stark abhängig vom gewählten Realzins und der weiteren Entwicklung der Energiepreise. Es wurde mit Realzinsen von 2%, 4% und 6% gerechnet und 4% als Standardwert gewählt. Die drei zugrunde gelegten Energiepreisszenarien bis in das Jahr 2035 decken eine minimale, eine mittlere und eine maximale Realpreisentwicklung ab und basieren auf den Energieperspektiven des Bundes aus dem Jahre 2003. Sie wurden in Absprache mit Prognos an den heutigen Stand eines mittelfristigen Ölpreisniveaus von 80 Dollars pro Barrel angepasst.

Die durch das Gebäude ausgelösten heutigen und zukünftigen Zahlungsströme werden mit der DCF (Discounted Cash Flow) Methode auf einen Bezugspunkt in der Gegenwart abgezinst und können anschliessend zum Kapitalwert / Barwert aufsummiert werden. Im vorliegenden Bericht wurden die Anfangsinvestition mit Hilfe der Verzinsung und der Nutzungsdauer in einen gleichmässigen jährlichen Kostenanteil (Jahreskosten) umgerechnet.

Die verwendeten Nutzungsdauern der Komponenten basieren auf Angaben aus der Literatur (SIA):

Komponente	Nutzungsdauer (Jahre)
PV-Anlage	25
thermische Solaranlage	25
Luft-Erdregister	40
WRG Serverraum	15
tabs-System	40
Gebäudehülle	40
Fenster	25
Lüftungskomponenten	20
Wärmeerzeugung	15

Tabelle 7-1: Nutzungsdauern der einzelnen Gebäudekomponenten (Reuss)

7.3 Definition «Standardgebäude»

Das Referenzgebäude ist architektonisch gleich gestaltet wie das Forum Chriesbach. Das heisst, Gebäudehüllfläche, Energiebezugsfläche, die Aufteilungen zwischen Fenster- und Türflächen und die Materialisierung sind identisch. Die Fassade wird für das «Standardgebäude» ebenfalls beibehalten, obwohl sie eine energetische und lichttechnische Funktion hat. Sie wird vor allem als architektonisches Element gesehen.

Der Wärme- und Energiebedarf des «Standardgebäudes» wird nach der SIA 380/1:2001 berechnet. Somit unterscheiden sich die Gebäudehüllen in folgenden Punkten:

- Dämmstärke
- Fenstertyp
- Massnahmen zur Minimierung der Wärmebrücken

Im Forum Chriesbach sind zudem noch die folgenden Installationen vorhanden:

- PV-Anlage
- Solarkollektoren
- Warmwasser-Wärmespeicher
- Luft-Erd-Register
- Wärmerückgewinnung aus dem Serverraum
- Abwärmenutzung der Kältemaschine
- Lüftungsklappen für Nachtauskühlung

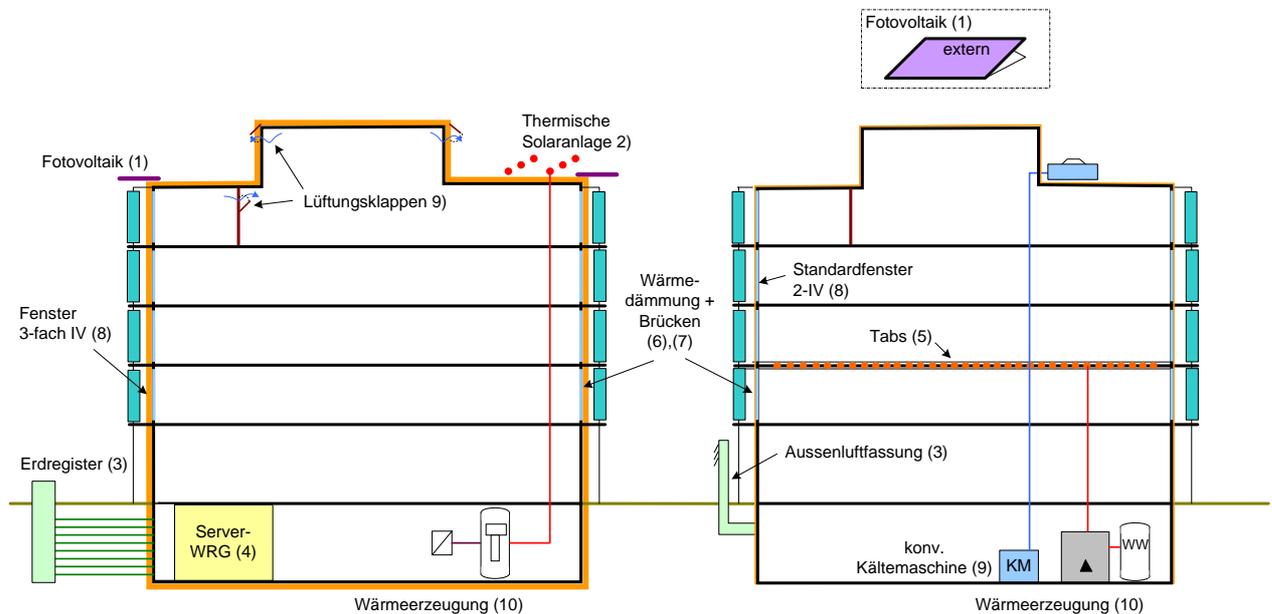


Abbildung 7-2: Visualisierter Vergleich zwischen dem Forum Chriesbach (links) und dem «Standardgebäude» (rechts) (Reuss)

Im «Standardgebäude» beträgt die Dämmstärke 16 cm (FC: 30 cm) an den Wänden resp. 18 cm (FC: 32 cm) auf dem Dach und die Berechnungen basieren auf 2-fach verglasten Standardfenstern mit einem U-Wert von $1,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ (FC: 3-fach verglast mit $0,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$). Die Simulationen und Berechnungen berücksichtigen im «Standardgebäude» einen Warmwasserspeicher, eine Kältemaschine und eine Gaswärmeerzeugung nach konventionellen Standards.

Da das «Standardgebäude» nicht über eine eigene Photovoltaik-Anlage verfügt, wird der Strom in gleichem Umfang von der Solarstrombörse eingekauft. Damit wird ein etwa gleichwertiger Strom-Mix erreicht, wie beim Forum Chriesbach.

7.4 Resultate

Die Investitionskosten für das Forum Chriesbach wurden durch die Implenia Generalunternehmung AG anhand der effektiven Abrechnungen soweit wie möglich berechnet. Dabei wurden Folgekosten anderer Positionen und Gewerke berücksichtigt. Es wurden ausschliesslich Positionen für energetisch relevante Bauteile zusammengestellt. Nicht berücksichtigt wurde die Grauwassernutzung, Wasserbauten, Sonnenschutz etc., welche keinen massgeblichen Einfluss auf den Endenergieverbrauch des Gebäudes haben.

Die Mehr- und Minderkosten der Investitionen wurden aufgeteilt und für verschiedene Positionen berechnet. Aus der Lebensdauer von Komponenten und der Systeme und der Verzinsung ergeben sich jährliche Kapitalkosten. Der Einfluss der einzelnen Positionen auf den Endenergieverbrauch wurde rechnerisch und anhand der Messungen über die letzten

zwei Betriebsjahre ermittelt. Mit Hilfe der Energiepreisszenarien wurden die Gesamtkosten über die Lebensdauer berechnet und für verschiedene Rahmenbedingungen analysiert.

	Bedarf [kWh/a]	Rp./kWh	Kosten [SFr./a]
Strom (Mischtarif)	200'100	13.60	27'214
Arealfernwärme	66'800	14.00	9'352
Wartung, Reparatur und Unterhalt WRU			6'064
Kapitalkosten (4% Zins)			131'625
Total	266'900		174'254

Tabelle 7-2: Heutige Jahreskosten für das Forum Chriesbach (Reuss)

Die durchschnittlichen Jahreskosten über die Nutzungsdauer gerechnet, betragen bei einem Kapitalzins von 4% und unter Annahme einer maximalen Energiepreissteigerung 193'370 SFr./a. Wie Abbildung 7-3 und Tabelle 7-3 zeigen, fallen zur Gewährleistung der energierelevanten Funktionen des Forum Chriesbach auch im «Standardgebäude» entsprechende Zusatzkosten an. Die entstehende Kostendifferenz beträgt 1,4 Mio. SFr. inkl. Honorare und MWSt. Dies entspricht knapp 5% höheren Investitionskosten gegenüber dem Standardgebäude.

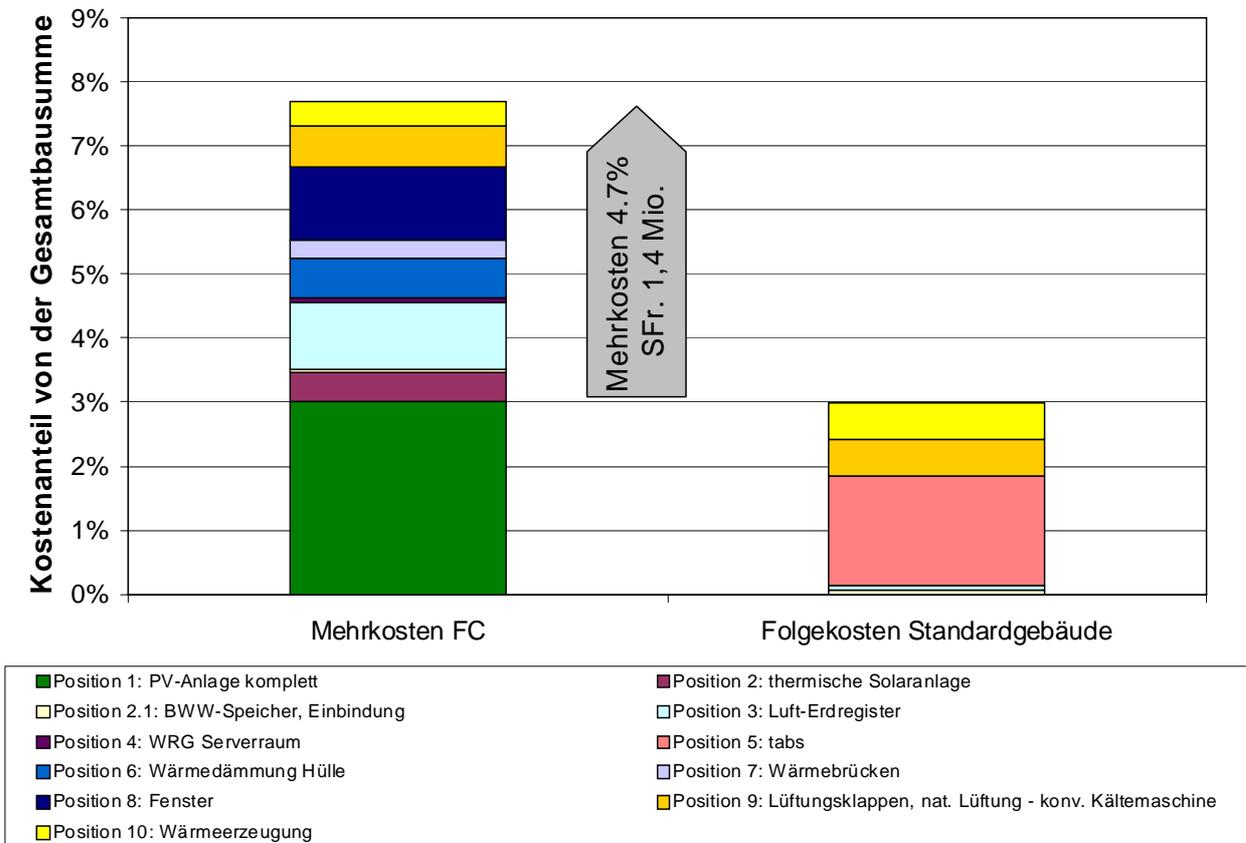


Abbildung 7-3: Investitionskosten-Vergleich: Kosten für die energetisch relevanten Komponenten (Reuss)

Position	Beschrieb Investitionen	Jahre	Mehrkosten FC gegenüber «Standardgebäude» [SFr.]	Beschrieb Änderung	Zusatzkosten für «Standardgebäude» [SFr.]
1	Photovoltaik; inkl. Wechselrichter & Unterkonstruktion inkl. Leitungen	25	888'000.-	Ersatzlos gestrichen	0.-
2	Solarkollektoren inkl. Leitungen	25	136'000.-	Ersatzlos gestrichen	0.-
2.1	Warmwasser-Speicher inkl. Einbindung ins System	20	10'000.-	Konventioneller WW-Speicher	21'000.-
3	Luft-Erdregister	40	308'000.-	Lufterhitzer	17'000.-
4	WRG Serverraum mit Zusatzinstallation	15	21'000.-	Konventionelle Kühlung	0.-
5	Nicht vorhanden	40	0.-	Thermoaktives Bauteilsystem tabs	507'000.-
6	Wärmedämmung Hülle Wände: 30cm Dach: 32cm	40	186'000.-	Wärmedämmung: Wände: 16cm Dach: 18cm	0.-
7	Wärmebrücken	40	84'000.-	Reduktion Wärmebrücke	0.-
8	Fenster 3-fach mit Spezialrahmen	25	334'000.-	Standardfenster mit 2-fach Verglasung	0.-
9	Lüftungsklappen, natürliche Lüftung oberhalb Bürotüren	20	189'000.-	Konventionelle Kältemaschine	168'000.-
10	Wärmeerzeugung in 12m ³ -Tank-Wärmezentrale	15	112'000.-	Wärmeerzeugung mit Gas	168'000.-
Total Mehrkosten			2'268'000.-	Total Zusatzkosten	881'000.-

Tabelle 7-3: Kosten für energetisch relevante Komponenten vom Forum Chriesbach und vom «Standardgebäude» inkl. Honorare und MWSt (Reuss)

Die Lebenszykluskosten sind je nach Realisierung und Durchführung des Projektes unterschiedlich. In Abbildung 7-4 sind die wichtigsten Einflüsse auf die Jahreskosten dargestellt. Dabei wird von einem max-Szenario der Energiepreisentwicklung ausgegangen. Würde anstelle des Lufterdregisters und der Nachtauskühlung das Gebäude mechanisch gekühlt, wären die mittleren Jahreskosten um 7'145 SFr. geringer. Dieses Resultat rührt daher, dass das Lufterdregister, die Wärmerückgewinnung aus dem Serverraum und die Lüftungsklappen für die natürliche Lüftung wegfallen.

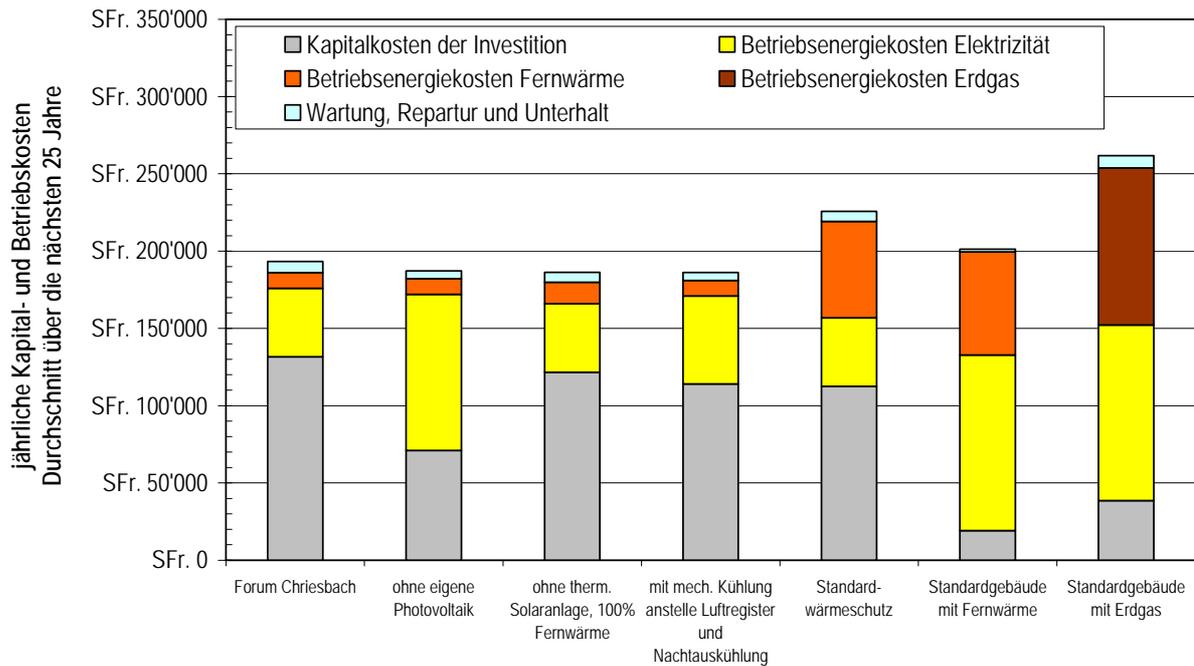


Abbildung 7-4: Jährliche Kapital- und Betriebskosten für unterschiedliche Baurealisierungen (Reuss)

Durch weniger Installationen sinken nicht nur die Kapitalkosten, sondern auch die Kosten für Wartung, Reparatur und Unterhalt. Ebenfalls tiefer wären die Jahreskosten ohne die thermische Solaranlage. Dieser Minderbetrag kann ausgewiesen werden, weil sich die Wärme der thermischen Solaranlage mit der nutzbaren Abwärme aus der gewerblichen Kälte konkurrenzieren. Würde die thermische Solaranlage wegfallen, könnte die ohnehin entstehende Abwärme effizienter genutzt werden. Dagegen rechnen sich die erhöhten Investitionskosten für den Wärmeschutz deutlich. Zum Wärmeschutz gehören die dickeren Isolationsschichten, die Minimierung der Wärmebrücken bei Wand-Deckenanschlüssen und die Wahl von dreifach verglasten Fensterscheiben.

Die berechneten Mehrkosten von 68'479.- SFr./a für das «Standardgebäude» würden sich um 26% erhöhen, wenn zum selben Szenario ein Kapitalzinssatz von lediglich 2% gewählt werden würde. Die niedrigeren Betriebs- und Investitionskosten des Forum Chriesbachs sind jedoch vernachlässigbar gering, sobald der Kapitalzinssatz auf 6% gesetzt würde und das min-Szenario der Energiepreisentwicklung zutrifft. Die Mehrkosten des «Standardgebäudes» würden dann noch lediglich SFr. 5'721.- betragen.

7.5 Schlussfolgerungen zur Kostenanalyse

Das Ziel der Eawag, ein nachhaltiges Gebäude zu bauen und zu betreiben, wurde nicht nur aus ökologischer und gesellschaftlicher Sicht, sondern auch aus wirtschaftlicher Sicht erreicht. Das Forum Chriesbach ist zwar mit etwas höheren Investitionskosten für die energetischen Massnahmen behaftet, weist aber aufgrund des niedrigen Energiebedarfs auch äusserst niedrige Energiebetriebskosten auf. Der tiefe Betriebsenergiebedarf macht das Gebäude zudem weniger sensibel auf Preisschwankungen im Energiebereich und weitgehend unabhängig von fossilen Rohstoffen.

Selbst bei einer relativ moderaten Energiepreissteigerung (min-Szenario) und einer Verzinsung von 4% sind die Gesamtkosten wesentlich niedriger als beim

«Standardgebäude». Das Forum Chriesbach ist also unabhängig vom Energiepreisszenario aus wirtschaftlicher Sicht interessant. Unter der Annahme, dass die Energiepreise weiter steigen werden, schneidet das Forum Chriesbach im direkten Vergleich mit einem «Standardgebäude» Jahr für Jahr besser ab.

Wie die Detailanalysen der verschiedenen Massnahmen gezeigt haben, sind Investitionen in den Wärmeschutz (z.B. Dämmung) am rentabelsten. Die thermische Solaranlage ist weniger rentabel, da sich diese mit der Abwärmenutzung der gewerblichen Kälte konkurriert. Aus Gesamtsicht machen die Massnahmen in Kombination trotzdem Sinn.

8 Diskussion und Schlusswort

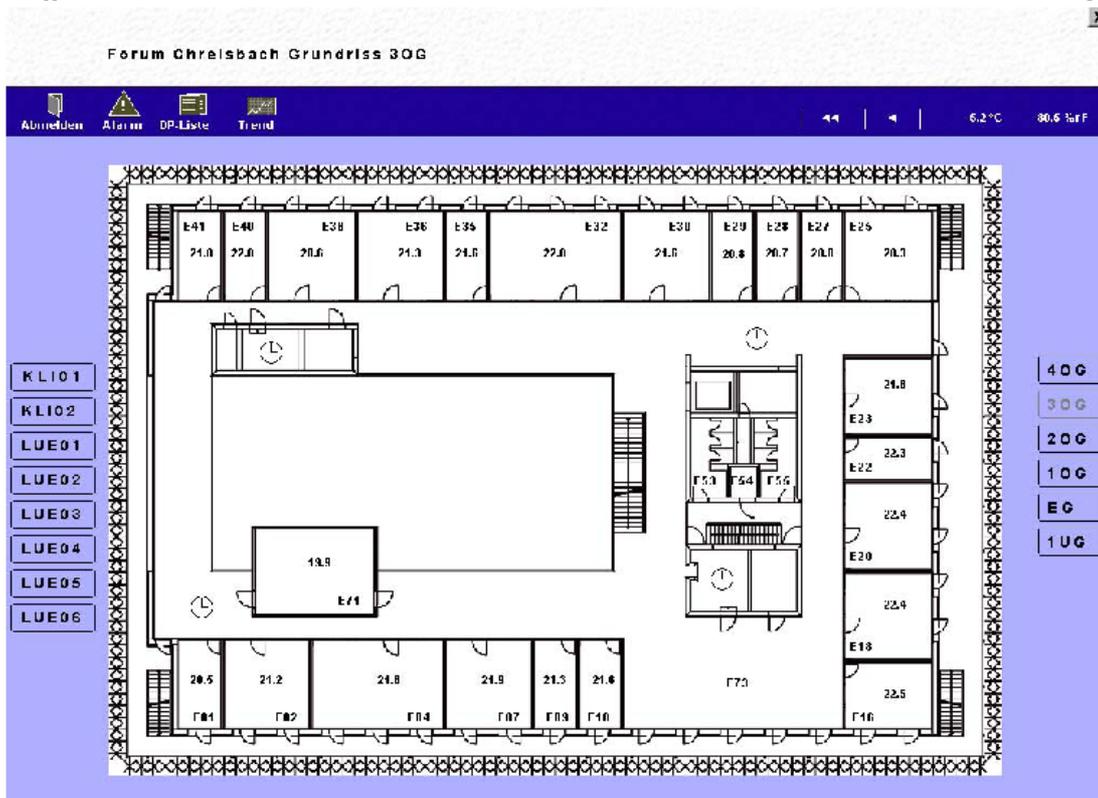
8.1 Diskussion

8.1.1 Planung und Ist-Zustand

Die Planung des Forum Chriesbach basierte auf einer Bedarfsanalyse von Eawag und Empa, welche die Grundlage sowohl für die Baubotschaft an das Parlament als auch für das Pflichtenheft des Studienwettbewerbs bildete. Zu den Bedürfnisse an Räumen und Funktionalitäten gehörten auch einige wissenschaftliche Anliegen: Seitens der Eawag mussten die Kriterien der nachhaltiger Entwicklung speziell auch im Hinblick auf den Umgang mit Wasser erfüllt werden. Eigene Forschungserkenntnisse bezüglich Regenwassernutzung, Materialwahl der Aussenhülle, separater Urinsammlung in NoMix-Toiletten, Versickerungsmöglichkeiten für Niederschlagswasser und naturnaher Umgebungsgestaltung sollten mitberücksichtigt und sichtbar gemacht werden. Die Empa plante anfänglich, einen Teil des Gebäudes als Versuchslabor für Bautechnologien mit zu nutzen. Entsprechend hatte nicht nur ein ganzes Gebäudesegment sondern auch das MSRL besonderen Ansprüchen zu genügen. Ein extensives Überwachungsprogramm war vorgesehen. Einer der Kälträume der Küche wurde zudem mit Vakuum-Isolationspaneelen und Messeinrichtungen der Empa ausgerüstet. Die Mitnutzung des Gebäudes durch die Empa wurde im Verlauf der Planung auf die gemeinsame Bibliothek, die Seminar- und Sitzungsräume sowie das Personalrestaurant reduziert. Damit wurden spezielle Bauelemente wie «Tabs» und auswechselbare Module an der Südwestfassade hinfällig. Auch das Messprogramm konnte reduziert werden. Einzig die Vakuumpaneele der Kühlräume wurden installiert und dienen der Empa Forschung.

Wizcon-Applikation

Page 1 of 1



<http://forum-gams.emp-eaw.ch/>

07.01.2009

Abbildung 8-1: Ausdruck aus dem Wizcon Überwachungssystem: Temperaturen im E-Geschoss am 7. Januar 2009 um 22:13 Uhr. Die Temperaturen sind in allen Räumen über 20°C (Eawag)

Ob die Planungsvorgaben eingehalten werden, wurde während der Betriebsoptimierungsphase eingehend überprüft. Dazu dienten die Analysen der Daten aus dem MSRL und gezielte, durch die Spezialisten der Empa durchgeführte Messungen (siehe Kapitel 6). Es hat sich gezeigt, dass die wichtigsten Vorgaben eingehalten werden und das Gebäude robust auf Änderungen der äusseren (Klima) und inneren (Belegung) Verhältnisse reagiert.

8.1.2 Interne Lasten

Weil die internen Lasten einen relativ grossen Anteil der insgesamt niedrigen Energieflüsse ausmachen, kommt deren genauen Abschätzung eine höhere Bedeutung zu als in einem ‚konventionellen‘ Gebäude. Dieser Tatsache wurde bei der Bedarfsanalyse und Planung zuwenig Gewicht beigemessen. Bei den personenbedingten Wärmelasten wurde von einer nur etwa halb so grossen Anzahl produzierter Mahlzeiten im Restaurant aQa aber von viel höheren Belegungsdichten der allgemeinen Räume ausgegangen (siehe Kapitel 4.1.4). Diese wurden in zweierlei Hinsicht überschätzt: einerseits ist die zeitliche Auslastung der Seminar- und Sitzungsräume (noch) nicht so hoch wie angenommen und andererseits liegt die Anzahl Personen pro Anlass meist wesentlich unter der Kapazitätsgrenze der Räume. Bei den Büronutzungen lagen die generellen Belegungsannahmen nahe bei der Realität. Dennoch sind in einzelnen Büros die internen Lasten zeitweise zu tief, um in der kalten Zeit auf wirklich angenehme Temperaturen zu kommen. Die Gründe dafür sind relativ viele Teilzeitanstellungen und häufige Abwesenheiten der Forschenden für Feld- oder Laborarbeit, Konferenzen und Lehrtätigkeit. Geht man davon aus, dass für wissenschaftliches Arbeiten pro Person ein Arbeitsplatz erforderlich ist, dann wurde das Raumbedürfnis korrekt ermittelt. Der höhere Stromverbrauch kompensiert die fehlenden Personenlasten, so dass insgesamt genügend Abwärme anfällt, um die Temperatur auf angenehmem Niveau zu halten.

8.1.3 Energiebedarf

Einige wichtige Energiekennzahlen sind in Tabelle 8-1 zusammengestellt.

	Planung			Messung 2007		
	EE MWh/a	EE kWh/ m ² a	PE kWh/ m ² a	EE MWh/a	EE kWh/ m ² a	PE kWh/ m ² a
Wärmeenergie	23.9	2.1	2.8	66.8	6.0	7.8
Kühlenergie	12.0	1.1	1.2	0.1	0.0	0.0
Elektrizität	121.0	10.8	32.4	195.0	17.4	52.3
Graue Energie			28.6			28.6
Total	156.9	14.0	65.0	261.9	23.4	88.7

Tabelle 8-1: Einige Energiekennzahlen im Vergleich von Planung und Messung 2007. Die graue Energie bezieht sich auf eine mittlere Lebensdauer von 37.6 Jahren. Die Umrechnungsfaktoren Endenergie EE zu Primärenergie PE betragen 3 für Strom, 1.3 für Wärme und 1.1 für Kälte (3-Plan, Eawag)

Der Bedarf im Jahr 2007 wurde wie folgt gedeckt:

- Eigene Erzeugung mittels thermischer Solarkollektoren (26 MWh/a) und einer PV-Anlage (71 MWh/a)
- Bezug vom Arealwärme- (64 MWh/a) und Arealkältenetz (15 MWh/a)
- Kauf von Ökostrom «naturemade star» (324 MWh/a).

Der Mehrbedarf gegenüber den prognostizierten Werten für die Planung lässt sich durch die kleineren internen Wärmelasten und die höheren Strombedürfnisse erklären. Obwohl während der Betriebsoptimierung bereits beträchtliche Verbesserungen erzielt werden konnten, besteht vor allem bei der Beleuchtungssteuerung und bei der Speicherbewirtschaftung noch ein weiteres Optimierungspotential. Die häufige Nutzung der Aussentüren im Personalrestaurant aQa und auch die grosse Fenster- und Türenfläche mit tieferem Dämmwert als opake Fassadenelemente führen zu mehr Wärmebedarf im aQa, bzw. zu tieferen Temperaturen. Zudem ist durch die massiven Fluchtbalkone und die Glaslamellen der Lichteinfall reduziert und führt zu längeren Einschaltzeiten der Büroleuchten. Ebenfalls noch weiter optimierbar ist die über Bewegungsmelder gesteuerte Beleuchtung in der Kommunikationszone.

Der Vergleich des Energiebedarfs im Forum Chriesbach mit Gebäuden ohne spezielle Massnahmen zum schonenden Umgang mit Ressourcen in Abbildung 8-2 zeigt, dass Wärme- und Kälteverbräuche bereits auf einem sehr tiefen Niveau sind. Weitere Reduktionen müssen beim Strom und bei der grauen Energie ansetzen, bzw. müssen durch erneuerbare umweltfreundliche Erzeugung abgedeckt werden.

Primärenergiebedarf kWh/m² a

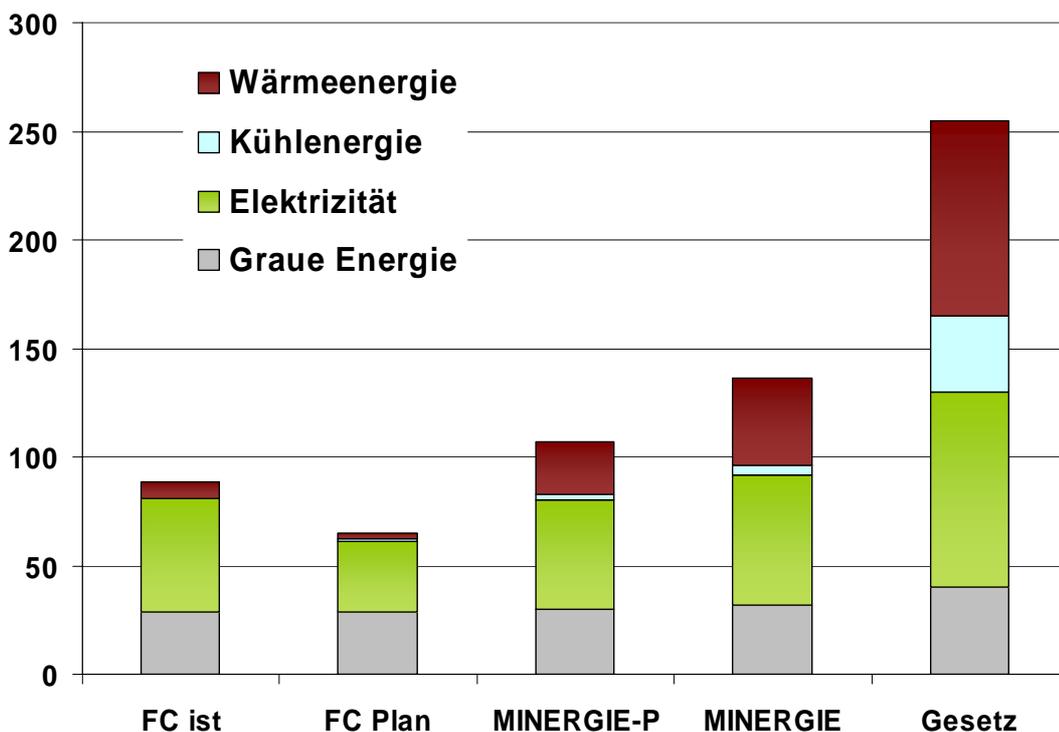


Abbildung 8-2: Primärenergiebedarf des Forum Chriesbach im Vergleich zu einem konventionell nach Gesetz (2002) gebauten vergleichbaren Gebäude. FC ist entspricht den Messungen im Jahr 2007. Es besteht noch weiteres Optimierungspotential. Da die Eawag ihren Strombedarf ab 2010 zu 100% mit Ökostrom «naturemade star» deckt, ist die Primärenergie bei der Elektrizität wesentlich kleiner als im Diagramm dargestellt (aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde überall mit demselben Umrechnungsfaktor von gerechnet (siehe Tabelle 8-1) (3-Plan)

8.1.4 Wirkung der einzelnen Technikkomponenten

Die bisherige Erfahrung hat gezeigt, dass im Forum Chriesbach die Architektur und die Haustechnik eine Einheit bilden, bei der ähnlich wie in einem Ökosystem die einzelnen Elemente interagieren. Die Wirkung einzelner Komponenten darf daher nicht isoliert betrachtet werden, sondern muss in ihrem Kontext gesehen werden. Die Simulationsrechnungen haben dazu wertvolle Hinweise geliefert, von denen einige im Folgenden diskutiert werden.

Die Nutzung der **Solarwärme** parallel zur Nutzung der gewerblichen Abwärme der Kühlaggregate konkurrenzieren sich gegenseitig. Die Abwärmenutzung hat Priorität und da im Winterhalbjahr die Solarwärme auch auf einem niedrigeren Temperaturniveau anfällt, kann sie nicht vollständig genutzt werden. Im Sommer wird mehr Wärme produziert als im Bereich des Arealwärmenetzes benötigt. Der Betrieb hat zudem gezeigt, dass jeweils vormittags aus dem Arealwärmenetz Energie bezogen wird, um die hohen Temperaturen für den Warmwasserbedarf abzudecken und wenn die Vakuumröhrenkollektoren um die Mittagszeit ihre volle Leistung erbringen, ist der Speicher bereits geladen. Bei der Abstimmung der verschiedenen Systeme gibt es also noch ein gewisses Optimierungspotential.

Die Simulation des **Lufterdregisters** hat gezeigt, dass ein Verzicht darauf zwar auch eine Wirkung auf die Wärmebilanz für die Lufterwärmung hat, dass aber der Effekt auf die Kühlung der Computerserver noch grösser ist. Die vorgekühlte Luft im Sommer erlaubt nämlich eine viel längere Kühlung der Server im Freecooling und spart damit Kühlenergie. Mit der gratis Erwärmung der Zuluft durch die Serverabwärme in der Übergangszeit wird sicher auch der Nachteil des Weglassen eines Bypasses im Lufterdregister etwas kompensiert. Bei Aussenlufttemperaturen zwischen derjenigen des Bodens von ca. 10°C und der gewünschten Zulufttemperatur (21°C) wird diese nämlich unnötigerweise gekühlt.

Die **Beschattung** im Atriumdach und die dem Sonnenstand nachgeführten Glaslamellen der Fassade wirken sich relativ wenig auf die Temperaturverhältnisse im Innern des Gebäudes aus. Ein Grund dafür sind die relativ grossen Fluchtbalkone, welche bei hohem Sonnenstand praktisch die ganze notwendige Beschattung erzeugen. Die doppelte Verglasung des Atriumdachs mit der Möglichkeit einer Querlüftung bei Überhitzung wirkt sich positiv auf die Sommertemperaturen im Atrium auf und schirmt auch vor Kälte sehr gut ab. Auswirkungen der Beschattung sind daher vor allem bei den Tageslichtverhältnissen in den Räumen zu suchen. So wurde die Lamellensteuerung bereits angepasst (länger offen) und eine Diplomarbeit an der Hochschule Luzern angeregt, welche eine optimale Steuerung des Beschattungssystems zum Ziel hat. Zwei Studierende arbeiten an diesem Thema bis Sommer 2009.

Die **Wärmespeichermasse** des Betons, der Steinholzbodenbeläge und der Lehmwände dient der Wärmehaltung über Nacht im Winter und der Konservierung der Nachtkühle während heisser Sommertage. Die Simulationen haben gezeigt, dass ohne diese Speichermasse mit höheren Temperaturschwankungen in den Räumen gerechnet werden müsste.

8.1.5 Dynamische Simulationen

Im Projekt konnte gezeigt werden, dass sich mittels dynamischer Simulationen, einer Kombination von Gebäudesimulation und Simulation haustechnischer Anlagen, Komfort und Energieverbrauch gut vorhersagen lassen. Das mit Messwerten validierte Rechenmodell erlaubt zudem Sensitivitätsanalysen und zeigt, dass das Gebäude auch bei veränderten Rahmenbedingungen die Vorgaben erfüllen kann.

8.1.6 Mehrkosten der energierelevanten Bauteile

Das Forum Chriesbach ist wie die meisten grösseren Bauten ein einmaliges Objekt, nicht nur wegen seiner 'Nachhaltigkeit' sondern auch bezüglich seiner Nutzung, seines spezifischen Raumprogramms, der Architektur, der Funktionalität, der Technik und der Bauherrschaft. Vergleiche mit anderen Bauten lassen sich daher nur mit vielen Relativierungen ziehen. Dies gilt für den Energiebedarf und es gilt noch viel mehr für Kostenvergleiche. Weil die Frage der Mehrkosten aber sehr häufig auftritt und Bauherrschaften ihre Risiken bei Investitionen verständlicherweise klein halten möchten, hat sich das Projekt-Team entschieden, trotzdem eine Kostenanalyse durchführen zu lassen. Als Massstab sollten aber nicht allgemeine Kennzahlen beigezogen werden, sondern ein architektonisch und funktionell identisches Gebäude, welches mit einer konventionellen Haustechnik ausgestattet ist. Die Resultate haben gezeigt, dass sich selbst die weitgehenden energetischen Massnahmen im Forum Chriesbach auszahlen. Dies ist erfreulich und hat Signalwirkung. Die Variationsbreiten der 'Nachhaltigkeitskosten' sind geringer als diejenigen der Bedürfnisabdeckung und der Architektur; ihr Einbezug ist aber noch nicht so selbstverständlich.

8.1.7 Bauprozess und Fachkompetenz

Die Forderung einer 'nachhaltigen' Bauweise seitens der Bauherrschaft ist eine unabdingbare Voraussetzung für die Realisierung eines solchen Gebäudes. Aber ohne die entsprechenden Fachkompetenzen der Architekten, Planer und Unternehmer geht es auch nicht. Beim Forum Chriesbach hat es sich bewährt, dass bereits bei der Bedarfsanalyse und Formulierung des Pflichtenhefts Nutzer, Umweltverantwortliche und Baufachleute (vom BaFA und von der Empa) zusammenarbeiten konnten. So mussten nicht im Nachhinein noch teure Projektanpassungen vorgenommen werden. Die Ausnahme beim Eawag Neubau war die Gestaltung der Fassade, welche vielfältigen Anforderungen, insbesondere auch feuerpolizeilichen, zu genügen hatte. Die Zusammenarbeit der verschiedenen Beteiligten während des ganzen Bau- und Inbetriebnahmeprozesses ist wichtig und sinnvoll. Damit kann einerseits eine optimale Abstimmung auf die Anforderungen seitens Bauherrschaft und Nutzer und andererseits eine fließende Übergabe des Knowhows über das Gebäude von den Erstellern zu den Betreibern gewährleistet werden. Insgesamt würde es sich auszahlen, sowohl der Planungs- als auch der Inbetriebnahmephase mehr Gewicht zu geben. Eine (mindestens) zweijährige Betriebsoptimierungsphase lohnt sich insbesondere bei energieeffizienten Bauten.

Viel Fachwissen ist in der Schweiz zwar bereits vorhanden, aber die praktische Erfahrung mit verschiedenen Komponenten ist noch ungenügend. Auch die flächendeckende Streuung dieser Kompetenzen ist noch ungenügend. Eine optimale Integration von Architektur, Materialien, Beschattungssystemen, Solaranlagen, Abwärmennutzungen, Kühlsystemen, präziser Handwerkskunst, Benutzerverhalten und Steuerungen bleibt schwierig. Ebenso wie die Organisation der Verantwortlichkeiten während der verschiedenen Phasen und die interne und externe Kommunikation kritisch sind.

Es braucht mindestens eine engagierte Person, welche während des ganzen Prozesses den Anforderungen der nachhaltigen Entwicklung immer wieder das nötige Gewicht verleiht.

8.1.8 Kommunikation

Beim Forum Chriesbach wurde der Weitergabe der eigenen Erfahrungen von Anbeginn weg ein grosses Gewicht beigezogen. Bereits vor der Eröffnung des Neubaus war daher das Interesse der Fachwelt und auch der Politik gross. Der Stand der Planung wurde in einer gemeinsam von den Beteiligten unter der Leitung von Bob Gysin + Partner BGP verfassten Baumonographie dokumentiert. Zahlreiche Führungen, Vorträge, Broschüren, Internet- und Medienbeiträge im In- und Ausland folgten. Nicht nur die eigenen Mitarbeitenden von Eawag und Empa konnten das Gebäude kennen lernen und z.T. eigene Erfahrungen damit

sammeln, sondern auch mehrere Tausend Besucher haben es besichtigt. Damit wurden grosse Erwartungen bezüglich der Bewährung im Alltag geweckt, die nun mit diesem Projekt und Bericht mindestens teilweise abgedeckt werden.

8.2 Schlusswort

Die Bundesverfassung der Schweiz verpflichtet uns zur Nachhaltigkeit (siehe z.B. Art. 73 der Bundesverfassung) und der gesunde Menschenverstand tut es auch. Die fossilen Energieträger werden in den nächsten Jahrzehnten knapper und teurer und die Folgen des Klimawandels spürbarer. Da Bauten ein halbes bis ein ganzes Jahrhundert lang bestehen, müssen deshalb bereits heute mindestens deren Konzepte eine vollständige Abkehr von nicht erneuerbaren Energien innerhalb dieses Zeitraums erlauben. Selbstverständlich gehören zur nachhaltigen Entwicklung auch die Berücksichtigung der Ressourcenbewirtschaftung insgesamt, der Ökologie der Materialien sowie der sozialen, wirtschaftlichen und humanen Anforderungen.

Mit dem Forum Chriesbach konnte demonstriert werden, dass viele Anforderungen der nachhaltigen Entwicklung im Gebäudebereich bereits weitgehend erfüllt werden können. Dass damit gleichzeitig auch hohen funktionellen, ästhetischen und ökonomischen Anforderungen Genüge getan werden kann, ist für viele neu. Es konnte beim Forum Chriesbach nun belegt werden.

Es gibt also viele guten Gründe, im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu bauen, aber kaum Argumente dagegen.

9 Teilprojekte und Referenzen

Martin Bauer (2007): Energiebilanz des „Nullenergie“ – Dienstleistungsgebäudes Forum Chriesbach, Eawag Dübendorf. Praktikumsarbeit an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (FH). Verantwortlicher Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. Rainer Agsten.

Thomas Frank, Herbert Güttinger and Stefan van Velsen (2007): Thermal Comfort Measurements in a Hybrid Ventilated Office Room. Proceedings of CLIMA 2007 WellBeing Indoors - 10-14 JUNE 2007 – HELSINKI - FINLAND. Page 1 of 8.

3-Plan (2008): 3-Plan Haustechnik AG Stefan van Velsen, Amadeus Thieman: Schlussbericht der zweijährigen Betriebsoptimierung Forum Chriesbach, 9. Juli 2008, 7 Seiten.

Stefan van Velsen, Bob Gysin, Amadeus Thiemann, Herbert Güttinger, Thomas Frank (2008): Resultate und Erfahrungen der ersten beiden Betriebsjahre des 'nachhaltigen' Neubaus Forum Chriesbach, Eawag/Empa Dübendorf. 15. Schweizerisches Status-Seminar «Energie- und Umweltforschung im Bauwesen», 11./12. September 2008.

Herbert Güttinger, Bob Gysin, Stefan van Velsen (2008): Eawag Forum Chriesbach - A Step towards the 2000-Watt Society. Proceedings of the World Conference SB08 Sept. 2008 - ISBN 978-0-646-50372-1.

3-Plan (2009/1): 3-Plan Haustechnik AG Stefan van Velsen, Amadeus Thieman Nikolai Artmann: Energie-Detailbilanz Eawag Forum Chriesbach. Bericht Phase 1. Thermisches Gebäudemodell, Simulation Stand Planung 16. Januar 2009, 50+23 Seiten.

3-Plan (2009/2): 3-Plan Haustechnik AG Stefan van Velsen, Amadeus Thieman Nikolai Artmann: Energie-Detailbilanz Eawag Forum Chriesbach. Bericht Phase 2. Thermisches Gebäudemodell, Simulation Stand effektive Nutzung 18. Januar 2009, 57+34 Seiten.

Reuss Engineering AG (2009): Eawag Forum Chriesbach. Einfluss der energetischen Massnahmen auf die Lebenszykluskosten. 11. Mai 2009, 16 Seiten.

Ch. Filleux, Basler & Hofmann AG (2001): Demonstration innovativer Technologien und nachhaltigen Bauens am Geschäftshaus Esslingen. Schlussbericht. BFE Projekt.

TRNSYS (2005) TRNSYS16.1. The Transient Energy System Simulation Program. University of Wisconsin Madison: Solar Energy Laboratory (SEL); 2005.
<http://www.trnsys.com>. or <http://www.trnsys.de>

BGP (2006): Bob Gysin + Partner BGP Architekten, Implenia Generalunternehmung AG, Bauten Forschungsanstalten BaFA und Eawag: Eawag Forum Chriesbach - Ein «nachhaltiger» Neubau - A «Sustainable» New Building (Baumonographie). 64 S. Bob Gysin + Partner BGP Zürich. ISBN-10: 3-906136-49-3. ISBN-13: 978-3-906136-49-3.

SIA (2006): Merkblatt 2024: Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik,

OcCC / ProClim (2007): Klimaänderung und die Schweiz 2050 – Erwartete Auswirkung auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft

Daniel Wentz (2007): Research center in Switzerland. Eawag Forum Chriesbach. 80 S. Holcim Foundation, Zurich, Switzerland. ISBN 978-3-7266-0079-2.
www.holcimfoundation.org

SIA (2008): Merkblatt 2028: Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik

10 Anhang

10.1 Projektbeteiligte

Person	Ausbildung, Spezialkenntnisse	Funktion im Projekt
Martin Bauer Eawag Abt. SWW Postfach 611 8600 Dübendorf	Student Energie und Versorgungstechnik an der Fachhochschule Leipzig Praktikant Eawag / 3-Plan vom September 06 bis Februar 07	Praktikumsarbeit: Energiebilanz des „Nullenergie“- Dienstleistungsgebäudes Forum Chriesbach, Eawag Dübendorf' ab März 2007 keine Funktion mehr
Daniel Beerle Empa Bau Überlandstrasse 129 8600 Dübendorf +41 44 823 4533 daniel.beerle@empa.ch	Dipl. Architekt HTL; Projektleiter des Forum Chriesbach	Projektbegleitung, Kostenvergleich
Viktor Dorer Empa, Abt. Bautechnologien, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf +41 44 823 4275 viktor.dorer@empa.ch	Masch. Ing. ETH; Innovative Gebäudetechnik, Modellierung und Simulation	Projektbegleitung, Teilprojekte
Thomas Frank Empa Abt. Bautechnologien Überlandstrasse 129 8600 Dübendorf +41 44 823 4176 thomas.frank@empa.ch	Bauing. ETH; Bauphysikalische Messmethoden, thermische Energie Hochbau, Gebäudesimulation	Durchführung von Teilprojekten (punktuelle Komfortmessungen bereits durchgeführt) und Projektbegleitung. Bereitstellung zusätzlicher Messtechnik, punktuelle Zusatzstudien
Herbert Güttinger Eawag, Stab Überlandstrasse 133 Postfach 611 8600 Dübendorf +41 44 823 5023	Ökotoxikologe, NDS Energie, Mitglied Direktionsstab, ökologische Baubegleitung Eawag	Projektleiter, Kommunikation, Kostenvergleich
Beat Lehmann Empa, Abt. Bautechnologien Überlandstrasse 133 8600 Dübendorf +41 44 823 4784 beat.lehmann@empa.ch	Masch. Ing. ETH, Experte Gebäudesimulationen, Haustechnik	Projektbegleitung, Teilprojekte, Kostenvergleich
Thomas Lichtensteiger Eawag, Stab Überlandstrasse 133 Postfach 611 8600 Dübendorf +41 44 823 5507 lichtens@eawag.ch	Urbane Geologie/Stoffhaushalt; Umweltbeauftragter der Eawag	Stellvertretender Projektleiter
Max Mauz Eawag, Techn. Dienst Überlandstrasse 133 Postfach 611 8600 Dübendorf +41 44 823 5456 max.mauz@eawag.ch	Leiter Technischer Dienst Eawag	Betreuung technische Systeme und Datenbank Messdaten

Amadeus Thiemann 3-Plan Haustechnik AG Fröschenweidstrasse 10 8404 Winterthur	Dipl. Masch. Ing. ETH	Projektmitarbeiter bei 3-Plan Haustechnik AG bis 31.12.2008.
Stefan van Velsen 3-Plan Haustechnik AG Fröschenweidstrasse 10 8404 Winterthur 41 52 234 7090 stefan.vanvelsen@3-plan.ch	Ingenieur NDS FH EN ^{Bau} , Mitglied der Geschäftsleitung 3-Plan; Innovative Gebäudetechnik, Modellierung und Simulation	Leiter des Teilprojektes energetische Detailbilanzierung und Simulation am Forum Chriesbach

10.2 Informationsveranstaltung 23. Jan. 09

Medienmitteilung vom Freitag, 23. Januar 2009

Eawag Forum Chriesbach: Ökologisch bauen zahlt sich aus

Ein fünfstöckiges Büro- und Forschungsgebäude für 220 Personen, das kaum mehr Energie von aussen für Wärme und Kälte benötigt als ein bis zwei Einfamilienhäuser? Das Forum Chriesbach des Wasserforschungs-Instituts Eawag schafft das. Gut zwei Jahre nach seiner Einweihung ziehen Architekten, Planer und die Bauherrschaft heute an einer Tagung eine positive Bilanz, auch in Bezug auf die Kosten. Schon heute gilt das international beachtete Haus als Vorbild für eine neue Gebäudegeneration, auch wenn es Optimierungspotential gibt.

Die ersten zwei Betriebsjahre des Eawag-Neubaus in Dübendorf haben gezeigt, dass das Gebäude mit seiner aktuellen Nutzung wie vorgesehen funktioniert. Die Planungswerte stimmen gut mit den gemessenen Daten überein. Wo Abweichungen festgestellt werden, lassen sich diese durch veränderte Rahmenbedingungen erklären. Bewährt hat sich vor allem das Konzept, auf einfache Prinzipien abzustellen, also unter anderem auf eine möglichst gut wärmegeämmte Hülle und ein gutes Zusammenspiel von Architektur und Haustechnik.

Kaum Kühlenergie nötig

Besonders gut schneidet der Bau ab bezüglich Kühlenergie im Sommer. Weltweit steigt nämlich der Energiebedarf für die Gebäudekühlung, ganz besonders für Bürogebäude mit grossflächig verglasten Fassaden. Im Forum Chriesbach wird dagegen statt High-Tech der Kamineffekt im Atrium genutzt, um das Haus im Sommer mit Nachtluft auszukühlen. Zusammen mit der Luftzufuhr über ein Erdregister führt dies dazu, dass für die Büroräume keine Klimatisierung nötig ist. Selbst in den heissesten Sommerwochen stiegen die Raumtemperaturen dennoch kaum über 26°C. Die Mitarbeitenden schätzen das als grossen Komfort. Bestätigt wird dieses angenehme Klima auch von den CO₂-Messungen der Raumluft: Mit durchschnittlich 0.6 Liter CO₂ pro Kubikmeter Luft liegen sie sehr tief.

Der Wärmebedarf ist leicht höher als prognostiziert. Statt 29 MWh wurden jährlich 67 MWh vom Fernwärmenetz auf dem Areal bezogen. Das entspricht immer noch lediglich 6 kWh pro Quadratmeter Energiebezugsfläche oder anders ausgedrückt dem Energieverbrauch für zwei konventionelle Einfamilienhäuser für eine Fläche von über 11'000 m² – ein Wert deutlich unter den strengen Minergie-P-Anforderungen. Mitverantwortlich für den höheren Wärmebedarf ist die Belegung der Räume. Sie ist tiefer als für die Planung vorgegeben. Damit stehen weniger interne Wärmequellen zur Verfügung, von den Mitarbeitenden bis zum PC. Zudem musste die Temperatur der Zuluft aufgrund von Rückmeldungen der Mitarbeitenden leicht angehoben werden auf 21°C.

Beim Strom wurden statt der geplanten 121 MWh jährlich 195 MWh vom Netz bezogen (17 kWh pro m² Energiebezugsfläche). Verantwortlich dafür sind hauptsächlich das Personalrestaurant aQa – statt 150 produziert es über 260 tägliche Essen – sowie die öfter und länger eingeschaltete Beleuchtung auf den Korridoren. Hingegen produzierte die Photovoltaikanlage auf dem Flachdach 71 statt 60 MWh und die thermische Solaranlage lieferte 26 statt 24 MWh pro Jahr.

Ohne Betriebsoptimierung läuft nichts

Ein Gebäude in der Grösse des Forum Chriesbachs ist mit der Schlüsselübergabe nicht einfach fertig. „Wir mussten lernen, dass vieles nicht auf Anhieb korrekt eingestellt ist und funktioniert. Eine Betriebsoptimierung ist daher weit mehr als das blosses Beheben von Mängeln in der Garantiezeit und braucht eine fachkundige Betreuung“, sagt Herbert Güttinger, der als Leiter des Eawag-Umwelteams bereits in die Bauplanung involviert war. Als Beispiel erwähnt er die über 200 Elektromotoren zur automatischen Öffnung der Kippfenster für die Nachtauskühlung. Ihr Stromverbrauch war viel zu hoch,

weil sie unnötigerweise dauernd unter Strom standen. Die entsprechende Korrektur der Steuerung „spart“ jährlich rund 20 MWh Strom. Das ist fast ein Drittel der Produktion der Photovoltaikanlage auf dem Dach. Angepasst wurde unter anderem auch die Steuerung der blauen Glaslamellen zur Fassadenbeschattung. Im Frühling und Herbst nahm ihre Nachführung zu viel kostbares Tageslicht weg.

Wirtschaftlich lohnende Mehrinvestition

Mit 30 Millionen Franken blieben die Baukosten für das Eawag-Hauptgebäude unter dem Kreditrahmen des Bundesparlaments. Der nicht am Projekt beteiligte Haustechnikingenieur Andreas Pfeiffer hat die Kosten näher unter die Lupe genommen. Er beziffert die Mehrinvestition gegenüber einem vergleichbaren, konventionell gebauten Haus auf knapp 5 %. Die etwas höheren Kapitalfolgekosten werden jedoch mit den tieferen Betriebskosten wettgemacht. Das Forum Chriesbach weist bereits heute um 10'000 Franken tiefere Jahreskosten (Kapital- und Betriebskosten) auf, als ein herkömmliches Gebäude. Steigen die Energiepreise wie erwartet an, wird sich diese Bilanz mit den Jahren zusätzlich massiv verbessern. „Mit energie- und ressourcenoptimierten Bauten kann also eine höhere Rendite erzielt werden“, folgert Pfeiffer. Zudem bringe ein konsequent nachhaltig erstelltes Gebäude weitere Vorteile, die sich wirtschaftlich nur schwer beziffern lassen, etwa eine hohe Werterhaltung oder ein gutes Gefühl und Prestige für Nutzer und Investoren.

Nur mit viel Teamgeist möglich

Die Planung hat bei einem Bau, mit dem viele Neuland betreten, ganz besondere Bedeutung. Wichtig ist vor allem, dass der Auftraggeber nicht nur klare Vorgaben für den Architektur- und Planungswettbewerb macht, sondern über die ganze Zeit Teil des Projektteams bleibt. Sowohl in den Bauabläufen als auch bei der Zuteilung von Verantwortlichkeiten liegt noch Optimierungspotential. So verhehlt Architekt Bob Gysin (Bob Gysin + Partner BGP Architekten) nicht, dass die Unterstellung des Generalplaners unter den Generalunternehmer nicht immer spannungsfrei verlaufen ist. „Doch wenn alle Spezialisten nicht nur ihr eigenes Feld beherrschen, sondern auch bereit sind, sich in andere Fachgebiete einzudenken und mit der Überzeugung ans Werk gehen, gemeinsam etwas sinnvolles Neues tun zu wollen, dann klappt es“, sagt Gysin.

Bilanz gezogen

Die detaillierte Energie-Bilanz sowie die Kosten für Bau und Betrieb des Forums Chriesbach stehen im Zentrum der heutigen Fachtagung in Dübendorf mit rund 140 Interessierten. Das Begleitprojekt der beiden Forschungsinstitute Eawag und Empa sowie dem Ingenieurbüro 3-Plan Haustechnik AG wurde vom Bundesamt für Energie und dem ETH-Rat unterstützt. Das vom Planungsteam Bob Gysin + Partner BGP entworfene Eawag-Hauptgebäude wurde im Juni 2006 bezogen. Von Beginn der Planung an forderte die Bauherrschaft, dass der Bau zum Beispiel werden soll für gelebte Nachhaltigkeit, und zwar nicht nur in Bezug auf die Umwelt, sondern auch mit Blick auf gesellschaftliche und wirtschaftliche Aspekte. Denn im Gebäudebereich besteht Handlungsbedarf: Wohnen und Arbeiten machen über die Hälfte unseres Gesamtenergieverbrauchs aus.

Bilder auf www.forumchriesbach.eawag.ch >> Downloads >> Architektur & Technik (Eawag)

eawag
aquatic research 000

Informationsveranstaltung

Eawag Forum Chriesbach

Vision und Realität

Freitag, 23. Januar 2009, 9.15 – 17.00 Uhr
Eawag Dübendorf, Forum Chriesbach

Resultate des BFE-Projektes «Energie-Detailbilanz des Eawag Forum Chriesbach»



Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs

Eawag Forum Chriesbach: Vision und Realität

Programm Informationsveranstaltung 23. Januar 2009

9.15–9.20	Begrüssung Prof. Dr. Rik Eggen, stv. Direktor Eawag
9.20–9.25	Tagungseröffnung Dr. Herbert Güttinger, Direktionsstab Eawag, Projektleiter
9.25–9.40	Pflichtenheft und Erwartungen Daniel Beerle, Empa Bau (vormals BaFA)
9.40–10.00	Was man vorausdenken kann; wird es auch gemacht? Bob Gysin, Bob Gysin + Partner BGP
10.00–10.35	Das Energiekonzept des Gebäudes Stefan van Velsen, 3-Plan Haustechnik AG
10.35–11.00	Pause
11.00–11.30	Raumklima Thomas Frank, Empa Abt. Bautechnologien
11.30–12.00	Sensitivitätsanalysen zum thermischen Gebäudeverhalten Beat Lehmann, Empa Abt. Bautechnologien
12.00–12.30	Diskussion Leitung Dr. Thomas Lichtensteiger, Direktionsstab Eawag
12.30–13.45	Stehlunch
13.45–14.10	Planung und Realität des Energieverbrauchs Stefan van Velsen
14.10–14.40	Sensitivitätsanalysen zum energetischen Gebäudeverhalten Amadeus Thiemann, 3-Plan Haustechnik AG
14.40–15.00	Bauinvestitionen versus Einsparungen im Betrieb Noch offen
15.00–15.20	Schlüsse und Anregungen zum «nachhaltigen Bauen» Dr. Herbert Güttinger
15.20–15.40	Diskussion Leitung Dr. Thomas Lichtensteiger
15.40–16.00	Apéro
16.00–17.00	Vertiefungen (fakultativ) – Führung durch das Gebäude – Das MSRL-System (Mess-, Steuer-, Regel-, Leittechnik) – Der Umgang mit Wasser

Eawag Forum Chriesbach: Vision und Realität?

Das vom Planungsteam Bob Gysin + Partner BGP Architekten entworfene Eawag Forum Chriesbach wird weltweit als innovatives Gebäude beachtet. Das Forschungsgebäude wurde im Juni 2006 als Hauptgebäude der Eawag bezogen. Neben Büroräumen, Goût-Mieux-Restaurant und gemeinsamer Eawag-Empa-Bibliothek wird das Gebäude auch zur Kommunikation genutzt. Zwei Jahre nach der Einweihung gilt es, eine Bilanz zu ziehen: Wie gut decken sich Planung und Ist-Zustand? Was hat man wirklich erreicht? Wo sind Schwachpunkte? Im Rahmen eines von Forschung und Entwicklung des Bundesamtes für Energie (BFE) unterstützten Projektes der Eawag, Empa und der 3-Plan Haustechnik AG wird diesen Fragen nachgegangen. Die Resultate dieser Analysen werden am 23. Januar im Atrium des Forum Chriesbach vorgestellt. Die Veranstaltung richtet sich an Bau- und Energie- und Umweltfachleute sowie weitere Interessierte des Bauens im Sinne nachhaltiger Entwicklung.



Die Eawag ist das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs. Rund 400 Mitarbeitende sind an den Standorten Dübendorf bei Zürich und Kastanienbaum bei Luzern tätig. Neben ihrem Engagement in der Forschung wirkt die Eawag auch in der Lehre und Beratung und schlägt damit eine Brücke zwischen Wissenschaft und Praxis.
www.eawag.ch



Die Empa ist eine interdisziplinäre Forschungs- und Dienstleistungsinstitution für Materialwissenschaften und Technologieentwicklung innerhalb des ETH-Bereichs. Gegen 900 Mitarbeitende sind an den Standorten Dübendorf, St. Gallen und Thun tätig. Die Abteilung Empa Bautechnologien untersucht und entwickelt Lösungen und Konzepte für die 2000-Watt-Gesellschaft.
www.empa.ch



Die 3-Plan Haustechnik AG hat Niederlassungen in Winterthur, Kreuzlingen und Singen. Am Standort Winterthur beschäftigt sie rund 40 Mitarbeitende. Am Forum Chriesbach war 3-Plan an Planung, Realisierung und Betriebsoptimierung in den Bereichen Energie und Haustechnik massgebend beteiligt.
www.3-plan.ch



Bob Gysin + Partner AG
Architekten ETH SA BSA

BGP steht für zukunftsgerichtete Architektur. Kreativität und Innovation sind dabei ebenso wichtig wie die integrale Betrachtung einer Aufgabe auf allen Ebenen der nachhaltigen Entwicklung – sozial, ökologisch, energetisch und wirtschaftlich. Ziel ist die ganzheitliche Erfassung des Lebenszyklus in architektonisch hochstehenden und nachhaltigen Bauten. BGP ist ein Team von 30 Mitarbeitenden.
www.bgp.ch

Das Atrium im Eawag Forum Chriesbach (Foto: Michael Peuckert).



Administration

Tagungsleitung

Dr. Thomas Lichtensteiger, Direktionsstab Eawag

Kontakt

Suzanne Benz, Eawag, Postfach 611, 8600 Dübendorf, Telefon 044 823 53 93,
Fax 044 823 53 75, suzanne.benz@eawag.ch, www.forumchriesbach.eawag.ch

Datum

Freitag, 23. Januar 2009, 09.15–17.00 Uhr

Ort

Eawag Dübendorf, Forum Chriesbach

Gebühr

CHF 350.– inkl. Pausenverpflegung, Mittagessen, Apéro und MWSt.

Anmeldung

Ausgefüllte Anmeldekarte per Post oder Fax senden an: Eawag, Informationsveranstaltung FC, Postfach 611, 8600 Dübendorf, Fax 044 823 53 75.
Anmeldung auch via Internet möglich: www.forumchriesbach.eawag.ch
Anmeldeschluss: Montag, 19. Januar 2009

Unterlagen

Die Präsentationen und Berichte sind nach der Tagung elektronisch verfügbar.

Anfahrt

Ab Zürich Hauptbahnhof mit der S-Bahn bis Stettbach (S3, S9, S12) oder Dübendorf (S3, S9, S14), dann weiter zu Fuss oder mit dem Bus 796 bis Haltestelle Empa.
Ab den Bahnhöfen Stettbach und Dübendorf verkehrt von 8.15 bis 9.00 Uhr ein Shuttle-Taxi an die Eawag und nach der Tagung von 15.45 bis 17.30 in Gegenrichtung.

Eawag, Überlandstr. 133, 8600 Dübendorf, Telefon 044 823 53 93



Bitte frankieren

Eawag
Informationsveranstaltung FC
Postfach 611
8600 Dübendorf

Anmeldung

Eawag Forum Chriesbach: Vision und Realität

Informationsveranstaltung

Freitag, 23. Januar 2009

Name _____

Vorname _____

Organisation _____

Strasse _____

PLZ, Ort _____

Land _____

Telefon _____

E-Mail _____

Datum _____

Unterschrift _____

Rechnungsadresse _____

Bitte senden oder faxen Sie die ausgefüllte Karte bis 19. Januar 2009 an:
Eawag, Informationsveranstaltung FC, Postfach 611, 8600 Dübendorf, Fax 044 823 53 75.
Anmeldung auch via Internet möglich: www.forumchriesbach.eawag.ch