

Klimatisierung und sommerlicher Komfort von Passiv-Verwaltungsgebäuden

Ursula Eicker

Zentrum für angewandte Forschung nachhaltige Energietechnik zafh.net, Hochschule für Technik
Stuttgart, Schellingstrasse 24, 70174 Stuttgart

Tel. (+49) 0711/8926 2831, Fax (+49) 0711/8926 2698, ursula.eicker@hft-stuttgart.de

1 Einleitung

Verwaltungsbauten weisen im Vergleich zum Wohnungsbau deutlich höhere interne Lasten auf. Bei oft höheren Verglasungsanteilen sind auch die externen Lasten größer. Diese Lasten erleichtern das Erreichen von geringen Heizwärmeverbräuchen, erschweren aber das Einhalten von gutem sommerlichem Komfort. Im Gegensatz zum Wohnungsbau ist Nachtlüftung mit sehr großen Öffnungsquerschnitten und Querlüftung aufgrund von Sicherheitsproblemen deutlich eingeschränkt (geschlossene Türen, meist nur gekippte Fenster möglich).

Zur Klimatisierung ohne aktive Kältetechnik können Erdreichwärmetauscher sowie natürliche oder mechanische Nachtlüftungsstrategien genutzt werden. Die Wärmeabfuhr durch Transmissionsverluste ist bei Passivstandardbauweise sehr eingeschränkt, nur bei Sanierungsprojekten mit schlechter gedämmter Bodenplatte können eventuell Lasten abgeführt werden. Externe Lasten müssen durch effizienten Sonnenschutz soweit wie möglich reduziert werden und interne Lasten durch energieeffiziente Geräte begrenzt werden.

Als Grenze für Tageslasten für eine passive Nachtlüftung werden von Zimmermann 150 Wh m^{-2} angegeben. Dabei sollten Umgebungstemperaturen mindestens 5 K unter Raumtemperatur und die Luftwechsel für mindestens 6 Stunden über 5 h^{-1} liegen (Zimmermann et al, 2003). Bei sehr kühlen Sommernächten mit Außentemperaturen unter 16°C können bis zu 250 Wh m^{-2} täglich abgeführt werden. Shaviv gibt an, dass nächtliche Luftwechsel über 20 liegen müssen (Shaviv et al, 2001). Messungen aus Niedrigenergieverwaltungsbauten zeigen, dass Luftwechsel oft nur zwischen 2 und 5 h^{-1} liegen (Pfafferott, 2003 and 2004). Dadurch wurde nur eine Raumtemperaturabsenkung von 1.2 K erreicht.

2 Gebäude- und Kühlkonzepte

Zwei Verwaltungsgebäude mit Passivhausstandard wurden über mehrere Jahre hinweg intensiv vermessen, um Aussagen über das sommerliche Verhalten zu gewinnen. Der Neubau Lamparter in Weilheim wurde 1999 gebaut und weist eine Nettogrundfläche von 1488 m^2 bei einem Volumen von 5540 m^3 auf. Der durchschnittliche U-Wert der Gebäudehülle beträgt $0.3 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Auf der Südwestseite des Gebäudes sind 46% verglast, auf der Nordseite 32%. Das Gebäude hat einen externen Sonnenschutz mit einem horizontal einstellbaren Tageslichtteil im Oberlichtbereich.

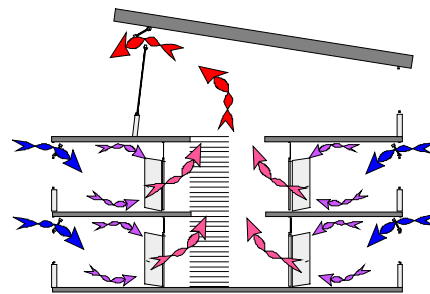


Abbildung 1: Gebäude und Nachtlüftungskonzept

Das Kühlkonzept basiert tagsüber auf einer mechanischen Lüftung mit Luftvorkühlung über einen Erdreichwärmetauscher. Der Luft/Erdreichwärmetauscher ist um das Gebäude herum verlegt in einer Tiefe von 2.80 m und einer Gesamtlänge von 90 m. Der Wärmetauscher besteht aus zwei Polyethylenrohren mit 35 cm Durchmesser und einem Abstand von 0.9 m. Der Nennvolumenstrom von $1900 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ entspricht einem Luftwechsel von 0.6 h^{-1} .

Die Nachtlüftung ist rein passiv über manuell zu öffnende Oberlichter (maximal 4000 cm^2 Öffnungsquerschnitt) mit Ablüftung über die Bürotüren und eine automatisch öffnende Rauchabzugsklappe im Dachbereich. Diese Klappe öffnet, sobald die Raumtemperatur 2 K über der Außentemperatur ist.

Das Bürogebäude der ebök GmbH in Tübingen wurde 2003 bezogen und hat eine Nutzfläche von 833 m^2 mit 3724 m^3 Brutto Raumvolumen. Die Gebäudehülle wurde auf Passivstandard saniert, bis auf die Bodenplatte, die aufgrund der niedrigen Raumhöhe nur mit 7.5 cm gedämmt werden konnte. Der Sonnenschutz ist innenliegend (Denkmalschutzgründe).

Das Kühlkonzept basiert komplett auf einer mechanischen Lüftung. Fünf horizontale Absorber mit jeweils 100 m Länge in 1.2 m Tiefe kühlen die Außenluft tagsüber vor. Die Nachtlüftung ist rein mechanisch, wobei die Außenluft über Weitwurfdüsen im Deckenbereich eingebracht wird.

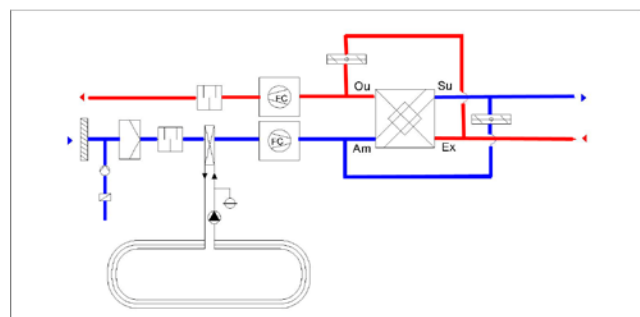


Abbildung 2: Bürogebäude Eboek mit Schema der Lüftungsanlage und horizontalem Erdreichwärmetauscher.

Ein wesentliches Thema bei mechanischer Nachtlüftung ist die elektrische Leistungsaufnahme. Die Auslegungsleistung der Ventilatoren für Taglüftung ist 300 W für einen Volumenstrom von $2000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ und 1100 W für die Nachtlüftung von $4000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

Messungen an der installierten Anlage ergaben einen Volumenstrom von $2066 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ für die Taglüftung bei Druckverlusten von 123 Pa im Zuluft- und 84 Pa im Abluftstrang. Die zugehörige Leistungsaufnahmen waren 200 W für den Zuluft- und 155 W für den Abluftventilator und damit relativ nahe am Auslegungswert. Der spezifische Verbrauch ist exzellent mit $0.17 \text{ W} / (\text{m}^3 \text{ h}^{-1})$.

Bei der Nachtlüftung dagegen mit einem Volumenstrom von $4021 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ und einem Druckverlust von 395 Pa benötigte der Zuluftventilator 1072 W und der Abluftventilator mit etwa 10% geringerem Volumenstrom und 356 Pa Druckverlust 850 W. Obwohl die spezifische Leistung mit $0.48 \text{ W} / (\text{m}^3 \text{ h}^{-1})$ immer noch relativ gering ist, liegt die Aufnahmeleistung 75% über dem Auslegungswert.

Der Vergleich der beiden Gebäude ermöglicht eine Einschätzung der Effizienz von Nachtlüftungsstrategien (natürlich gegenüber mechanisch), von Erdreichwärmetauschern (Luft gegenüber Sole) sowie von Taglüftungsstrategien mit Luftvorkühlung. Im Gebäudebereich selber werden vor allem interne und externe Lasten, der Einfluß von Speichermassen und Wärmeströme gegen Erdreich evaluiert.

3 Lasten und Gebäudetemperaturen

Im Lamparter Gebäude wurden die internen Lasten während drei Jahren detailliert vermessen. In einem Südbüro mit nur einem Computerarbeitsplatz und zwei Personen liegen die internen Lasten maximal bei $30\text{-}35 \text{ W m}^{-2}$, im Nordbüro mit zwei vollausgestatteten Computerarbeitsplätzen bei 50 W m^{-2} . Die Hauptlast wird durch Computer verursacht (bis zu 300 Wh pro m^2 und Tag), Beleuchtung im Winter trägt bis zu $100 \text{ Wh m}^{-2} \text{ Tag}^{-1}$ und Personen zwischen 50 und $100 \text{ Wh m}^{-2} \text{ Tag}^{-1}$ bei. Im Sommer mit vernachlässigbarer Beleuchtungsenergie liegen die Tageslasten im Südbüro zwischen $200 - 300 \text{ Wh m}^{-2} \text{ Tag}^{-1}$ und $400 - 500 \text{ Wh m}^{-2} \text{ Tag}^{-1}$ für das Nordbüro. Die externen Lasten durch Solarstrahlung sind schwerer zu messen und wurden mittels Gebäudesimulation ermittelt. Sie liegen auf der Südseite bei Teilverschattung bei etwa $30 \text{ Wh m}^{-2} \text{ Tag}^{-1}$ durch kurzweilige Einstrahlung und $15 \text{ Wh m}^{-2} \text{ Tag}^{-1}$ durch sekundäre Wärmeströme. Transmissionswärmeströme sind insgesamt negativ, da die Innentemperaturen nachts und in den Morgenstunden über den Außentemperaturen liegen. Insgesamt sind die externen Lasten gegenüber den internen Lasten gering.

Unter typischen Sommerbedingungen in Deutschland funktioniert das Lamparter Gebäude sehr gut mit nur etwa 2% aller Bürostunden über 26°C (2001: 1,9%, 2002: 2,4%). Im Sommer 2003 mit einer um 3.2 K höheren mittleren Außentemperatur waren 9.4% der Bürostunden (230h) über 26°C und damit im zulässigen Bereich.

Auch im ebök Gebäude sind die sommerlichen Bedingungen im Allgemeinen zufrieden stellend. Im Sommer 2005 mit 220 Außentemperaturstunden über 25°C waren je nach Raum zwischen 4.2% und 7.7% aller Büronutzungsstunden über 26°C . Im wärmeren Sommer 2006 mit 4 K höheren mittleren Außentemperaturen im Juli waren zwischen 10.6 und 16.6% aller Stunden über 26°C .

4 Nachtlüftung

Das insgesamt gute sommerliche Raumklima im Lamparter Gebäude wird durch den guten externen Sonnenschutz und die effiziente Nachtlüftung bewirkt. Im Sommer 2003 wurden während 170 Nachtstunden Luftwechsel mit Tracergasen gemessen. Bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 1.1 m s^{-1} lag der mittlere nächtliche Luftwechsel bei 9.3 h^{-1} . Die Luftwechsel steigen mit der Windgeschwindigkeit bei einem allerdings geringen Korrelationskoeffizient von 0.1. Zwischen Temperaturdifferenz innen und außen und Luftwechsel war keine Korrelation vorhanden, was die Dominanz von Querlüftung gegenüber Auftriebsströmung verdeutlicht.

Trotz des hohen Luftwechsels sinkt die Raumlufttemperatur während der heißen Sommermonate nur um etwa 3 K vom Tagesmaximum und bleibt etwa 5 bis 6 K oberhalb der minimalen nächtlichen Außentemperatur. Trotz der hohen Luftwechsel bestehen im Raum deutliche Temperaturschichtungen: die kühle Außenluft tritt durch das Oberlicht ein und sinkt auf den Fußboden, der deutlich abkühlt, während die Deckentemperaturen nur wenig sinken und somit nicht wesentlich entladen werden können.

Dieselbe Problematik mit nur geringen sommerlichen Raumlufttemperaturabsenkungen von 2-3 K ist im sanierten ebök Gebäude vorhanden. Trotz gezielter nächtlicher Anströmung des Deckenbereichs mit PCM Platten wird aufgrund des geringen Luftwechsels von 2.6 h^{-1} und der relativ hohen Zulufttemperatur von minimal 20°C (bei Außentemperaturen bis zu 16°C) im Mittel nur 2 W m^{-2} oder 30 Wh pro m^2 Deckenfläche und Nacht abgeführt. Insgesamt werden durch die Nachtlüftung im Mittel einer zweiwöchigen Messphase 85 Wh pro m^2 Bürofläche und Nacht abgeführt. Die Gesamtleistung der Nachtlüftung während einer zweiwöchigen Messphase im Juni lag zwischen 8 und 14 kW.

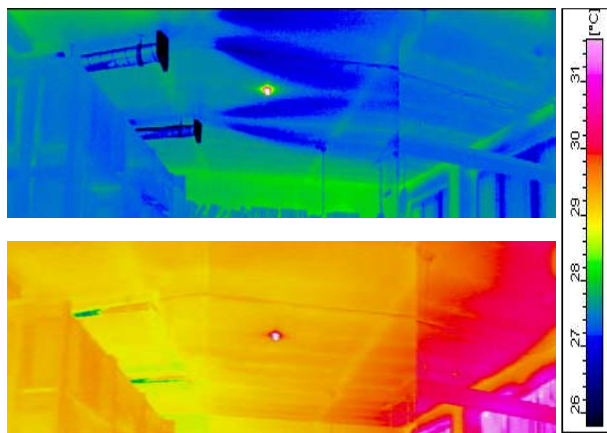


Abbildung 3: Deckenaus Kühlung durch mechanische Nachtlüftung (28.6. 2005, 6:00h oben, 28.6.2005, 14:00h, unten).

5 Erdreichwärmetauscher

Für den Luft-Erdreichwärmetauscher im Lamparter Gebäude konnten über 3 Messjahre die produzierten Wärme- und Kältemengen gemessen und jährliche Leistungszahlen bestimmt werden. Die Leistungszahlen sind aufgrund geringer Druckverluste im Kanal exzellent und

erreichen Werte von 50, 35 und 38 in den Jahren 2001 bis 2003. Da jedoch nur der hygienisch notwendige Luftwechsel über den Erdreichwärmetauscher gefahren wird, ist der Beitrag zur Kühllastabfuhr begrenzt: Von den durchschnittlichen internen Lasten in einem Südbüro von $131 \text{ Wh m}^{-2} \text{ Tag}^{-1}$ im Sommer 2003 werden 18% durch den Erdreichwärmetauscher abgeführt, also $24 \text{ Wh m}^{-2} \text{ Tag}^{-1}$. Bei jährlich etwa 2000 Kühlstunden lag die mittlere jährliche Kühlleistung des Erdreichwärmetauschers in der dreijährigen Messperiode zwischen 1.3 und 1.8 kW.

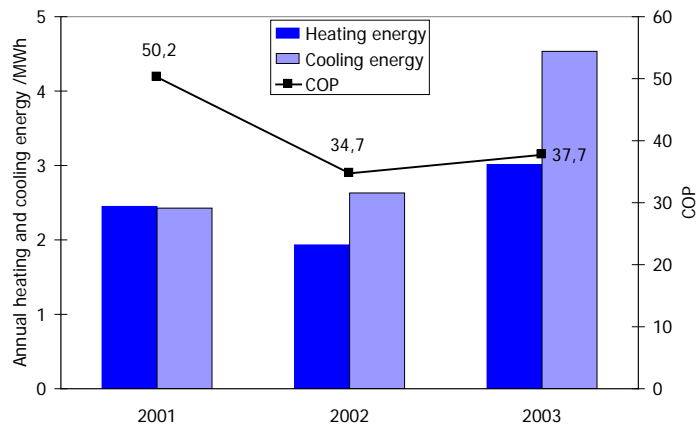


Abbildung 4: Jährliche Heiz- und Kühlenergie, die durch den Luft-Erdreichwärmetauscher produziert wird, sowie die elektrische Leistungszahl.

Im ebök Gebäude wurden über kürzere Messperioden Leistungen des horizontalen Sole Erdreichwärmetauschers ermittelt. Die durchschnittliche Kühlleistung im Juni betrug 1.5 kW mit Maximalleistungen von 4 kW, was einer Erdreich Dissipationsleistung von 8 W pro m Absorber bedeutet. Auch hier sind die Leistungszahlen sehr gut mit Maximalwerten von 40 und Durchschnittswerten von 18.

6 Zusammenfassung

Zur Untersuchung der Effizienz der Klimatisierung durch EWT und Nachtlüftung und zur Bewertung des sommerlichen Komforts von Passiv Verwaltungsbauten wurden zwei Gebäude sehr detailliert vermessen: der Verwaltungsbau Lamparter in Weilheim als Neubau und das Bürogebäude Ebök in Tübingen als Sanierungsobjekt. Die Gebäude werden durch EWT (Luft – Erdreich im Fall Lamparter und Sole – Erdreich im Fall ebök) sowie durch natürliche (Lamparter) bzw. mechanische Nachtlüftung (ebök) klimatisiert.

Anhand mehrjähriger stündlich aufgelöster Messdaten wurden die Energieeffizienz der beiden Erdreichwärmetauscher und deren Beitrag zur gesamten Kühllastabfuhr ermittelt. Beide EWT erreichen exzellente Leistungszahlen zwischen 18 und 40 bei einem insgesamt allerdings geringen Beitrag zur Kühllastabfuhr.

Bei den Nachtlüftungskonzepten werden bei natürlicher Lüftung mit Querlüftung hohe Luftwechsel erreicht, wobei die Anströmung der Deckenbereiche und die damit verbundene Wärmeabfuhr jedoch unzureichend sind. Bei der mechanischen Lüftung konnte eine gezielte Deckenanströmung gemessen werden, allerdings sind die Luftwechselraten gering (etwa 2-facher Luftwechsel im Fall ebök) und damit die Wärmeabfuhr beschränkt.

Da zu einer effizienten passiven Klimatisierung hohe Luftwechsel erforderlich sind, wird für Verwaltungsbauten eine möglichst hohe und passive Querlüftung empfohlen.

Danksagung

Die Arbeiten wurden im Rahmen zweier vom Bundeswirtschaftsministerium geförderten Monitor Projekte durchgeführt (SolarBau Monitor und ENSAN). Die Autorin dankt vor allem den beteiligten Gebäudebetreibern und Nutzern der Lamparter Ingenieurgesellschaft und den kompetenten ebök Ingenieuren für die zur Verfügung gestellten Daten und Kooperation bei der Auswertung.

Referenzen

Pfafferott, J. (2003). Evaluation of earth-to-air heat exchangers with a standardised method to calculate efficiency, *Energy and Buildings* 35, pp. 971 - 983

Pfafferott, J., Herkel, S., Wambsganß, M. (2004). Design, monitoring and evaluation of a low energy office building with passive cooling by night ventilation. *Energy and Buildings* 36, pp 455-465

Shaviv, E., Yezioro, A., Capeluto, I.G. (2001). Thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy, *Renewable Energy* 24, pp 445 - 452

Zimmermann, M. (2003). *Handbuch der passiven Kühlung*, Fraunhofer IRB Verlag