



*Dipl.-Ing. Marion Hiller
TRANSSOLAR Energietechnik
GmbH, Stuttgart (D)*

Integration der Haustechnik im Gebäude

Integration der Haustechnik im Gebäude

Energie- und Lüftungskonzept lassen sich nachträglich nur schwer in das Gebäudekonzept integrieren, oder sie wirken wie eine aufgesetzte Maschine, die eine schöne Hülle nutzbar und komfortabel macht. Eine Integration muss daher schon sehr früh erfolgen, um das Ziel "eines aus sich heraus funktionierenden" Gebäudes zu erreichen. Energie- und natürliche Lüftungskonzepte arbeiten z. B. mit Orientierung, Pufferräumen und beziehen Bauteile zur Wärme- und Kältespeicherung sowie zur Luftführung mit ein. Damit haben sie einen starken Einfluß auf die Architektur des Gebäudes und dessen Gesamtkonzept. So kommt neben städtebaulichen, nutzungsbedingten und anderen Gesichtspunkten ein weiterer Aspekt hinzu.

Der Klimaingenieur als neue Fachingenieursdisziplin versteht sich als Berater des Architekten auf diesem Themengebiet schon im Vorentwurf und hat Einfluss auf die Bereiche Tragwerk, Heizung/Lüftung, Bauphysik und Fassadenausbildung. Das bedeutet, dass ein Energiekonzept nur durch gewerbeübergreifende Zusammenarbeit erarbeitet und umgesetzt werden kann und die Fachingenieure aus den erwähnten Disziplinen gefordert sind. So haben beispielsweise freiliegende schwere Gebäudedecken einen direkten Einfluss auf das Tragwerk, auf das thermische Verhalten des Gebäudes bezüglich Heizung- und Kühlbedarf, sowie auf die Trittschalldämpfung, aber auch auf die Raumakustik.

Ziel der beratenden Tätigkeit des Klimaingenieurs ist ein Gebäude mit optimiertem thermischen und visuellen Komfort, bei minimiertem Energieverbrauch und reduzierten Anlagekosten zu entwickeln. Hier liegen auch die Ansatzpunkte für einen Bauherrn, die Kosten für diesen zusätzlichen Fachingenieur als sinnvolle Investition mit hoher Rendite zu sehen. Realisierte Projekte unter Beteiligung eines Klimaingenieurs zeigen hohe Einsparungen sowohl in den Investitions- als auch in den Betriebskosten, wobei berücksichtigt wurde, dass sich teilweise Kosten von der Anlagentechnik zum Rohbau hin verschieben. Ein Beispiel dafür ist die Integration eines Erdkanals in das Gebäudefundament - zur Vorkonditionierung der Außenluft - als Ersatz für ein Kälteaggregat.

Modernste computergestützte Planungswerkzeuge, die nun aus den Forschungsbereichen in die Anwendung im Ingenieurbereich wechseln, erlauben die Bewertung und Optimierung der Konzepte in den Bereichen Raumklima, Tageslicht bis hin zur Raumluftrömung. Hierbei finden Programmpakete wie z.B. TRNSYS für die dynamische Gebäudelastsimulation, ADELIN für die Tageslichtberechnung und FIDAP zur Nachbildung der Raumluftrömung ihre Anwendung.

Diese Planungsinstrumente des Klima-Engineerings erlauben es, die Energie- und Lüftungskonzepte in ihrer Funktion zu prüfen und zu optimieren. Damit lassen sich die Konsequenzen von Planungsentscheidungen aufzeigen und Sicherheits- und Risikozuschläge reduzieren. Selbstverständlich haftet der Klimaingenieur für die Konsequenzen seines Energie- und Lüftungskonzeptes, sofern die bei der Systemsimulation angenommenen Randbedingungen gelten.

**Beispiel: Sporthalle Odenwaldschule,
Heppenheim Oberhambach (Deutschland)**



Bauherr:
Odenwaldschule Heppenheim, Oberhambach

Architekt:
plus+ Peter Hübner, Neckartenzlingen

Energie- und Klimakonzept:
Transsolar Energietechnik GmbH, Stuttgart

Tragwerksplanung:
Sobek und Rieger, Stuttgart

HLS Planung:
IPS Schmidt

Vorrangiges Ziel des Architekten war die Sporthalle in das Landschaftsschutzgebiet zu integrieren. Gleichzeitig sollte die Halle eine Ausblickmöglichkeit in diese Landschaft bieten und mit natürlichen Materialien verwirklicht werden.

An das Klima-Engineering wurden folgende Ansprüche gestellt:

- Optimierung der natürlichen Belüftung und Tageslichtversorgung der Sporthalle,
- Minimierung der Transmissionswärmeverluste,
- Reduzierung der Lüftungswärmeverluste,
- Begrenzung der Heizleistung, um eine Deckung ausschließlich über die Fußbodenheizung der Halle zu erreichen,
- Einbeziehung des gesamten Gebäudes in die Klimakonzeption.

Gebäudeform

Die Sporthalle ist in den Hang südöstlich des Geheeb-Hauses eingegraben. Die Steilheit des Geländes ermöglicht trotz relativ geringem Aushubs die Anordnung der Umkleide- und Nebenräume unter dem eigentlichen Hallenniveau. Dadurch wird die Grundflächenbeanspruchung und die Kubatur der Halle extrem niedrig.

Die große Spannweite des Daches wird mit einer Tonnenschale überbrückt, die aus schlanken Leimbindern und einer tragenden Sperrholzschaale besteht. Die gesamte Dachfläche wird begrünt und ersetzt die in Anspruch genommene Wiesenfläche.

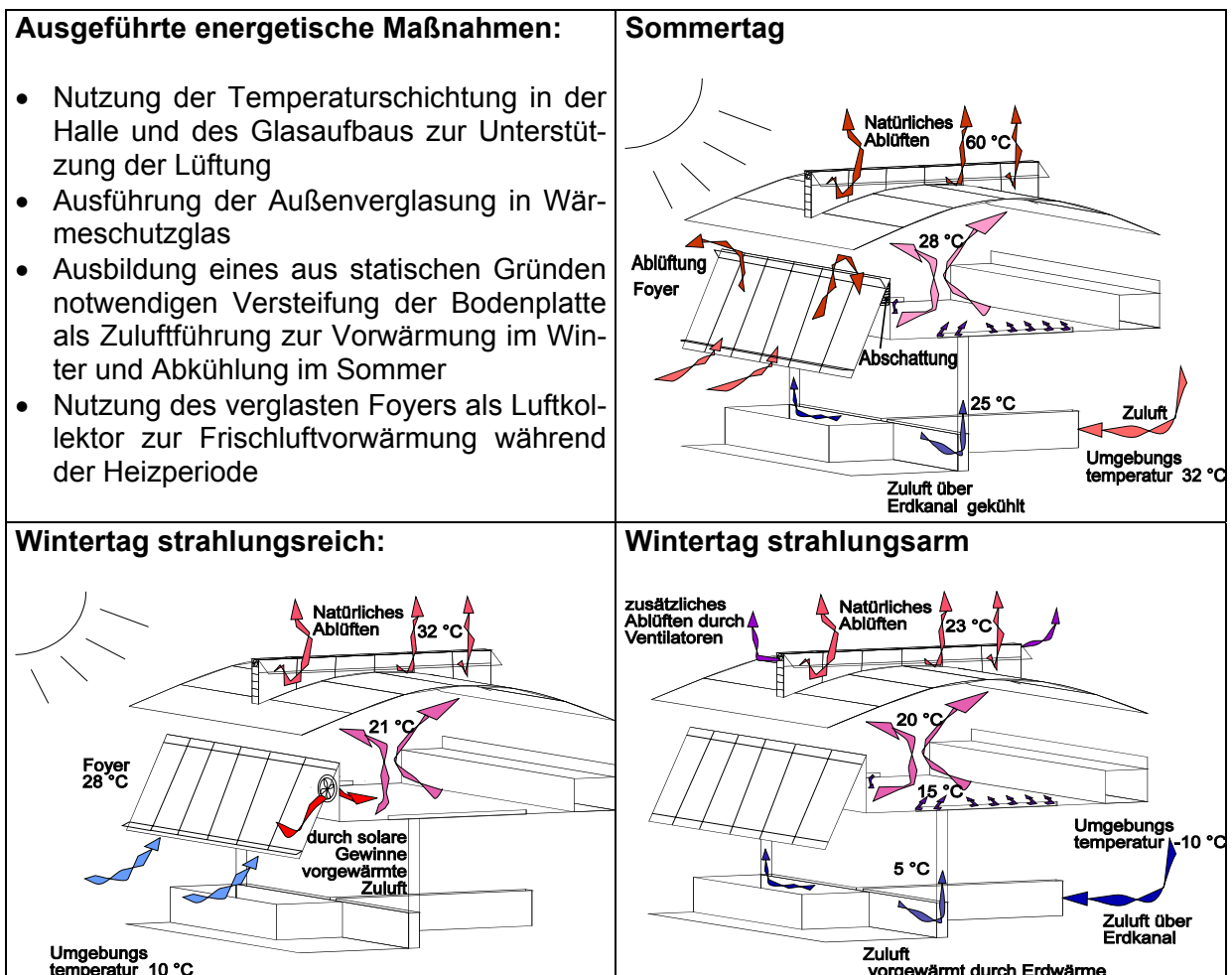
Quer über die Halle verläuft ein gläserner Aufbau, der den Trennvorhang aufnimmt, zur natürlichen Belichtung der Halle beiträgt und durch seinen Kamineffekt die natürliche Belüftung sicherstellt. Die Stirnseiten der Halle sind großflächig verglast. Die Südseite ist zusätzlich mit Außenrollos variabel zu verschatten. Die Westfassade wird als Gewächshaus errichtet.

Konzepte und Maßnahmen

Das energetische Konzept der Halle profitiert von ihrer topographisch besonderen Lage. Tief in den Hang eingegraben hat die Halle eine minimale Außenoberfläche, die bedingt durch die gute Wärmedämmung des Erdreiches einen sehr geringen Energiebedarf notwendig macht.

Mit den großen verglasten Süd- und Westflächen exponiert sich die Halle zur Sonne und fängt passiv deren Energie ein. Im Luftkollektor des 8 m hohen Eingangsglashauses erwärmt sich die Luft und wird über einen solarzellenbetriebenen Ventilator im Winter direkt in die Halle gedrückt.

Im Sommer bewirken je 10 Lüftungsflügel im oberen und im unteren Bereich der Westfassade, daß die erwärmte Luft direkt ausströmen kann. Vor der Südfassade sind Sonnenkollektoren angebracht, die aktiv für die Brauchwassererwärmung genutzt werden. Für die WC-Spülung wird Regenwasser gesammelt.



Es wurde im Vorfeld über Einsatz des Verfahrens einer motorisch be- und entlüfteten Halle bzw. alternativ über ein natürliches Lüftungskonzept nach dem Prinzip der Quelllüftung verhandelt. Das ausgeführte Lüftungsprinzip der Quelllüftung basiert auf folgenden Faktoren:

- Impulsarmer Lufteintritt im Bodenbereich,
- Zulufttemperatur ist kleiner als die Raumlufthtemperatur,
- Ablüftung im Deckenbereich,
- Wärmequellen im Raum, d. h. aufgrund von Konvektion steigt die Luft überall dort auf, wo Wärmequellen sind,
- Summe der Konvektionsströme der Wärmequellen ist gleich/ größer als der Zuluftstrom,
- Solare Gewinne im verglasten Dachaufbau erhöhen die treibende Temperaturdifferenz und übernehmen so die Antriebsenergie für die Hallenentlüftung,
- Bei gleichen Zuluftmengen ist die Luftqualität besser als bei einer Mischlüftung, bei der frische und verbrauchte Luft vermischt werden, während bei einer Quelllüftung ständig ein „Frischluffsee“ gleichmäßig von unten nach oben nachströmt.

Funktionsprüfung mittels dynamischer Gebäudesimulation

Die Lösung der natürlich angetriebenen Quelllüftung wurde mittels dynamischer Simulation mit TRNSYS, unter Verwendung der für die Region geltenden spezifischen Wetterdaten des Testreferenzjahres in Zeitschriften von 30 Minuten nachgebildet und optimiert. Sie haben ergeben, daß lediglich an wenigen Spätnachmittagen im Hochsommer innerhalb der Halle Temperaturen von über 28°C zu erwarten sind.

Funktionsüberprüfung im Betrieb

Trotz der Tatsache, dass aus den Gründen der Verlegung der Haustechnik und Elektroinstallation sich der Querschnitt der Zuluftführung verringert hat, haben Funktionsprüfungen u. a. durch Rauchversuchen das Lüftungskonzept bestätigt. Für geringe Temperaturdifferenzen wurden 2 einfache Abluftventilatoren installiert, die trotz knapper Auslegung 140 % des Sollwertes des Frischluftwechsels erreichen. Die Messungen bestätigen außerdem die windunterstützte Lüftung, die auch bei geringen Temperaturdifferenzen einen Betrieb der Ventilatoren großenteils ersetzt. Bei einer Temperaturdifferenz von 8 Kelvin zwischen Innen- und Außentemperatur liegt die Frischluftmenge immerhin noch bei 75 % des Auslegungswertes.



Ökonomische Konsequenz

Die Kosten der Lüftungsanlage reduzierten sich so von ca. 150.000 DM für die mechanisch belüftete Halle auf unter 40.000 DM, wobei der Hauptteil auf die zwangsweise belüfteten Umkleide- und Sanitärräume entfällt.

Die technischen Installationen der Hallenlüftung haben sich auf 2 Rippenrohre zur Erwärmung der Zuluft und zwei Abluftventilatoren im Dachaufbau reduziert. Diese Abluftventilatoren gewährleisten die Durchlüftung der Halle auch bei ungünstigen Wetterlagen. Zusätzlich wurden die Betriebs- und Wartungskosten für die Lüftungsanlage stark reduziert werden.

Die Mehrinvestitionen für den Erdkanal konnten durch eine Zusatznutzung als statische Aussteifung der Bodenplatte durch deren dünner Ausführung kompensiert werden.

Fazit

Mit umgesetzten Konzept ist ein energiesparender Betrieb der Halle mit einem hohem Komfortstandard möglich. Dies ohne einen hohen Technisierungsgrad des Gebäudes zu realisieren, war ein Ergebnis der intensiven Zusammenarbeit zwischen Planer und Architekt.

**Beispiel: Hauptverwaltung Campina AG,
Werk Heilbronn (Deutschland)**



Bauherr:
Campina AG, Stuttgart

Architekten:
Freier Architekt Werner Knopp, Stuttgart,

Energiekonzept:
Transsolar Energietechnik GmbH, Stuttgart,

Tragwerksplanung:
Ingenieurbüro Lehnart, Stuttgart

Bauphysik:
Freier Architekt Werner Knopp, Stuttgart

HLS-Planung:
Ingenieurbüro Kachel, Heilbronn,

Elektro-Planung:
ABB Stuttgart, Ibrahim El-Karim

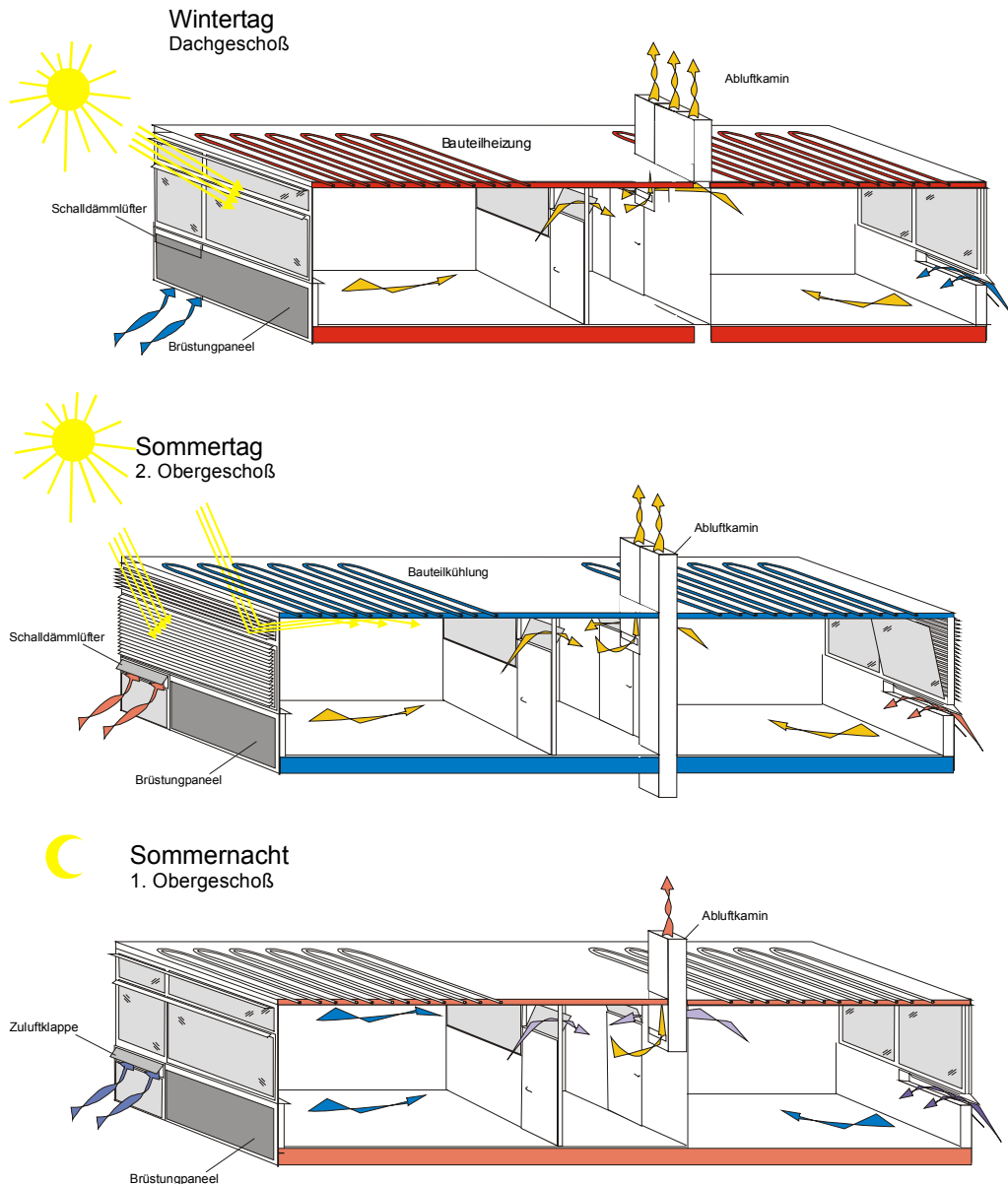
Für das neue Verwaltungsgebäude der Campina AG in Heilbronn sollte ein hinsichtlich energetischer und betriebswirtschaftlicher Gesichtspunkte optimiertes Konzept mit entsprechendem Komfort erstellt werden. Innovative und ökonomische Lösungsansätze wurden hierbei nicht zuletzt aufgrund der Nachteile herkömmlicher Klimakonzepte (Sick-Building-Syndrom, Zuglufterscheinungen, hohe Investitions- und Unterhaltskosten) bevorzugt. Das im Designteam entwickelte Klima- und Komfortkonzept ermöglichte eine Realisierung mit einem geringen Einsatz fossiler Energieträger.

Gebäudeform

Der Verwaltungsneubau ist ein 4-geschoßiger Zweispänner mit einer Bruttogeschoßfläche von ca. 3.250 m². Grundgerüst des Gebäudes ist ein Stahlbetonskelettbau mit Massivdecken und einer statisch notwendigen, aussteifenden, massiven Kernzone.

Konzepte und Maßnahmen

Das Klimakonzept für die Campina in Heilbronn setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, die im Projektteam erarbeitet worden sind. Über die Beschreibung der jeweiligen Bestandteile des Klimakonzepts hinaus ist das Zusammenspiel der einzelnen Maßnahmen wichtig. Nur durch die Kombination der entsprechenden Komponenten ist es möglich, den Komfort in den Büroräumen das ganze Jahr über sicherzustellen.



- **Tageslichtoptimierter Sonnenschutz**

Der motorisch betriebene Sonnenschutz ist in zwei Funktionsbereiche unterteilt. Im Bereich des Oberlichts sind die Lamellen so eingestellt, daß das Tageslicht an die Decke umgelenkt und von dort in die Raumtiefen reflektiert wird. Das ist auch dann der Fall, wenn die Hauptfenster vollständig verschattet werden. Dadurch gelangt selbst bei vollständiger Verschattung genügend Resthelligkeit in den Raum, um auf den Einsatz von Kunstlicht verzichten zu können.

Um die Aufheizung der Räume in den Morgenstunden zu verhindern, wird der Sonnenschutz an warmen Tagen bereits bei Sonnenaufgang heruntergelassen werden.

- **Lüftungskonzept**

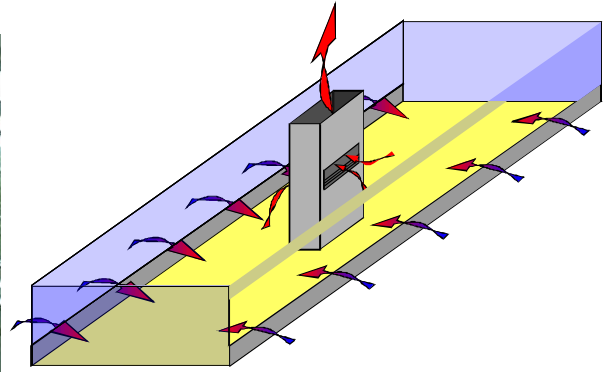
Die hohe Lärmbelastung auf der Ostseite (Wimpfener Straße, Neckartalstraße) führte zu der Einführung von Schalldämmlüftern in der Fassade. Über diese Geräte kann jedes Büro mit einer genau definierten Zuluftmenge versorgt werden. Die Abluft entweicht in die Flure. Nach mehreren Versuchen stellte sich heraus, daß die Lüfter direkt oberhalb des Heizkörpers angebracht werden sollten, um Komforteinbußen im Winter durch Zuglufterscheinungen zu vermeiden. Im Sommer empfiehlt es sich, die Fenster geschlossen

zu halten und die gesamte Frischluftzufuhr über die Schalldämmlüfter abzuwickeln, da das Öffnen der Fenster bei Außentemperaturen über den im Büro gewünschten Temperaturen den Komfort nachteilig beeinflussen.

Im Gebäudekern verlaufen je Geschoß 2 Abluftschächte, deren Sogwirkung durch drehbare Kaminreiter auf dem Dach verstärkt wird. Die Schachtquerschnitte sind so dimensioniert, daß die Abluft ohne großen Druckverlust abgeführt werden kann. Am Schachtende befindet sich eine Jalousieklappe, die das Auskühlen des Gebäudes in Winternächten verhindert.



Fassadeninnenansicht mit Lüfter



Prinzip Schachtlüftung

In Sommernächten wird das Gebäude mittels Nachtlüftungspülung gekühlt. Dadurch werden die thermischen Massen des Gebäudes mit frischer Nachtluft abgekühlt, so dass sie tagsüber Wärmelasten puffern können.

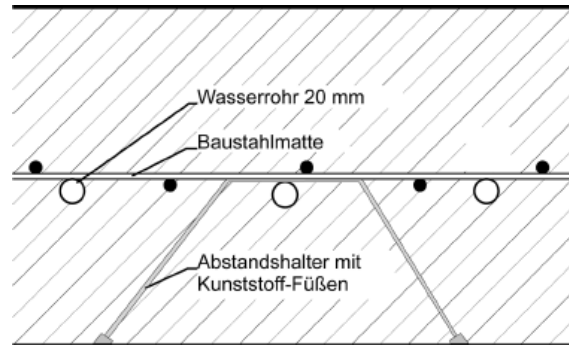
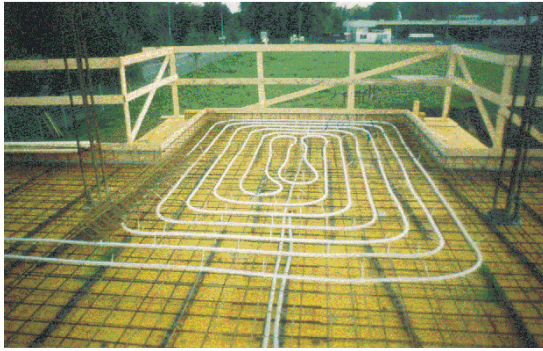
- **Bauteilkühlung über Brunnenwasser**

Zur Begrenzung der Überhitzung im Sommer ist eine Bauteilkühlung vorgesehen. Die hauptsächlichen Vorteile dieses Kühlsystems sind:

- Kühlung beruhend auf Strahlung wird als sehr angenehm empfunden.
- Zugfreies und lautlose Kühlsystem
- Lüftung erfolgt separat gemäß hygienischen Anforderungen
- Nutzung natürlicher Kältequellen aufgrund höheren Temperaturniveaus möglich
- Reduzierung der Spitzenlast durch Pufferung in Gebäudemasse
- Auch ohne Kühlung bleibt die positive Wirkung der Gebäudemasse erhalten.

Bei der realisierten Bauteilkühlung sind in den Betondecken wasserführende PE-Rohre eingegossen worden. Diese befinden sich in der Deckenmitte und sind jeweils in den Bürobereichen verlegt. Jedes PE-Rohrregister weist eine abgewinkelte Rohrlänge von ca. 100 m auf und deckt damit ca. 22 m² Bodenfläche ab. Die PE-Rohre sind auf jeweils zwei Stockwerksverteiler aufgelegt (Ost- und Westseite). In diesem Rohrschlängensystem zirkuliert im Sommer kaltes und im Winter warmes Wasser. Die Kühlleistung wird durch einen Wärmetauscher aus dem betriebseigenen Brunnenwasser gewonnen.

Im Kühlfall beträgt die Deckeneintrittstemperatur des Wassers konstant 17°C. Der Massenstrom ist in Abhängigkeit von der Außentemperatur variabel (volle Leistung bei Temperaturen über 32°C). Durch die Bauteilkühlung ist es möglich, durch Inanspruchnahme der großen Wärmespeicherfähigkeit der massiven Raumdecken großflächige Gebäudekühlung zu betreiben. Trotz relativ hohem Temperaturniveau bietet sich so eine sehr effiziente Kühlmöglichkeit. Außerdem ist durch dieses hohe Temperaturniveau keine mechanische Luftentfeuchtung notwendig.



Reicht bei warmen Sommernächten die Nachtlüftung nicht aus, wird die Betondecke mit kühlem Wasser gekühlt. Das zirkulierende Wasser wird durch das Grundwasser rückgekühlt. Durch die kühlen Umschließungsflächen liegt die empfundene (operative) Temperatur unter der gemessenen Lufttemperatur (angenehme Komfortbedingungen).

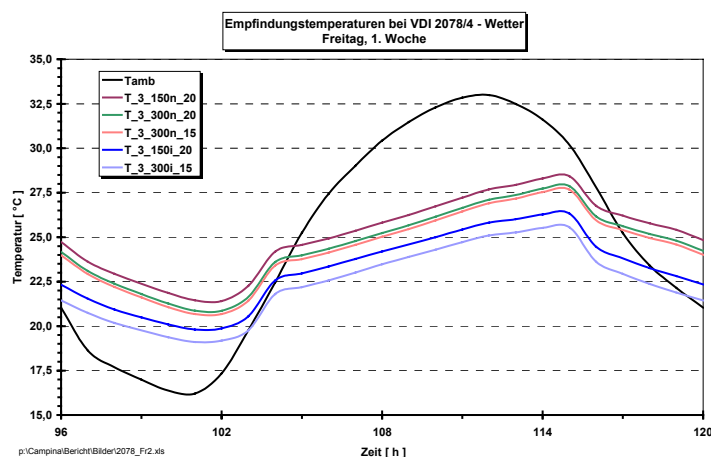
- **Heizung und Bauteilheizung:**

Die Beheizung der Räume erfolgt hauptsächlich über die statischen Heizflächen an der Brüstung. Diese sind bei einer Außenluftnachströmung erforderlich, um die einströmende Frischluft im Winter erwärmen zu können. Außerdem erfolgt über die Heizkörper die Feinregelung der Raumlufttemperatur (Thermostatventile).

Das Rohrnetz der Bauteilkühlung wird ab Außentemperaturen von unter 5°C als Grundheizung eingesetzt (Bauteilheizung). Durch die Anhebung der Deckentemperaturen auf ca. 25°C wird eine Komfortverbesserung erzielt und außerdem bei den Heizkörpern Leistungsreserven geschaffen. Aufgrund der niedrigen Heizwassertemperaturen, die für die Bauteilheizung erforderlich sind, kann der Rücklauf der Heizkörper als Wärmequelle verwendet werden.

Funktionsprüfung mittels dynamischer Gebäudesimulation

Die dynamische Gebäudelastsimulation wurde mit dem Simulationsprogramm TRNSYS durchgeführt. Anhand der Simulationen ergab sich, daß in Kombination mit einer Bauteilkühlung ein 3-facher Nachtlüftungswert ausreicht, um auch während länger anhaltenden, sommerlichen Extrembedingungen komfortable Raumtemperaturen sicherzustellen. In folgender Abbildung sind die berechneten Raumtemperaturen eines heißen Tages für verschiedene Betriebsweisen der Bauteilkühlung dargestellt.

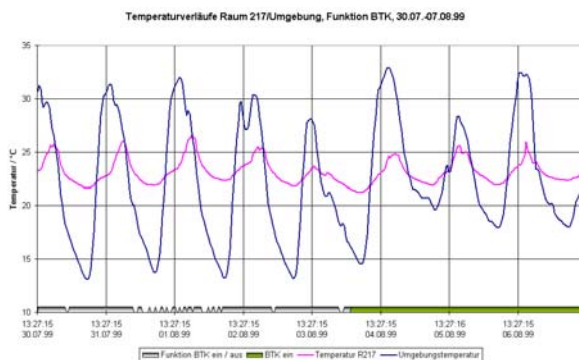


Zur Untersuchung eines möglichen Tauwasserniederschlags an den kalten Geschossdeckenunterseiten wurden die Oberflächentemperaturen der Geschossdecke näher untersucht. Die Temperaturen wurden für eine Sommernachtauskühlung über geöffnete Fenster und zusätzliche Bauteilkühlung der Geschosdecken. Lediglich an 5 Tagen kommt die Deckentemperatur in die Nähe der Taupunkttemperatur, an insgesamt 3 Stunden im Jahr wird die Taupunkttemperatur gegen Abend leicht überschritten. Die geringfügige Überschreitung kommt deshalb zustande, weil an diesen Tagen die BTK bis abends um 22:00 Uhr in Betrieb war. Würde die BTK um 18:00 Uhr ausgeschaltet werden, so würde keine Taupunktüberschreitung zustande kommen. Durch eine entsprechende Regelung lässt sich die Gefahr der Kondenswasserbildung an der Decke bei geöffneten Fenstern vermeiden.

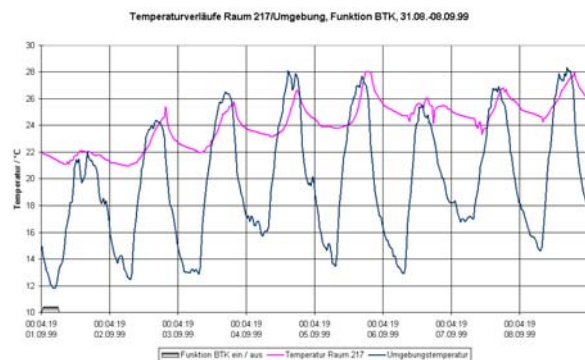
Funktionsüberprüfung der Bauteilkühlung während dem Betrieb

Im Zeitraum Juli bis November 1999 wurden im 30 - Minuten - Rhythmus Temperatur- und Feuchtemessungen durchgeführt und aufgezeichnet. Die Messungen dienten folgenden Zielen:

- Dokumentation der Betriebszustände
- Dokumentation der Funktion der Bauteilkühlung
- Aufspüren von Fehlfunktionen
- Betriebsoptimierung



extrem warmes Wetter,
Bauteilkühlung in Betrieb



sehr warmes Wetter,
Bauteilkühlung außer Betrieb

Die Meßergebnisse zeigen, daß der Einsatz der Bauteilkühlung zu einer Absenkung der Raumtemperaturen um ca. 5° Kelvin führt und dadurch die Maximaltemperaturen auf 26°C begrenzt bleiben.

Ökonomische Konsequenz

Vergleicht man verschiedene Kühlkonzepte unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten, so weist die Bauteilkühlung geringen spezifische Investitionskosten von ca. 2.75 DM / W im Vergleich zu anderen Systemen wie eine aufgeputzte Kühldecke (ca. 5.80 DM / W) oder einer abgehängten Kühldecke (ca. 9.10 DM / W)

Literatur

1. *TRNSYS, Version 15: A transient system simulation program*, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, März 2000
2. Matthias Schuler, *Gratwanderungen*, Intelligente Architektur 12 (Februar 1998)
3. Helmut Meyer, Sporthalle Odenwaldschule Oberhambach, Glasforum 6 (1996)
4. Peter Voit et. al., Energiekonzept Hauptverwaltung Campina, interner Bericht (2000)
5. Markus Koschenz, Beat Lehmann, *Thermoaktive Bauteilsysteme tabs*, EMPA Abteilung Energiesysteme/Haustechnik, CH-8600 Dübendorf, 2000