



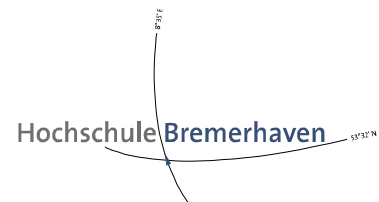
Titel: **GOSUB – “Messprogramm zur energetischen Sanierung der Staats- und Universitätsbibliothek Bremen”**

Förderkennzeichen: 0327292B

Durchführung: **ttz Bremerhaven -Umweltinstitut-**
An der Karlstadt 10
27568 Bremerhaven
www.ttz-bremerhaven.de



Hochschule Bremerhaven
An der Karlstadt 8
27568 Bremerhaven
www.hochschule-bremerhaven.de



Schiller engineering
Ulmenstraße
22299 Hamburg
www.ib-schiller.de



Projektleitung: *Prof. Dr. P. Ritzenhoff*
Dipl.-Ing. F. Aslan
Dipl.-Ing. R. Pelzer

Laufzeit: 04/2001 – 01/2007

1. Einleitung

Die Staats- und Universitätsbibliothek Bremen (SuUB) wurde Anfang der siebziger Jahre errichtet. Sie hat einen nahezu quadratischen Grundriss mit 25.000 m² Nutzfläche, die über fünf Ebenen verteilt sind, und wurde in Stahlbetonskelettbauweise mit einer Aluminium-Glas Vorhangfassade ab der Ebene 1 ausgeführt. Jede Ebene ist in vier Quadranten aufgeteilt. Die Sanierung der SuUB bestand aus zwei Teilen, einer inhaltlichen Modernisierung und der energetischen Sanierung. Sämtliche Sanierungsmaßnahmen wurden von Ende 2002 bis Ende 2004 im laufenden Betrieb der SuUB durchgeführt. Die Arbeiten begannen in Ebene 5 und wurden spiralförmig nach unten fortgesetzt. Es wurden in der Regel nur in 1 bis 2 Quadranten der SuUB gleichzeitig saniert.

Vor der Sanierung wurde mit Hilfe eines Messprogramms der Istzustand der SuUB aufgenommen. Die Messwerte für Zustandsgrößen (Temperaturen, relative Feuchtig-

keiten, Drücke usw.) und Verbrauchsgrößen (Strom, Wärme Kälte usw.) wurden sowohl als globale Größen für das gesamte Gebäude, als auch für exemplarische RLT-Anlagen erfasst und aufbereitet.

Das Sanierungskonzept wurde auf Basis der ersten Messungen und Ergebnisse entwickelt und fortlaufend angepasst. Auch im weiteren Verlauf der Sanierung wurden regelmäßig Messungen zur Kontrolle der vorgesehenen Maßnahmen und Weiterentwicklung der Planungen genutzt.

Seit Beendigung der Sanierungsmaßnahmen wird das kontinuierlich laufende Messprogramm, mit Erfassung vergleichbarer Messgrößen zur ersten Messreihe vor der Sanierung, durchgeführt. Mit Abschluss des ersten Messjahres nach der Sanierung (Ende 2005) konnten die ersten Vergleiche angestellt werden und die Einsparungen durch die Sanierungsmaßnahmen quantifiziert werden.

2. Energetische Gesamtbetrachtung

Vor Projektbeginn im Jahr 2000 betrug der gesamte Primärenergieverbrauch nahezu $900 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NF}} \text{ a})$. Um mögliche Einsparpotenziale aufzudecken, wurden die gemessenen Gesamtverbräuche der Vorjahre auf die jeweiligen Verbrauchergruppen mit Hilfe von Simulationsrechnungen aufgeteilt /1/. Abbildung 1 zeigt den großen Einfluss, der hierbei von der Raumluftechnik ausging. Da vor der Sanierung die gesamte Gebäudetemperierung (Heizen und Kühlen) über die Raumluftechnik realisiert wurde, mussten über zwei Drittel der aufgewendeten Primärenergie in der SuUB für die Luftbehandlung (Heizen, Kühlen und Befeuchten) und die Luftförderung aufgewendet werden. Die Beleuchtung trug mit einem Anteil von 22% ebenfalls maßgeblich zum Primärenergieverbrauch bei. Weitere 10% wurden durch die sonstige Stromnutzung hervorgerufen.

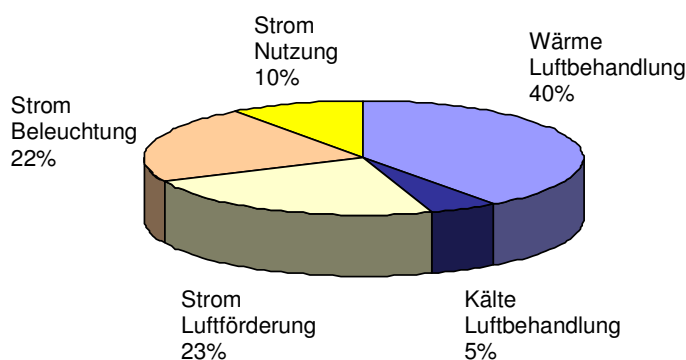


Abbildung 1: Erwartete Aufteilung der primärenergetischen Verbräuche auf die Hauptverbraucher

Entsprechend den Auslegungen während der Errichtung des Gebäudes in den 70er Jahren waren die Anlagen auf einen Luftvolumenstrom von $400.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ausgelegt. Zu Beginn des Projektes wurden noch rund $290.000 \text{ m}^3/\text{h}$ Luft umgewälzt, wofür allein von den Ventilatoren ca. 190 MWh Strom pro Monat benötigt wurden. Die

Luftförderung führte damit bereits zu einem Primärenergieverbrauch von etwa 258 kWh/(m²_{NF} a).

Bei der Betrachtung des Jahres-Primärenergiebedarfes von der ersten Messreihe im Jahr 2002 bis hin zu den Ergebnissen der zweiten Messreihe von 2005 in Abbildung 2 wird die Reduzierung von rund 70 % (ohne Berücksichtigung der Nutzungseinflüsse) deutlich. Die gesetzte Zielstellung wurde bei den Maßnahmen an den RLT-Anlagen (Wärme, Kälte und Luftförderung) noch übertroffen. Bei der Beleuchtung hingegen lagen die Messergebnisse über der Zielsetzung, weil hier eine deutliche Verbesserung der Beleuchtungssituation gefordert wurde, die in einer Erhöhung der installierten Lichtleistung resultierte.

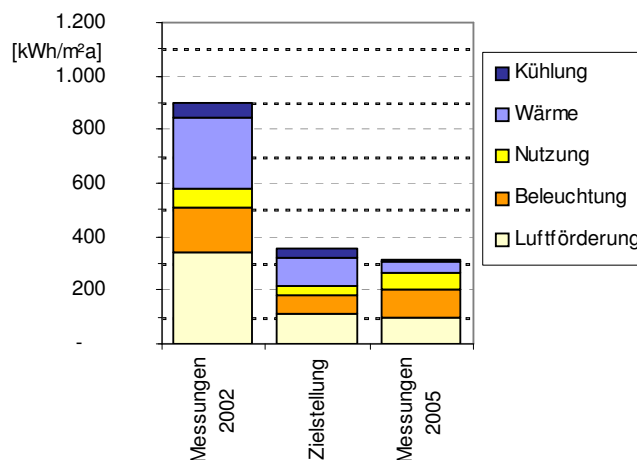


Abbildung 2: Entwicklung des Jahres-Primärenergieverbrauch der SuUB

3. Sanierungskonzept RLT

Da die hohe Relevanz der Raumluftechnik für die Sanierung der SuUB signifikant war, wurden unmittelbar mit dem Beginn der messtechnischen Begleitung diverse Untersuchungen im Hinblick auf die bewegten Luftvolumina und die Raumlufqualität durchgeführt. Um für die Planung des sanierten Zustandes belastbare Auslegungsgrößen zu haben, wurden an einzelnen Tagen die Besucherzahlen erfasst. Die Messungen der Volumenströme, die sowohl an allen RLT-Anlagen als auch in den Außenluft- und Fortluft-Schächten durchgeführt wurden, haben die gegenüber dem Auslegungszustand deutlichen Reduzierungen der Luftvolumenströme aufgedeckt.

Die Reduzierung der Volumenströme wurde u.a. durch die Auswechslung von Riemenscheiben an den Ventilatorantrieben realisiert und führte zu einer Verschlechterung des Ventilatorbetriebes. Der Außenluft-Anteil wurde durch die Maßnahmen um 15 % reduziert. Dennoch betrug die Luftwechselrate immer noch 3,3 h⁻¹. Im Zuge der Sanierung sollten nicht nur die Anlagen modernisiert werden, sondern auch die geförderten Luftmengen weiter auf die hygienisch notwendigen Dimensionen reduziert werden.

Die Zählungen haben ergeben, dass sich maximal 230 Besucher gleichzeitig in der Bibliothek aufhalten. Dies entspricht einem maximalen Besucheraufkommen von



etwa 70 m²/Nutzer. Durch die relativ geringe Belegungsdichte konnte mit Hilfe der manuellen Besucherzählungen, die an verschiedenen Tagen jeweils während der gesamten Öffnungszeit stattfanden, ein Einfluss auf die Raumluftqualität ausgeschlossen werden. Als zweiter Schritt wurde der Einfluss des Interieurs (Teppich, Möbel, Bücher usw.) auf die Raumluftqualität untersucht /2/. Dazu wurden an verschiedenen Messorten die VOC's und Formaldehyd gemessen. Es gab vier Messreihen, mit unterschiedlichen Außenluft-Raten. Auch bei starker Reduzierung der Außenluft-Rate auf rund 65 % konnte keine wesentliche Verschlechterung der Raumluftqualität festgestellt werden.

Daraus wurde für die Planung der Sanierung gefolgert, dass ein großes Einsparpotenzial bei den RLT-Anlagen durch eine Reduzierung der Luftvolumenströme ohne maßgeblichen Komfortverlust erreicht werden kann. Nachfolgend werden einzelne Maßnahmen erläutert, die auf diesem Ansatz entwickelt wurden.

Trennung der Funktionen Heizen, Kühlen, Belüften

Das Sanierungskonzept für die SuUB sah vor, die Funktionen Heizen, Kühlen, Belüften über eigenständige, voneinander getrennte Systeme zu realisieren. Vor der Sanierung wurden sämtliche Funktionen von Vollklimaanlagen erfüllt, was zu den großen Volumenströmen und letztendlich hohen Energieverbräuchen führte. In den Randzonen wurden Zweikanal-Klimaanlagen und für die übrigen Bereiche sowie die Fensterschleier wurden Einkanal-Klimaanlagen eingesetzt. Seit der Sanierung wird die Beheizung mit statischen Heizflächen, die Raumkühlung mit Umluftkühlgeräten und die Belüftung über die RLT-Anlagen realisiert.

Reduzierung der geförderten Luftmengen

Durch eine räumliche Trennung der Büroräume der SuUB von den Freiflächen und den Benutzerbereichen, konnte dort eine natürliche Lüftung realisiert werden. Dadurch und durch die Trennung der Systeme wurde der gesamte umgewälzte Volumenstrom auf maximal 177.000 m³/h begrenzt, was eine Luftwechselrate von etwa 2,4 h⁻¹ ausmacht. Durch Anlagen zur variablen Volumenstromregelung (VVS) können die Volumenströme weiter runtergeregelt werden. Sämtliche Ventilatoren sind mit Frequenzumrichtern ausgerüstet, um die Drehzahlen dem geforderten Volumenstrom anzupassen.

Wärmerückgewinnung

Weiterhin wurden die Abluft- und Außenluft-ströme in der Klimazentrale in der Ebene 0 zusammengeführt, wodurch eine regenerative Wärmerückgewinnung mittels zweier Rotationswärmetauscher realisiert wurde. Dadurch konnten die thermische Luftaufbereitung wie auch die Luftbefeuchtung effizienter gemacht werden.

Raumkühlung und Freie Kühlung

Die Speisung des Kühlkreises für die Umluftkühlgeräte erfolgt in der Klimazentrale zum einen Teil durch das universitätseigene Kältenetz und zum anderen Teil durch Freie Kühlung. Die Freie Kühlung wird solange wie möglich genutzt, um den Kälteverbrauch für die Umluftkühlgeräte so weit wie möglich zu reduzieren.

Optimierung der Regelung

Die vor der Sanierung auf Pneumatik basierende Regelung wurde auf den Stand der Technik gebracht. Es wurde eine elektronische Regelung mit den erforderlichen

Sensoren und einer Gebäudeleittechnik installiert. Auf diese Weise konnten neue Betriebsmöglichkeiten umgesetzt werden. Zum Beispiel werden die RLT-Anlagen außerhalb der Öffnungszeiten der SuUB außer Betrieb genommen. Lediglich eine Anlage wird für die Kühlung der zentralen EDV-Bereiche kontinuierlich betrieben. Dabei wird außerhalb der Betriebszeiten auf Umluftbetrieb umgeschaltet.

4. Ergebnisse und Erfahrungen

In Abbildung 2 sind bereits die angestrebten und erreichten Gesamteinsparungen dargestellt, die durch die verschiedenen Maßnahmen erreicht wurden. Die Reduzierung der Volumenströme, die Verwendung moderner Anlagenkomponenten wie auch der Einsatz einer neuen Regelung haben zu der dargestellten Energieeinsparung von 70% beim Stromverbrauch, 75% beim Wärmeverbrauch und von 80% beim Kälteverbrauch geführt. Diese Einsparungen sind in den Abbildungen 3, 4 und 5 im Jahresverlauf dargestellt. In Abbildung 6 sind die monatlichen Stromverbräuche für die Beleuchtung der Jahre 2002 und 2005 gegenübergestellt. Durch die Verwendung neuer Leuchtmittel mit elektronischen Vorschaltgeräten und einer neuen Verteilung der Leuchten konnte sowohl eine bessere Ausleuchtung, als auch eine Energieeinsparung von etwa 40 % erreicht werden.

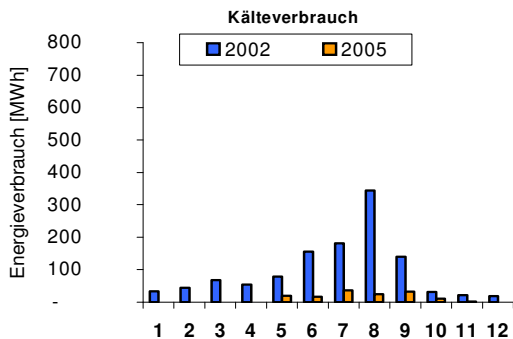


Abbildung 3: Einsparung Strom bei den RLT-Anlagen in MWh (Vergleich 2002 – 2005) => ~ 70 %

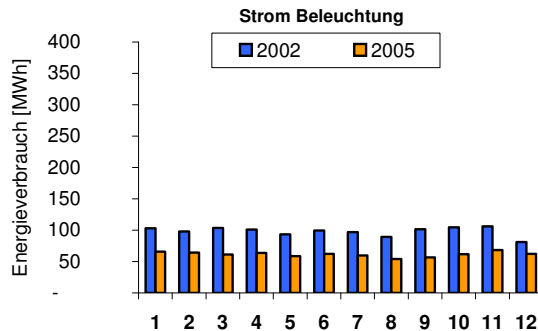


Abbildung 4: Einsparung Wärme für Beheizung und Lufterwärmung in MWh (Vergleich 2002 – 2005) => ~ 75 %

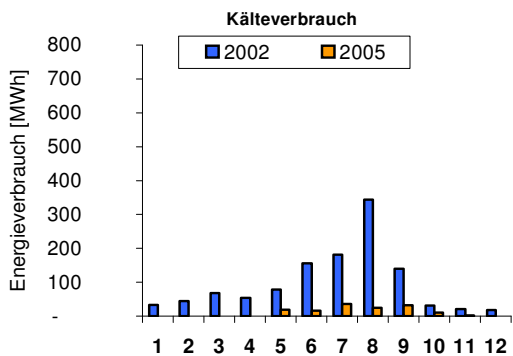


Abbildung 5: Einsparung Kälte in MWh (Vergleich 2002 – 2005) => ~ 80 %

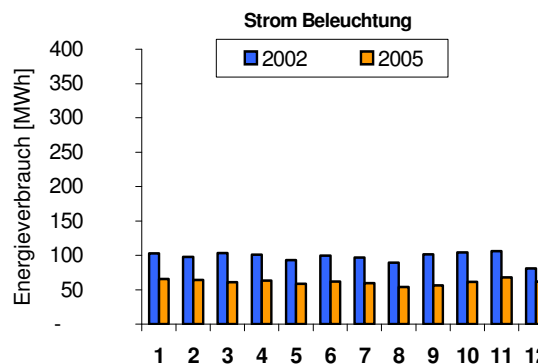


Abbildung 6: Einsparung Strom Beleuchtung in MWh (Vergleich 2002 – 2005) => ~ 40 %

Bei den Stromverbräuchen in Abbildung 3 zeigt sich ein relativ konstanter monatlicher Verbrauch über das gesamte Jahr, was durch die einheitlichen Nutzungsbedingungen in der SuUB hervorgerufen wird. Aus diesem Grund kann am Beispiel eines exemplarischen Tages entsprechend Abbildung 7 die Leistungsaufnahme der RLT-Anlagen die Reduzierung des Stromverbrauchs verdeutlichen.

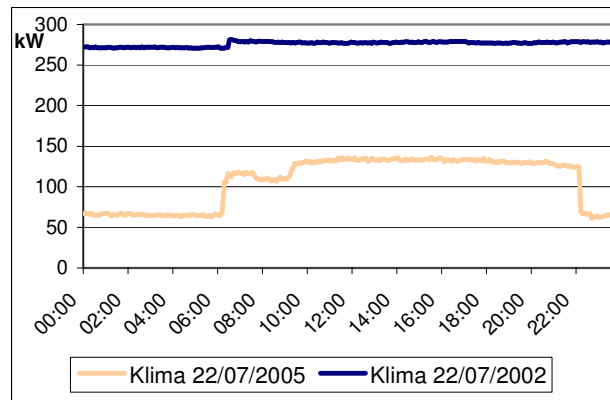


Abbildung 7: Elektrische Leistungsaufnahme der RLT-Anlagen am 22.7.2002 und am 22.7.2005

Für 2002 ist eine durchgehende Leistungsaufnahme zu erkennen, die auf den 24-stündigen Betrieb der RLT-Anlagen an allen Wochentagen zurückgeführt werden kann, der vor der Sanierung erforderlich war, damit das Gebäude nicht auskühlt oder überhitzt. Seit der Sanierung ist die durchgehende Leistungsaufnahme bereits auf rund ein Viertel reduziert worden. Bei Vollbetrieb beträgt die Leistungsaufnahme nach der Sanierung ca. die Hälfte des Wertes vor der Sanierung. Hier machen sich günstigere Druckverhältnisse, drehzahlgeregelte Ventilatoren und vor allem die Reduzierung der geförderten Luftvolumenströme bemerkbar.

5. Weitere Maßnahmen

Zur Aufdeckung weiterer Einsparmaßnahmen werden nachfolgend einzelne Komponenten und Betriebsweisen der Lüftungsanlagen untersucht.

Laut Herstellerangaben kann bei der Wärmerückgewinnung eine Rückwärmzahl von 0,75 erreicht werden. Die bisherigen Messungen haben jedoch, wie in Abbildung 8 am Beispiel einer kalten Woche im Januar 2006 zu entnehmen ist, nur Rückwärmzahlen zwischen 0,5 und 0,6 ergeben. Demnach müssten noch weitere Potenziale zur Reduktion des Energieverbrauchs vorhanden sein, die bei den aktuellen Betriebsweisen noch nicht genutzt werden.

Die Messergebnisse der zugehörigen Temperaturen aus diesem Zeitraum sind in Abbildung 9 dargestellt und zeigen während der Öffnungszeiten der SuUB eine Temperaturdifferenz von ca. 3 bis 5 K zwischen dem Austritt der WRG und der Zulufttemperatur der nachgeschalteten Anlagen.

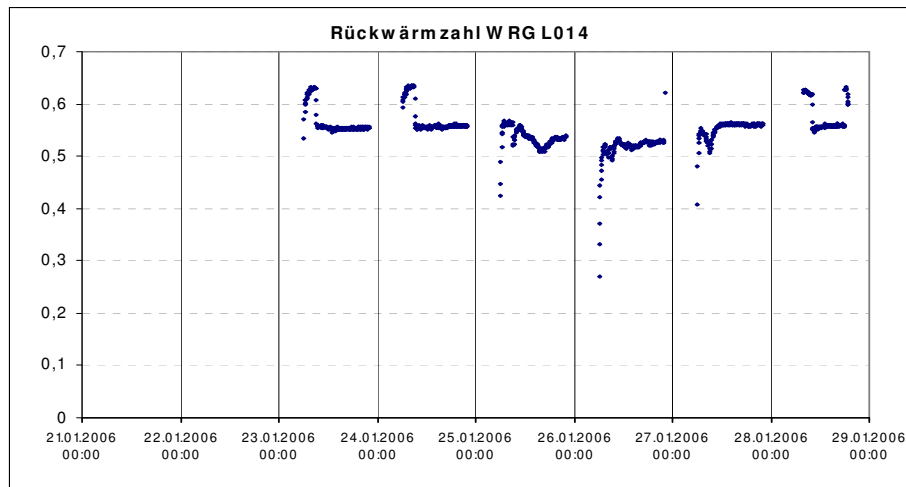


Abbildung 8: Rückwärmzahl der Wärmerückgewinnung für die RLT-Anlagen L01 und L04 über eine Woche im Januar 2006

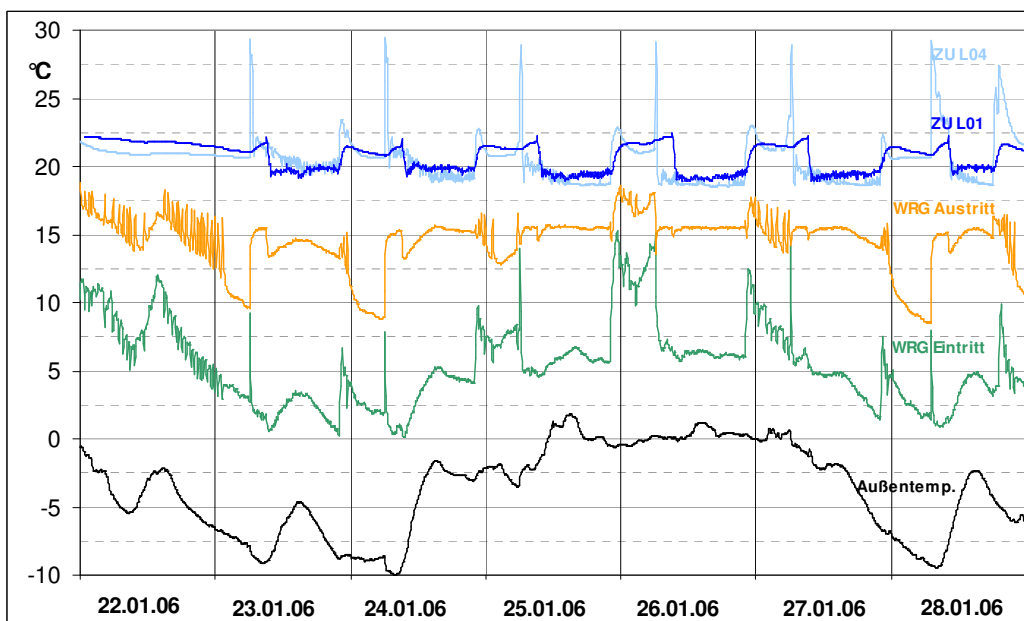


Abbildung 9: Temperaturverläufe der Wärmerückgewinnung und der RLT-Anlagen L01 und L04, sowie der Außentemperatur der exemplarischen Woche

Der Sollwert der Austrittstemperatur der WRG ist offensichtlich auf 15°C eingestellt, während die beiden nachgeschalteten RLT-Anlagen eine Zulufttemperatur von rund 20°C aufweisen. Durch eine Verknüpfung der Sollwerte der WRG mit den nachgeschalteten RLT-Anlagen würde, unter Berücksichtigung der zusätzlichen Einsparung bei allen 4 RLT-Anlagen, ein zusätzliches Potenzial von geschätzten 10 MWh pro Jahr erschlossen werden, was etwa weiteren 3% Einsparung bei der Lufterwärmung entspricht.

Ein weiteres Beispiel für zusätzliche Einsparpotenziale stellt die Regelung von Heizung und Kühlung dar. In Abbildung 10 wurde auch im Sommerbetrieb bei über 20°C Außentemperatur ein Betrieb der Heizung festgestellt, obwohl die Heizgrenz-

temperatur bei diesem Gebäude deutlich unter 15°C liegen müsste. Gleichfalls sind der Abbildung Zustände zu entnehmen, in denen gleichzeitig geheizt und gekühlt wird. In den folgenden Untersuchungen werden die Ursachen für dieses Verhalten analysiert und geeignete Vorschläge zur Verbesserung der Betriebsweise gegeben.

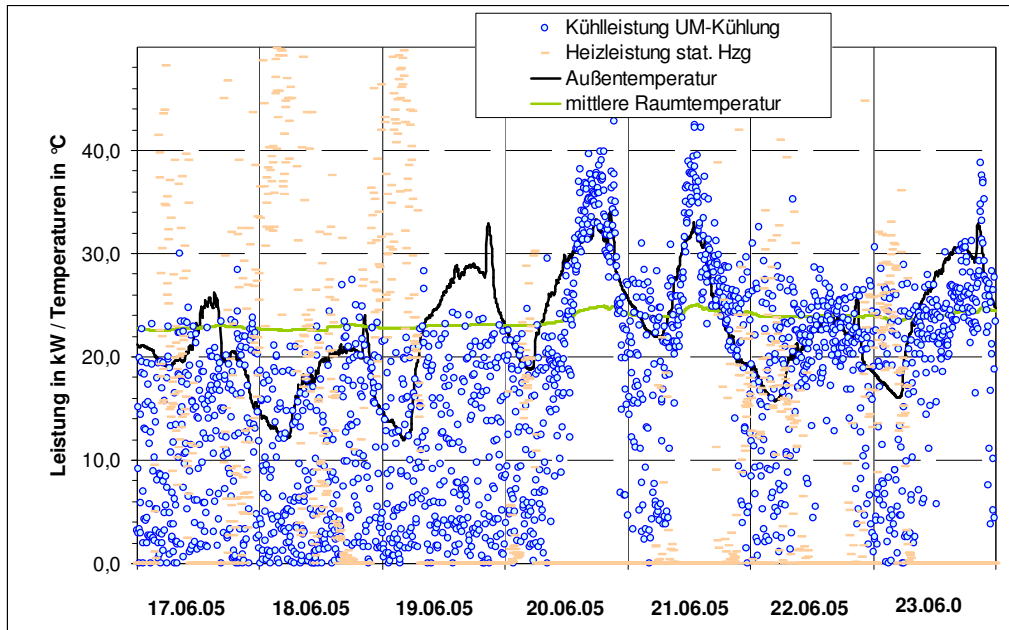


Abbildung 10: Heizleistung und Kühlleistung während einer Sommerwoche

Für die Erschließung dieser Einsparpotenziale im Rahmen der Optimierungsphase steht auch weiterhin die Arbeitsgruppe aus der Bauleitung, dem Projektsteuerer, der wissenschaftlichen Begleitung, des Baudezernats der Universität Bremen und den beteiligten Firmen als Gesprächspartner zur Verfügung.

Quellen

/1/ Schnaars, Schiller: Energetische Gesamtoptimierung der Staats- und Universitätsbibliothek Bremen GOSUB; in EnSan-Symposium zum Förderkonzept 3.+4. Juli 2002 in Stuttgart

/2/ Ritzenhoff, Aslan, Pelzer: GOSUB – Luftqualitätsmessungen; Interner Bericht vom 7. August 2002; www.gosub.uni-bremen.de