

## Passive Kühlung mit Nachtlüftung



*In Bürogebäuden wird häufig viel Energie fürs Lüften und Klimatisieren verbraucht. Gebäude mit einem angepassten Lüftungskonzept und Nachtlüftung gewährleisten im Sommer ein angenehmes Temperaturniveau. Dieses Gebäudekonzept kommt ohne aufwändige Gebäudetechnik aus und es zeigt sich, dass niedrige Betriebs- und Energiekosten realisierbar sind.*

**I**nzwischen hat es sich herumgesprochen: Bürogebäude kommen meist ohne Klima-

anlage aus – ohne Einbußen an Raumklima und Nutzungskomfort. Immer mehr Bauherren fordern von Ihren Planern entsprechende Gebäudeentwürfe. An Bürogebäude werden hohe Anforderungen gestellt. So müssen sie sich durch hohe Nutzungsqualität bei gleichzeitig geringen Betriebskosten für Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und Wartung auszeichnen. In der Planung – aber auch in der Nutzung – scheinen diese Anforderungen oft unvereinbar zu sein.

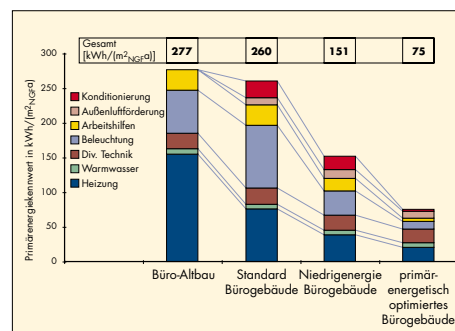
Energieoptimierte Gebäude bieten einen Ausweg aus diesem Zielkonflikt. Ein wichtiges Element in deren Energiekonzept ist die „passive Kühlung“. So kann auf den Einsatz von strombetriebenen Kältemaschinen verzichtet werden. Das funktioniert gut, wenn auf Basis eines durchdachten Entwurfs und bauphysikalischer Gebäudequalitäten natürliche Kältequellen wie die Nachtluft oder das Erdreich genutzt werden. Passiv gekühlte Gebäude haben in dem ungewöhnlich heißen Sommer 2003 ihre Bewährungsprobe bestanden, wenn deren Architektur und Gebäudetechnik konsequent bis ins Detail aufeinander abgestimmt waren.

Aus der Vielzahl der unterschiedlichen Systeme wird im Folgenden die luftgeführte, passive Kühlung herausgestellt – nicht thematisiert wird hier die wassergeführte Bauteilkühlung. Es werden verschiedene Gebäude vorgestellt, die allesamt im Rahmen des Förderkonzepts SolarBau:Monitor realisiert und evaluiert werden. Die Gebäude haben eine zum Teil sehr unterschiedliche Konzeption – allen gemeinsam sind hohe Anforderungen an die Energieeffizienz: der jährliche Primärenergieaufwand pro Quadratmeter Nettogeschoss-Fläche für Heizen, Beleuchten, Lüften und Klimatisieren soll unter 100 Kilowattstunden liegen.

**1** Vier sehr unterschiedliche Bürogebäude kühlen im Sommer mit Nachtlüftung: DB Netz AG in Hamm, Fa. Lamparter in Weilheim a. d. Teck, Kreditanstalt für Wiederaufbau in Frankfurt (Sanierung) und Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg

# Bürogebäude kühlen

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, im Sommer ein komfortables und produktives Raumklima zu erreichen. Was sind die jeweiligen Vor- und Nachteile? Und wo liegen die Unterschiede zwischen passivem Kühlen mit Nachtlüftung und anderen Konzepten?



Struktur des Energiebedarfs in Bürogebäuden – Simulation. Quelle: IWU, Darmstadt

Moderne Büro- und Verwaltungsgebäude benötigen bei einem vergleichsweise geringen Wärmebedarf mehr elektrische Energie als Wohngebäude. Strengere Anforderungen an die Lichtverhältnisse, technische Geräte und der Betrieb der gebäudetechnischen Anlagen bedingen einen entsprechend hohen elektrischen Energieverbrauch: Wird der Gesamtenergieverbrauch von heutigen Bürogebäuden primärenergetisch betrachtet, macht der Elektroenergieverbrauch für Lüftung (15%), Beleuchtung (27%) und Nutzung (33%) sowie der Energieeinsatz für aktive Kühlung (11%) heute einen hohen Anteil am Gesamtenergieverbrauch aus. Die Energiesparpotenziale liegen in den Bereichen Lüftungs-, Klima- und Beleuchtungstechnik. Zunehmende Dämmmaßnahmen im Zuge der Energie-Einsparverordnung (EnEV) verstärken die Bedeutung des Stromverbrauchs in der Gesamtbilanz (2). Häufig können solche Gebäude nur über einen kleinen Bereich der Außentemperatur ohne aktive Heizung bzw. Kühlung, also passiv im Komfortbereich betrieben werden (8). Passive Kühlung durch Nachtlüftung und ein optimiertes Lüftungskonzept reduzieren den elektrischen Energieverbrauch deutlich.

In Bürogebäuden dominieren die Gehälter der Mitarbeiter die Jahreskosten, während die unmittelbaren Energiekosten meist nur 1% der Jahreskosten ausmachen. Wegen der hohen Bedeutung der Personalausgaben stehen optimale Arbeitsbedingungen im Mittelpunkt der Gebäudeplanung. Für Unternehmen müssen sich Investitionen meist innerhalb weniger Jahre „rechnen“, dabei bleibt oft unbemerkt, dass in einem vollklimatisierten Gebäude die Energiekosten in 50 Jahren Betrieb sich auf etwa die Hälfte der anfänglichen Investitionskosten summieren.

## Warum kühlen?

Lüftung und Klimatisierung sollen die Raumluft hinsichtlich Reinheit, Temperatur, Feuchte und Bewegung innerhalb bestimmter Komfortgrenzen halten. Die Lüftung übernimmt damit eine hygienische und eine energetische Funktion.

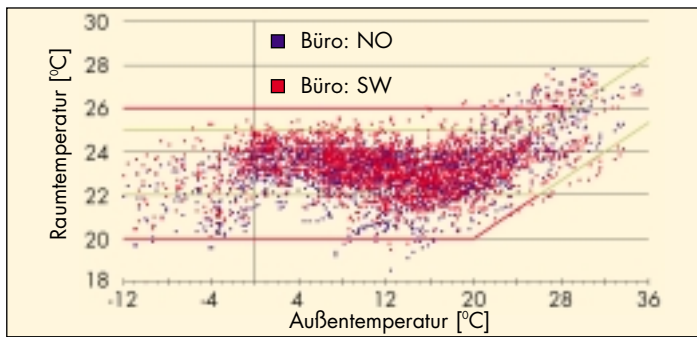
Klimaanlagen heizen oder kühlen und befeuchten die Luft entsprechend dieser Vorgaben und regeln den Luftvolumenstrom. In Gebäuden ohne Klimaanlage kann die Lüftung daher nur einen Teil dieser Aufga-

ben übernehmen. (3) zeigt den Komfortbereich, der nach DIN 1946 für Gebäude mit raumlufttechnischen Anlagen gilt, zusammen mit Messwerten aus dem Bürogebäude der Fa. Lamparter. Die operative Raumtemperatur soll bis zu einer Außentemperatur von 26°C zwischen 20 und 26°C (Komfortbereich: 22 - 25°C) liegen, bei höheren Außentemperaturen sind höhere Raumtemperaturen zulässig. Durch passive Kühlung mit Nachtlüftung, mit konsequenter Reduzierung der solaren und internen Wärmelasten und unter Nutzung der Speicherkapazität des Gebäudes können die geforderten Raumtemperaturen (fast) immer eingehalten werden. Auch unter Berücksichtigung des Nutzerverhaltens, wie der Bedienung des Sonnenschutzes oder der Fensteröffnung, zeigt das Gebäude ein gutes sommerliches Temperaturverhalten. Die behaglichen Raumtemperaturen werden in diesem Gebäude also nur über die Lüftung und ohne aktive Klimatisierung eingehalten.

## Planung – ein Prozess

Das Kühlkonzept ist schon zu Beginn Bestandteil jedes Gebäudeentwurfs. In den

Begriffe „Lüftung“	
Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Frische (Außen-)Luft wird dem Raum zu- und verbrauchte Luft abgeführt.</li> <li>■ Die notwendige Luftmenge ist abhängig von der Verunreinigung (hygienische Funktion) oder dem thermischen Zustand (energetische Funktion) der Luft.</li> </ul>
freie Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Die Luft strömt frei in den Raum und aus diesem heraus. Dabei wird die Luft entweder einseitig ausgetauscht, strömt also im Fenster sowohl ein als auch aus. Oder die Luft strömt durch das Gebäude (Querströmung).</li> <li>■ Der Luftwechsel wird durch den natürlichen Auftrieb der Luft bei Temperaturunterschieden oder durch Windkräfte hervorgerufen.</li> <li>■ Der Luftwechsel ist bei freier Lüftung nur schwer zu berechnen oder zu messen, weil er sich in Abhängigkeit variierender Randbedingungen einstellt.</li> </ul>
Lüftungsanlage	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Räume werden über ein Verteilsystem (z. B. Luftkanäle) mit Frischluft versorgt. Der Luftvolumenstrom wird über Ventilatoren dem Raum kontrolliert zu- bzw. aus diesem abgeführt.</li> <li>■ Mechanische Entlüftung: Die Abluft wird kontrolliert aus dem Raum abgeführt. Die Zuluft strömt dann frei von außen durch Fenster oder Spaltöffnungen in den Raum. Im Winter kann die Abwärme z. B. über eine Wärmepumpe der Heizungsanlage zugeführt werden.</li> <li>■ Mechanische Belüftung: Die Zuluft wird dem Raum zugeführt und strömt dann entweder nach außen oder in einen anderen Raum, von wo die Abluft abgeführt wird. Hier ist eine Vorbehandlung der Luft möglich, z. B. Kühlen oder Heizen über einen Erdwärmetauscher. Je nach Luftmenge und Luftführung unterscheidet man Quelllüftung und Verdrängungslüftung. Häufig bildet sich eine Kombination von diesen beiden Formen aus.</li> <li>■ Mechanische Be- und Entlüftung: Über die Zu- und Abluft kann dem Raum die notwendige Luftmenge kontrolliert zugeführt werden. Im Winter kann die Zuluft mit der Wärme aus der Abluft erwärmt werden (Wärmerückgewinnung). Auch hier kann die Anlage um einen Erdwärmetauscher ergänzt werden.</li> </ul>
hybride Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ein Raum wird sowohl frei als auch mechanisch gelüftet.</li> </ul>
Luftwechsel	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Das Verhältnis von Luftvolumenstrom [m³/h] und Raumvolumen [m³] beschreibt, wie oft die Luft im Laufe einer Stunde ausgetauscht wird. Dabei wird nach Außen- und interzonalem Luftwechsel unterschieden.</li> </ul>



Behaglichkeitsfeld nach DIN 1946 mit Messwerten aus dem Bürohaus Lamparter – gemessene Stundenmittelwerte während der Nutzungszeit. Nur wenige Stunden im Jahr überschreiten die Temperaturen die Behaglichkeitskriterien.



Entwurfsstrategie zur Minimierung des Energieaufwandes für Kühlung und zur Auswahl des Kühlkonzeptes

weiteren Planungsphasen sind die Wechselwirkungen zwischen Gebäude und Kühlkonzept jeweils zu berücksichtigen (4) – erst am Ende des mehrstufigen Planungsprozesses steht das Kühlkonzept dann fest. Die gewählte energetische Strategie, die thermischen Eigenschaften des Gebäudes und die Standortbedingungen bestimmen die Gebäudetechnik samt Konzept für die Kühlung.

### Passiv Kühlen

Zwischen den beiden Extremen „Fensterlüftung“ und „Klimaanlage“ gibt es zahllose Konzeptvarianten mit unterschiedlich intensiver Luftbehandlung. Die Vielzahl der unterschiedlichen aktiven oder passiven sowie luft- oder wassergeführten Kühlkonzepte macht

■ zunächst eine „kreative“ Optimierung mit Konzeptfindung, Strukturoptimierung und Auswahl von Entscheidungsparametern sowie

■ ergänzend eine „technische“ Optimierung mit Parametervariation (in Planung und Inbetriebnahme) notwendig.

### Feuchtigkeit

In einem passiv gekühlten Gebäude – mit offenen Fenstern und einer Lüftungsanlage – kann im Sommer die Temperatur und der Feuchtegehalt der Luft nicht beliebig eingestellt werden. Vielmehr variieren Temperatur und Feuchtigkeit im Raum je nach Wetter und Nutzungsbedingungen. Die Menschen erfahren ganz konkret, wie sich die Luft im Tagesverlauf dynamisch verändert. Und das energieoptimierte Gebäudekonzept stellt sicher, dass die Raumtemperatur (fast) immer im Komfortbereich (vgl. 3) bleibt. Wenn Klimaanlagen die Luft abkühlen, dann erhöht sich die relative Luftfeuchtigkeit – also muss u. U. zugleich entfeuchtet werden. Doch wie verhält es sich in Bürogebäuden mit der Luftfeuchtigkeit, wenn es kein Befeuchten oder Entfeuchten per Klimaanlage gibt? Bei der passiven Kühlung wird nachts kühle Luft ins warme Gebäude geführt, die Luft erwärmt sich und die relative Luftfeuchtigkeit reduziert sich – zumeist auf den Wohlfühlbereich von 40-60%. Die Nachtlüftung ist also Kühlung und Entfeuchtung zugleich.

### Kostenbilanz

Es ist schwierig, Einzelkosten bzw. Mehraufwendungen für die passive Kühlung von den anderen Kosten in den beiden Kostengruppen „Bauwerk“ und „Technische Gebäudeausrüstung“ zu trennen. Die Investitionskosten für eine Vollklimaanlage liegen typisch bei rund 2.500 € pro Arbeitsplatz. Nur durch eine regelmäßige (kostenintensive) Wartung können Hygieneprobleme weitgehend ausgeschlossen werden. Die jährlichen Energie- und Instandhaltungskosten einer konventionellen Klimaanlage betragen etwa 200 € pro Arbeitsplatz.

Die Betriebskosten für passive Kühlung liegen deutlich niedriger als für aktive Kühlsysteme. Auch die Investitionskosten reduzieren sich, wobei sich die Kosten in der Tendenz von der Gebäudetechnik in die (höherwertige) Baukonstruktion verlagern.

Kühlkonzepte im Vergleich	
Lüftung am Tag	■ Freie und mechanische Lüftung haben im Sommer in erster Linie eine hygienische Funktion: Der Raum wird mit frischer Luft versorgt. Solange die Außentemperatur unter der Innentemperatur liegt, werden gleichzeitig Wärmelasten abgeführt. Ist es draußen wärmer als drinnen (vor allem nachmittags), dann sollte die Lüftungsintensität auf das hygienisch notwendige Maß reduziert werden.
Nachtlüftung	<p>■ <i>freie Nachtlüftung</i>: Allein durch den Temperaturunterschied zwischen innen und außen und den Winddruck wird die Lüftung angetrieben. Üblicherweise wird so geplant, dass der thermische Auftrieb einen ausreichenden Luftwechsel sicherstellt und der Windeinfluss den Luftwechsel zusätzlich erhöht. Häufig wird der thermische Auftrieb durch ein Atrium oder ein Treppenhaus nutzbar gemacht.</p> <p>■ <i>mechanische Nachtlüftung</i>: Wenn die natürlichen Kräfte nicht ausreichen, eine Öffnung von Fenstern und Klappen nicht möglich ist oder ein Mindest-Luftwechsel garantiert werden soll, kommen Abluftventilatoren zum Einsatz. Die kühle Außenluft strömt dann z. B. durch Spaltöffnungen nach.</p> <p>■ <i>hybride Nachtlüftung</i>: Soweit möglich werden die natürlichen Kräfte thermischer Auftrieb und Winddruck genutzt. Ein Abluftventilator steht als Back Up-System zur Verfügung.</p>
Erdwärmetauscher	■ Die Taglüftung kann durch einen Erdwärmetauscher, der die Zuluft im Sommer passiv kühlt, ergänzt werden. Im Erdreich verlegte, luftdurchströmte Rohre nutzen den saisonalen Temperaturunterschied zwischen Luft und Erdreich und das gleichmäßige Temperaturniveau des Erdreichs.
Kühlsegel (wassergeführt)	■ Kühlsegel sind wasserdurchströmte, abgehängte Paneele, die Wärme aus dem Raum aufnehmen. Als Wärmesenke wird entweder eine Kältemaschine (aktiv) oder das Erdreich (passiv) genutzt. Das Kühlsegel kann flexibel auf Änderungen der Raumtemperatur reagieren. Die Wärmesenke sollte durchgängig zur Verfügung stehen, denn das Kühlsegel hat nur eine geringe thermische Speicherkapazität.
Bauteilkühlung (wassergeführt)	■ In der Decke verlegte Rohre kühlen die Decke ab. Ähnlich wie bei der Nachtlüftung wird die Speicherfähigkeit der Decke genutzt, um die Wärme nachts abzuführen und den Raum tagsüber passiv zu kühlen. Häufig können die kühle Nachtluft und ein Verdunstungskühler als Wärmesenke genutzt werden. Das System kann mit einer aktiven Kältemaschine erweitert werden. Steht das Erdreich als (konstante) Wärmesenke zur Verfügung, ist das thermisch schnelle Kühlsegel die bessere Alternative.
Klimaanlage (aktiv)	■ Voll-Klimaanlagen umfassen alle vier Luftbehandlungsfunktionen (Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten). Hiermit können der Luftzustand „aktiv“ eingestellt und – bei entsprechender Dimensionierung – sehr hohe Wärmelasten abgeführt werden.

# Tag- und Nachtlüftung

Passive Kühlung durch Nachtlüftung ist in vielen Bürogebäuden einsetzbar. Die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht reichen in unseren Breiten weitgehend aus, um kühle Nachtluft auch während hochsommerlicher Hitzeperioden als alleinige Kühlquelle zu nutzen. Sie verbindet – bei sorgfältiger Planung – hohe Arbeitsplatzqualität mit Energieeffizienz.

Die freie und die mechanische Lüftung (5) haben sich in den letzten Jahrzehnten immer weiter angenähert:

■ Die freie Lüftung hat sich von der einfachen Fugenlüftung über offenbare Fenster und selbstregelnde Ein- und Auslassklappen zur bedarfsgerechten natürlichen Lüftung entwickelt.

■ Die mechanische Lüftung hat sich von Lüftungsanlagen mit konstantem Volumenstrom über geregelte Anlagen mit variablem Volumenstrom zu Anlagen mit geringem Druckverlust entwickelt.

In energieoptimierten Lüftungskonzepten mit hybrider, also freier und mechanischer Lüftung kann diese Unterteilung häufig nicht mehr gezogen werden.

## Lüftungskonzept wählen

Die Entscheidung für ein Lüftungskonzept mit Nachtlüftung muss auf das Gebäude, den Standort und die geplante Nutzung abgestimmt sein. Hybride oder freie Lüftung im Sommer

■ ist vorteilhaft, wenn (1) das (Mikro-)Klima moderat ist, (2) normale Anforderungen an die Luftqualität gestellt werden, (3) Energie- und Betriebskosten für Klimaanlage und Lüftung gespart oder (4) auf eine aufwändige Leitungsführung verzichtet werden soll.

■ ist schwierig, wenn (1) die Anforderungen an die Raumtemperatur sehr hoch sind, (2) die Umgebungsluftqualität schlecht oder (3) das Lärmniveau hoch ist.

Daneben gibt es noch weitere Entscheidungskriterien wie z. B.

- Einbruchschutz und Sicherheitsauflagen,
- Brandschutzaspekte und -auflagen,
- Schlagregenschutz sowie
- Lärmschutzaspekte und Raumakustik.

In der Regel sind die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht in Mitteleuropa groß genug, die Nachtlüftung auch während hochsommerlicher Hitzeperioden als einzige Kühlquelle zu nutzen, sofern die internen und solaren Wärmelasten begrenzt werden. Dabei ist unbedingt das lokale (Mikro-)Klima zu beachten.

## Nachtlüftung funktioniert

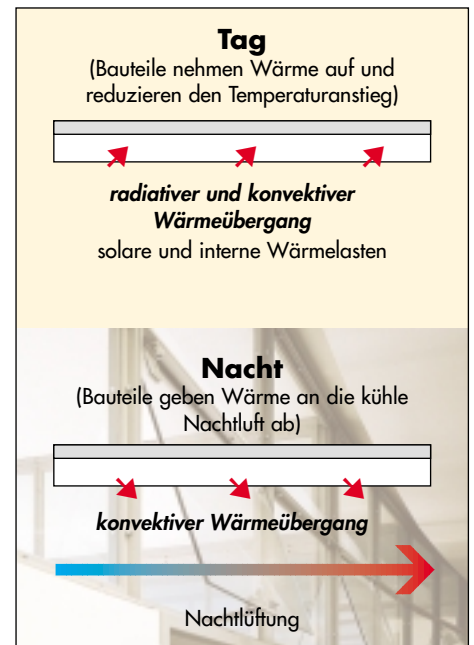
Durch die Vielzahl der Lüftungskonzepte ergeben sich auch sehr unterschiedliche Konzepte für luftgeführte Kühlstrategien im



## 5 Entwicklungstrends von freien und mechanischen Lüftungssystemen

Sommer. Die Nachtlüftung kann unabhängig davon, ob sie als mechanische, freie oder hybride Lüftung ausgeführt wird, eine wichtige Rolle im passiven Kühlkonzept übernehmen. Das Funktionsprinzip wird in 6 erläutert: Die solaren und internen Wärmelasten während des Tages werden zum Teil über die Lüftung abgeführt. Die restliche Wärme wird zum überwiegenden Teil konvektiv und durch Wärmestrahlung an die Bauteile abgeführt – hauptsächlich an die Decke aufgrund deren großer Speicherkapazität. Dennoch erwärmt sich die Raumluft. Durch die Nachtlüftung geht die während des Tages den Bauteilen zugeführte Wärme konvektiv an die Luft über und wird aus dem Gebäude abgeführt.

Viele Nachtlüftungskonzepte nutzen den thermischen Auftrieb. Ein durch Wind induzierter Luftwechsel wird zwar zusätzlich genutzt, in der Planung meist aber nicht berücksichtigt (worst case-Annahme). Die Temperaturdifferenz und der Wind bauen eine Druckdifferenz auf. Der Luftvolumenstrom stellt sich dann für eine bestimmte Druckdifferenz in Abhängigkeit des hydraulischen Widerstands ein. Da der Volumenstrom bei einem kleineren Widerstand größer ist, sollten die Fensteröffnungen groß gewählt und eine freie Gebäudedurchströmung ermöglicht werden. Mechanische Nachtlüftung wird über eine Lüftungsanlage realisiert, indem kühle Luft durch das Gebäude geflutet wird – meist per



6 Funktionsweise der Nachtlüftung: Am Tag nimmt die Decke Wärme auf, in der Nacht strömt kühle Außenluft durch den Raum (Klappen) und kühlt die Decke.

Abluftventilator und Luftströmung über Zuluftöffnungen. Ein geringer Druckverlust bedeutet hier einen geringeren elektrischen Energiebedarf für die Lüftungsanlage.

## Bilanz für passiv gekühlten Raum

7 zeigt die Energiebilanz für einen mit Nachtlüftung passiv gekühlten Raum: Die Wärmezufuhr durch interne und solare Wärmelasten wird soweit reduziert, dass eine zeitlich verzögerte Wärmeabfuhr in Verbindung mit der konstruktiv vorhandenen Speicherkapazität der Bauteile ausreicht, um einen Temperaturanstieg über den Behaglichkeitsbereich hinaus zu vermeiden. Ein Mehr an Wärmeeintrag muss durch eine effizientere Wärmeabfuhr kompensiert werden. Die Raumtemperatur stellt sich in Abhängigkeit der Energiebilanz im Raum ein. Damit können passive Kühlkonzepte mit Nachtlüftung nur im Zusammenspiel dieser Wärmeströme bzw. Energiemengen bewertet werden.

■ Die solaren Wärmelasten werden durch die Fenstergröße bzw. den Fensterflächenanteil, den g-Wert der Fenster und den Sonnenschutz bestimmt. Interne Wärmelasten können durch ein optimiertes Tages- und Kunstlichtkonzept sowie energiesparende Bürogeräte reduziert werden.

■ Die Wärmeabfuhr durch Lüftung (Tag- und Nachtlüftung) wird bei einem bestimmten Gebäude und für ein gegebenes Wetter durch die Dauer, die Intensität (Luftwechsel) und die Effektivität der Lüftung bestimmt.

■ Die dritte wesentliche Größe in der Bilanz ist die Speicherkapazität. Dabei ist es wichtig, die thermisch aktivierbare Speicherkapazität zu bestimmen. Wie viel thermische Energie im Laufe einer Nacht tatsächlich den Bauteilen entzogen werden kann, ist von den Materialeigenschaften und vom Wärmeübergang zwischen Luft und Bauteil abhängig.

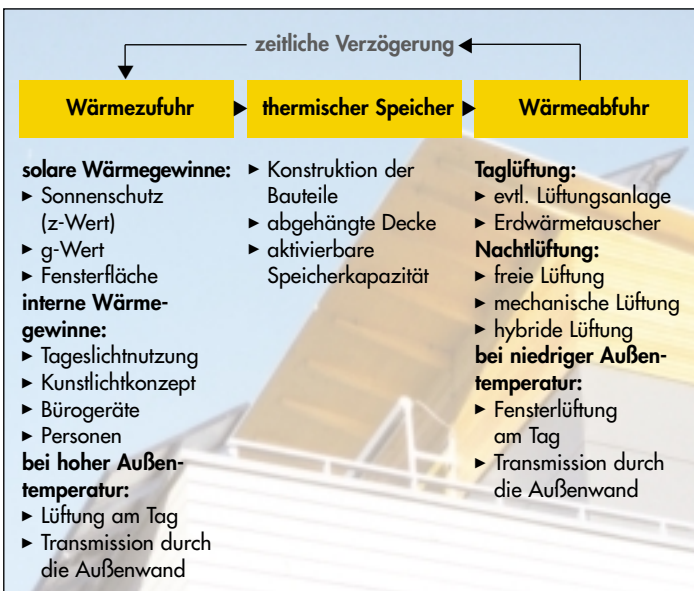
# Lüftungskonzepte für schlanke Bürogebäude

Schlanke Bürogebäude verzichten auf unnötig komplexe Anlagentechnik und den damit verbundenen Energie- und Kostenaufwand. Sie nutzen natürliche Energiequellen wie z. B. Tageslicht oder auch Wind und Temperaturunterschiede für die freie Kühlung. Dies reduziert den Stromverbrauch für Beleuchtung und Klimatisierung. Wie sehen Lüftungskonzepte für diese Gebäude aus?

Energieoptimierte Bürogebäude setzen auf einen hohen Wärmedämmstandard sowie auf passive Solarenergienutzung im Winter und geringen Elektroenergieverbrauch z. B. durch Tageslichtnutzung, Beleuchtungsautomatisierung oder energiesparende Bürogeräte. Auf eine aktive Kühlung kann verzichtet werden (8).

## Konzept passive Kühlung

Um auf eine aktive Kühlung verzichten zu können, werden bereits in der Planungsphase solare und interne Wärmelasten durch wirksamen Sonnenschutz und konsequente Geräteauswahl (z. B. Flachbildschirme, bedarfsgerechte Kunstlichtsteuerung) beschränkt. Unter Berücksichtigung einer entsprechend hohen thermischen Speichermasse kann das Gebäude in der Nacht „entwärmt“, d. h. abgekühlt werden. Insgesamt verhalten sich diese Gebäude thermisch „gutmütig“: Bis hin zu höheren Außentemperaturen liegen die Raumtemperaturen im Komfortbereich, ohne dass die Gebäude aktiv gekühlt werden müssen. Nur an wenigen Sommertagen kommt es zu die Komfortgrenze überschreitenden Raumtemperaturen. Zentraler Baustein dieses Energiekonzepts ist ein Lüftungskonzept, das den Einsatz von Gebäudetechnik und den Energiebedarf reduziert.



Energiebilanz für den passiv gekühlten Raum. Die thermische Speicherfähigkeit bewirkt, dass tagsüber zugeführte Wärme erst nachts abgeführt wird – ohne Überhitzungseffekt.

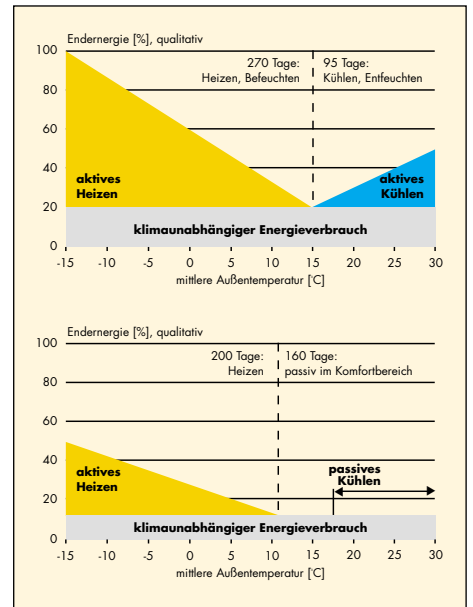
## Anforderung an Lüftungsanlagen

Die Entscheidung für ein Lüftungskonzept wird bereits im Entwurf nach ganz unterschiedlichen Kriterien getroffen. Die Lüftung in schlanke Bürogebäude darf nur einen geringen Druckverlust verursachen, da sonst ein hoher Energieaufwand für den Betrieb der Lüftungsanlage notwendig oder eine freie Lüftung gar nicht möglich ist. Die Kanalquerschnitte sollten so groß gewählt werden, dass die Strömungsgeschwindigkeit unter 2 m/s liegt. Die Leitungswege sollten möglichst kurz gewählt werden. Die Luftmengenregelung sollte nicht über Volumenstromregler erfolgen, weil diese einen hohen Druckverlust verursachen.

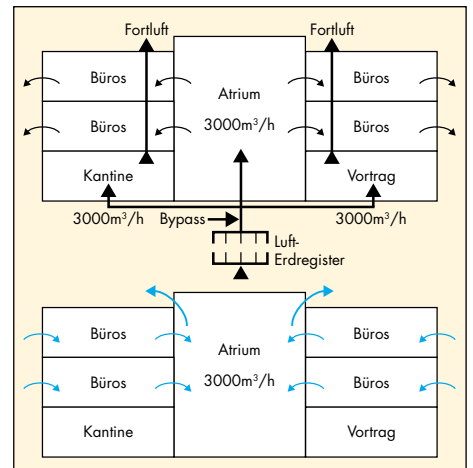
Für die Luftförderung stehen energieeffiziente Ventilatoren zur Verfügung – sie bieten eine Drehzahlregelung zur bedarfsgerechten Lüftung und haben eine Leistungsaufnahme von unter 0,25 W/(m³/h). Empfehlenswert ist die Kombination von einem besonders energieeffizienten Ventilator für den Gesamtvolumenstrom mit in Reihe geschalteten, dezentralen Ventilatoren für die bedarfsgerechte Lüftung in einzelnen Gebäudeteilen und Räumen kombiniert werden.

Alternativ kann das Lüftungssystem ggf. auch ohne Luftführung ausgestattet werden: Die Luft strömt dann frei durch den Büro-

raum von der Be- zur Entlüftung. Dabei sind die Anforderungen an den Brand- und Schallschutz zu beachten. zeigt ein typisches Beispiel für solche Lüftungskonzepte.



Oben: Konventionelle Bürogebäude werden nur über einen kleinen Temperaturbereich ohne aktive Heizung oder Kühlung betrieben. Unten: In schlanke Bürogebäude sinkt mit dem Heizwärmebedarf auch die Zahl der Tage, an denen geheizt wird – die Gebäude werden passiv gekühlt.



Lüftung per Zuluftanlage mit geringem Druckverlust am Tag (oben) und freie Nachtlüftung in der Nacht (unten – thermischer Auftrieb im Atrium)

## Schlanke Bürogebäude

Büro- und Verwaltungsbauten kennzeichnet häufig ein hoher Flächen- und Volumenverbrauch für die technische Gebäudeausrüstung. Den größten Anteil nehmen dabei raumlufttechnische Anlagen ein, insbesondere in vollklimatisierten Gebäuden. Hohe Kosten für Anschaffung, Unterhalt und Energie sowie das Phänomen des so genannten „Sick Building Syndrome“ stellen die Frage nach einer Alternative.

Der Begriff „schlanke Gebäude“ bezeichnet solche Bauten, die bereits auf Basis eines durchdachten Entwurfs und bauphysikalischer Qualitäten die Voraussetzungen dafür mitbringen, hohen thermischen Komfort mit einer schlanke Gebäudetechnik zu erreichen. Architektur, Bausystem, Baukonstruktion und Gebäudetechnik werden dabei so aufeinander abgestimmt, dass ein möglichst geringer Energiebedarf für Heizung, Kühlung und Beleuchtung erreicht wird. Herausragendes Merkmal ist der damit ermöglichte Verzicht auf den Einsatz von Kältemaschinen zu Gunsten der so genannten „passiven Kühlung“.

# Planung von Nachtlüftung

*Passive Kühlung heißt für Architektur, Bauwerk und Gebäudetechnik: Interne und solare Wärmelasten müssen am Tag begrenzt, die Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes genutzt und eine ausreichende Wärmeabfuhr in der Nacht gewährleistet werden.*

Bei Einsatz konventioneller Klimaanlage kann die Energiebilanz aktiv beeinflusst werden: Wenn durch hohe solare oder interne Wärmelasten die Raumtemperatur über den Komfortbereich ansteigt, kann die Wärme über eine Klimaanlage abgeführt werden. Diese Möglichkeit gibt es bei der passiven Kühlung nicht. Planungs-, Bau-, und Betriebsfehlern (auch Nutzerverhalten) kann nicht oder nur sehr aufwändig entgegengesteuert werden. Das Gesamtsystem „passive Kühlung“ erfordert daher eine Gewerke übergreifende und konsequent verzahnte Bearbeitung von Architekt und Fachplanern.

## Energiekennzahlen

Mit der Energieeinsparverordnung gibt es ein Instrument für die Bewertung des Energieaufwands für die Beheizung von Gebäuden. Nationale wie europäische Bestrebungen zielen auf eine Ausweitung auf raumlufttechnische Anlagen und auf den Gesamtenergieaufwand von Gebäuden. Auf europäischer Ebene wurde mit der „Energy Performance Directive“ der Europäischen Gemeinschaft vom Januar 2003 eine Methode zur Nutzung ganzheitlicher Energiekennzahlen für Gebäude eingeführt.

Damit kann in Zukunft einerseits erwartet werden, dass auch auf dem Gebiet der Bürogebäude solche Konzepte an Bedeutung gewinnen, die besonders niedrige Energiekennzahlen aufweisen. Andererseits müssen entsprechende Richtlinien und Normen bereitgestellt werden.

Solange diese Vorgaben für passiv gekühlte Gebäude nicht erlassen sind, muss auf vergleichbare Vorgaben für aktiv klimatisierte Räume zurückgegriffen werden oder auf die Arbeitsstätten-Richtlinie. Da eine geforderte

## Speicherkapazität

Eine 25 cm starke Betondecke kann z. B. 80 Wh/m<sup>2</sup> im Laufe eines typischen Sommertages aufnehmen und wieder abgeben, eine 5 cm starke Gipswand hingegen nur max. 15 Wh/m<sup>2</sup>. Wird der Wärmeübergang zwischen Luft und Bauteil durch eine abgehängte Decke verschlechtert, liegt die Speicherkapazität in diesem Fall nur noch bei 18 Wh/m<sup>2</sup>. Aus Gründen des Schallschutzes kann eine Teilabhängung der Decke und Wände (Akustikpaneele) notwendig sein, deren thermische Wirkung damit abgeschätzt werden kann. Zwar kann die abgehängte Decke im Laufe eines Tages kaum mehr Wärme aufnehmen als die Gipswand, sie kann aber über einen längeren Zeitraum ähnlich viel Wärme aufnehmen wie die freie Decke. Das ist ein wichtiger Aspekt, wenn es darum geht, einen hohen Wärmeeintrag über eine längere Hitzeperiode zu puffern.

Raumtemperatur (gemäß ③) nicht aktiv eingestellt werden kann, werden an die Planung und den Gebäudebetrieb höhere Anforderungen gestellt.

## Komfortgrenzen

Neben dem Behaglichkeitsfeld nach DIN 1946 wird die Zahl der sogenannten Überhitzungsstunden (= Anzahl der Stunden, an denen eine bestimmte Raumtemperatur überschritten wird) als Qualitätskriterium für das Raumklima eingeführt. Eine typische Forderung lautet, dass die Raumtemperatur an maximal 10% der Arbeitszeit über 25°C liegen darf. Die Überhitzungsstunden können der so genannten Raumtemperatur-Dauerlinie entnommen werden, sie zeigt die Häufigkeit, mit der die Raumtemperatur eine bestimmte Temperatur überschreitet. ⑩ vergleicht die reale Raumtemperatur-Charakteristik für die Nutzungszeit für drei Gebäude. Es wird deutlich, dass die Raumtemperaturen im Sommer auch von der Wettersituation am Standort abhängen. Einen wichtigen Einfluss auf die Effektivität von Nachtlüftung haben naturgemäß die nächtlichen Lufttemperaturen. ⑪ zeigt, wie kühl die Sommernächte in Deutschland tatsächlich sind.

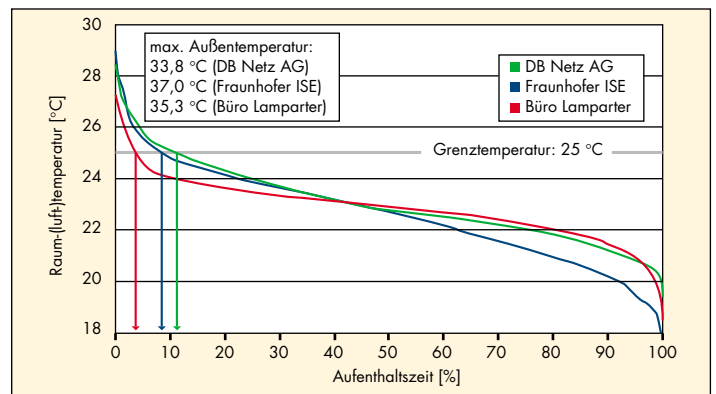
## Planungsinstrumente

In der Planung von passiver Kühlung kommt der thermischen Gebäudesimulation eine zentrale Bedeutung zu: Interne und solare Wärmelasten und die thermische Speicherfähigkeit der Bauteile stehen mit der Lüftung am Tag und in der Nacht in einem komplexen thermischen Gleichgewicht. Diese Abhängigkeiten können für unterschiedliche

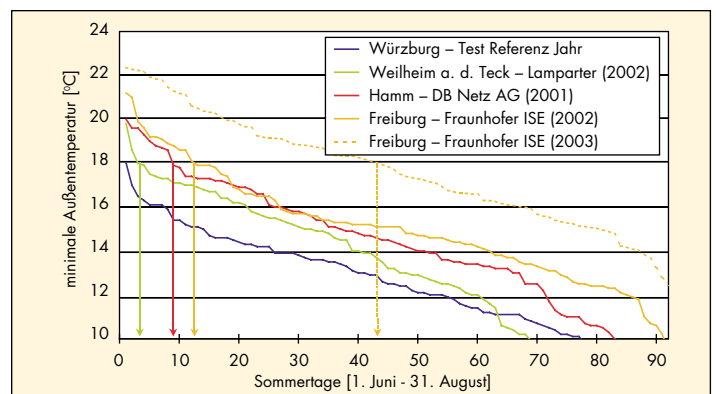
Varianten bzw. Entscheidungen im Bereich der Architektur oder der Gebäudetechnik bewertet werden. Darüber hinaus stehen Planungshandbücher und einfache Auslegungshilfsmittel für die Konzeptphase zur Verfügung. In jedem Fall gilt aber: Die Planung kann sich nur an den Vorgaben orientieren, die zwischen Bauherrn und Planer vereinbart wurden und die innerhalb der Möglichkeiten für die passive Kühlung liegen.

## Integrale Planung

In Abgrenzung zu konventionellen Klima- und Lüftungskonzepten zeichnet sich die passive Kühlung dadurch aus, dass die Aufgaben der Klimatisierung von der (aktiven) Gebäudetechnik in die (passive) Baukonstruktion verschoben werden. Damit liegt der Schwerpunkt weniger auf der Lösung modularer Planungsaufgaben (z. B. Planung einer Klima- und Lüftungsanlage). Vielmehr fordern diese Gebäudekonzepte eine komplexe, ganzheitliche Denkweise im Zusammenspiel der unterschiedlichen Gewerke am Bau, ⑫.

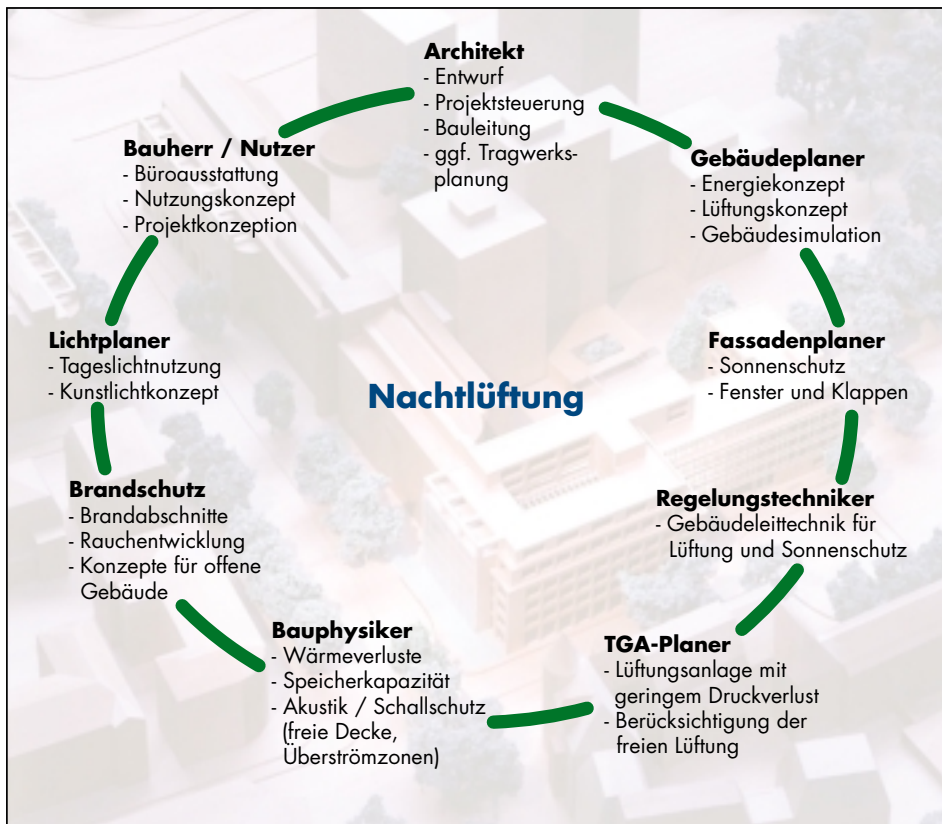


⑩ Temperaturverhalten der drei Gebäude im Vergleich: Die Raumtemperaturen liegen an 8% (Fraunhofer ISE), 4% (Büro Lamparter, hier: Lufttemperatur) bzw. 10,5% (DB Netz AG) der Aufenthaltszeit über der Grenztemperatur von 25°C. Die passiven Kühlstrategien halten die Temperaturen in den Büros im Behaglichkeitsbereich.



⑪ Wie kalt sind die Sommernächte? Häufigkeit verschiedener Außenlufttemperaturen für vier Standorte. So lagen 2002 im warmen Klima Freiburgs die Temperaturen von 12 Sommernächten durchweg über 18°C – im ungewöhnlich heißen Sommer 2003 waren dies immerhin 43 Nächte.

Die passive Kühlung ist wegen ihrer (scheinbaren) Einfachheit ein faszinierendes Konzept. Für diese Gebäudekonzepte kann eine hohe Nutzungsqualität jedoch nur durch eine hohe Planungs- und Ausführungsqualität erreicht werden, da definitionsgemäß kein aktives Kühlsystem Auslegungsfehler zu



## 12 Zusammenspiel der unterschiedlichen Gewerke am Bau für passiv gekühlte Gebäude mit Nachtlüftung



## 13 Integraler Planungsprozess für die Nachtlüftung

Lasten eines erhöhten Energieverbrauchs kompensiert.

### Roter Faden

Auf dem Weg von der ersten Idee für ein Gebäude über den gesamten Bauprozess bis hin zu dessen Inbetriebnahme werden immer wieder neue Ideen aufgenommen – und es gehen immer wieder wichtige Informationen in der Abstimmung zwischen den Gewerken verloren. Eine Forderung an die passive Kühlung ist daher ein robustes und weitgehend selbst regelndes System. Das Gebäudekonzept muss darüber hinaus flexibel und Nutzer freundlich sein. Ein solches Konzept kann nur auf möglichst genauen Vorgaben funktionieren:

Der Architekt erarbeitet in Abstimmung mit dem Bauherrn und nach Beratung mit Fachplanern ein Gebäudekonzept. Die Erfahrung mit vielen Projekten zeigt jedoch, dass oftmals wichtige Elemente des Kühlkonzeptes

### Grenzen der passiven Kühlung mit Nachtlüftung

Mit Hilfe der thermischen Gebäudesimulation können die Raumtemperaturen für das Gebäude in Abhängigkeit vom Wetter bestimmt werden. In Auswertung von Variantenrechnungen und diversen Projekten können die folgenden Randbedingungen für die passive Kühlung genannt werden:

- Die Kühllast (Tagessumme) soll  $150 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$  nicht überschreiten.
- Das Gebäude sollte thermisch schwer sein. In der Sanierung kann die Speicherkapazität z. B. mit Phasenwechselmaterialien (PCM - Latentwärmespeicherung) erhöht werden.
- Das Gebäude soll tagsüber wirksam belüftet werden können.
- Nachtlüftung: Mindestens 5 Stunden pro Nacht sollte die Außentemperatur unter  $21^\circ\text{C}$  liegen. Das ist in Mitteleuropa typischerweise gegeben, ggf. Mikroklima beachten. Der Luftwechsel sollte mindestens 2, besser  $4 \text{ h}^{-1}$  betragen.
- Freie Nachtlüftung nur wenn: Gebäudedurchströmung möglich, Luftqualität ausreichend, ausreichender Schutz gegen Außenlärm bzw. kein Außenlärm.
- Mechanische Nachtlüftung wenn: Freie Nachtlüftung nicht möglich oder Sicherheitsproblem (geöffnete Klappen und Fenster in der Nacht).

und die entwickelten Regelungskonzepte nicht zufriedenstellend umgesetzt werden.

■ Daher sollte ein Pflichtenheft für die Umsetzung der Planung am Bau sicher stellen, dass die vereinbarten Projektziele bzgl. Komfortbedingungen, Flexibilität und Nutzerfreundlichkeit eingehalten werden.

■ Die Nachtlüftung erfordert eine separate, wenn auch einfache Projektüberwachung. Mit einer auf die Nachtlüftung ausgerichteten Inbetriebnahme des Gebäudes nach Fertigstellung bzw. Sanierung können dann Schwachstellen identifiziert und behoben werden. Schließlich kann die Nachtlüftung als Baustein im Energiekonzept des Gebäudes abgenommen werden (vgl. 13).

### Hemmnis Gewährleistung

In Abgrenzung zur technischen Gewährleistung von (aktiven) Klimaanlage ist für passive Kühlkonzepte eine Gewährleistung ausgesprochen schwierig, weil diese Konzepte erst im Zusammenwirken der Gewerke Bauwerk und Technische Gebäudeausrüstung funktionieren.

Im Falle der passiven Kühlung durch Nachtlüftung sind Architekten und Fachplaner für ein Konzept verantwortlich, das von ihnen nur schwer bewertet werden kann und für das (noch) keine umfassenden technischen Regeln vorliegen. Darüber hinaus können Investoren die Funktionsfähigkeit der Vorschläge kaum überprüfen.

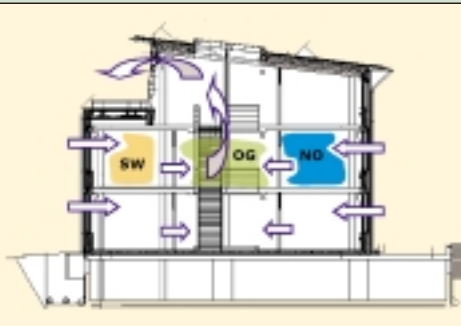
Damit ist die schwierige Qualitätssicherung im Zusammenspiel zwischen Bauherr, Architekt, Gebäudeplaner und ausführenden Firmen der Hauptgrund dafür, dass diese Gebäudekonzepte nicht häufiger realisiert werden. Während der gesamten Planungs- und Bauphase müssen die Pflichtenhefte zur passiven Kühlung verfolgt und ggf. Änderungen bewertet werden. Am Ende des Projektes sollte das Bürogebäude mit passiver Kühlung während der Inbetriebnahmephase messtechnisch bewertet werden, um

■ zu überprüfen, ob die festgelegten Erwartungen an die passive Kühlung in der Planung und in der Bauphase korrekt umgesetzt worden sind.

■ sicherzustellen, dass das Gebäude- und Klimakonzept eine flexible Gebäudenutzung unter Einhaltung der gestellten Anforderungen gewährleistet.

# Bürogebäude nach Passivhauskonzept

Das Bürogebäude der Fa. Lamparter, Weilheim a.d. Teck, setzt auf eine konsequente Reduzierung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste im Winter und eine passive Kühlung im Sommer. Das Lüftungskonzept mit Erdwärmetauscher, Wärmerückgewinnung (Winter) und Nachlüftung im Sommer ist auf diese Anforderungen ausgelegt.



Das Bürohaus des Ingenieur- und Vermessungsbüro Hans Lamparter GBR in Weilheim a.d. Teck ist das erste Passiv-Bürohaus Europas (links) und nutzt freie Nachlüftung zur passiven Kühlung im Sommer (rechts).  
Quelle: Architektur: Architekten Werkgemeinschaft Maier, Weinbrenner, Single (Nürtingen), Energiekonzept: Fraunhofer ISE (Freiburg), Monitoring: Fachhochschule für Technik, Fachbereich Bauphysik (Stuttgart).

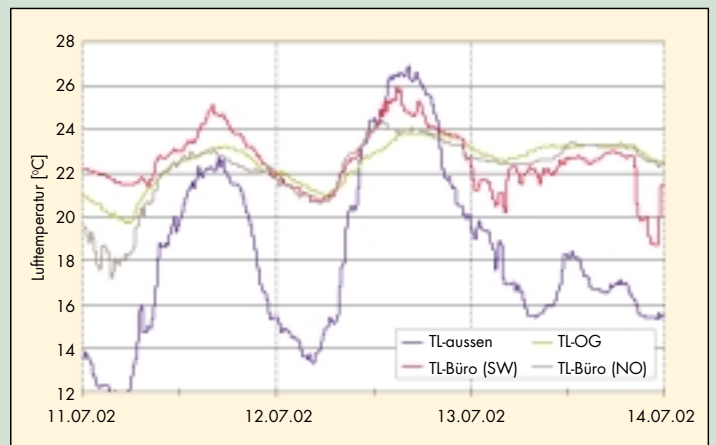
Strömungsvisualisierung: Die Luft strömt durch das Fenster in das Büro und aus dem Büro in das Treppenhaus.

Das Gebäude ist ein Stahlbetonskelettbau mit massiven Decken und einer im Leichtbau mit 24 cm Mineralfaserdämmung ausgeführten Außenwand. Das Bürogebäude wird mechanisch be- und entlüftet, wobei ein Erdwärmetauscher im Winter vorgewärmte und im Sommer gekühlte Luft zur Verfügung stellt. Die Lüftung gewährleistet mit 30 m<sup>3</sup>/h pro Person einen Mindestluftwechsel, der durch individuelle Fensterlüftung erhöht werden kann. Die Baukosten für das erste Passiv-Bürohaus Europas lagen unter 1.000 €/m<sup>2</sup>. Außenliegende Jalousien helfen im Sommer eine Überhitzung zu vermeiden (14, links). Eine freie Nachlüftung (14, rechts) verhindert das Aufschaukeln der Raumtemperaturen in Hitzeperioden. Während der Nachtlüftung strömt die Luft durch Oberlichter in die Büros und durch geöffnete Türen in die Kombizone. Die Oberlichter im Hochpunkt des Dachgeschosses sorgen für einen ausreichenden thermischen Auftrieb, um die freie Lüftung zu gewährleisten. Der Luftwechsel wurde mit Spurengasen gemessen, er liegt in den beiden Büros SW und NO bei ca. 1,2 h<sup>-1</sup> im Fall von mechanischer Lüftung. Bei hybrider Lüftung im Sommer (geöffnete Fenster) steigt der Luftwechsel abhängig vom Wind und dem Temperaturunterschied zwischen innen und außen auf 3 bis 6 h<sup>-1</sup>. Während der Nachtlüftung liegt der Nachtluftwechsel zwischen 4 (windstill) und 8 h<sup>-1</sup> (mäßiger Wind).

Der Luftwechsel ist die Summe aus Ausenluft- und interzonalem Luftwechsel. Daher bestimmt nicht nur der Luftwechsel selbst, sondern auch die Raumluftströmung die Effektivität der Nachtlüftung. Parallel zur Luftwechselmessung wird auch die Strömung visualisiert (15).

Das hybride Lüftungskonzept mit einer Kombination aus mechanischer und freier Lüftung hat sich bewährt, weil ganztägig eine gute Luftqualität gewährleistet wird und die Nutzer über die Fenster zusätzlich eingreifen können. Der Einfluss des Nutzerverhaltens auf die Lufttemperatur im Büro wird in 16 deutlich:

- In der ersten Nacht ist nur das Oberlicht im Büro NO geöffnet. Am 12. Juli ist dieses Büro kühler als das Büro SW.
- In der zweiten Nacht sind die Oberlichter in beiden Büros geöffnet. Am 13. Juli ist die Lufttemperatur in beiden Büros gleich hoch, bis nachmittags die Sonne in das Büro SW fällt.



Temperaturverlauf an drei Sommertagen in den drei Räumen SW, NO und OG (vgl. Abbildung 14, rechts).

■ In der dritten Nacht ist das Oberlicht nur im Büro SW geöffnet. Am 14. Juli ist die Lufttemperatur daher – trotz der Ausrichtung nach Süd-West – niedriger als im Büro NO. Im gesamten Jahr liegen die Raumtemperaturen während der Nutzungszeiten (fast immer) im Behaglichkeitsfeld (3). Im Jahr 2002 lagen die Raumtemperaturwerte während 101 Stunden (4% der Nutzungszeit) über 25°C.

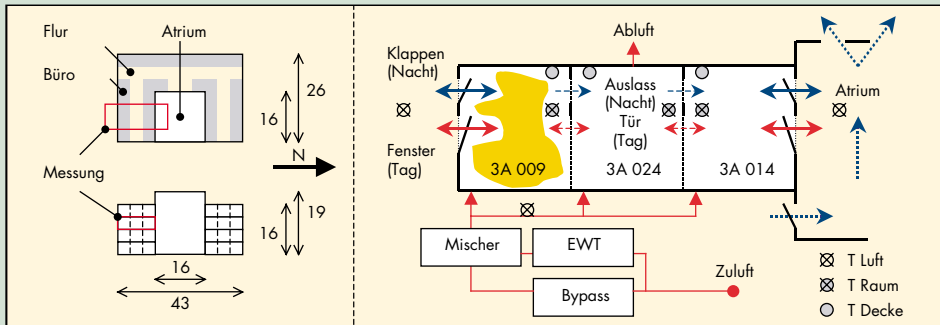
Das Lüftungssystem mit vorgeschaltetem Erdwärmetauscher und Wärmerückgewinnung sowie deren Regelung ist verhältnismäßig einfach aufgebaut. Damit ist ein ausgereifter robuster Betrieb des passiven Kühlkonzeptes möglich: Die passive Kühlung durch Nachtlüftung und mit Erdwärmetauscher ist energieeffizient (weitgehend freie Lüftung und low pressure-Lüftungsanlage) und gewährleistet ein angenehmes Raumklima.

Kühlkonzept		
Taglüftung	EWT*/ WRG*	Kühlkonzept
Belüftung und Fensterlüftung, Entlüftung über Kombizone	ja / ja	freie Nachtlüftung
* EWT: Erdwärmetauscher, WRG: Wärmerückgewinnung		



# Verwaltungsgebäude DB Netz AG

Der Heizenergiebedarf des Gebäudes wird durch eine kompakte Bauform und ein Atrium zur Nutzung passiver Solargewinne im Winter reduziert. Das Atrium dient auch als thermischer Antrieb für die (freie) Nachtlüftung. Tagsüber wird das hybride Lüftungskonzept durch einen Erdwärmetauscher ergänzt.



17 Verwaltungsgebäude der DB Netz AG in Hamm mit Grundriss und Schnitt (links) sowie Lüftungskonzept (rechts: rot Taglüftung, blau Nachtlüftung). Quelle: Architektur: Architrav Architekten (Karlsruhe), Energiekonzept und Monitoring: Universität Karlsruhe (Ifba).

als störend empfunden wird, werden im realen Gebäudebetrieb Sonnenschutz und Lüftungsklappen nicht automatisch geregelt, sondern nur nach einem Zeitprogramm gesteuert.

Wechselnde Projektpartner in der Planungsphase, Zeitdruck und Kommunikationsprobleme unter den verschiedenen Beteiligten sind als Ursachen dafür zu

Im Laufe des Planungs- und Bauprozesses wurde das ursprüngliche Lüftungskonzept mehrfach angepasst. Die Büros werden tagsüber mechanisch mit einer geringen Grundlüftung (Quelllüftung) versorgt. Über Fenster und Oberlichter kann individuell frei gelüftet werden (einseitige Fensterlüftung). Die Luft strömt zum Teil wieder nach außen bzw. ins Atrium, zum Teil durch Überströmöffnungen (Tellerventile) in die Kombizone (17, rechts).

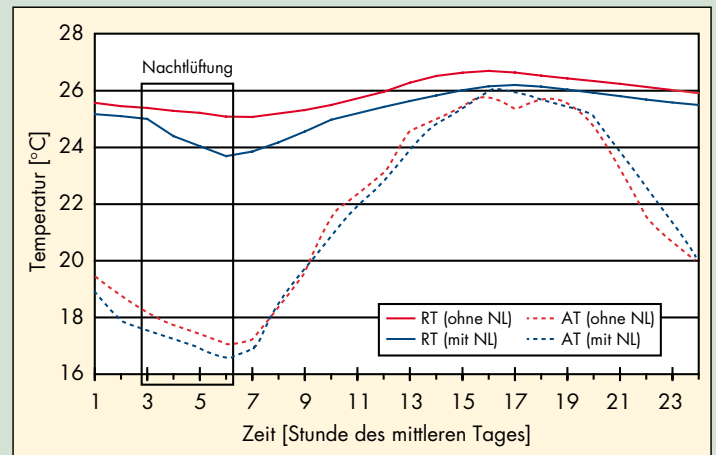
In den Sommernächten werden die Oberlichter der Büros nach außen bzw. zum Atrium und die Lüftungsklappen im Atrium automatisch entsprechend eines Zeitschaltprogramms geöffnet. Da die Büros über die Kombizonen und das Atrium miteinander lufttechnisch verbunden sind, bilden sich in Abhängigkeit der Tür- und Klappenstellungen sowie der Wettersituation während der freien Nachtlüftung sehr unterschiedliche Luftvolumenströme aus. Als typisch kann folgende Situation gelten:

■ Der Luftwechsel nimmt mit der Höhe des Büros im Gebäude ab, weil der thermische Auftrieb kleiner wird.

■ Der hydraulische Widerstand dominiert die Lüftung: Der überwiegende Teil des Gesamtluftwechsels strömt durch die unteren und oberen Atrium-Klappen und nicht in die Büros. (Die Atrium-Klappen sollten unten geschlossen werden, um einen höheren Nachtluftwechsel in den Büros zu erreichen.)

■ Wenn die Bürotüren geöffnet sind, erhöht sich einerseits der Luftwechsel, weil der hydraulische Widerstand gegenüber der Überströmöffnung sinkt. Andererseits entwickelt sich eine intensive Querströmung, im Gegensatz zur einseitigen raumbezogenen Fensterlüftung.

Der Effekt der Nachtlüftung kann im Vergleich von zwei Wochen mit vergleichbarem Wetter für einen Raum gut beschrieben werden: Obwohl der mittlere Nachtluftwechsel nur bei  $2 \text{ h}^{-1}$  liegt, wird die Raumtemperatur während der Nutzungszeit um 0,5 bis 1 K gesenkt (18). In Kombination mit dem automatisch geregelten Sonnenschutz werden damit auch in hochsommerlichen Wochen behagliche Raumtemperaturen erreicht. Das Gebäude ist mit einer umfangreichen Gebäudeleittechnik ausgestattet, die grundsätzlich einen komplett automatisierten Gebäudebetrieb möglich macht. Da der automatische Anlagenbetrieb von den Nutzern



18 Mittlerer Tagesverlauf der Raumtemperatur RT und der Außentemperatur AT. Vergleich für den Raum 3A009 (Lage des Raums im Gebäude: Abbildung 17) von je einer Woche mit und ohne Nachtlüftung (NL) bei vergleichbarem Wetter.

sehen, dass die Effektivität der Nachtlüftung nicht ausreichend ist. So wurden die Überströmöffnungen für die freie Lüftung zu klein dimensioniert. Eine deutliche Verbesserung der freien Nachtlüftung kann erreicht werden, wenn die Bürotüren nicht geschlossen werden (Verringerung des Strömungswiderstandes) und die unteren Lüftungsklappen im Atrium geschlossen bleiben (Erhöhung des Differenzdruckes zwischen den Büros und den oberen Atrium-Klappen).

Kühlkonzept		
Taglüftung	EWT*/ WRG*	Kühlkonzept
Quelllüftung (Grundluftwechsel) und Fensterlüftung, Entlüftung über Kombizone	ja / ja	freie Nachtlüftung

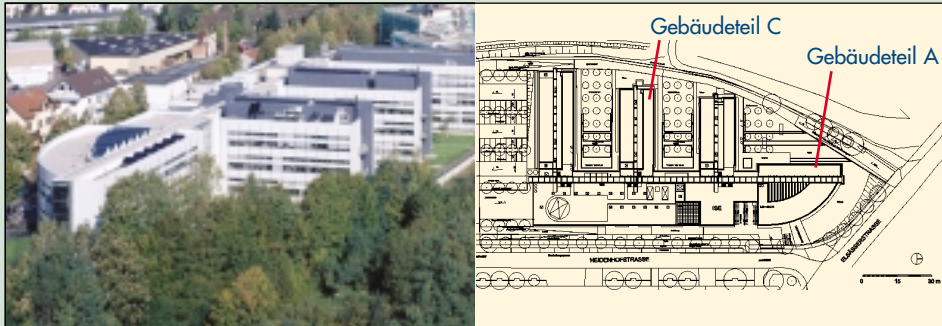
\* EWT: Erdwärmetauscher, WRG: Wärmerückgewinnung

**Potenzial von Nachtlüftung**

In einer typischen Sommernacht können bei einem 2-fachen Luftwechsel ungefähr  $100 \text{ Wh/m}^2$  und bei einem 6-fachen Luftwechsel bis zu  $220 \text{ Wh/m}^2$  abgeführt werden. Vorausgesetzt: Wärmelast, Speicherkapazität und Nachtlüftung sind aufeinander abgestimmt und die Decken sind nicht abgehängt.

# Büro- und Labornutzung Fraunhofer ISE

In diesem Neubau sind zwei unterschiedliche Nachtlüftungsstrategien realisiert. In den Sommernächten werden die Büros im Laborbereich mechanisch, im Gebäudeteil ohne Labore über ein Atrium frei entlüftet. Die kühle Außenluft strömt durch einen Lüftungsflügel in das Büro und über Oberlichter in den Flur bzw. in das Atrium.



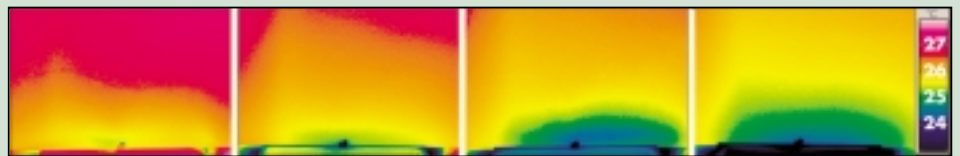
**19** ISE. Die Flügelstruktur wurde auf das Grundstück optimiert (Süd-Ausrichtung der Büros): Vogelperspektive (links), Schnitt (rechts). Quelle: Architektur: DISSING+WEITLING Arkitektfirma (Kopenhagen), Energiekonzept: Fraunhofer ISE, Monitoring: Fachhochschule Biberach.

Das Tragwerk besteht aus einem Stahlbetonskelett mit massiven, nicht abgehängten Decken. Je nach Orientierung und Funktion werden verschiedene Fassadentypen eingesetzt. Damit sollen jeweils eine gute Tageslichtnutzung und hohe passive Solargewinne im Winter erreicht und eine Überhitzung im Sommer durch statischen und variablen Sonnenschutz vermieden werden.

Im Gebäude sind zwei hybride Lüftungskonzepte umgesetzt: Im Laborbereich (**19**: Gebäudeteil C) müssen die Büros, bedingt durch die notwendige Be- und Entlüftung im Labor, mechanisch entlüftet werden. Im Gebäudebereich ohne Labore (**19**: Gebäudeteil A) werden die Büros über ein Atrium mechanisch belüftet.

**21** zeigt am Beispiel eines Tages die Wirkung der Nachtlüftung: Die kühle Nachtluft kühlt die Bauteile ab (**22**). Während die Lufttemperatur in Folge der sehr hohen internen und solaren Wärmelast während dieses Experiments schnell steigt, puffern die Bauteile einen Teil der Energiegewinne und die empfundene, operative Raumtemperatur liegt unter der Lufttemperatur.

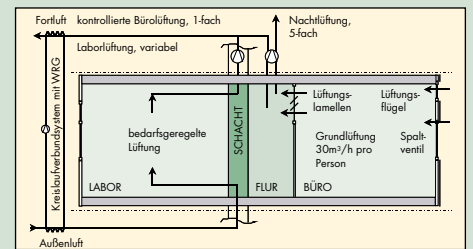
Je nach Lage der Büros im Gebäude (Erdgeschoss bis 2. Obergeschoss) und abhängig vom Lüftungskonzept entwickeln sich unterschiedliche Raumtemperaturen.



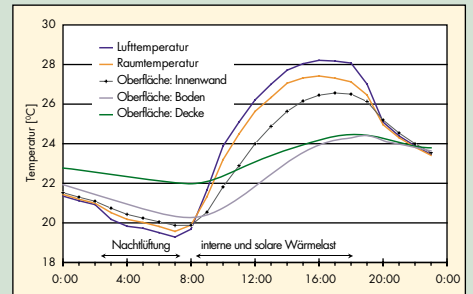
**22** Thermografie der Decke in Nähe des Fenster während der ersten beiden Stunden der Nachtlüftung. Die Decke kühlt erwartungsgemäß im Bereich des Fensters am schnellsten ab.

Die Nachtlüftung im Gebäudeteil A ist zwar effektiver als im Gebäudeteil C, durch höhere solare Wärmelasten führt dieser Effekt aber nicht unbedingt zu niedrigeren Raumtemperaturen. Bei vergleichbarer Nachtlüftungseffektivität im Gebäudeteil C steigt die Raumtemperatur in Folge der Temperaturschichtung im Gebäude vom Erdgeschoss bis zum 2. Obergeschoss.

Den Effekt der Nachtlüftung zeigt **23**: In der Zeit mit Nachtlüftung liegt die Raumtemperatur im Büroraum rund 1 K unter der Raumtemperatur in der Zeit ohne Nachtlüftung. Hier wird auch deutlich, dass die Raumtemperatur als Vergleichsgröße nur über größere Zeiträume verwendet werden kann, weil die Raumtemperatur stark vom Nutzerverhalten (Bürogeräte, Bedienung des Sonnenschutzes und Fensteröffnung) abhängt und eine große Streuung der Tem-

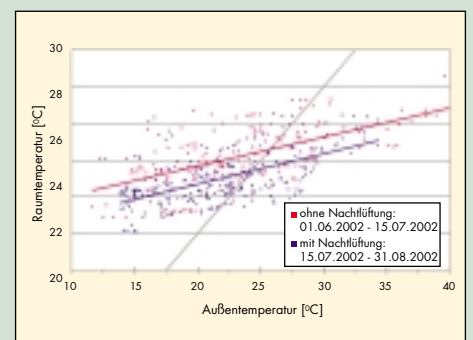


**20** Lüftungskonzept in den Gebäudeflügeln. Die mechanische Lüftung ist hier notwendig wegen des Laborbetriebs.



**21** Luft-, Raum- und Oberflächentemperaturen während eines Experiments mit sehr hohen internen Wärmelasten: Entsprechend der thermischen Masse verhält sich die Decke träger als die andern Bauteile. Die operative Raumtemperatur liegt zwischen Luft- und Oberflächentemperatur.

peraturen zur Folge hat. Der elektrische Energieaufwand für die mechanische Nachtlüftung liegt bei 0,4 W/(m<sup>2</sup>/h). Damit werden zwischen 2:00 und 7:00 Uhr eine Wärmemenge von bis zu 65 Wh/m<sup>2</sup> abgeführt. In den Gebäudeteilen A (ohne Labors) und C (mit Labors) pendeln sich verschiedene Temperaturniveaus ein. Das liegt an den unterschiedlichen Wärmelasten. Doch insgesamt hat die Nachtlüftung einen deutlichen, die Temperatur senkenden Effekt.



**23** Der Effekt der Nachtlüftung im Gebäudeteil C beträgt ca. 1 K.

Kühlkonzept		
Taglüftung	EWT*/ WRG*	Kühlkonzept
Gebäudeteil A: Belüftung über Atrium, Entlüftung über Fenster	ja / nein	freie Nachtlüftung, mechanisch unterstützt
Gebäudeteil C: Entlüftung über Flur, Zuluft über Fenster	nein / ja	mechanische Nachtlüftung, Ventilator im Flur (COP* = 4,5 / gemessen)

\* EWT: Erdwärmetauscher, WRG: Wärmerückgewinnung, COP: Coefficient of Performance

# Sanierung KfW-Hauptverwaltung

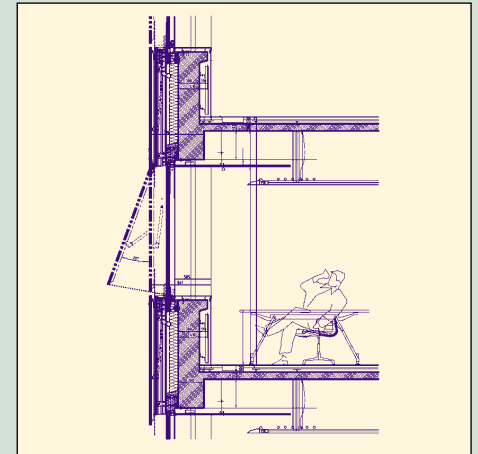
Die Kreditanstalt für Wiederaufbau in Frankfurt a. M. plant, ihr aus vier miteinander verbundenen Hochhaustürmen bestehendes Haupthaus deutlich aufzuwerten und zu erweitern. Die Sanierungsarbeiten zum Niedrigenergie-Bürogebäude begannen im Juni 2003 und werden 2005 abgeschlossen sein.



25 Regelgeschoss Haupthaus.



24 KfW-Hochhaus heute und die Sanierung als Visualisierung. Quelle: Architektur: RKW Architekten, Energiekonzept: Ingenieurpartnerschaft ip5, Monitoring: Universität Karlsruhe.



26 Lüftungsklappen. Quelle: Planungsbüro für Fassadentechnik Erich Mosbacher.

Das 1968 fertiggestellte Gebäude umfasst eine Brutto-Geschossfläche von ca. 26.000 m<sup>2</sup> und schließt nach Süden an die sog. Nordarkade der KfW an. Das Sanierungskonzept umfasst die Bereiche Haustechnik, Raumklima, Tageslichtsituation, Kunstlichteinsatz sowie Wärme- und Kälteerzeugung und soll den spezifischen Primärenergiebedarf für Heizen, Warmwasser, Kühlen, Lufttransport, Kunstlicht und technische Dienste von ca. 245 auf ca. 120 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> a) reduzieren.

Wichtiger Bestandteil des Energieeffizienzkonzepts ist die zentrale Abluftanlage, welche tagsüber den hygienisch erforderlichen Außenluftvolumenstrom von 40 m<sup>3</sup>/(Person x h) gewährleistet und nachts für die Entwärmung des Gebäudes mittels Außenluft mit einem 3 bis 4-fachen Luftwechsel verwendet wird. Der elektrische Energieaufwand für die Nachtlüftung soll hierbei auf unter 0,10 W/(m<sup>3</sup>/h) begrenzt werden.

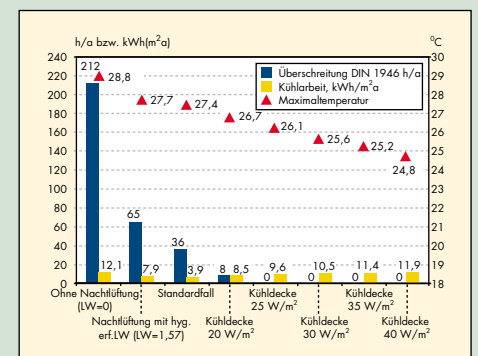
Entgegen der zunächst angestrebten Konzeption soll die vorhandene Beton-Rippendecke nicht freigelegt, sondern mit einer abgehängten Decke thermisch vom Raum weitgehend abgekoppelt werden. Simulationsergebnisse deuten dennoch auf ein ausreichendes Potenzial zur nächtlichen Entwärmung mit Außenluft hin. Daher wurde

das Konzept der nächtlichen Entwärmung mit Außenluft beibehalten. Zusätzlich kommen Kühldecken zum Einsatz, um die Einhaltung der DIN 1946 zu gewährleisten. Die Eckdaten des Kühlkonzeptes für einen Büroraum von 18,75 m<sup>2</sup>:

■ Die internen Wärmelasten durch Personen (2x75W) und Computer (2x50W+2x30W) liegen bei 16,5 W/m<sup>2</sup>. Unterhalb von 250 W/m<sup>2</sup> Globalstrahlung (horizontal) liefert das Kunstlicht zusätzlich 14 W/m<sup>2</sup>. Diese Wärmelasten sind durch den Einsatz von TFT-Monitoren und einer Kunstlichtregelung bereits weitgehend minimiert.

■ Die solaren Lasten werden – unter Beibehaltung der Fassadestruktur – durch den Einsatz von Sonnenschutzglas, einen außenliegenden Sonnenschutz sowie mit einer Sonnenschutz-Steuerung per Gebäudeautomation reduziert.

■ Ein zentraler druckdifferenz geregelter Abluftventilator steuert die Nachtlüftung. Zuluftelemente in der Fassade liefern pro Raum je nach Raumgeometrie und Anzahl der Klappen zwischen 40 und 80 m<sup>3</sup>/h Zuluft bei einer Druckdifferenz von 12 Pa von Raum gegen Außenluft. Die Lüftungsklappen (26) werden hydraulisch so justiert, dass ein windabgewandtes Büro bei c<sub>p</sub> = -0,6 und Wind von 8 m/s tagsüber noch ca. 50% des Soll-



27 Zusammenfassende Darstellung der Simulationsergebnisse für ein westorientiertes Standardbüro: Kühlaufwand und thermischer Komfort. Quelle: ip5

Volumenstroms erhält. Die Nachtlüftung soll hier mit einer Kühldecke ergänzt werden. So wird sich – bei entsprechender „Kühlarbeit“ der Kühldecke – eine niedrigere Maximaltemperatur einstellen und die Überhitzungsstunden werden reduziert. Die Ergebnisse der thermischen Gebäudesimulation (dreifacher nächtlicher Luftwechsel und Kühldecke) zeigt (27): Die Kühldecke liefert bei einer Vorlauftemperatur von 17°C und einer operativen Raumtemperatur von 26°C eine spezifische Leistung von 15 W/m<sup>2</sup>, bezogen auf die Raumgrundfläche. Durch die Nachtlüftung kann der Energieaufwand für eine aktive Klimatisierung über Kühlsegel und damit der Gesamtenergieaufwand des Gebäudes drastisch reduziert werden.

Kühlkonzept		
Taglüftung	EWT* / WRG*	Kühlkonzept
Abluftanlage gewährleistet hygienisch notwendigen Außenluftwechsel	nein / nein	mechanische Nachtlüftung (zentraler Ventilator) und Kühldecke (COP* = 16 / Planungswert)

\* EWT: Erdwärmetauscher, WRG: Wärmerückgewinnung, COP: Coefficient of Performance

## Fazit

*Passiv gekühlte Gebäude mit Nachtlüftung kommen mit weniger Gebäudetechnik aus als konventionelle Bürogebäude. Dafür erfordern sie einen anspruchsvolleren Planungsprozess. Nicht zuletzt ist eine ausreichende Sorgfalt in der Bauphase und bei der Inbetriebnahme für den Erfolg von „schlanken Gebäuden“ entscheidend.*

**B**ei der Planung neuer Bürogebäude steht unter Energieaspekten vor allem der sommerliche Wärmeschutz im Vordergrund. Infolge der zumeist großen Glasflächen und dem Einsatz stromintensiver Büroausstattung sind ein wirksamer Sonnen- und Blendenschutz echte Komfortfaktoren. Es zeigt sich: Bei konsequenter Reduzierung der Wärmelasten kann das Gebäude allein passiv gekühlt werden – sogar ohne Lüftungsanlage. Der Verzicht auf die Klimaanlage kann sogar mit einem Komfortgewinn verbunden sein. Die luftgeführte passive Kühlung bietet sich an, wenn im Bürogebäude ohnehin eine Lüftungsanlage installiert wird. Diese Lüftungsanlage gewährleistet ganzjährig eine gute Luftqualität und kann im Winter mit einer Wärmerückgewinnung kombiniert werden. Die passive Kühlung durch Nachtlüftung ist ein faszinierend einfaches Konzept für Bürogebäude und gewährleistet im Sommer ein gutes Raumklima.

Die Nachtlüftung kann mit Erdwärmetauschern kombiniert werden: Erdwärmetauscher kühlen tagsüber – die Nachtlüftung führt die sich tagsüber im Gebäude angesammelten Wärmelasten wieder ab. Beide Kühlkonzepte sind in der Baupraxis eingeführt und erprobt.

Die passive Kühlung und insbesondere die Nachtlüftung sind integraler Bestandteil von Gebäudeentwürfen. In Planung, Bau und Inbetriebnahme muss daher gleichermaßen Wert gelegt werden auf eine bauphysikalisch und anlagentechnisch optimale Realisierung.

Betriebserfahrungen aus mehreren energieoptimierten Bürogebäuden zeigen, dass mit Hilfe der Nachtlüftung angenehme Raumtemperaturen im Sommer auch ohne aktive Kühlung erreicht werden. Dabei muss jeweils ein Kompromiss zwischen einem robusten, automatisierten Energiekonzept und der Möglichkeit für individuelle Nutzer-eingriffe gefunden werden.

### Literaturverzeichnis

- 1) Voss, K.; Löhnert, G.; Wagner, A.: SolarBau:MONITOR. Energieeffizienz und Solarenergienutzung im Nichtwohnungsbau. Konzepte und Bauten. Fraunhofer ISE (Hrsg.): Jan. 2001. 80 S. € 14,32. Bezug: BINE Informationsdienst
- 2) Zimmermann, M.: Handbuch der passiven Raumkühlung. Hrsg.: Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Dübendorf (Schweiz). Zentrum für Energie und Nachhaltigkeit (ZEN). 1999.
- 3) Allard, F. (Hrsg.): Natural ventilation in buildings. A design handbook. London : James and James Ltd., 1998. ISBN 1-873936-72-9.
- 4) Heiselberg, P. (Hrsg.): Principles of hybrid ventilation. Hrsg.: Aalborg Univ. Hybrid Ventilation Centre. Aug. 2002.

### Ergänzende Informationen

Weitere Informationen sowie eine ausführliche Linkliste zum Thema sind bei BINE oder unter [www.bine.info](http://www.bine.info) (Service/InfoPlus) abrufbar.

### Förderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)  
11019 Berlin

Projekträger Jülich (PTJ) des BMWA  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Dr. Hans-Georg Bertram  
52425 Jülich

### Projektadressen

SolarBau:Monitor: [www.solarbau.de](http://www.solarbau.de)

Adressen der Projektbeteiligten finden Sie unter [www.bine.info](http://www.bine.info) (Service/InfoPlus).

### Förderkennzeichen

0335006 U  
Bürogebäude nach Passivhauskonzept  
0335006 R  
Energieeffizienz im Investorenobjekt  
0335006 O  
Neubau Institutsgebäude Fraunhofer ISE

## Impressum

### ISSN

1610 - 8302

### Herausgeber

Fachinformationszentrum Karlsruhe,  
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische  
Information mbH,  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

### Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig mit vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares. Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung des jeweils Berechtigten.

### Autor

Jens Pfafferott, Fraunhofer ISE, Freiburg

### Redaktion

Johannes Lang

## Kontakt

### Fragen zu diesem Themeninfo?

Wir helfen Ihnen weiter – wählen Sie die BINE Experten-Hotline:

Tel. 0228 / 923 79-44

### Allgemeine Fragen?

Wünschen Sie allgemeine Informationen zum energie- und umweltgerechten Planen und Bauen? Dann wenden Sie sich bitte an die unten stehende Adresse

 **BINE**  
Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe  
Meckenstraße 57, 53129 Bonn  
Tel. 0228 / 9 23 79 0  
Fax 0228 / 9 23 79 29  
eMail [bine@fiz-karlsruhe.de](mailto:bine@fiz-karlsruhe.de)  
Internet: [www.bine.info](http://www.bine.info)