

Simulationsgestützte
Automation für die
**NACHHALTIGE
SOMMERLICHE
KLIMATISIERUNG**
von Gebäuden

©Joujou / PIXELIO



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

klimazwei 
Risiken mindern · Chancen nutzen



Inhalt

Einleitung 3



Konzepte für passive Kühlung 4



Analyse und Bewertung passiv gekühlter Gebäude der Stadt Ostfildern 6



Optimierung der Kühlkonzepte passiv gekühlter Gebäude 11



Konzepte für regenerative aktive Kühlung 14



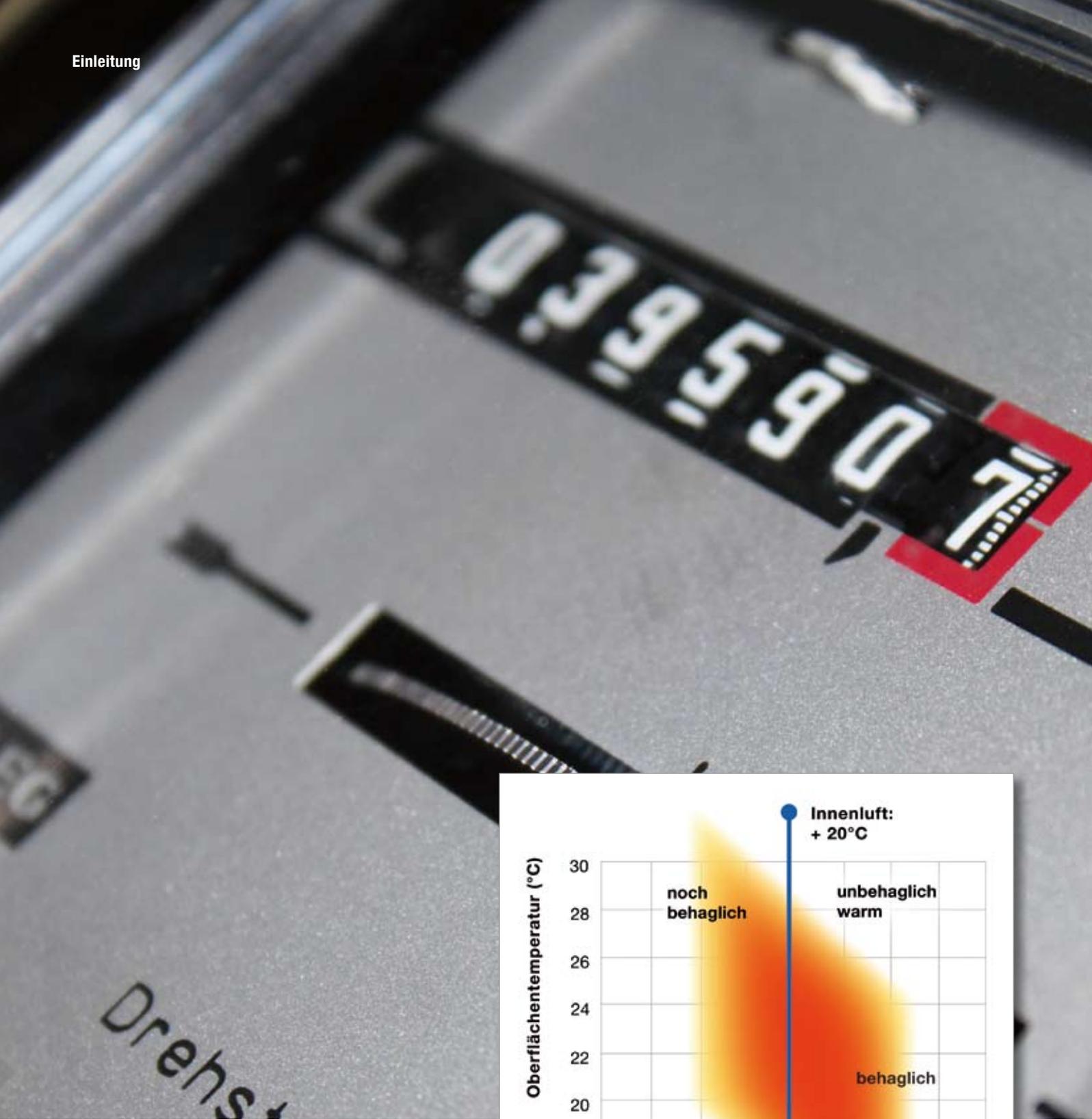
Analyse aktiv gekühlter Gebäude 18



Energetische Optimierung des Gebäudebetriebs aktiv gekühlter Bauten 22

Fazit 28

Impressum 29



© Cisco Ripac/ PIXELIO

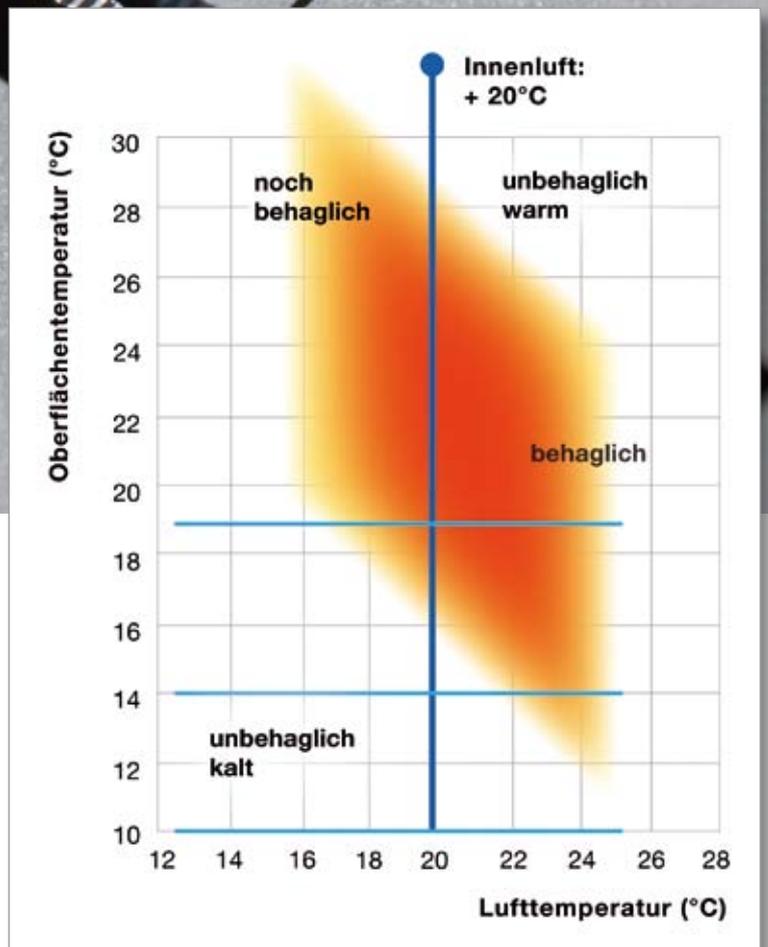


Abb. 1.1: Behaglichkeitsdiagramm; Quelle: EnergieAgentur.NRW

Einleitung

Klimawandel, Verknappung fossiler Energieressourcen, erhöhte Energieeffizienz, verbesserter Nutzerkomfort – all dies sind aktuelle Themen im Bereich der Gebäudeunterhaltung.

Im Winter ist eine Beheizung von fast allen Gebäuden in Deutschland unumgänglich. Allerdings tritt, gerade im Zuge der globalen Erwärmung, das Thema sommerliche Klimatisierung bei Gebäudeplanung und Gesamtanierungen immer stärker in Erscheinung.

Im Rahmen des Projekts „Simulationsgestützte Automation für die nachhaltige sommerliche Klimatisierung von Gebäuden“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung entstand zum Thema Schutz vor Klimawirkungen der vorliegende Leitfaden. Er soll Entscheidungshilfen für Gebäudeplaner und Planer kommunaler Versorgung zur nachhaltigen Klimatisierung geben. Es wird Bezug auf konkrete Projekte genommen, wobei verschiedene Möglichkeiten zur Umsetzung energetisch sinnvoller Maßnahmen zur Klimatisierung veranschaulicht werden.

In den klimatisch gemäßigten Breiten Süddeutschlands ist die flächendeckende aktive Klimatisierung von Gebäuden noch nicht weit verbreitet.

Es gibt jedoch Gebäude mit erhöhten Komfortanforderungen oder umfangreicher technischer Ausstattung, wie beispielsweise Krankenhäuser, Bürogebäude oder Verkaufsflächen im Einzelhandel, die eine aktive Klimatisierung einzelner Bereiche unumgänglich machen. Der Kühlungsbedarf und der damit verbundene Energieverbrauch bewegt sich in diesen Fällen häufig auf einem Niveau, das dem Energieverbrauch zur Beheizung gleich kommt.

Allerdings ist in öffentlichen Gebäuden kaum aktive Klimatisierung zu finden, dies könnte auch zukünftig unter Berücksichtigung von Energieeffizienz- und Wirtschaftlichkeitsüberlegungen so bleiben, wenn die technischen und die Komfortanforderungen nicht zu hoch angesetzt werden.

Rechtlich betrachtet gelten für Gebäude die Festlegungen der Energieeinsparverordnung mit ihren normativen Verweisungen auf die DIN 4108-2, nach der eine Innentemperatur von 25°C, 26°C oder 27°C je nach Klimazone an höchstens 10% der Nutzungszeit überschritten werden darf. Für Gebäude des Bundes gilt nach dem Klimaerlass von 2005 die Regelung, dass die operative Soll-Raumtemperatur von +26°C in normalen Büroräumen ohne den Einsatz von maschineller Kühlung an maximal 200 h/a während durchschnittlicher Jahre überschritten wird.

Weiterhin definiert die rechtlich nicht bindende jedoch allgemein anerkannte Arbeitsstättenrichtlinie, dass die Lufttemperatur in Arbeitsräumen 26°C nicht überschreiten soll. Allerdings darf bei darüber liegender Außentemperatur in Ausnahmefällen die Lufttemperatur höher sein.

Nicht zuletzt das so genannte „26°C-Urteil“ des Landesgerichts Bielefeld aus dem Jahr 2003, bei dem ein Gebäudebetreiber einer vermieteten Anwaltskanzlei verklagt wurde eine Raumtemperatur von 26°C bzw. eine Innentemperatur von höchstens 6 Kelvin Differenz zur Außentemperatur bereit zu stellen, zeigt die unterschiedliche Auslegung der verschiedenen Vorgaben. Überwiegende Einigkeit besteht jedoch über den Basiswert von 26°C Innentemperatur für Gebäude ohne aktive Kühlung, weshalb diese Temperaturgrenze im vorliegenden Leitfaden für diese Bauwerke als Ausgangswert zu Grunde gelegt wird. Bei der Bewertung werden weitere Behaglichkeitskriterien wie die Oberflächentemperatur der umgebenden Bauteile gemäß Abbildung 1.1 sowie relative Luftfeuchte und die Luftgeschwindigkeit bei natürlicher Lüftung nicht berücksichtigt.

Konzepte für passive Kühlung

Verschiedene Faktoren entscheiden, ob ein Gebäude gekühlt werden muss oder nicht. Maßgebend ist der Aufbau der Gebäudehülle wobei oft architektonische Aspekte die bauphysikalischen Eigenschaften beeinflussen. Letztendlich ist der menschliche Komfortanspruch und die vorgesehene Nutzung das entscheidende Kriterium, ob klimatisiert werden soll. Der individuelle Gebäudebetrieb entscheidet darüber, in welchem Maße gekühlt werden muss und bietet meist Potential zur energetischen Optimierung. Die Möglichkeiten der passiven Kühlung sollten, als die energetisch sinnvollsten, zunächst ausgeschöpft werden, bevor über aktive Klimatisierung nachgedacht wird.

Faktor Mensch

Ausgangspunkt für die Anforderungen an eine Temperierung von Gebäuden ist der Nutzer mit seinen individuellen Anforderungen. Menschen sind stark unterschiedlich in ihrer persönlichen Konstitution, ihren Bekleidungsgehnheiten und Komfortansprüchen. Auch kulturell und lokal sind große Unterschiede zu erkennen, beispielsweise darin, dass im südlichen Europa, in Amerika und auch teilweise in Asien ein viel stärkerer Klimatisierungsanspruch besteht, der bislang in Deutschland in dieser Intensität auch aufgrund des gemäßigten Klimas noch nicht so stark zum Ausdruck kommt.

Architektonische Rahmenbedingungen

Relevant für die klimatischen Auswirkungen auf den Menschen im Hinblick auf den Aufenthalt in Innenräumen ist neben dem Standort und der thermischen Speicherfähigkeit eines Gebäudes vor allem die Ausrichtung und Raumanordnung zur überhitzungsgefährdeten Südseite sowie nach Osten und Westen. Eine ebenso tragende Rolle spielt auch der Anteil an Fensterflächen beziehungsweise deren Glasanteil mit den entsprechenden solaren Einträgen, die im Sommer zu Übertemperaturen führen können. Dabei ist beim Fensterflächenanteil auf Ausgewogenheit zwischen Tageslichtnutzung, die gleichfalls zu Einsparungen beim elektrischen Stromverbrauch führt und Sonnenschutz vor Überhitzung zu achten. Es ist zu unterscheiden, ob der Sonnenschutz mit hoher Abschirmwirkung außerhalb der Fassadenöffnung (Abb. 2.2), in der Gebäudehülle – beispielsweise im Scheibenzwischenraum – oder gänzlich auf der Innenseite des Fensters angebracht wird. Bei innenliegendem Sonnenschutz muss von einer überwiegenden Absorption der auftreffenden Wärmestrahlung im Raum und daher einer entsprechenden Aufheizung ausgegangen werden. Der reflektierende Anteil fällt hier immer geringer aus, wie in Abb. 2.1 veranschaulicht.

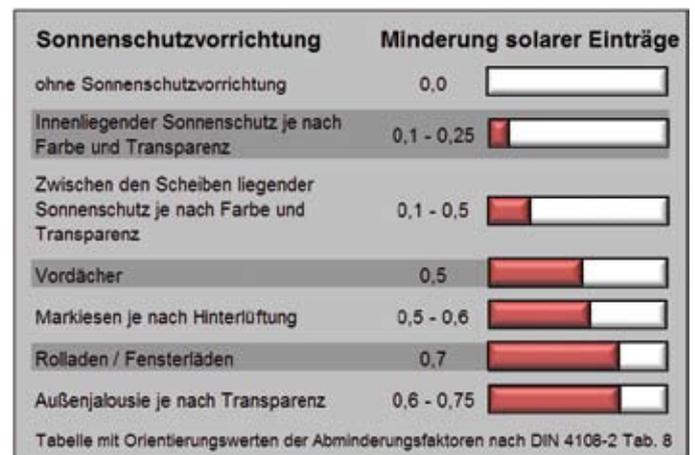


Abb. 2.1: Wirkung verschiedener Sonnenschutzvorrichtungen in Anlehnung an DIN 4108-2



Abb. 2.2: Passivbürogebäude Lamparter mit innovativem Sonnenschutzsystem

Gebäudebetrieb

Der Aufheizung eines Gebäudes kann durch die Reduktion von Wärmegevinen mittels effizienter Geräte und Beleuchtung, aber auch der Nutzung des vorgenannten Sonnenschutzes, im Betrieb entgegengewirkt werden. Eine weitere effiziente passive Kühltechnik ist die freie Nachtlüftung, bei der die kühle nächtliche Außenluft über eine natürliche Lüftung durch Klappen oder Fenster für ein Herunterkühlen der tagsüber aufgeheizten Gebäudemasse sorgt.

Von hybrider Kühlung spricht man, wenn mit minimalem Energieaufwand thermische Lasten an die Außenluft, einen Kühlturm oder in den Untergrund abgeführt werden können. Damit diese Art von Kühlung im Betrieb aktiviert werden kann sind entsprechende technische Einrichtungen mit individueller Regelungstechnik notwendig.

Beispielhaft ist neben der vorgenannten Nachtkühlung mit Hilfe von mechanisch unterstützter Lüftung die Aktivierung thermischer Speichermassen im Gebäude zu nennen. Dabei wird gekühlt durch die Temperierung von unverkleideten Betondecken, welche mit eingelegten, wasserführenden Leitungen durchzogen sind. Das kalte Wasser kann beispielsweise durch Erdpfähle – auch Energiepfähle genannt – zur Verfügung gestellt werden.

Energetisch unvorteilhaft ist die auf elektrische Energie angewiesene aktive Klimatisierung – beispielhaft in Abb. 2.3 mit Splitgeräten veranschaulicht.

Unterschiedliche Kühlungsarten

Unter **Passiver Kühlung** versteht man Maßnahmen, die ohne den aktiven Einsatz technischer Geräte und Elektrizität auskommen.

Hybride Kühlung funktioniert nur mittels einer minimalen Antriebsenergie.

Bei **aktiver Kühlung** wird mit erheblichem Technik- und Energieeinsatz das Gebäude gekühlt. Dies kann auch unter Zuhilfenahme von regenerativen Energieträgern erfolgen.

Abb. 2.3: Primärenergetisch aufwändige aktive Klimatisierung mit Splitgeräten



Analyse und Bewertung passiv gekühlter Gebäude der Stadt Ostfildern

Im gegebenen Projektgebiet der Stadt Ostfildern sind insgesamt rund 65 öffentliche Gebäude vorhanden, von denen lediglich in drei Rathäusern die Serverräume aufgrund der technischen Anforderungen dauerhaft und aktiv klimatisiert werden. Zwei weitere Gebäude weisen temporär klimatisierte Einzelräume auf, die teilweise in den kommenden Jahren zum Komplettumbau anstehen. Es existieren weiterhin einige individuelle Anwendungen, beispielsweise bei Kühlung zur Konservierung von Lebensmitteln (Kühlräume).

Von existierender aktiver Klimatisierung im größeren Stil kann im Projektgebiet bei den öffentlichen Gebäuden jedoch nicht gesprochen werden.

Trotzdem gibt es öffentliche Bereiche, bei denen die Raumklimatisierung ein von Seiten der Nutzer vor allem während der heißen Sommermonate immer wieder formulierter Wunsch an

das Gebäudemanagement ist. Diese wurden in der Vergangenheit ohne wissenschaftliche Untersuchung kategorisch abgelehnt, da die Umbau- und Betriebskosten als erheblich und im Missverhältnis zum tatsächlichen Nutzen eingestuft wurden. Das vorliegende Projekt soll anhand eines Raumtemperatur-Monitorings einen möglichen Bedarf der Klimatisierung ermitteln. Dazu wurden beispielhafte öffentliche Räume untersucht wie in Abb. 3.1 veranschaulicht. In Schulen und Sporthallen sowie einer weiteren Anzahl kleinerer Gebäude mit Vereins- oder Schulnutzung entfällt eine detaillierte Untersuchung der sommerlichen Raumtemperaturen. Hier ist eine Kühlung nicht relevant genug, da ein Großteil des kritischen Zeitbereichs in die sechswöchigen Sommerferien fällt und außerdem während der warmen Jahreszeit viel mehr Aktivitäten im Freien stattfinden.



Abb. 3.1: Stadtplan Ostfildern mit den messtechnisch untersuchten Liegenschaften

Messtechniken

Eine automatisierte Temperaturmessung mittels der für die Heizperiode integrierten Einzelraumregelungen wurde mit Hilfe der Gebäudeleittechnik des Heinrich-Heine-Gymnasium und der Erich-Kästner-Grundschule im Sommer 2009 durchgeführt. Um ein möglichst detailliertes Abbild der Temperaturverteilung im Gebäude zu erhalten, wurden wie in Abb. 3.2 zu sehen die von der Gebäudeleittechnik aufgezeichneten Temperaturen der Einzelraumregelungen ausgewertet.

Hierbei ist – trotz automatisierter Aufzeichnung – nicht von einer lückenlosen Datenaufzeichnung auszugehen. Auch eine derartige Dokumentation muss ähnlich wie die Erfassung mittels mobiler Messtechnik immer wieder überwacht und kontrolliert und gegebenenfalls neu eingerichtet und Fühler entsprechend kalibriert werden.

In den Gebäuden, in denen keine zentrale Gebäudeleittechnik zur Datenerfassung vorhanden ist, musste alternativ mit mobiler Messtechnik gearbeitet werden. Hierfür wurden marktgängige Datenlogger, wie in Abb. 3.3 dargestellt, eingesetzt, die überwiegend in zu Überhitzung neigenden Räumen positioniert wurden. Mit den flexibel einsetzbaren Geräten lässt sich zuverlässig und unkompliziert ein Temperaturprofil in beliebiger zeitlicher Auflösung erstellen.

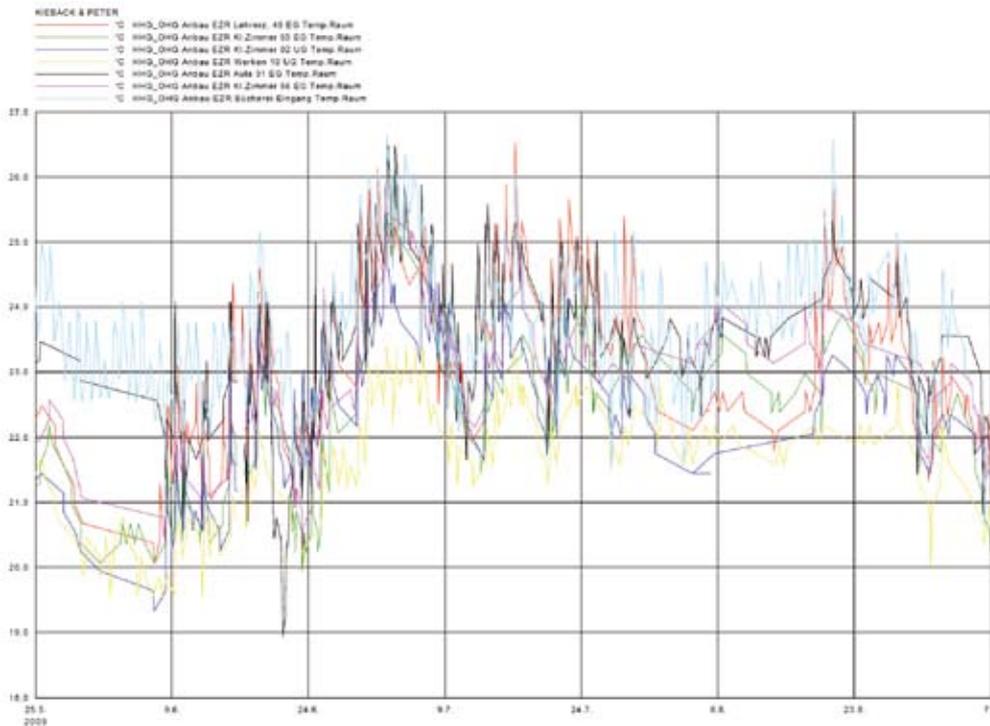


Abb. 3.2: Auszug aus der Datenaufzeichnung der GLT im Heinrich-Heine-Gymnasium in Ostfildern-Nellingen



Abb. 3.3: Datenlogger als Temperaturstick

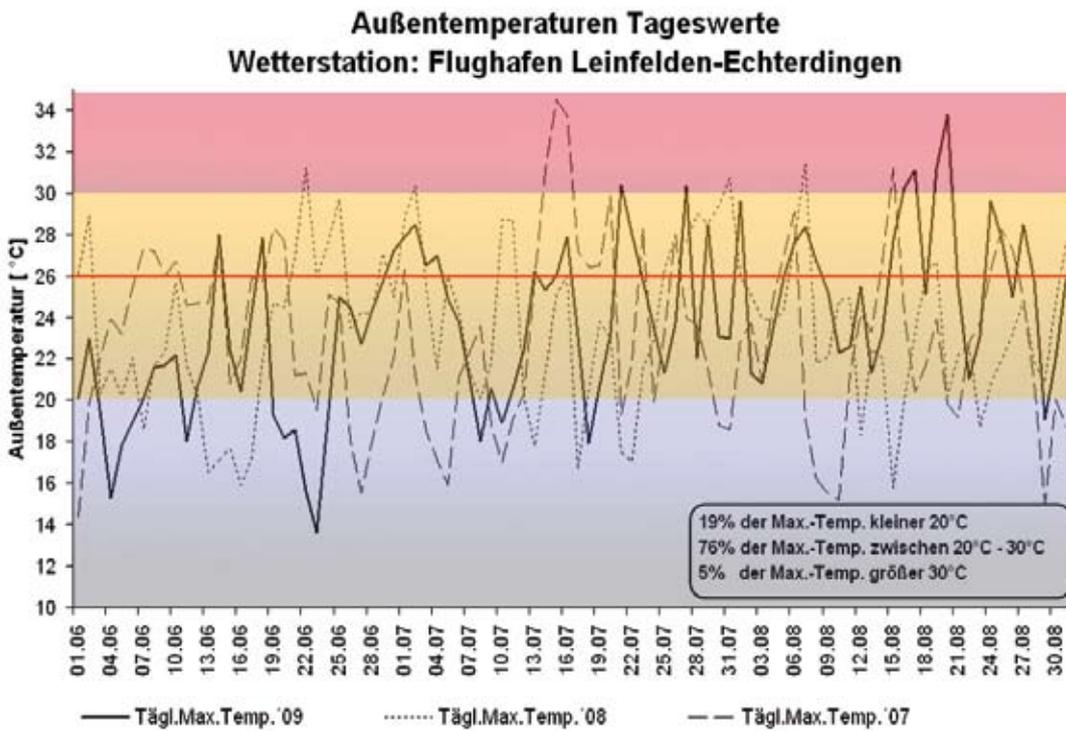


Abb. 3.4:
DWD-Wetterwerte Übersicht tägliche
Maximaltemperaturen in den Sommer-
monaten der Jahre 2007 - 2009

Außentemperaturen

Die für die folgenden Auswertungen zu Grunde gelegten Außentemperaturdaten sind Messwerte des Deutschen Wetterdienstes der Messstation Flughafen Stuttgart gemäß Abb. 3.4. Betrachtet wurden die warmen Sommermonate in einem Zeitraum von Anfang Juni bis Anfang September seit 2007 mit Schwerpunkt im Jahr 2009. Die außerhalb des genannten Betrachtungszeitraums auftretenden Stunden mit Übertemperatur können in der Regel vernachlässigt werden, da die entsprechend der Jahreszeit niedrigen Nachttemperaturen zu einer raschen Temperaturabsenkung in den Gebäuden führt. Die untersuchten Sommerperioden zeichneten sich nicht durch überdurchschnittliche Temperaturen aus und die Tagesmaximaltemperaturen überschritten nur selten die 30°C Marke. Eine lang anhaltende Periode mit „tropischen Nächten“ nicht unter 20°C entsprechend dem Sommer 2003 war im Untersuchungszeitraum nicht zu verzeichnen.

Um das thermische Verhalten von Gebäuden bei Überhitzung detailliert untersuchen zu können, sind optimalerweise längere Phasen mit Tageshöchstwerten von über 30°C, sowie tropischen Nächten notwendig. Da diese im untersuchten Zeitraum

praktisch nicht vorhanden waren, stellen die Ergebnisse den besten anzunehmenden Fall dar. Da nach dem derzeitigen Wissensstand allerdings davon ausgegangen werden kann, dass wir in unseren Breiten eine Temperaturerhöhung erfahren, verschärft sich wahrscheinlich die Situation für die untersuchten Gebäude.

Gebäudeauswahl

Aus dem Gebäudebestand der Stadt Ostfildern wurden die in der Tabelle aufgeführten Objekte zur detaillierten Untersuchung ausgewählt: >>> (siehe Tabelle rechts)

Während im Klosterhof und im Rathaus Ruit von einer durchgängigen Besetzung der Gebäude auszugehen ist, ist im Kulturzentrum An der Halle und in der Festhalle Kemnat eine geringere sommerliche Nutzung durch die Ferien im August zu berücksichtigen.

Übersichtstabelle der messtechnisch untersuchten öffentlichen Gebäude in Ostfildern

Gebäudename, Nutzung & Baujahr/Sanierung	Beschreibung Bausubstanz	Tendenz zur Überhitzung	Mögliche Maßnahmen Passive Kühlung	Mögliche Maßnahmen Hybride Kühlung
 <p>Klosterhof 4 Verwaltungsgebäude Baujahr 1565</p>	UG massiv EG Fachwerkbau; Dämmniveau = schlecht Geringer Glasanteil der Fassade; Sonnenschutz = Vorhänge innen	DG: mittel; EG: gering; UG: keine	Ggf. freie Nachtlüftung über Fenster	Mögliche Nutzung der Speichermassen im UG durch Luftaustausch mit den oberen Geschossen
 <p>Klosterhof 6 Verwaltungsgebäude Baujahr 1908; Sanierung 1988</p>	Massivbauweise mit Sparrendach; Dämmniveau = mittelmäßig Geringer Glasanteil der Fassade; Sonnenschutz = außenliegende Jalousien	DG: mittel; OG: mittel; EG: gering	Ggf. freie Nachtlüftung über Fenster	
 <p>Klosterhof 10 Verwaltungsgebäude Baujahr 1954; Sanierung 2007</p>	Massiv im UG/EG; Fachwerk im OG/DG; Dämmniveau = sehr gut (Dach; Fenster; Fassade) Geringer Glasanteil der Fassade; Sonnenschutz = außenliegende Fensterläden	DG: mittel; OG: mittel; EG: keine	Ggf. freie Nachtlüftung über Fenster und durch das Treppenhaus.	Mögliche Nutzung der Speichermassen im UG durch Luftaustausch mit den oberen Geschossen
 <p>Klosterhof 12 Verwaltungsgebäude Baujahr 1599; Sanierung 1989</p>	Massives Natursteinmauerwerk; Holzdachstuhl DG Dämmniveau = mittelmäßig Geringer Glasanteil der Fassade; Sonnenschutz=außenliegende Fensterläden	DG: gering; OG: gering; EG: keine	Ggf. freie Nachtlüftung über Fenster und durch das Treppenhaus.	Mögliche Nutzung der Speichermassen im EG durch Luftaustausch mit den oberen Geschossen
 <p>Rathaus Ruit Verwaltungsgebäude Baujahr 1963 Fenstersanierung 2000</p>	Betonskelettbau mit Massivdecken & innenliegendem Treppentrium Dämmniveau = schlecht Mittlerer Fensterflächenanteil Sonnenschutz = außenliegende Jalousien	DG Süd/West-seite: mittel; sonst: gering	Ggf. freie Nachtlüftung über Fenster	Nutzung des Kriechkellers für Luftansaugung im Sommer
 <p>Kulturzentrum An der Halle Kulturelle Veranstaltungen Baujahr 1989</p>	Massivbauweise mit Flachdach Dämmniveau = mittel Mittlerer Fensterflächenanteil Sonnenschutz = außen liegende Markisen	Teilweise hoch (Doppelverglasung) sonst: gering	Freie Nachtlüftung über Flur	Mechanische Lüftung über den Flur
 <p>Festhalle Kemnat Kulturelle Veranstaltungen Baujahr 1965</p>	Massivbauweise Dämmniveau = schlecht Mittlerer Fensterflächenanteil kein Sonnenschutz	Festhalle: gering; Übrige Räume: keine bis gering	Sonnenschutz außenliegend; ggf. freie Nachtlüftung	Mechanische Lüftung zur Nachtkühlung (Außenluft)
 <p>Jugendtreff Scharnhauser Park Jugendhaus Baujahr 2007</p>	Massivbauweise Sehr gute Dämmhülle; Komplettverglasete Fassade zum Innenhof (Süd-/Ostseite) Massive Erdüberdeckung des Gebäudevolumens Sehr niedrige Wärmeverbrauchswerte	Keine		Direkte Kühlung über Erdsonden und Fußboden vorhanden (Heizung über Wärmepumpe); wird aber in der Praxis nicht genutzt

Abb. 3.5:
Übertemperaturstunden ausgewählter Räume mit sommerlichen Innentemperaturen >26°C, >27°C und >28°C

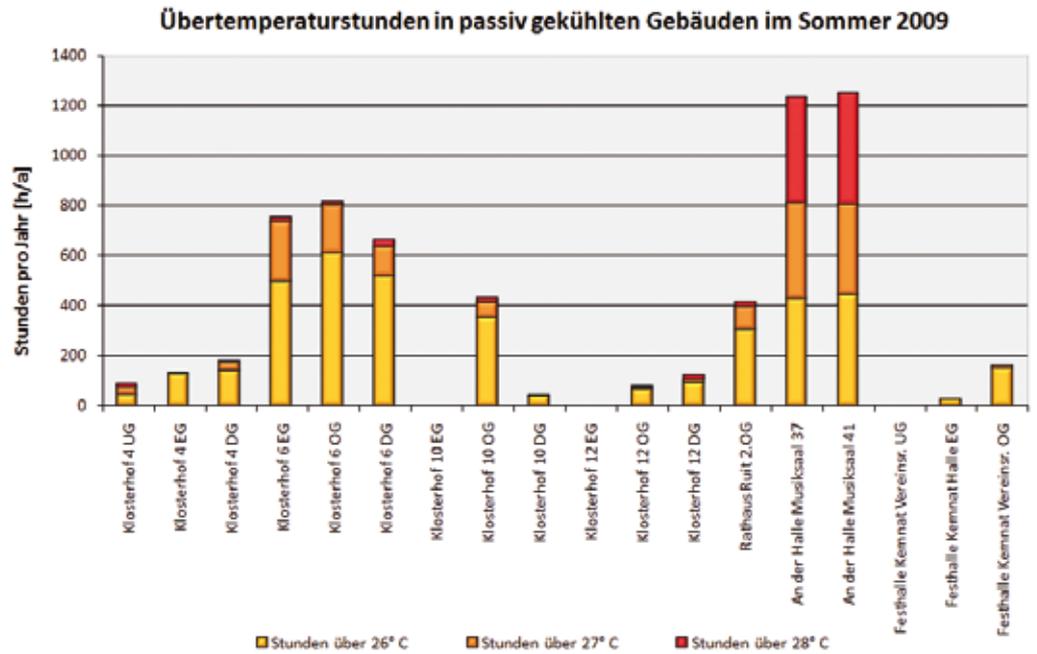


Abb. 3.6 - 3.8: Jugendtreff Technik
(Erdsonde mit Bohrung;
Fußbodenheizung/-kühlung)

Auswertungsübersicht und Bewertung der Ergebnisse

Die Gebäude Festhalle Kennnat, Klosterhof 4 und 12 sind wie in Abb. 3.5 ersichtlich ohne wesentliche sommerliche Beeinträchtigungen. Im jüngsten Gebäude Jugendtreff Scharnhäuser Park aus dem Jahr 2007 wurde während der vergangenen Sommer die direkte Kühlung über die vorhandenen Erdsonden kaum aktiviert. Durch die massive Erdüberdeckung und die sehr gute Dämmhülle bleibt das Gebäude im Sommer kühl, so dass auch während warmer Sommertage kein Anlass gegeben war, die Kühlung über die Erdsondenbohrung (siehe Abb. 3.6 - 3.8) zu aktivieren.

Im Klosterhof 6 und 10 sowie im Rathaus Ruit ist teilweise mit Beeinträchtigungen vor allem in den Extreträumen der oberen Geschosse mit Süd- bzw. Westausrichtung zu rechnen. Im Kulturzentrum An Der Halle, vor allem in der Gebäudezone der Musikschule zur Südwestfassade mit der aus Schallschutzgründen realisierten Doppelfassade, gibt es erhebliche Beeinträchtigungen, die allerdings auch stark nutzungsabhängig sind.

Optimierung der Kühlkonzepte passiv gekühlter Gebäude

Generell ist festzuhalten, dass aus den Temperaturmessdaten der verschiedenen Räume kein flächendeckender Klimatisierungsanspruch abzuleiten ist. Beispielsweise wurden in nahezu allen gemessenen Erdgeschoss- und Obergeschossräumen keine oder nur minimale Überschreitungen der 26°C-Grenze im Sommer festgestellt.

Trotzdem lassen sich für die Extremräume beispielsweise in Dachgeschossen verschiedene Optimierungsstrategien aus den Ergebnissen ableiten.

Detailbetrachtung Räume Musikschule Kulturzentrum An Der Halle

Ein konsequentes Lüftungsverhalten der Nutzer bewirkt eine deutliche Minderung der Spitzenwerte. Das Gegenteil ist beispielsweise im sommerlichen Temperaturverhalten der Räume im Kulturzentrum An der Halle zu sehen, wo aufgrund der Sommerpause und fehlendem Einfluss der Nutzer die Räume deutlich überhitzen. Es finden während dieser Zeit keine Kurse statt und somit keine passiven Kühlungsmaßnahmen wie natürliche Lüftung der Doppelfassadenverglasung (Abb. 4.1) in den Morgen-, Abend- und Nachtstunden.

Auch während des warmen Wochenendes Anfang Juli verursacht der fehlende Nutzereinfluss sehr rasch dauerhafte Temperaturen über der Behaglichkeitsgrenze von 26°C wie in Abb. 4.2 ersichtlich. Dies zeigt auf der einen Seite, dass eine passive Kühlung im begrenzten Rahmen gut funktioniert, auf der anderen Seite ist ersichtlich, dass dieses Betreibermodell fehleranfällig ist und die verminderten Spitzenwerte keineswegs garantiert werden können. >>>



Abb. 4.1:
Kulturzentrum An der Halle;
Kursraum Musikschule

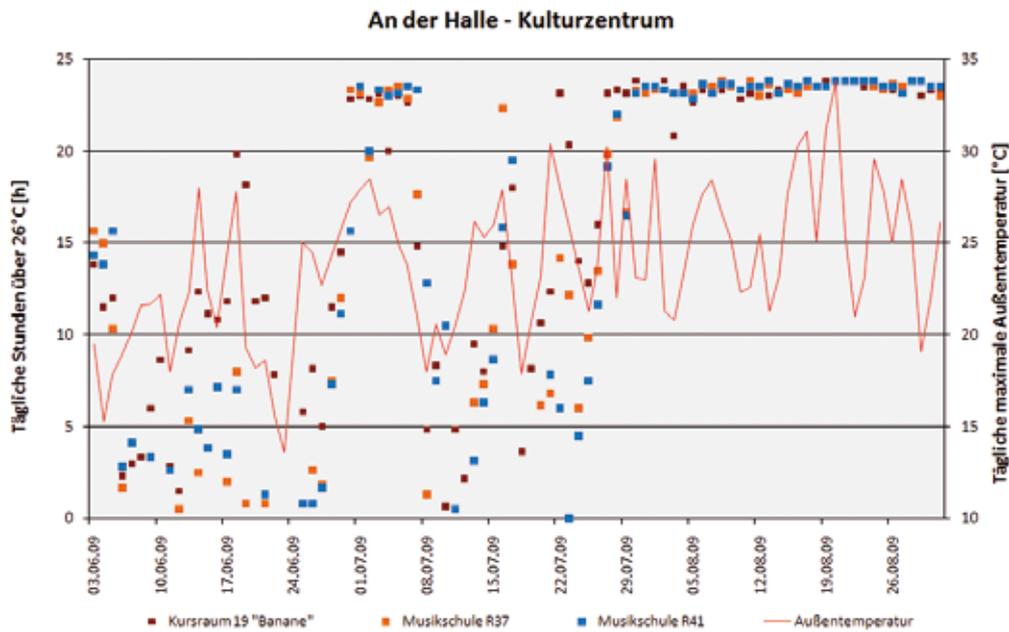


Abb. 4.2: Kulturzentrum An der Halle; Tägliche Stunden über 26°C in den untersuchten Räume

Bei den Räumen der Musikschule im Kulturzentrum An der Halle besteht Verbesserungsbedarf bezüglich der sommerlichen Raumtemperaturen.

Neben der dringend notwendigen freien Lüftung während der Morgen- und Nachtstunden wird darüber nachgedacht die teilweise vorhandene manuell schaltbare Lüftung dahin gehend zu automatisieren, dass während Hitzeperioden außerhalb der Sommerferien für einen Luftaustausch mit den wesentlich kühleren Flurbereichen gesorgt werden kann. So wird mittels dieser Maßnahme eine Temperaturminderung von ca. 2-3 Kelvin bewirkt.

Detailbetrachtung Klosterhof 10 mit Sanierung im Jahr 2007/2008

Eine energetische Sanierung mit entsprechender Verbesserung der Dämmhülle bringt nicht nur im Winter eine Reduktion des Heizenergieverbrauchs, sondern auch im Sommer eine deutliche Verbesserung der thermischen Eigenschaften und eine damit verbundene Reduktion der Übertemperaturstunden. Dies konnte im Rahmen des Projekts anhand der energetischen Sanierung, zu sehen in Abb 4.3, des Klosterhof 10 im Jahr 2007/2008 nachgewiesen werden. Hier wurden vor und nach der Maßnahme Messwerte erfasst und es konnten deutliche Minderungen der Überschreitungen des sommerlichen Temperaturgrenzwerts beobachtet werden. >>>



Abb. 4.3: Klosterhof 10 während der energetischen Sanierung 2007

In Abb. 4.4 ist zu sehen, dass vor der Sanierung, im Jahr 2007, an mehr als 380 Stunden pro Jahr im untersuchten Dachgeschossraum die Grenztemperatur von 26°C überschritten wurde. Durch die Sanierungsmaßnahmen konnten diese gemäß Abb. 4.5 auf 39 Stunden pro Jahr reduziert werden, wobei die äußeren Bedingungen in den beiden Jahren vergleichbar sind. Die Ergebnisse für das Jahr 2009 sind in Abb. 4.5 dargestellt. Der Klosterhof 10 verfügte bis zum Jahr 2008 im Obergeschoss über einen aktiv gekühlten Serverraum. Dieser wurde im Zuge einer energetischen Sanierungsmaßnahme in die Kellerräume

des Gebäudes verlegt. Dabei konnte nicht zuletzt durch die Stilllegung des alten Verflüssigers eine erhebliche Reduzierung des elektrischen Energieverbrauchs erzielt werden. Die umfangreiche Abwärmemenge, die durch natürliche Ventilation abzuführen waren, trugen zusätzlich zur Überhitzung der Dachgeschossräume bei. Durch die Verlegung der Serverräume konnten somit neben den Energieeinsparungen wesentliche Verbesserungen für das thermische Verhalten der Büroräume im Dachgeschoss erzielt werden.

Abb. 4.4:
Klosterhof 10; Dachgeschossraum;
Tägliche Stunden über 26°C im
Sommer 2007 vor der energetischen
Sanierung

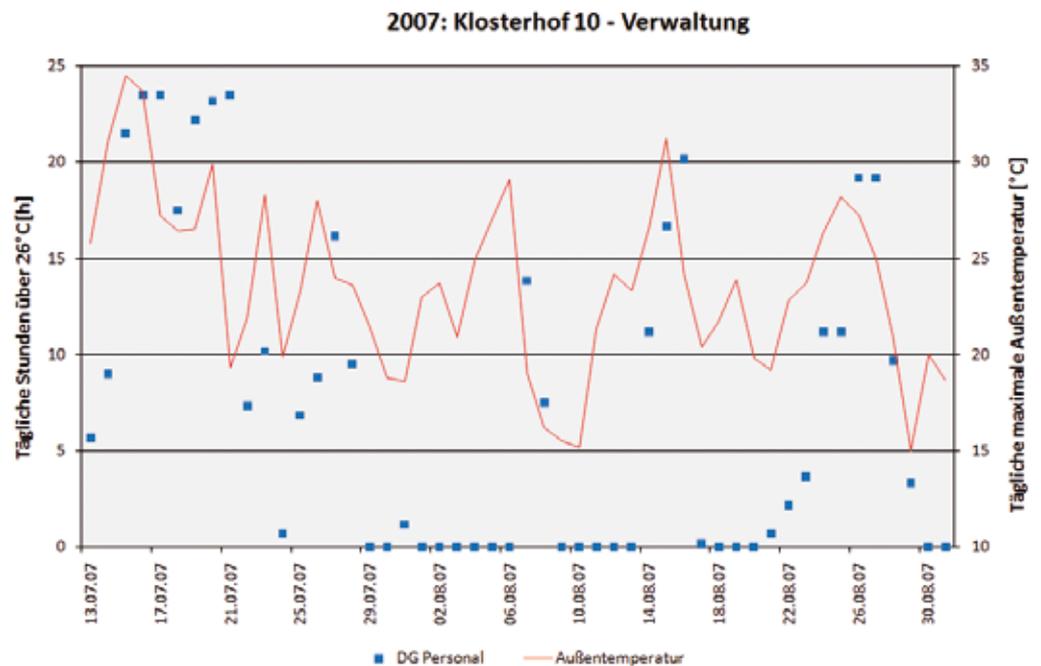
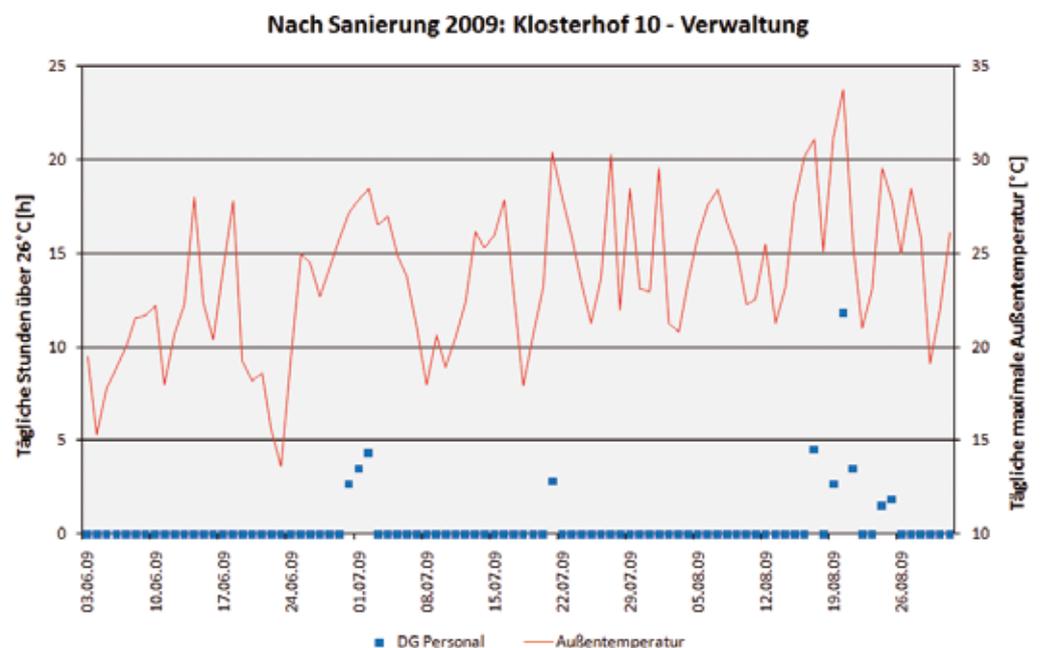


Abb. 4.5:
Klosterhof 10; Dachgeschossraum;
Tägliche Stunden über 26°C im
Sommer 2009 nach der energetischen
Sanierung



Konzepte für regenerative aktive Kühlung

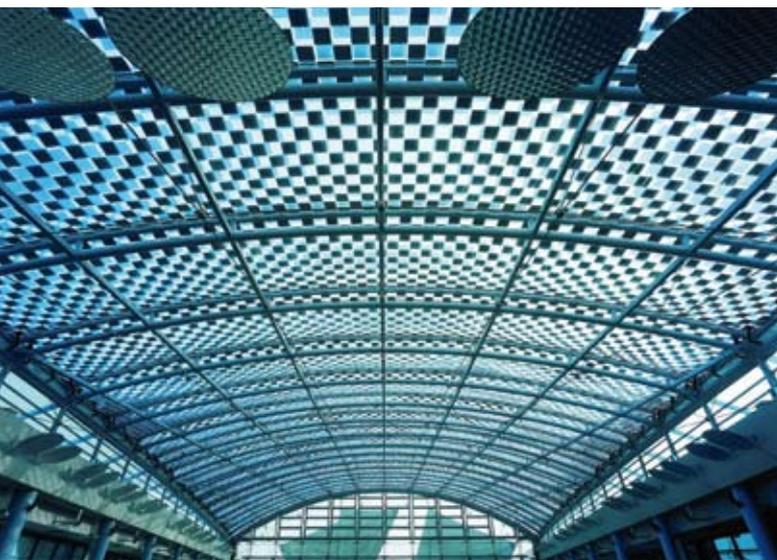


Abb. 5.1: Innovatives Verschattungssystem im Atrium des Technologiezentrums der Festo AG (Quelle: Festo AG & Co. KG)

In Deutschland ist ein stetiger Anstieg des Klimatisierungsbedarfs zu verzeichnen (Abb. 5.2). Dies ist zum einen der Anpassung an die sich verändernden klimatischen Bedingungen geschuldet, zum anderen allerdings auch einem wachsenden Komfortanspruch und den immer besseren technischen Möglichkeiten zu deren Umsetzung. So hat sich die gekühlte Fläche in den letzten 10 Jahren fast verdoppelt.

Die Preisentwicklung für Strom zeigt ebenfalls einen ansteigenden Verlauf und hat im selben Zeitraum um mehr als 35% zugelegt.

Bei dieser Entwicklung wird es für die Betreiber von Industrie- und Verwaltungsbauten zunehmend interessanter, primärenergieeffiziente Kühlkonzepte zur sommerlichen Klimatisierung umzusetzen. Wo konventionelle Kälteerzeugung ihre Energie vor allem aus Strom und fossilen Brennstoffen zieht, setzen innovative Kühlkonzepte auf regenerative Energieerzeugung. Im Folgenden werden zwei Bürogebäude mit innovativen Kühlkonzepten vorgestellt.

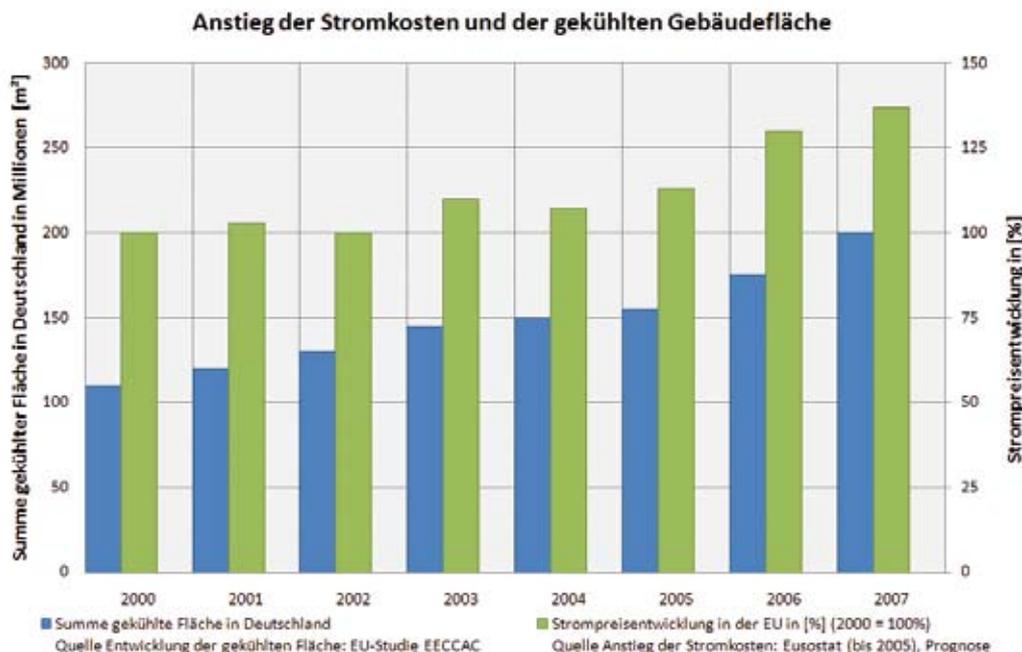


Abb. 5.2: Nahezu eine Verdopplung der gekühlten Flächen in Deutschland im Zeitraum 2000 bis 2007. Parallel dazu zeigt die Strompreisentwicklung in der EU für denselben Zeitraum eine Zunahme um mehr als 35%.



Abb. 5.3: Technologiezentrum der Festo AG in Esslingen Berkheim (Quelle: Festo AG & Co. KG)

Solarthermische Kälteerzeugung bei der FESTO AG & Co. KG

Die Kälteversorgung des innovativen Bürogebäudes der FESTO AG & Co. KG (siehe Abb. 5.1 und Abb. 5.3) in Esslingen mit ca. 25.000 m² Bruttogeschossfläche wird über mehrere Systeme gewährleistet. Ein Anteil von 55% der benötigten Kälte wird von drei Adsorptionskälteanlagen mit einer Gesamtkälteleistung von einem Megawatt erzeugt. Zusätzlich werden **thermisch aktivierte Bohrpfähle**, auf denen das Gebäude gegründet ist, zur unterstützenden Klimatisierung betrieben, die 35% des Kältebedarfs decken. Die restlichen 10% erfolgen über freie Kühlung. Die erforderliche Wärmeenergie zum Betrieb der **Adsorptionskältemaschinen** (Abb 5.6) kommt von einer in Abb 5.7 dargestellten 1330 m² großen Vakuumröhrenkollektoranlage. Darüber hinaus wird die Abwärme der im Werk zur Produktion eingesetzten Kompressoren genutzt. Eine schematische Darstellung des Konzeptes für den Winter- bzw. den Sommerfall ist in Abb. 5.4 und 5.5 dargestellt. Nur bei höherer Kälteanforderung, beispielsweise zur Kühlung von Serverräumen, muss zusätzlich Energie aus Gaskesseln zur Verfügung gestellt werden. Die Kälteverteilung erfolgt im Gebäude über die Lüftungsanlage, die ebenso wie die thermisch aktivierten massiven Geschossdecken über die Adsorptionskältemaschinen gekühlt werden. Weiterhin werden die thermisch aktivierten Bohrpfähle zur Kühlung der Betonkernaktivierung genutzt. Im Winter wird die Wärme aus der Solaranlage zusätzlich zur Heizung genutzt, als Verteilsystem dient auch hier die Betonkernaktivierung.

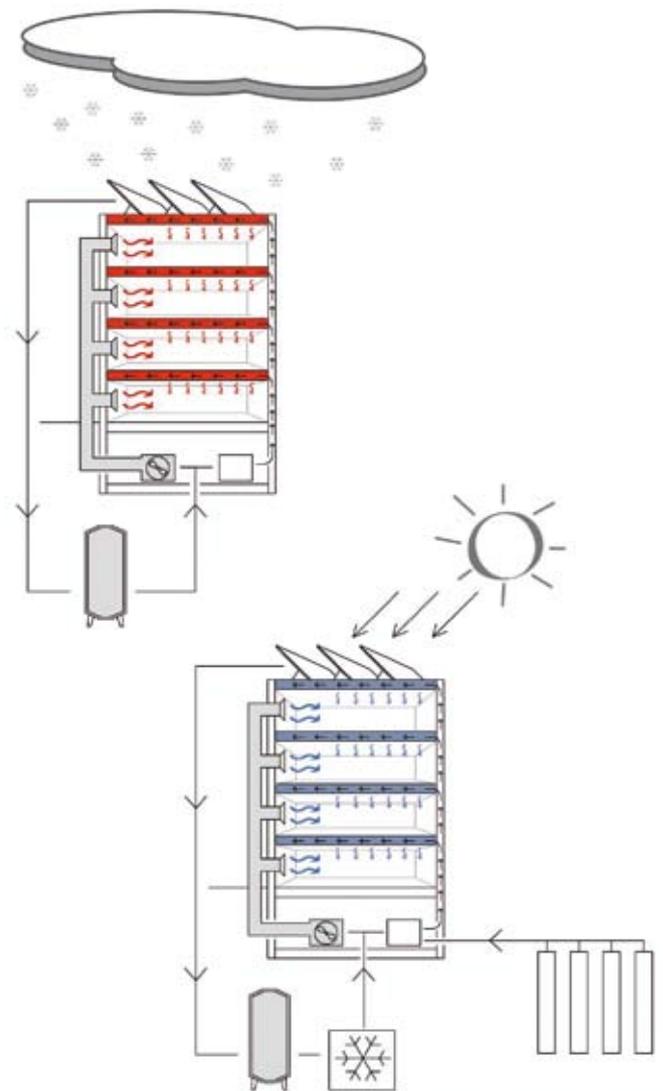


Abb. 5.4 u. 5.5: Schematische Darstellung des Kühl- bzw. Heizkonzeptes im Technologiezentrum der Firma Festo in Esslingen Berkheim. Sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen kommt thermische Solarenergie zum Einsatz. Die Verteilung erfolgt über die Lüftungsanlage bzw. die in allen Stockwerken integrierte Bauteilaktivierung.



Abb. 5.6: Adsorptionskältemaschine der Firma Festo
(Quelle: Festo AG & Co. KG)



Abb. 5.7: 1330 m² Röhrenkollektoranlage der Firma Festo
(Quelle: Festo AG & Co. KG)



Abb. 5.8: Scharnhäuser Park

Absorptionskältemaschine und Adsorptionskältemaschine

Absorptionskältemaschine

Die Kältemaschine arbeitet ähnlich wie eine Kompressionskältemaschine, allerdings findet die Verdichtung durch eine temperaturbeeinflusste Lösung des Kältemittels einer sogenannten thermischen Verdichtung statt. Verwendete Stoffpaare sind Ammoniak-Wasser oder Lithiumbromid-Wasser.

Adsorptionskältemaschine

Für den Prozess wird ein festes Sorptionsmaterial genutzt (z.B. Silikagel), von dem das Kältemittel adsorbiert wird. Dieser Vorgang wird zur Kühlung genutzt. Bei der Desorption muss das Kältemittel unter Wärmezufuhr wieder ausgetrieben werden. Der Prozess läuft diskontinuierlich ab, da aufgrund des als Feststoff vorliegenden Sorptionsmaterials in zwei getrennten Kammern ad- bzw. desorbiert werden muss.



Abb. 5.9: Thermisch aktivierte Bohrpfähle

Thermisch aktivierte Bohrpfähle

Die auch als Energiepfähle bezeichneten Bohrpfähle nutzen Ihre Doppelfunktion zur statischen Gründung und gleichzeitig als Wärmetauscher mit dem Erdreich zur Kühlung im Sommer sowie als Grundlast der Beheizung im Winter. Zur Unterstützung wird dann eine Wärmepumpe benötigt.



Abb. 5.10: Elektror Airsystems GmbH
(Architektur: Tobias Jörn, Architektur fotografie: Frank Aussiecker – www.homebase2.com)

Kälteerzeugung über ein Biomassekraftwerk bei der Elektror Airsystems GmbH

Das 3300 m² umfassende Bürogebäude der Firma Elektror ist an ein kommunales Nahwärmenetz im Scharnhäuser Park angebunden. Die bereitgestellte Wärme wird von einem ORC Prozess basierten Biomassekraftwerk produziert. Mit der Wärme wird im Winter der komplette Heizenergiebedarf des Gebäudes gedeckt, wofür eine Heizleistung von 110 kW notwendig ist. Im Sommer wird mit der im Kraftwerk produzierten Wärme der größte Teil der zur Gebäudeklimatisierung benötigten Kälte erzeugt. Mit der bereitgestellten Wärme wird eine 105 kW Absorptionskältemaschine betrieben. Das Gebäude

ist auf 112 thermisch aktivierten Bohrpfehlen gegründet, die im Sommer zusätzlich zur Kühlung des Gebäudes genutzt werden. Als Verteilsystem dient ebenso wie bei Festo eine Bauteilaktivierung, welche die gesamten Geschossflächen mit 3300 m² umfasst. Die Bauteilaktivierung wird zu 100% von der Kältemaschine versorgt. Mit den aktivierten Decken wird ein Großteil der anfallenden Kälte last abgedeckt. Im Winter dient die Bauteilaktivierung zur Abdeckung der Heizgrundlast. Die Lüftungsanlage ist mit den Energiepfählen gekoppelt und deckt den verbleibenden Kältebedarf des Gebäudes. Die schematische Darstellung beider Fälle ist den Abbildungen 5.11 u. 5.12 zu entnehmen.

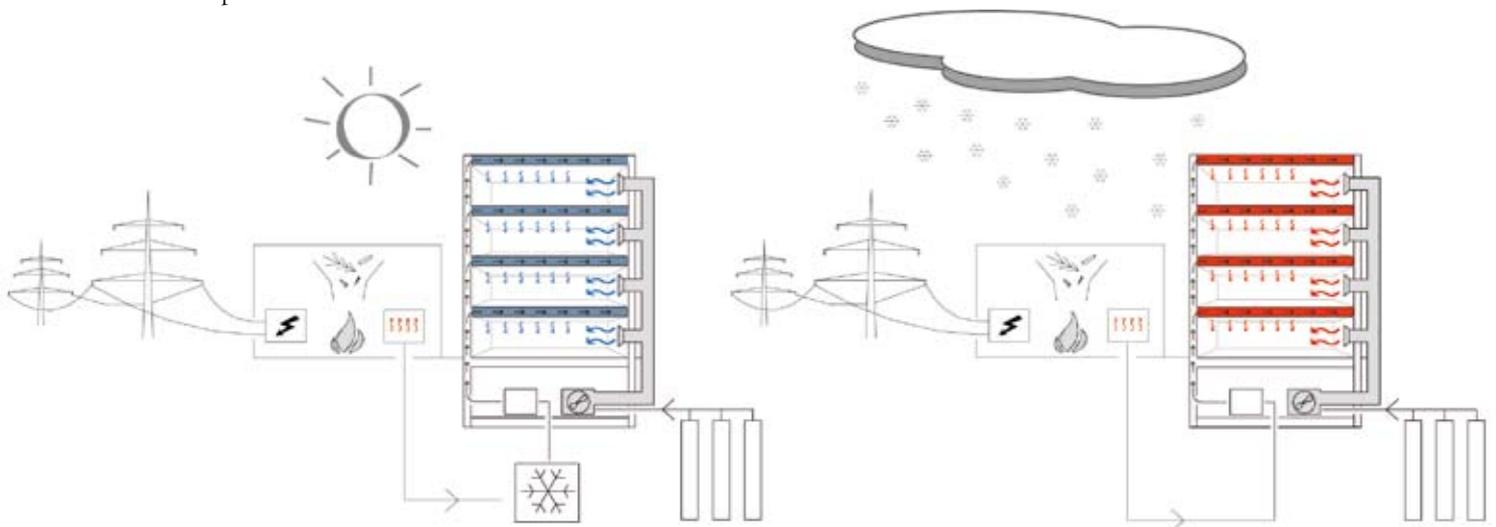


Abb. 5.11 u. 5.12: Anbindung des Blockheizkraftwerkes „Scharnhäuser Park“ über das Nahwärmenetz an das Bürogebäude der Firma Elektror Airsystems GmbH in Ostfildern Scharnhäuser Park. Im Sommer wird die beim ORC Prozess entstehende Abwärme zur Kälteerzeugung genutzt, im Winterfall wird direkt über die Wärme aus dem Nahwärmenetz geheizt.

Analyse aktiv gekühlter Gebäude

In der Regel kommen in aktiv gekühlten Gebäuden für die Kälte- und Wärmeverteilung mehrere Systeme, evtl. auch Erzeuger zum Einsatz. Für die Regelung werden meist systemspezifische Steuerungen verwendet, wobei kein Informationsaustausch zwischen den Systemen stattfindet. Um den Betrieb solcher Gebäude unter energetischen Gesichtspunkten zu optimieren, ist eine systemübergreifende Analyse notwendig. Hierfür muss ein ausreichend detailliertes Gebäudemonitoring aufgebaut und die Frage des Datenzugriffs geklärt werden. Ziel ist die unkomplizierte Fehleranalyse.

Gebäudemonitoring

Voraussetzung für eine energetische Gebäudebetriebsanalyse ist eine umfassende Datenerfassung inklusive Visualisierung und Datenverwaltung. Für eine Analyse mit der Zielsetzung der Betriebsoptimierung sind leistungsfähige Werkzeuge zur Datenauswertung notwendig. Problematisch ist allerdings, dass viele Gebäudeleittechniksysteme nur sehr eingeschränkte und unflexibel nutzbare Funktionen zum Energiemanagement anbieten. Außerdem gibt es oft – abgesehen von Zeitreihen – kaum Möglichkeiten zur übersichtlichen grafischen Darstellung der Energieverbrauchsdaten. Hier bieten Scatter- und Carpetplots, wie in Abb. 6.1 und Abb. 6.2 dargestellt, exzellente Möglichkeiten die komplexen Zusammenhänge umfangreicher Datenmengen zu visualisieren.

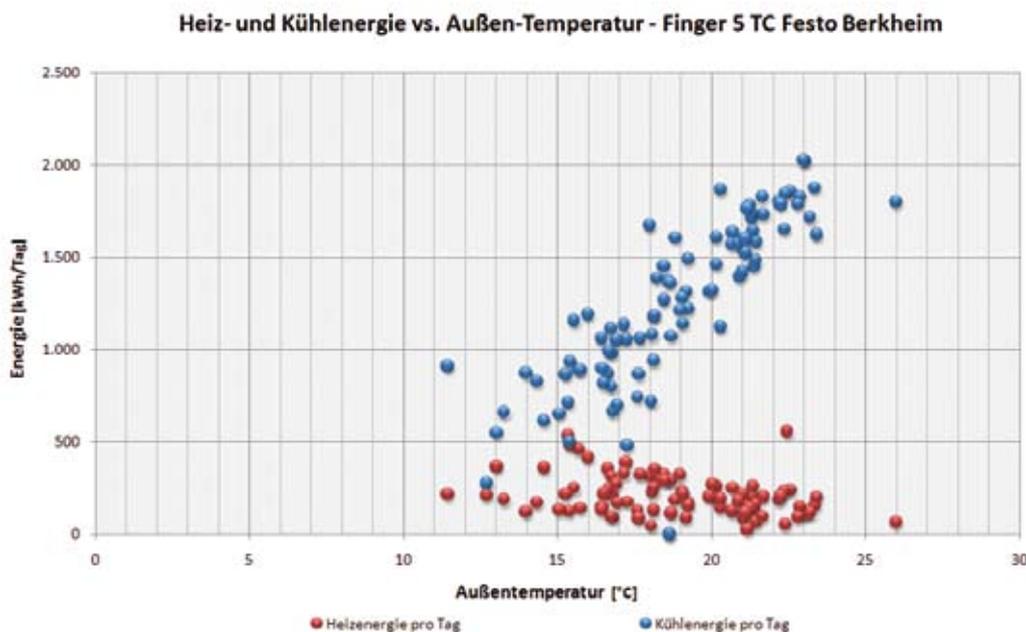


Abb. 6.1: Tagesenergieverbräuche in Scatterplotdarstellung. Das Diagramm zeigt exemplarisch die Heiz- bzw. Kühlenergie für einen Teilbereich des Festo Technologiezentrums. Bei den zugehörigen Temperaturen handelt es sich um 24h Mittelwerte. Dargestellt ist der Zeitraum von Juli bis September 2009. Scatterplots ermöglichen ein schnelles Erkennen von Unstimmigkeiten durch eine klare Darstellungsform, in der auch große Zeiträume übersichtlich erfasst werden können.

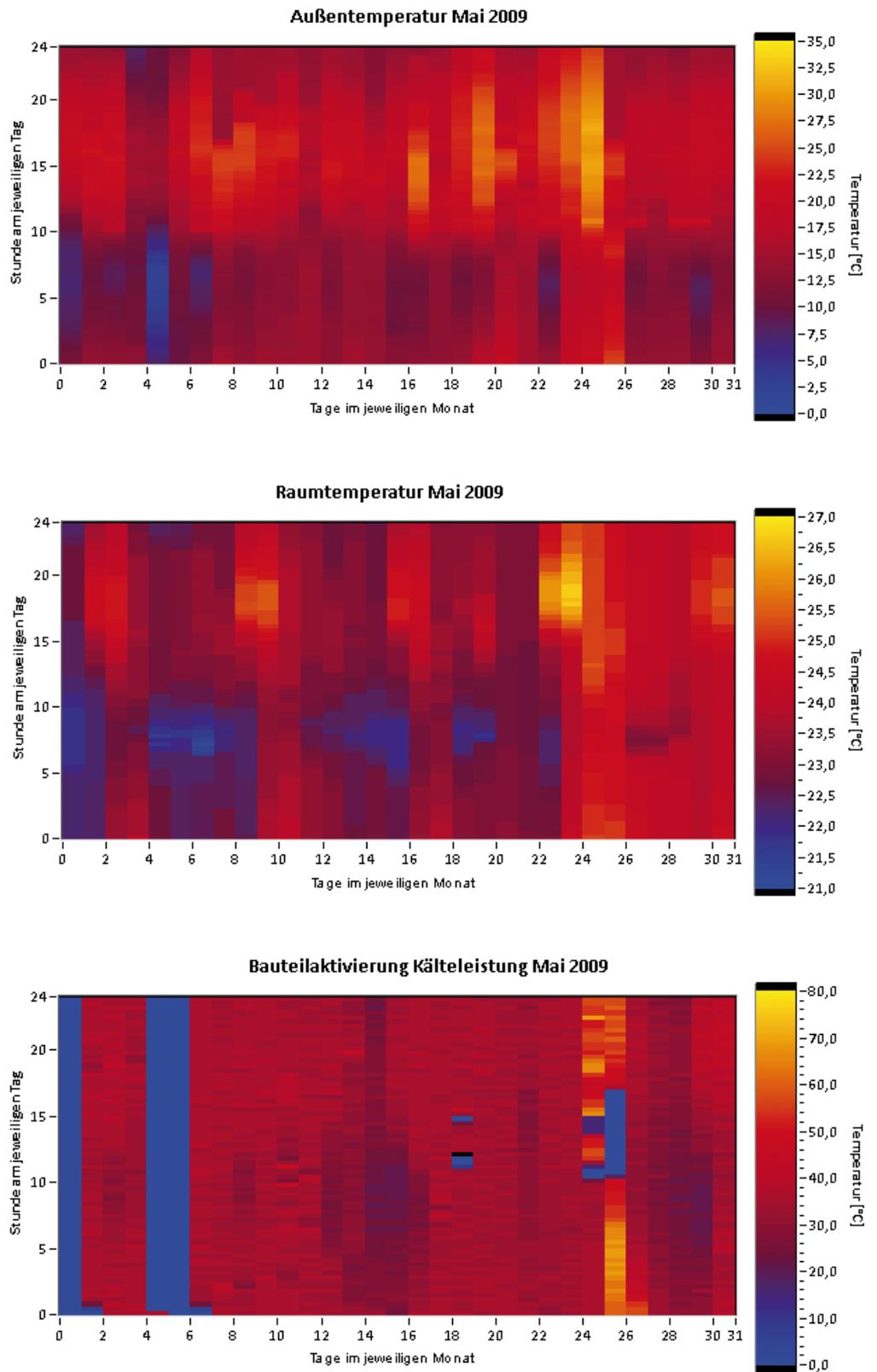


Abb. 6.2: Temperaturen und Leistung in Carpetplotdarstellung. Bei dieser Form der Messdatenvisualisierung lassen sich Fehler und Probleme im Gebäudebetrieb erkennen. Ein Nutzer kann aus den Diagrammen schnell erkennen, dass Anfang des Monats zwei reguläre Abschaltungen der Bauteilaktivierung erfolgten, wobei der Einbruch der Kälteleistung am 26. Mai zwischen 12:00 und 17:00 Uhr ungewöhnlich ist und eine Fehlfunktion darstellen könnte.

Die Anlagentechnik von Bestandsgebäuden ist meist nur mit Sensoren ausgestattet, die zur Steuerung und Regelung benötigt werden. Für eine energetische Überwachung und Bewertung ist allerdings eine wesentlich umfangreichere Datenerfassung notwendig. Zusätzliche Sensoren wie Energiemengenzähler für Strom, Wärme und Kälte sind hierfür erforderlich. Die Nachrüstung von Energiemengenzählern in die bestehende Anlagentechnik ist in der Regel aufwändig. Oft muss hierfür das Leitungsnetz aufgetrennt und entleert werden. Bei Industrie- und Verwaltungsbauten muss ein solcher Umbau im laufenden Betrieb realisiert werden. Neben den Hardware- und Installationskosten ergeben sich zusätzliche Kosten für die Integration der Energiemengenzähler in das Gebäudeleittechnik-System. Insgesamt bewegen sich die Kosten für einen nachträglich installierten Datenpunkt je nach Art und Größe zwischen 2.000 und 4.000 Euro. Für den Neubau gilt daher die frühe Integration des Messkonzepts schon während der Planungsphase, um nachträgliche, hohe Einbaukosten zu vermeiden.

Datenzugriff

Beim Thema Datenzugriff ist zunächst zu unterscheiden, ob die auflaufenden Zählerdaten intern im Netzwerk verarbeitet werden, oder ob ein Datenfernzugriff stattfinden soll. Letzteres erweist sich oftmals als problematisch, da aus Sicherheitsgründen die Kommunikationswege meist eingeschränkt sind. Der interne Zugriff indes ist i.d.R. unkompliziert und mit Standardlösungen zu realisieren. Eine der gängigsten Methoden ist die Einbindung eines **OPC Servers** (Object Linking and Embedding for Process Control). Mit einem derartigen Server können Messdaten temporär erfasst und für andere Systeme bereitgestellt werden. Die aktuellen Zählerdaten können somit von OPC Clients ausgelesen werden. Mit dem Client hat man an dieser Stelle die Möglichkeit, die Daten in einer Datenbank zu archivieren oder in Echtzeit zu visualisieren bzw. einem Simulationsprogramm zur Verfügung zu stellen. Für den Datenfernzugriff stehen keine Standardprogramme zur Verfügung. Die oben genannten Probleme erfordern individuelle Lösungen. Ein Beispiel wie ein solcher Fernzugriff realisiert werden kann ist in Abb. 6.3 dargestellt.



OPC Server

Object Linking and Embedding for Process Control
Der Server bietet die Möglichkeit Messdaten von unterschiedlichen Systemen zu erfassen und in Echtzeit zentral zur weiteren Verwendung bereitzustellen.

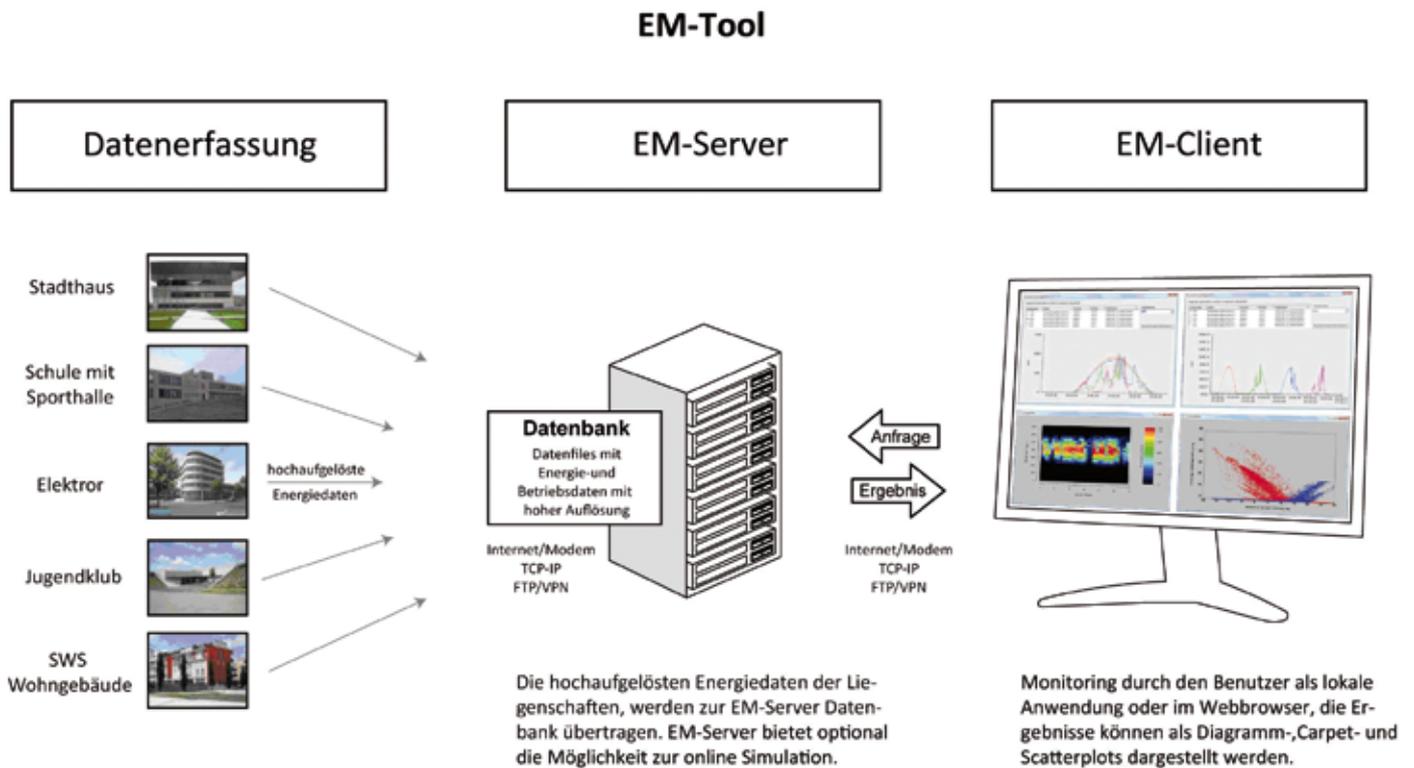


Abb. 6.3: Datenfernzugriff mittels eines an der Hochschule für Technik Stuttgart entwickelten Programms in Server – Client Architektur. Die auflaufenden Daten werden hierbei zentral auf einem Server archiviert, der innerhalb eines Firmennetzwerkes platziert sein kann. Der Zugriff auf den Server erfolgt über Clients, die von außerhalb des Netzwerks Daten abrufen können. Der Client selbst ist ein leistungsstarkes Analysewerkzeug mit umfangreichen Möglichkeiten der Visualisierung. Auf der Serverseite können die Daten online verarbeitet werden, z.B. mit einem Simulationsmodell. Die Ergebnisse können vom Client direkt abgeholt und visualisiert werden.

Ein Fernzugriff wird dann notwendig, wenn zentral mehrere Gebäude überwacht werden sollen, die nicht demselben Netzwerk angehören. Ein Beispiel hierfür sind die Liegenschaften von Städten und Kommunen. Über Internet oder Modem können die Messdaten abgerufen und vom Betreiber an einem beliebigen Ort über den Client analysiert werden. Dies spart Zeit und Wege und ermöglicht so den schnellen direkten Vergleich zwischen einzelnen Gebäuden.

Fehlererkennung

Eine wesentliche Aufgabe im Gebäudebetrieb ist die Fehlererkennung. Meist ist ein technisch gut gerüstetes Gebäude mit einer Leittechnik ausgestattet, die den Nutzer über mögliche Fehler informiert. Diese „Alarmierungen“ beinhalten in der Regel Meldungen über Funktionsstörungen, Ausfälle, Wartungsarbeiten oder das Über- bzw. Unterschreiten von Sollwerten. Was der Nutzer allerdings nur sehr spärlich oder gar nicht erfährt sind Informationen über die Effizienz des Gebäudebetriebs. Wenn ein Gebäude aus energetischer Sicht nicht optimal betrieben wird, so ist dies prinzipiell auch als Fehler einzustufen, allerdings ist die Erkennung und Bewertung weitaus schwieriger als in den oben genannten Fällen. Mit den erwähnten Visualisierungswerkzeugen kann ein Nutzer schnell erkennen, ob Anlagen innerhalb sinnvoller Parameter betrieben werden. Eine energetische Optimierung lässt sich beispielsweise durch Anpassung der Laufzeiten oder durch Harmonisierung von zwei oder mehr Einzelsystemen erzielen, die zur Klimatisierung dienen. Durch eine derartige Gebäudeanalyse ist in den meisten Fällen eine Reduzierung der eingesetzten Energie für Wärme und Kälte sowie des Stromverbrauchs für Pumpen und Ventilatoren von 20% möglich.

Energetische Optimierung des Gebäudebetriebs aktiv gekühlter Bauten

Um den Energiebedarf eines Gebäudes zu reduzieren, sind unterschiedliche Ansätze denkbar. Zunächst muss der Energieeinsatz zur Wärme- und Kälteerzeugung sowie deren Verteilung detailliert betrachtet werden. Hieraus ergibt sich bei einem Großteil der Gebäude ein deutliches Potential zur Energieeinsparung. Mit bereits beschriebenen Möglichkeiten zur Energiestromanalyse lässt sich darstellen, wie hoch die Einsparung durch reduzierte Laufzeiten oder eine optimierte Maschinenauslastung ist. Die Erkenntnisse der Energiestromanalyse stellen die Grundlage zur Anpassung der Regelung dar. Im einfachsten Fall führen Änderungen der **Setpoints** zu reduzierten Laufzeiten oder Leistungen. Hierfür werden lediglich die Sollwerte für Temperaturen, Ventilator Drehzahlen, Pumpenleistungen etc. verändert. Weiterführend kann durch eine Anpassung der Regelstrategie eine Harmonisierung unterschiedlicher Systeme erreicht werden. Zudem besteht die Möglichkeit intelligente Bausteine in die Regelung zu integrieren, mit deren Hilfe sich z.B. Daten aus der Wetterprognose verarbeiten lassen. Ebenso besteht die Möglichkeit, durch Simulation Daten für einen optimalen Betrieb zu ermitteln, die mit Echtzeitmessdaten verglichen werden. Abweichungen zum Modell geben dann online Aufschluss darüber, wo ein unerwartet hoher Verbrauch anliegt. Die folgenden Beispiele zeigen einige unterschiedliche Optimierungsmaßnahmen.

Optimierung der Klimatisierung im Technologiezentrum Festo durch Energiestromanalyse

Die Klimatisierung der Büroräume im Technologiezentrum der Firma Festo wird durch die Bauteilaktivierung und die Lüftungsanlage gewährleistet. Die vergleichsweise träge Bauteilaktivierung deckt die Grundlast des Kühlbedarfs und läuft durchgehend. Die wesentlich dynamischere Lüftungsanlage heizt bzw. kühlt je nach Bedarf. Zusätzlich dienen Umlufttruhen zur Einzelraumregelung für Besprechungsräume und vereinzelt Büros. Die getrennte Regelung der Systeme führt dazu, dass vor allem nachts gleichzeitig Heiz- und Kühlanforderungen an die Klimatisierung gestellt werden. Für den Sommerfall heißt das, die Bauteilaktivierung kühlt während die Lüftungsanlage sowie die Umlufttruhen heizen, um ein bestimmtes Temperaturniveau zu halten. Um diesen Energieaufwand zu reduzieren, wird mit einem Gebäudemodell das thermische Verhalten simuliert damit der Bedarf im Voraus abgeschätzt werden kann. Durch die optimierte Regelung können Primärenergieeinsparungen von 37% erreicht werden.

Setpoint

Setpoints sind Sollwerte, die über die Gebäudeleittechnik oder eine Automationsstation eingegeben werden können. Über diese Vorgabewerte werden die technischen Anlagen in einem Gebäude geregelt.

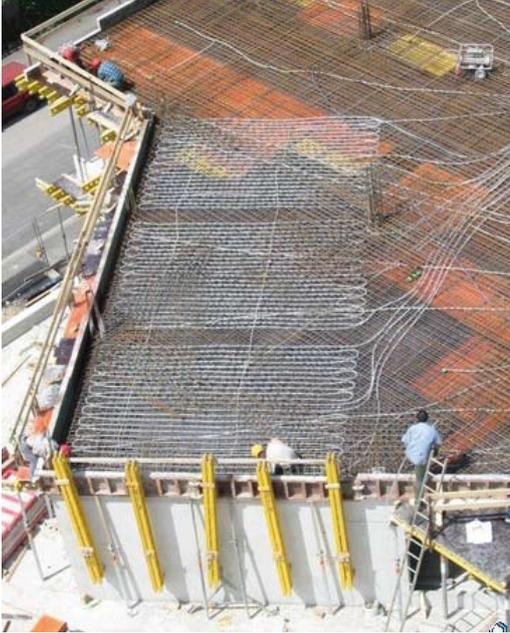


Abb. 7.1: Betonkernaktivierung mittels Rohrmatten



Abb. 7.2: Biomasseheizkraftwerk

Optimierung der Betonkernaktivierung bei Elektror durch prognosebasierte Regelung

Der sommerliche Kühlbetrieb der Betonkernaktivierung (Abb. 7.1) im Gebäude der Firma Elektror ist optimiert worden. Neben der Reduzierung des Energieaufwandes war auch eine Erhöhung des Komforts Ziel der Maßnahmen.

Die Geschossdecken werden mit Kälteenergie beladen, indem kaltes Wasser durch die im Bauteil integrierten Rohrregister zirkuliert. Aufgrund der enormen Trägheit des Systems besteht die besondere Herausforderung darin, ausreichend Kälteenergie für die am folgenden Tag zu erwartenden thermischen Lasten im Bauteil einzulagern.

Die vorhandene Steuerung arbeitet wie in vielen Gebäuden mit konstantem Volumenstrom und der aus dem 24 Stunden Mittelwert der Außentemperatur berechneten variablen Vorlauf-temperatur. Die Pumpen werden rund um die Uhr betrieben. Das führt zu einem unnötig hohen Stromverbrauch, denn die Pumpen sind in Betrieb, auch wenn überhaupt keine Kälte abgenommen wird, die Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf also gegen Null geht.

Durch die Integration der Wetterprognosen in Verbindung mit dem Impulsbetrieb lässt sich der elektrische Energieverbrauch der Pumpen um 70 % reduzieren. Bezieht man die Kälteversorgung in die Betrachtung mit ein, ergibt sich eine Reduzierung des gesamten Primärenergiebedarfs um 31 %.

Eine Reduzierung des erforderlichen Pumpenstroms ist möglich, indem die thermischen Massen des Gebäudes möglichst effektiv beladen werden. Eine konstant niedrige Vorlauf-temperatur von 18°C führt zu einer großen Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf. Der investierte Pumpenstrom wird also sehr effizient genutzt, indem während der Laufzeit ein Maximum an Kälte in die als Speicher wirkenden Decken eingebracht wird. Die Betriebszeit der Pumpen muss nun jedoch an die zu erwartende Kältelast des Gebäudes angepasst werden. Hierzu wurde ein Algorithmus entwickelt, der diese Aufgabe mit einem prädiktiven, also vorausschauenden Verfahren löst. Stündlich werden Wetterprognosen in Form von Stundenwerten für die kommenden 5 Tage per Webservice von einem Wetterdienstleister empfangen. Aus der Vorhersage der Außentemperatur und der solaren Einstrahlung wird die Kühllast des Gebäudes errechnet, die durch die Betonkernaktivierung abgeführt werden muss. Zusätzlich wird noch die Windstärke berücksichtigt, weil bei starkem Wind der außenliegende Sonnenschutz hochfährt, was bei gleichzeitig hoher Solarstrahlung zu einem hohen Wärmeeintrag in das Gebäude führt. Aus der Kühllast ergibt sich die notwendige Pumpenlaufzeit.

Die Beladung der Speichermassen kann entweder bevorzugt nachts erfolgen oder gleichmäßig verteilt über den ganzen Tag durch Intervallbetrieb der Pumpen. Die Nacht hat den Vorteil, dass die Kälte effizienter zur Verfügung gestellt werden kann, weil die Rückkühlung der Kältemaschinen bei niedrigen Außentemperaturen effektiver arbeitet. Bei Intervallbetrieb über 24 Stunden erhält man gleichmäßigere Deckentemperaturen und damit einen etwas höheren Komfort durch geringere Schwankungen der Raumtemperatur über den Tag. Abbildung 7.4 zeigt einen Zeitraum von 8 Tagen im Sommer 2009. Die Tageshöchsttemperaturen variieren stark zwischen 20 °C und 35 °C. Trotzdem bleiben die Raumtemperaturen der hier gezeigten beispielhaften Zonen in einem engen Temperaturfenster von 22°C bis 25,5°C. Der Pumpenbetrieb ist an der blauen Kurve zu sehen. Sie arbeiten in dem dargestellten Zeitraum im Intervallbetrieb. Gut zu erkennen ist der vorausschauende Betrieb der Steuerung. Noch bevor am zweiten Tag die Höchsttemperatur von 35°C erreicht wird, stoppen die Pumpen. Der Algorithmus weiß schon, dass die kommenden Tage eine starke Abkühlung bringen und verhindert durch die rechtzeitige Reduzierung der Kühlleistung eine zu starke Abkühlung des Gebäudes. Ohne das Wissen um die Wetterentwicklung wäre das nicht möglich. Die Betonkerntemperierung ist übrigens die einzige Möglichkeit, die hier gezeigten Zonen zu kühlen, sie wird nicht durch flinkere Systeme mit besserer Regeldynamik unterstützt.

Optimierung der Nachtlüftung im Solar Info Center (SIC) Freiburg durch eine prädiktive Regelung

Beim Gebäude des SIC (Abb. 7.3) ist für die Bürobereiche eine zentrale Abluftanlage je Gebäudekern vorgesehen. Sie hat zwei Funktionen: neben der Taglüftung während des ganzen Jahres, die Nachtlüftung im Sommer. Diese ist die einzige Möglichkeit die Bürobereiche zu kühlen.

Den Luftweg in den Bürozonon veranschaulicht Abb. 7.5. Die Außenluft wird dabei über die in die Fensterrahmen integrierten Zuluftelemente angesaugt. Die Luft strömt im oberen Fensterbereich in den Raum ein und wird über eine Blende in ein Kanalsystem abgesaugt, das die Luft über einen Volumenstromregler oder einen Bypass (bei Nachtlüftung) in den senkrechten Abluftkanal des Gebäudekerns führt. Zwei Abluftventilatoren je Gebäudekern sorgen auf dem Dach für den notwendigen Volumenstrom. >>>



Abb. 7.3: Solar Info Center (SIC) Freiburg, Quelle: Triolog GmbH (mit Genehmigung der Solar Info Center GmbH)

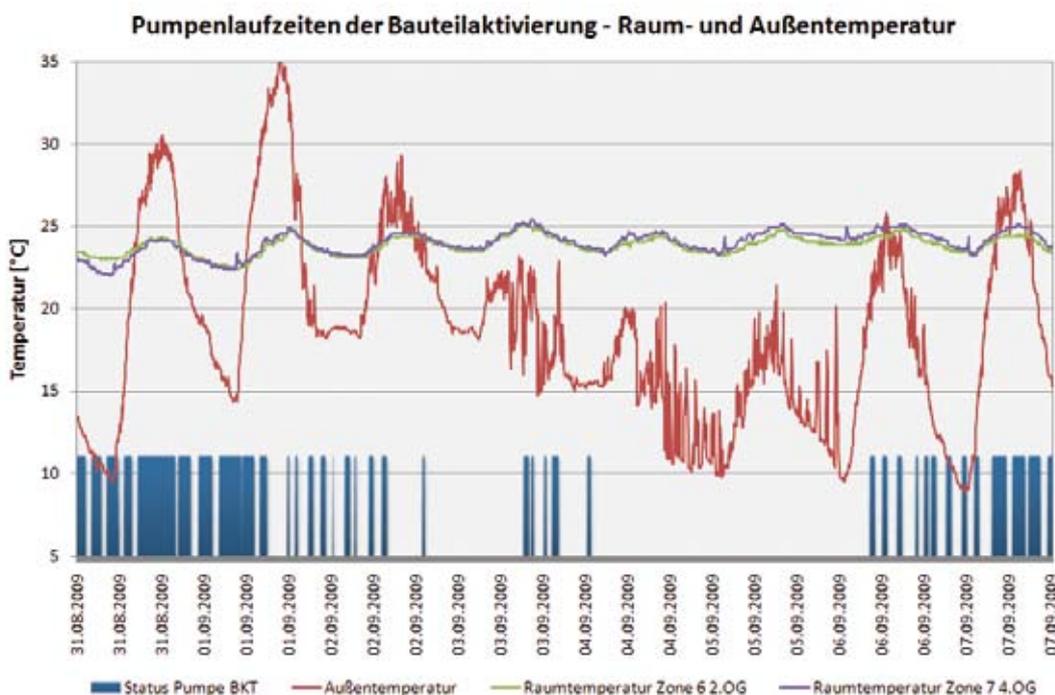


Abb. 7.4: Betonkerntemperierung im Gebäude Elektron. Aussentemperatur (rot), beispielhafte Raumtemperaturen (lila, grün) und Pumpenbetrieb (blau)

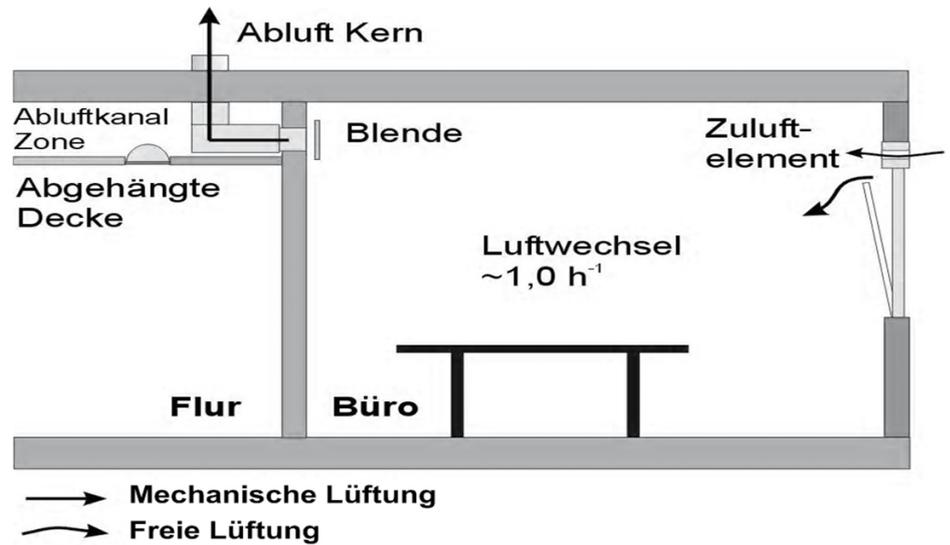


Abb. 7.5: Schematische Darstellung des Luftwegs in den Bürobereichen

Die Taglüftung dient der Bereitstellung von Frischluft entsprechend dem Bedarf der Personen im Gebäude. Nach den Anforderungen der DIN 1946, Teil 2 ist pro Person eine Frischluftmenge von $40 \text{ m}^3/\text{h}$ vorgesehen. Der Volumenstrom wird entsprechend den Anforderungen im Gebäude geregelt.

Um eine sommerliche Überhitzung der Räume zu vermeiden, wird das Gebäude nachts mit kühler Außenluft gespült. Dazu wird die Abluftanlage mit erhöhtem Luftwechsel gefahren. Acht Dachventilatoren mit einer Gesamtleistung von 41 kW verbrauchen zusammen bis zu 250 kWh an elektrischer Energie in einer Sommernacht. Gelüftet wird in der Zeit zwischen 0.30 Uhr und 6.30 Uhr, wenn die Raumtemperatur größer als 21 °C ist, die Außentemperatur einen unteren Grenzwert von 12 °C nicht unterschreitet und eine Mindesttemperaturdifferenz

von 3 K besteht. Die Ventilatoren sind mit Frequenzumrichtern ausgerüstet, eine stufenlose Drehzahlregelung ist aber nur im Tagbetrieb vorgesehen. In der Nacht laufen die Ventilatoren immer mit einem Sollwert von 100 Prozent. Mögliche Einsparpotenziale liegen deshalb in Zeiten kühler oder wechselhafter Witterung, in denen die Ventilatoren mit kürzeren Betriebszeiten und verringertem Luftwechsel betrieben werden können. Ausgehend von der beschriebenen konventionellen Regelung wurde ein prädiktives, also vorausschauendes Regelungskonzept entwickelt, das mit Hilfe von Wetterprognosen die Laufzeiten der Nachtlüftung optimiert. Ein wissensbasiertes Expertensystem, erstellt nach der Methode des Fuzzy Decision Making (FDM), bestimmt aus lediglich zwei Parametern die notwendige Intensität der Nachtlüftung. >>>

Expertensystem

Als Expertensystem wird eine Klasse von Software-Systemen bezeichnet, die auf der Basis von Expertenwissen zur Lösung oder Bewertung bestimmter Problemstellungen dient.

Fuzzy Decision Making (FDM)

Regelbasiertes Software System, das durch Verwendung von unscharfen (fuzzy) linguistischen Begriffen menschliches Expertenwissen für die automatische Entscheidungsfindung nutzbar macht.

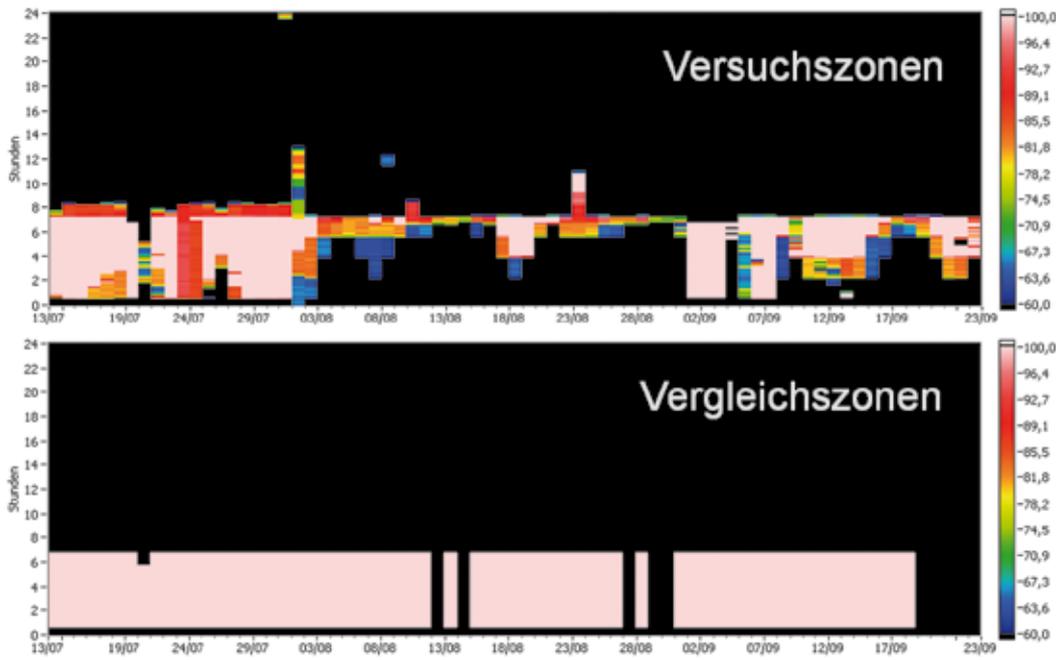


Abb.7.6: Nachtlüftung Solar Info Center, Vergleich der Ventilator Drehzahlen (oben mit, unten ohne prädiktive Regelung)

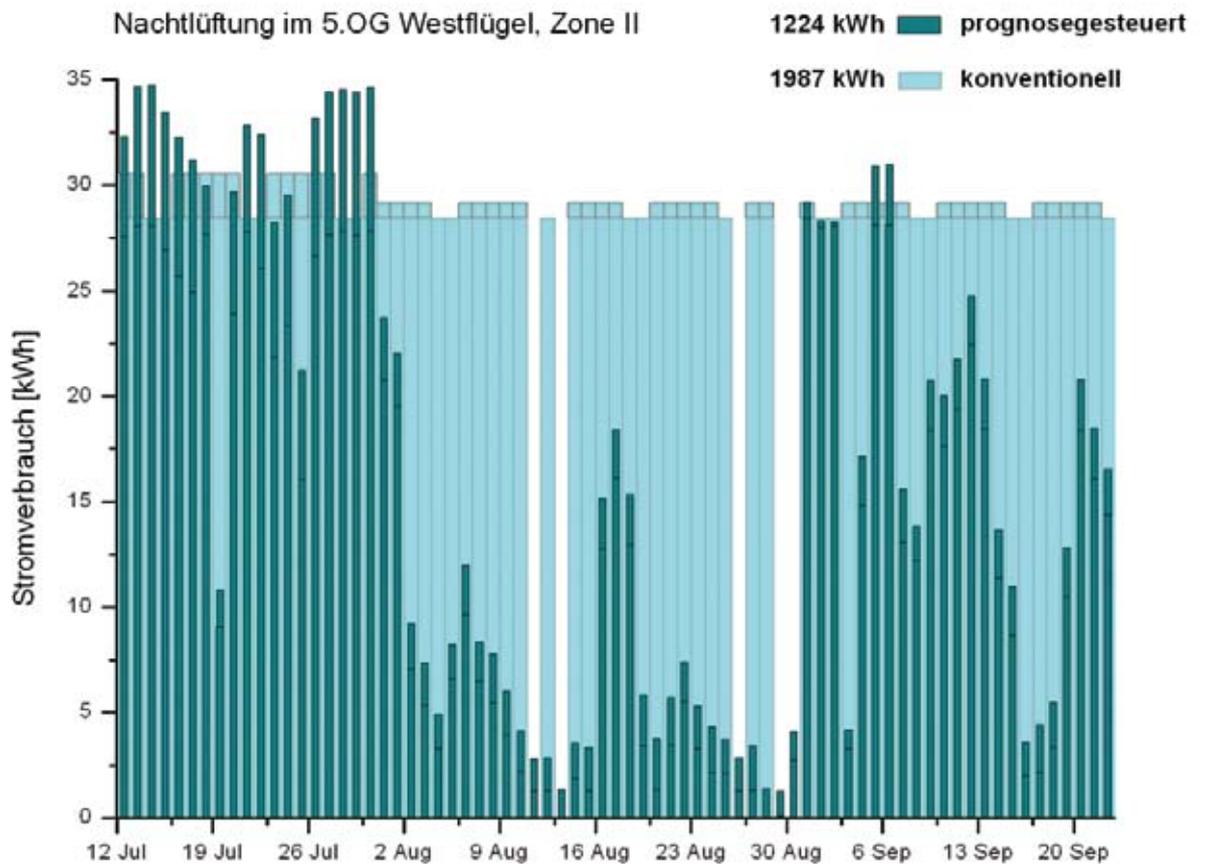


Abb. 7.7: Energieeinsparung durch Nachtlüftung mit prädiktiver Regelung

Diese sind die Raumtemperatur zu Beginn der Nachtlüftung um 00:15 Uhr als Maß für den thermischen Zustand der Gebäudemassen und die prognostizierte maximale Außentemperatur für den nächsten Tag.

Die Auswirkung der Optimierungsmaßnahme ist in Abb. 7.6 zu sehen. Im Vergleich zur konventionellen Regelung oben sieht man im unteren Diagramm die deutlich reduzierten Betriebszeiten und Volumenströme der prädiktiven Regelung,

Optimierung der Solaranlage Festo durch Onlinesimulation

Im Rahmen der Planung der bereits beschriebenen Solaranlage der Festo AG & Co. KG in Esslingen Berkheim wurde hinsichtlich der komplexen Einbindung in das bestehende Heiznetz der Einfluss unterschiedlicher Regelungskonzepte auf den Jahresheizenergieertrag mittels dynamischer Simulationen untersucht. Hierzu wurden insgesamt vier Varianten betrachtet, wobei in der Basisvariante zunächst das geplante Regelkonzept abgebildet wurde. Dieses Regelkonzept wurde dann schrittweise optimiert und die Auswirkungen auf den Jahresheizenergieertrag ermittelt. Mit Hilfe der Simulationsrechnungen konnte so für den solaren Wärmeenergieertrag der Solaranlage ein Optimierungspotential von 12 % allein durch Anpassung der Regelstrategien aufgezeigt werden. Je nach betrachteter Variante bewegen sich die zu erwartenden auf die Kollektorfläche bezogenen Nutzwärmeerträge zwischen 528 kWh/m²a und 591 kWh/m²a. Diese vergleichsweise hohen spezifischen Erträge resultieren aus dem geringen solaren Deckungsgrad der Solaranlage am gesamten Heizenergiebedarf des Gebäudes und der Adsorptionskältemaschinen und spiegeln sich auch in hohen Kollektornutzungsgraden von 42 – 47 % wider. Über die Sommermonate ist ein monatlicher solarer Deckungsgrad am Heizwärmebedarf der Adsorptionskältemaschinen zwischen 15 und 25 % zu erwarten.

Das entwickelte Simulationsmodell der Solaranlage wird zur automatisierten Überwachung der installierten Solaranlage als betriebsbegleitendes Simulationstool eingesetzt. Hierzu werden die realen Messdaten der Anlage und die Witterungsbedingungen dem Simulationsmodell über

die zu einer Energieeinsparung von 38 % geführt haben. Der Energieverbrauch im Vergleich zum konventionellen Betrieb der Nachtlüftung ist in Abb. 7.7 dargestellt. Die Einsparung konnte sehr genau bestimmt werden, da das neue Verfahren nur in einem Teil des Gebäudes installiert wurde und so ein direkter Vergleich mit der herkömmlichen Betriebsweise erfolgen konnte. Eine Untersuchung des Raumklimas hat ergeben, dass trotz der erheblichen Einsparung an Energie keine Verschlechterung des Komforts in Kauf genommen werden musste.

eine automatisierte Datenübertragung als Eingangsdaten für die Simulation übergeben. Durch einen Vergleich der gemessenen und der simulierten Leistung der Kollektoranlage können Fehlfunktionen in der Anlage und deren Regelung rasch erkannt werden.

Das in Abb. 7.8 dargestellte Schema zeigt auf, welche Möglichkeiten die Onlineüberwachung von Prozessen zu deren Optimierung bietet. Insbesondere für den Fall, dass zur Anlagenplanung bereits ein Simulationsmodell erstellt wurde, ist ein späterer Einsatz zur Onlineüberwachung denkbar. Dabei bezieht sich dies nicht nur auf den beschriebenen Fall der thermischen Solaranlage. Zur Optimierung durch Onlinesimulation sind diverse Prozesse in der Gebäudeklimatisierung geeignet. Der Prozess der aktiven Kälteerzeugung bietet sich ebenso an, wie die Kühlung durch Bauteilaktivierung. Dabei zeigt ein online Soll/Ist-Vergleich auf, ob Ertragsprognosen oder Leistungen entsprechend der Auslegung erreicht werden. Ist dies nicht der Fall, so kann eine Fehlermeldung an den Betreiber generiert werden. Dieser hat dann die Möglichkeit den Prozess bzw. den Betrieb anzupassen und entsprechend zu optimieren.

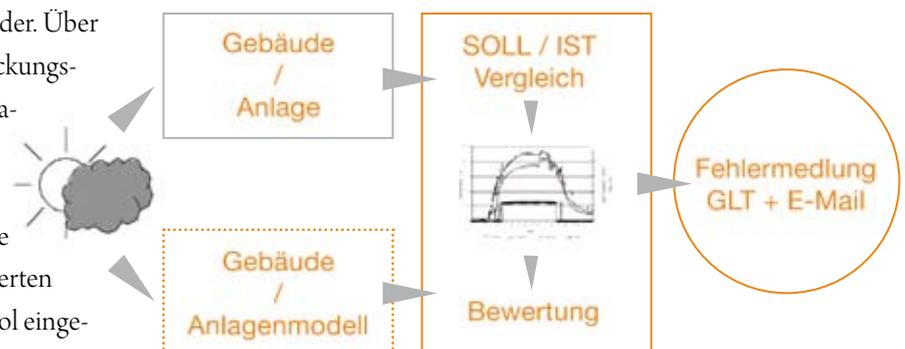


Abb. 7.8: Schematische Darstellung der Optimierung eines Anlagenbetriebes mittels Onlinesimulation

Fazit

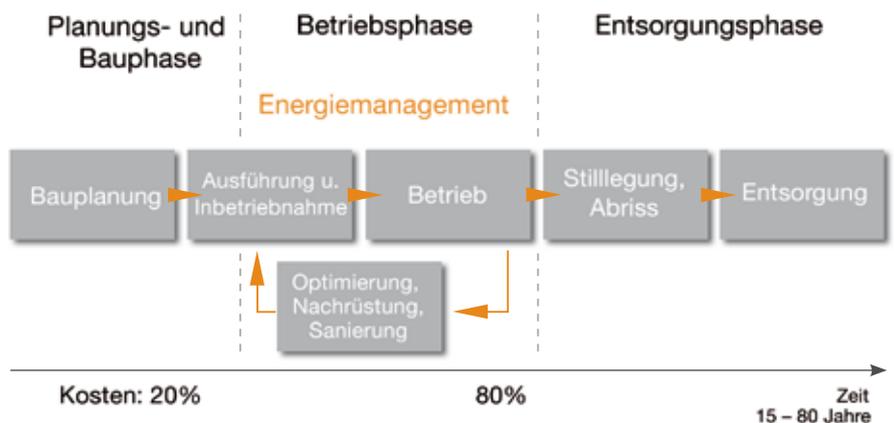
Schon geringe Zunahmen der Jahresmitteltemperatur führen in unseren Breiten zu immer länger andauernden Perioden mit Spitzentemperaturen. Dies führt auch zu immer mehr sogenannten tropischen Nächten. Ebenso steigt der Komfortanspruch an die Behaglichkeit sowohl in privat als auch in geschäftlich genutzten Räumen. Insbesondere in letzteren ist der Anspruch vor allem der, ein Umfeld zu schaffen, in dem eine leistungsorientierte Arbeit unterstützt wird. Die Maßnahmen zur Erzeugung dieser raumklimatischen Bedingungen sollten, egal ob Neu- oder Altbau, zunächst immer unter dem energetischen Gesichtspunkt betrachtet werden. Für die Klimatisierung von Gebäuden kommen mit „passiven“ und „aktiven“ Methoden zwei grundsätzlich unterschiedliche Maßnahmen in Betracht.

Die Möglichkeiten der passiven Kühlung sollten unter allen Umständen ausgeschöpft sein, da diese aus energetischen Gesichtspunkten den aktiven Methoden immer überlegen sind. Bei älteren Bestandsbauten ist eine klassische Lösungsmöglichkeit hierfür beispielsweise die nächtliche Fensterlüftung. Meist sind keine mechanischen Hilfsmittel zur Belüftung vorhanden. Die Schwierigkeit besteht darin, im Bedarfsfall die Maßnahmen zu organisieren, da es sich um manuelle Vorgänge ohne Automatisierung handelt. Teilautomatisierung durch z.B. zeitgesteuertes Öffnen und Schließen von Oberlichtern zur nächtlichen Querlüftung wäre hier denkbar. Es gibt auch Beispiele aus dem Neubausektor, in dem die Nachtlüftung als eine Art Hybridsystem zwischen passiv und aktiv teilautomatisiert betrieben wird. Zwar wird hierbei eine Lüftungsanlage, also ein aktives System genutzt, allerdings wird zur Gebäudekühlung ausschließlich die Nachtluft verwendet.

Abb. 8.1: Gesamtbetrachtung des Lebenszyklus eines Industrie- und Verwaltungsbaus. Lediglich 20 % der gesamten Kosten von Planung bis zur Entsorgung entfallen auf die erste Phase. Ein hohes Einsparpotential liegt in der Betriebsphase.

Sobald aktive Systeme zum Einsatz kommen, besteht das Ziel darin den Energieeinsatz für deren Betrieb auf ein Minimum zu reduzieren. Dafür müssen alle technischen Möglichkeiten einer vorhandenen Gebäudeautomation ausgeschöpft werden. Die Erfahrung zeigt hier, dass eine standardmäßig in Betrieb genommene Anlage dies meist nicht tut. Mit einem optimierten Betrieb sind jedoch in der Regel 10 % Energieeinsparung ohne größeren Aufwand möglich. Für einzelne Systeme sind durchaus 30 % Betriebsenergieeinsparung gegenüber dem Standardbetrieb zu erreichen.

Die technischen Möglichkeiten sind bei Standardanlagen allerdings begrenzt. Beispielsweise sind Pumpen und Ventilatoren nicht drehzahl geregelt, Beleuchtungseinrichtungen lassen sich nicht dimmen oder Verschattungselemente sind ausschließlich manuell zu bedienen. Für die Planung von Bauvorhaben sollten daher für den zukünftigen energetischen Gebäudebetrieb die technischen Grundvoraussetzungen geschaffen werden. Wie in Abb. 8.1 dargestellt entstehen lediglich 20 % der Gesamtkosten für den Lebenszyklus eines Gebäudes in der Planungs- und Bauphase. Auf den Gebäudebetrieb entfällt demnach ein weit aus höherer Kostenanteil. Ein energetisch optimierter Gebäudebetrieb ist daher nicht nur im Sinne der CO₂ Einsparung ökologisch, sondern auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten betriebsökonomisch sinnvoll.



Impressum

Herausgeber



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Autoren

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Biesinger
Hochschule für Technik Stuttgart,
zafh.net, Zentrum für angewandte Forschung an Fachhochschulen

Dipl.-Ing. Thomas Feldmann
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Medien Offenburg
Forschungsgruppe net - Nachhaltige Energietechnik an der Hochschule Offenburg

M.Sc. Frank Hettler, Dipl.Ing.(FH)
Stadt Ostfildern, Gebäudemanagement

Gestaltung und Satz

Anne Wolpensinger
Bonn

Redaktion

Kerstin Höhfeld
Stuttgart

2009

Simulationsgestützte
Automation für die

NACHHALTIGE SOMMERLICHE KLIMATISIERUNG

von Gebäuden



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Risiken mindern · Chancen nutzen