

Artikel in: Bauphysik Heft 4, August 2002

Energetisches Konzept für den Neubau der Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg in Sankt Augustin

Abstract

For the new building of a University of applied sciences a comprehensive ecological concept was developed with the aim to create an environmental adequate building with low overall energy demand. A monitoring program was started to investigate the total energy consumption, the performance of systems and the resulting user comfort. The monitored performance of an earth heat exchanger and an adiabatic cooling system are presented. The results show the energy saving potential and necessary modifications.

Für den Neubau einer Fachhochschule wurde ein umfassendes ökologisches und energetisches Konzept erarbeitet mit der Zielsetzung, ein ökologisch verträgliches und energiesparendes Gebäude zu errichten. Durch ein Monitoringprogramm wurde die Effizienz einzelner Maßnahmen sowie der Gesamtenergieverbrauch untersucht. Detaillierte Messergebnisse des Erdwärmetauschers und des adiabaten Kühlsystems werden vorgestellt. Die Ergebnisse zeigen das Energieeinsparpotenzial der Systeme und notwendige Veränderungen der Regelungstechnik.

Autor

Dipl.-Ing. Marcus Oetzel.

Studium des Bauingenieurwesens an der Ruhr-Universität Bochum. Diplom 1997.

Seit 1999 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl klimagerechte Architektur und Bauphysik, Prof. Dr.-Ing. H.F.O Müller, Universität Dortmund

Das Gebäude

Im September 1999 konnte der Neubau der Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg am Standort Sankt Augustin seiner Bestimmung übergeben werden und beherbergt seit dem Wintersemester 1999/2000 die Fachbereiche Maschinenbau, Elektrotechnik, Technikjournalismus, Wirtschaft und Informatik. Neben den Fachbereichen sind auf der Nutzfläche von ca. 16.000 m² die Hochschulverwaltung, Bibliothek und Mensa untergebracht (Bild 1).



Bild 1: Luftaufnahme der Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg

Das Land Nordrhein-Westfalen als Bauherr legte großen Wert darauf, das Gebäude in energetischer und ökologischer Hinsicht zu optimieren, wofür ein eigenes Budget zur Verfügung

gestellt wurde. Nach der ursprünglichen Planung im Rahmen eines Architektenwettbewerbes wurde ein Ökologiekonzept erarbeitet, in dem der Anforderung an energiesparende und ökologische Bauweise durch ein umfassendes Maßnahmenpaket Rechnung getragen wurde.

Im Rahmen des Förderkonzeptes „Solar Bau Teilkonzept 3“ wird das Gebäude seit Januar 2000 in einem Begleitforschungsprogramm vermessen und die energetische Effizienz bezüglich des Gesamtenergiebedarfes sowie einzelner Maßnahmen dokumentiert und mit den Planungszielen verglichen.

Tabelle 1 fasst die wichtigsten Gebäudedaten zusammen.

Tabelle 1: Gebäudedaten

Nettovolumen:	107.000 m ³
Nettogrundfläche:	25.500 m ²
Hauptnutzfläche:	16.000 m ²
Mittlere Raumhöhe:	4,44 m
Geschosse:	2-3, nicht unterkellert
A/V-Verhältnis:	0,32 1/m
Fensteranteil:	23%

Energetisches Konzept

Das erarbeitete Konzept umfasst sowohl energetische als auch ökologische Maßnahmen, die hier nur kurze Erwähnung finden sollen:

- Verwendung ökologisch unbedenklicher Materialien im Bezug auf Schadstoffabgabe
- Niedriger Primärenergiegehalt der verwendeten Baustoffe
- Dach- und Fassadenbegrünung
- Regenwassernutzung und Versickerung auf dem Gelände

Im Hinblick auf eine energetische Optimierung wurden folgende Maßnahmen umgesetzt:

- Erhöhter Dämmstandard der Gebäudehülle:
Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die U-Werte und Konstruktion der Gebäudehülle:

Außenwände:	Pfosten-Riegel-Konstruktion, Dämmstärke 16 cm	U = 0,20 W/m ² K
Fenster:	Holz-Aluminium-Verbund	U _v = 1,1 W/m ² K, g _v = 0,58
Dächer	KalZip / extensive Begrünung, Dämmstärke 18-22 cm	U = 0,15 – 0,19 W/m ² K

- Nutzung thermische Massen:
Zur Wärmespeicherung im Winter und vor allem zur Dämpfung der Temperaturen im Sommer wird die massive Primärkonstruktion herangezogen. In der Konsequenz wurde auf Verkleidungen der Wände und Decken verzichtet, um den Wärmeaustausch nicht zu behindern. Maßnahmen zur Raumakustik wurden als frei hängende Konstruktionen ausgeführt.
- Lüftung / Kühlung Hörsaalbereich:
Auf eine konventionelle Kältemaschine zur Kühlung der Hörsäle wurde verzichtet. Die Konditionierung der Zuluft im Sommer erfolgt über einen Erdwärmetauscher und eine adiabate Abluftkühlung, auf die später genauer eingegangen wird.
- Nachtlüftung:
Zonen mit Seminarräumen und Büros sind natürlich belüftet. Eine Kühlung dieser Räume im Sommer erfolgt durch ein Nachtlüftungssystem, bei dem Oberlichtklappen und Überströmkanäle nachts automatisch geöffnet werden und so eine Querlüftung durch das Gebäude ermöglicht wird. Die Auskühlung der thermischen Massen führt zu einer Dämpfung

der Raumtemperaturen am Tag.

- Tageslichtnutzung und Tageslichtergänzungsbeleuchtung:
 Durch den Einsatz transparenter Wärmedämmung in den Oberlichtern der Seminarräume wird eine bessere Tageslichtbeleuchtung in den Raumtiefen erzielt. Getrennte außenliegende Jalousien im Oberlicht- und Fensterbereich ermöglichen eine Nutzung und Lenkung von Tageslicht auch bei tiefstehender Sonne. Durch eine tageslichtabhängige Regelung wird der Beleuchtungsstromverbrauch minimiert.

Stellvertretend für die Vielzahl der untersuchten Systeme sollen im Folgenden die Ergebnisse der passiven Klimatisierung durch Erdkanal und adiabate Abluftkühlung sowie die Gesamtenergiebilanz genauer betrachtet und diskutiert werden.

Erdkanal

Die Hörsäle, Bibliothek und andere Räume mit hoher Personenanzahl werden durch eine Lüftungsanlage mit Frischluft versorgt. Zur Vorheizung der Außenluft im Winter und Vorkühlung im Sommer wurde ein Erdkanal installiert, dessen technische Daten in Tabelle 2 aufgeführt sind:

Tabelle 2: Technische Daten des Erdkanals

Anzahl der Röhren:	3	Verlegetiefe:	4 m unter Gebäude
Material:	Stahlbeton	Nennvolumenstrom:	86750 m ³ /h
Nennweite:	DN 1700	Wärmetauscherfläche:	1202 m ²
Länge:	je 75 m	Spezifische Oberfläche:	0,014 m ² /m ³ h ⁻¹

Die Forderung nach Begehrbarkeit des Erdwärmetauschers zur Reinigung und Wartung sowie die geringe verfügbare Fläche durch Verlegung unterhalb des Gebäudes bedingten die Wahl von nur drei Röhren mit großem Nenndurchmesser. Hierdurch nimmt die spezifische Wärmetauscherfläche, d.h. das Verhältnis von Oberfläche zu gefördertem Luftvolumen einen relativ ungünstigen Wert an; Erdwärmetauscher mit vielen Röhren kleineren Durchmessers weisen spezifische Oberflächen bis zu 0,15 m²/m³h⁻¹ auf.

Zur Quantifizierung der Leistung wurden die Außentemperatur, Volumenstrom und Lufttemperatur am Auslass des Erdwärmetauschers gemessen. Die erzielte Temperaturdifferenz variiert stark in Abhängigkeit der Außentemperatur, des Volumenstroms und der Erdreichtemperatur. In Bild 2 ist die erreichte Vorwärmung bzw. - Kühlung über der korrespondierenden Außentemperatur dargestellt, wobei jeder Punkt einen 15-minuten Mittelwert während der Betriebszeit im Jahr 2001 darstellt. Eine maximale Vorwärmung von 10 K und eine Abkühlung um 7 K wurden erzielt.

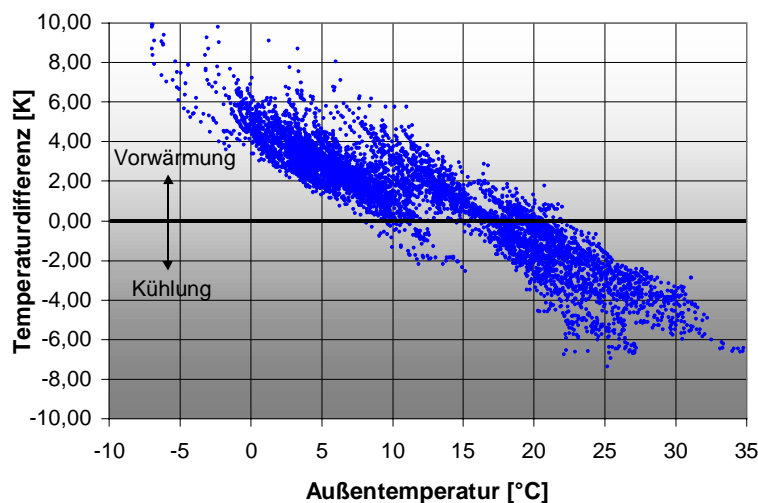


Bild 2: Erzielte Temperaturdifferenz durch den Erdwärmetauscher im Jahr 2001

Um eine Abkühlung der Außenluft im Winter bzw. Erwärmung im Sommer zu vermeiden, wurde das System mit einem Bypass ausgestattet, durch den bei geschlossenem Erdkanal Außenluft direkt angesaugt werden kann. Als Zielwert für die den RLT- Anlagen zugeführte vorkonditionierte Außenluft ist 17°C festgelegt. Wie aus Bild 3 ersichtlich, wird eine ineffektive Nutzung des Erdwärmetauscher hierdurch wirkungsvoll vermieden. Die Abweichungen vom Sollbereich sind auf die Trägheit und Ungenauigkeiten in der Regelungstechnik zurückzuführen:

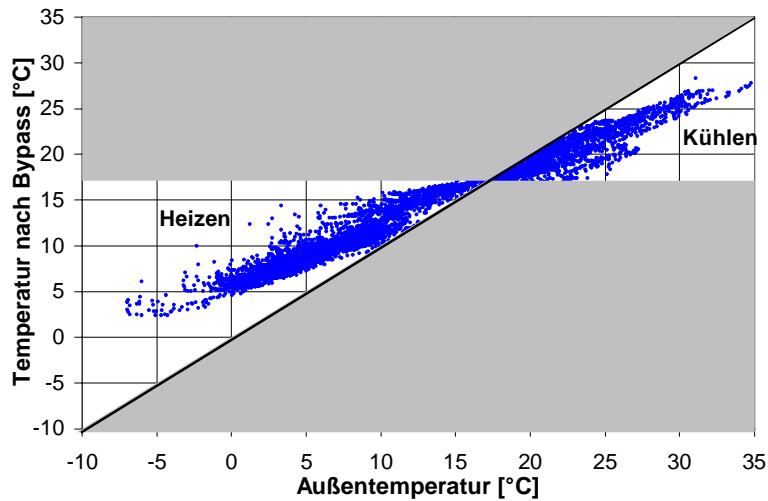


Bild 3: Temperaturregelung der Außenluftkonditionierung durch den Bypass (Jahr 2001)

Aufgrund einer fehlerhaften Regelungsstrategie konnte im Jahr 2000 der Vorteil der Bypassklappen nur teilweise genutzt werden. Die Steuerung wurde daraufhin überarbeitet.

Bild 4 zeigt die Verteilung der Gewinne von Heiz- und Kühlenergie als Summen innerhalb von Temperaturintervallen von 1°C der Außentemperatur (Jahr 2001). Die meiste Heizenergie wurde bei Temperaturen zwischen 4 und 5°C erzeugt, die meiste Kühlenergie zwischen 22 und 24°C. Das Ergebnis entspricht der Häufigkeit, mit der Außentemperaturen innerhalb des Jahres auftraten:

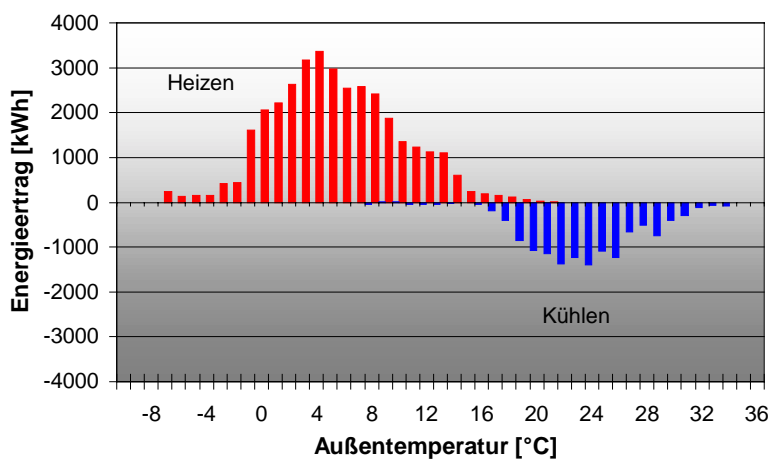


Bild 4: Erzielte Heiz- und Kühlenergie über Intervalle der Außentemperatur

In Bild 5 ist der kumulierte Ertrag der Heiz- und Kühlenergie in Prozent über der Außentemperatur aufgetragen. Die Heiz- und Kühlgrenze lässt sich hieran nochmals deutlich ablesen:

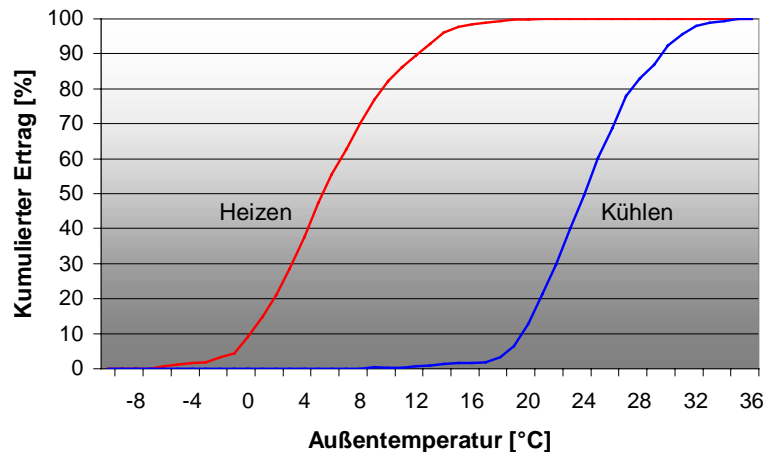


Bild 5: Kumulierter Energieertrag des Erdwärmetauscher über der Außentemperatur

Die gemessenen Kennwerte des Erdwärmetauscher für die Jahre 2000 und 2001 sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Da der durchschnittliche Volumenstrom im Betriebszeitraum aufgrund geringer Auslastung der Lüftungsanlagen nur 29-34% des Nennvolumenstromes erreichte, ergab sich rechnerisch eine günstigere spezifische Oberfläche. Die erzielte spezifische Energie pro Quadratmeter Wärmetauscherfläche kann als positives Ergebnis angesehen werden. Eine Ausführung mit einer höheren Anzahl Röhren geringeren Durchmessers würde jedoch einen höheren Energieertrag bringen.

Tabelle 3: Gemessene Kennwerte des Erdwärmetauscher für die Jahre 2000 und 2001

Jahr	2000	2001
Heizenergie [kWh]	27.911	32.173
Kühlenergie [kWh]	19.280	12.245
Spezifische Heizenergie [kWh/m ²]	23,2	26,8
Spezifische Kühlenergie [kWh/m ²]	16,0	10,2
Durchschnittlicher Volumenstrom [m ³ /h]	29.422	25.272
Spezifische Oberfläche [m ³ /m ³ h ⁻¹]	0,041	0,048

Adiabate Kühlung

Zur Kühlung der Hörsäle und anderer stark frequentierter Räume wurde auf eine konventionelle Kältemaschine verzichtet. Statt dessen wurde eine adiabate Abluftkühlung eingesetzt. In einem Luftwäscher wird die warme Abluft befeuchtet und kühlt infolge der adiabaten Zustandsänderung, also der Zunahme des absoluten Feuchtegehaltes bei konstanter Enthalpie, ab. Das Maß der Abkühlung ist von der Temperatur und Feuchte der Abluft abhängig. Bild 6 verdeutlicht diesen Zusammenhang im h-x-Diagramm. Aus dem dargestellten Zusammenhang folgt, dass die erreichbare Leistung der adiabaten Kühlung physikalisch begrenzt ist. Auch bei der – nur theoretisch möglichen- Befeuchtung der Abluft bis zum Sättigungspunkt kann die dazu gehörige Temperatur nicht unterschritten werden.

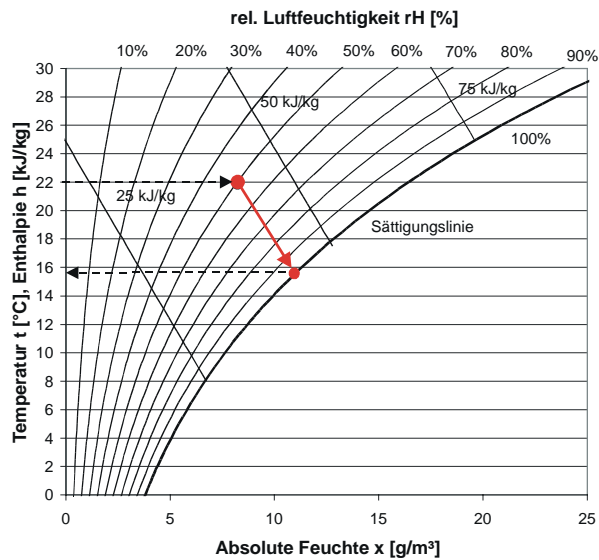


Bild 6: Adiabate Zustandsänderung der Luft im h-x-Diagramm

Durch einen hocheffizienten Rotationswärmetauscher wird die „Kälte“ an die Zuluft übertragen bzw. der Außenluft Energie in Form von Wärme entzogen. Das Prinzip der installierten adiabaten Kühlung ist in Bild 7 dargestellt.

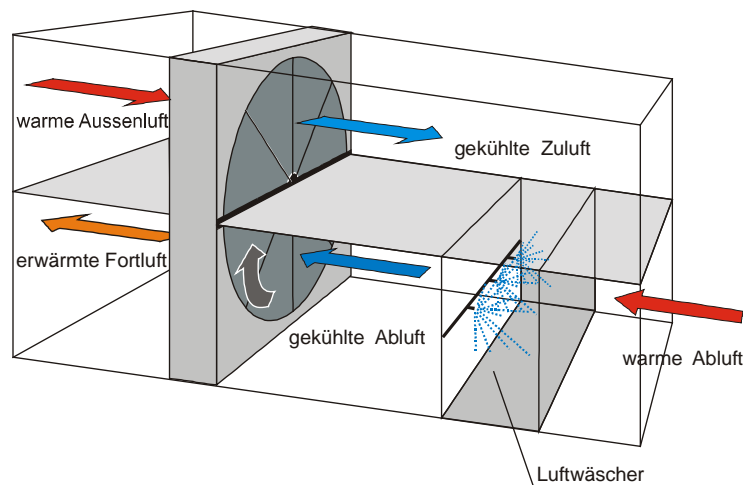


Bild 7: Prinzip der adiabaten Abluftkühlung

Durch Messung der Temperatur, relativen Luftfeuchtigkeit und Volumenstrom der Zu- und Abluftströme sowie des Stromverbrauches kann die Anlage vollständig bilanziert werden. Die Effizienz der adiabaten Kühlung hängt stark von den ständig wechselnden und sich gegenseitig beeinflussenden Zuständen der ein- und ausströmenden Luft und dem Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung ab.

In Bild 8 ist die durch den Luftwäscher erzielte Abkühlung der Abluft und die hierzu erforderlich Zunahme der relativen Luftfeuchte dargestellt.

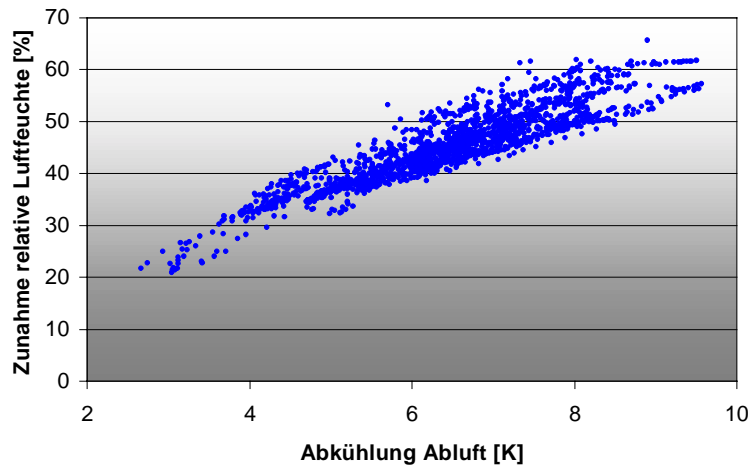


Bild 8: Abkühlung der Abluft und Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit

Durch die Variabilität der Außenlufttemperatur kann nur ein Teil der erzielten Kühlenergie über den Rotationswärmetauscher an die Zuluft übertragen werden. In Bild 9 sind die Abkühlung der Abluft und die in der Zuluft resultierende Abkühlung gegeneinander aufgetragen. Obwohl die Wärme- bzw. „Kälte“- Rückzahl mit durchschnittlich 78% den Anforderungen entsprach, war die Abkühlung der Zuluft oft gering. Eine unzureichende Regelung führte zeitweise sogar dazu, dass die Anlage in Betrieb genommen wurde wenn eine Kühlung der Zuluft nicht möglich war.

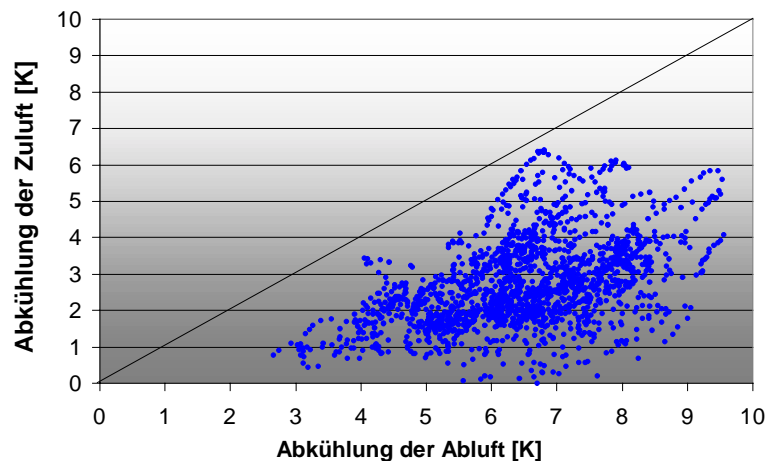


Bild 9: Abkühlung der Abluft und resultierende Zuluftkühlung

Au den oben beschriebenen Gründen variiert auch die Leistungszahl, also das Verhältnis der für die Befeuchterpumpe aufbrachten elektrischen Energie zur effektiven Kühlenergie, stark. Bild 10 zeigt die monatliche Kühlenergie, den Stromverbrauch der Wäscherpumpe und die resultierende Leistungszahl. Hierin enthalten ist der Strombedarf zur notwendigen Entkeimung, Umwälzung und Erneuerung des Wassers. Die monatliche Energiemenge ist kein Indiz für die Leistungsfähigkeit, da das System nur bei Bedarf und Belegung der entsprechenden Räume in Betrieb genommen wird.

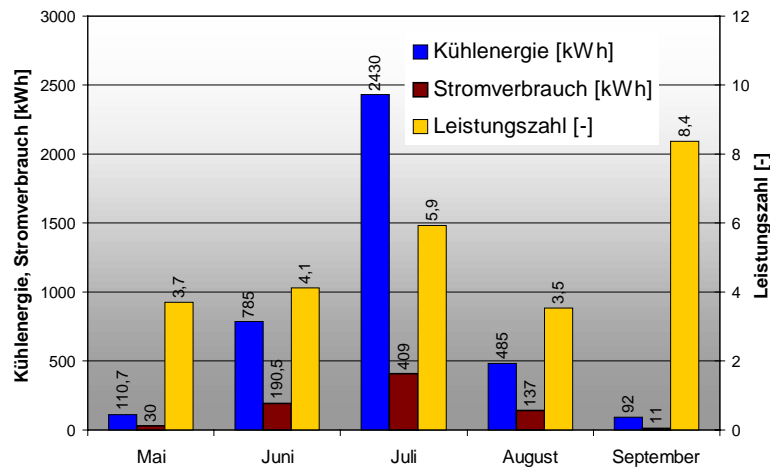


Bild 10: Gelieferte Kühlenergie und Leistungszahl der adiabaten Kühlung

Die durchschnittliche Leistungszahl von 5,1 zeigt im Vergleich zu konventionellen Kältemaschinen ein gutes Energieeinsparpotenzial, das durch verbesserte Regelungsstrategien weiter gesteigert werden kann. Der Einsatz anderer Technik zur Befeuchtung und Wärmerückgewinnung ist vielversprechend und kann ebenfalls zu einer größeren Effizienz beitragen. Bei der Beurteilung der Leistung des adiabaten Kühlsystems muss berücksichtigt werden, dass die Außenluft durch den Erdkanal bereits vorgekühlt ist und sich damit negativ auf die Energiebilanz auswirkt. In gewisser Weise arbeiten die Systeme in diesem Fall gegeneinander, obgleich ohne die Kombination beider Komponenten die in Bild 11 dargestellten Zulufttemperaturen nur teilweise erreicht worden wären. Ein intermittierender Betrieb beider Systeme mit Hilfe einer intelligenten Steuerung könnte den Energiebedarf senken.

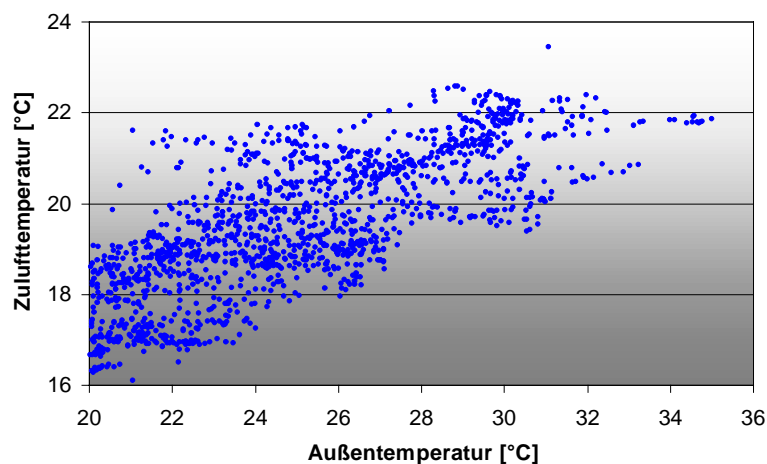


Bild 11: Erzielte Zulufttemperatur für die Sommermonate 2001

Die Zulufttemperatur überschreitet nur selten 22°C, so dass sich ein entsprechend angenehmes Klima in den angeschlossenen Räumen einstellt.

Gesamtenergiebilanz des Gebäudes

Durch das Förderprogramm Solar Bau TK3 wurden Zielwerte für den Heizenergieverbrauch, für die Summe aus Heizenergie- und Stromverbrauch und den Primärenergieverbrauch vorgegeben. Zur Ermittlung des Primärenergieverbrauches wird die elektrische Energie mit dem Faktor 2,8 multipliziert. Im Stromverbrauch sind nur gebäudebezogene Verbraucher, d.h. Haustechnik, Lüftung, Beleuchtung etc. enthalten. Die Zielwerte beziehen sich auf die Energiebezugsfläche und

liegen für den Heizenergiebedarf ca. 40% unterhalb der WSchV 95. Die geforderten Werte konnten in den Jahren 2000 und 2001 nur teilweise erreicht werden, was u.a. auf die großen Raumhöhen des Gebäudes zurückzuführen ist. Bei einer Umrechnung der Zielwerte auf das beheizte Bauwerksvolumen fällt die Bilanz wesentlich positiver aus. Die Bilder 12 und 13 zeigen die ermittelten klimabereinigten Energieverbrauchswerte im Vergleich mit den Zielwerten.

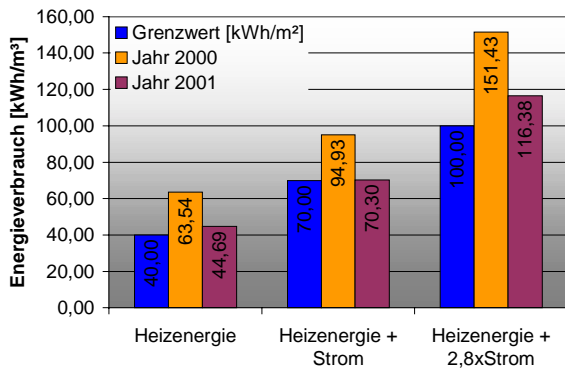


Bild 12: Verbrauchswerte bezogen auf Energiebezugsfläche

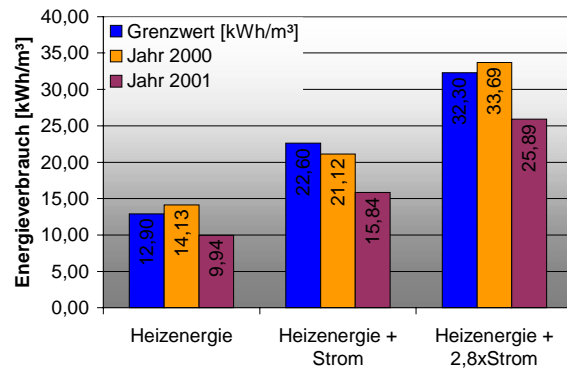


Bild 13: Verbrauchswerte bezogen auf beheiztes Bauwerksvolumen

Bezogen auf das beheizte Volumen wurden die Zielwerte 2001 erreicht und unterschritten. Zu beachten ist die erhebliche Verringerung des Energiebedarfs im Jahr 2001. Dies ist auf die konsequente Überprüfung und Anpassung der Regelungstechnik während der Messphase im Jahr 2000 zurückzuführen.

Zusammenfassung

Die vorgestellten Ergebnisse für den Erdkanal und das adiabate Kühlsystem zeigen ein hohes Potenzial zur Energieeinsparung bei der Klimatisierung von Gebäuden. Die Zielwerte für die Gesamtenergiebilanz des Gebäudes konnten erreicht werden. Es wurde hierbei deutlich, dass die in der Planung und Konzeption berechneten und angestrebten Zielwerte für einzelne Systeme und das Gesamtgebäude nur mit einer Überprüfung und Anpassung von Gebäudeleittechnik und Regelstrategien zu erzielen waren. Mit zunehmender Komplexität der Gebäudetechnik und deren Steuerungsmechanismen wächst die Gefahr, dass unwirtschaftliche Betriebsweisen unerkannt bleiben und die Einsparpotenziale, welche Anlagen und Steuerung bieten, nicht genutzt oder sogar zu Verbrauchsfaktoren werden.

Monitoringprogramme bieten hier die Möglichkeit, die energetische Effizienz als auch den Komfort für die Nutzer zu optimieren. Hierfür sind oft keine aufwendigen Messanlagen nötig – MSR-Anlagen stellen meist selbst die erforderlichen Daten bereit.

Die Erfahrungen aus weiteren Projekten im Konzept Solar Bau zeigen, dass die beschriebenen regelungstechnischen Probleme kein Ausnahmefall sind.

Projektbeteiligte

Architekt:	HMP Bauplanung, Köln
Architekt (GU):	Werner + Neubert Architekturbüro, Köln
Projektsteuerung:	ARGE Assmann GmbH / HMP Bauplanung, Dortmund
Ökologiekonzept:	RK Architekten, Stuttgart
Monitoring:	Universität Dortmund, Lehrstuhl klimagerechte Architektur und Bauphysik Fachhochschule Bonn-Rhein-Sieg, Sankt Augustin