

## **Wissenschaftliche Begleitung - Mess- und Optimierungsprogramm - zur Sanierung des Laborgebäudes 6.2 des Forschungszentrums Jülich**

### **Projektziele:**

Die Ziele des Projektes sind die Charakterisierung und technische Bewertung der im EnSan-Projekt „Energetische Einsparpotentiale am Laborgebäude 06.20“ geförderten Sanierungsmaßnahmen hinsichtlich der Auswirkungen auf den Energieverbrauch des Gebäudes, das Gebäudeklima und die Beleuchtung.

Durch die messtechnische Begleitung wird die Bewertung dieses Sanierungskonzeptes und dessen Umsetzung möglich; weiter werden die Auswirkungen einzelner Sanierungsmaßnahmen beurteilt und mit Ergebnissen ähnlich orientierter Projekte verglichen. Zu diesem Zweck wird das Gebäude nicht nur messtechnisch untersucht, sondern auch mittels umfangreicher Simulationsrechnungen analysiert. Für die zukünftige Planung von Laborgebäuden oder deren Sanierung werden Nutzungsprofile gemessen und Gleichzeitigkeitseffekte dargestellt. Auf der Basis von Messdaten und Simulationsrechnungen werden Vorschläge zur Feinoptimierung entwickelt.

Die in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse werden in die Erstellung eines Sanierungsleitfadens für Laborgebäude einfließen.

### **Hintergrund:**

Das Solar-Institut Jülich (SIJ) ist seit Jahren auf dem Gebiet der detaillierten Vermessung von Energieströmen und Gebäudeklimadaten im Rahmen des Projekts Solar-Campus aktiv. In einem weiteren Projekt im Rahmen des EnSan-Programms entwickelt das SIJ Software zur energetischen Analyse von Alt- und Neubauten auf der Basis von MATLAB-Simulink®. Mit dem entwickelten Werkzeug kann bei einfacher Bedienung die Komplexität der Wechselwirkungen der inneren und äußeren Einflüsse auf ein Gebäude nachgebildet werden.

### **Arbeitspakete:**

Die in diesem Projekt durchzuführenden Arbeiten gliedern sich in drei Abschnitte:

1. Erfassung des IST-Zustands und dessen Abbildung in der Simulationsumgebung MATLAB-Simulink®; Vorbereitung der Gebäudevermessung
2. Erfassung und Bewertung des sanierten Zustands durch Messungen und Simulationsrechnungen. Hier kommen dem SIJ die Erfahrungen und Ergebnisse aus dem noch laufenden Projekt „Solar Campus“ zugute, bei dem die Messdaten von mehreren hundert Sensoren zur Energie- Stoffstrom- und Raumluftqualitätsüberwachung ausgewertet werden.
3. Dokumentation und Aufbereitung der im Projekt gewonnenen Erkenntnisse als Beitrag zu dem im Verbundprojekt zu erstellenden Sanierungsleitfaden für Laborgebäude

## **Phase 1: Erfassung des IST-Zustands**

Der IST-Zustand des Gebäudes wird durch eine genaue Bestandsanalyse und, soweit möglich, durch Messungen von Volumenströmen, Wärmemengen und Beleuchtungsstärken erfasst. Wo keine genauen Daten zu erhalten sind, wird der ursprüngliche Planungszustand rekonstruiert.

Das gesamte Gebäude wird in der Simulationsumgebung MATLAB-Simulink<sup>®</sup> abgebildet. Gemessene Verbrauchswerte werden so durch die Ergebnisse dynamischer Simulationsrechnungen anhand gemessener Klimadaten ergänzt. Insbesondere lässt die Computersimulation mit geringem Aufwand eine hohe zeitliche und räumliche Auflösung zu, so dass einzelne Teilbereiche des Gebäudes mit hohem Detaillierungsgrad dargestellt werden können.

Eine hypothetische Instandsetzung auf Basis des momentanen Gebäudekonzepts unter Einhaltung der bestehenden gesetzlichen Vorschriften wird energetisch bewertet.

Der Aspekt der RLT-Anlagen wird in den o.g. Arbeitspunkten als Auftrag von Schiller Engineering bearbeitet. In dem Rahmen werden Schnittstellen zwischen der dynamischen Gebäudesimulation (SIJ) und der bei Schiller Engineering vorhandenen Software zur RLT\_Anlagensimulation geschaffen (siehe Angebot Schiller Engineering).

Weiter wird in dieser Projektphase die Durchführung der Gebäudevermessung vorbereitet: Es werden ein detailliertes Auswertekonzept und ein Vermessungskonzept erstellt, die hier unter Phase 2 so genau beschrieben sind, wie dies zum Zeitpunkt der Antragstellung möglich ist. Dazu gehören insbesondere

- die Festlegung von Umfang und Art der Messfühler, basierend auf dem endgültigen Sanierungskonzept,
- die Festlegung der Art der Datenübertragung in Abstimmung mit den Verbundprojekt-Partnern,
- die Planung und der Aufbau der mobilen Messeinheiten zur Analyse von Gebäudeklima und Beleuchtung, akustischer Belastung sowie anderen durch Sanierung und Betrieb bedingten Einflussgrößen auf den Gebäudenutzer.

## Phase 2: Erfassung und Bewertung des sanierten Zustands

In dieser Projektphase wird das Mess-System in Betrieb genommen. Eine Funktionskontrolle aller Sensoren und der Datenübertragung und -speicherung wird durchgeführt.

Bei dem begleitenden Messprogramm wird grundsätzlich zwischen globalen Maßnahmen, den fest installierten Messeinrichtungen zur Bilanzierung der Energieströme und Erfassung der Regelparameter, und den mobilen Messungen zur Erfassung des Gebäudeklimas bzw. zur Fehleranalyse unterschieden.

### Globale Maßnahmen:

- Qualitätskontrolle während der Sanierung (Blower-Door-Test, IR-Thermografie)

Zur Bewertung der Qualität der Bauausführung ist ein Blower-Door-Test zur Bestimmung der Luftwechselrate  $n_{50}$  nach DIN V4108-7 incl. einer Ortung der Leckagestellen und eine IR-Thermographie zur Bestimmung der thermischen Schwachstellen innerhalb der Baumasse vorgesehen.

Hierbei wird der Luftvolumenstrom gemessen, der erforderlich ist um einen Differenzdruck zwischen einem Innenraum und der Umgebung aufrecht zu halten. Hierzu wird ein drehzahl geregelter Ventilator mit einem Spannrahmen in eine Raumöffnung (Tür oder Fenster) montiert. Der Volumenstrom des Ventilators wird gemessen. Für einen Über- bzw. Unterdruck von  $\Delta p \pm 50$  Pa ergibt sich der Wert  $V_{50}$ . Bezieht man diesen Wert auf das Raumvolumen  $V_R$  erhält man die volumenbezogene Luftdurchlässigkeit  $n_{50} = V_{50} / V_R$ . Zur Erhöhung der Genauigkeit wird der Mittelwert aus Über- und Unterdruckmessung gebildet und der Volumenstrom bei verschiedenen Druckdifferenzen gemessen. Zusätzliche Informationen zur Ortung von Undichtheiten des Gebäudes liefert die Kombination der Blower-Door-Messungen und der Infrarotthermografie. Voraussetzung ist eine genügend große Temperaturdifferenz zwischen der Innen- und Außenluft (z.B. im Winter). Wird im Raum ein Unterdruck erzeugt, strömt Außenluft durch die Lecks in den Raum und kühlt die entsprechenden Wandbereiche ab. Dieser Effekt kann dann mit den Infrarotaufnahmen sichtbar gemacht werden.

- Fehlerdiagnose bezüglich der Anlagentechnik bzw. Vorschläge zur Feinoptimierung von Komponenten und deren Betriebsweise.

Durch die Aufzeichnung von Soll- und Istwerten werden Störungen bzw. Regelungsfehler im Betrieb der Anlagen direkt aufgedeckt und können zur Problembehebung auf der technischen Seite an das FZJ und auf der Seite der Betriebsweise im Hinblick auf eine Optimierung an das Ingenieurbüro Schiller Engineering weitergeleitet werden.

**Folgende Messgrößen werden kontinuierlich mittels fest installierter Sensoren über ein Datenübertragungs- und Speichersystem (Log-System) erfasst:**

- Lüftung

An allen Lüftungsanlagen werden zur Bilanzierung der Energieströme die Volumenströme mittels eines Differenzdruckmessverfahrens bzw. durch Anemometer erfasst. Dies geschieht in Abhängigkeit der Anlagenführung und (nicht) vorhandener Beruhigungsstrecken mit den zugehörigen Temperaturen, dem Stromverbrauch der Ventilatoren, sowie die daraus errechneten Wärmemengen, die über den Wärmetauscher vorhandener Wärmerückgewinnungsanlagen zu- bzw. abgeführt werden.

- Heizung

Zur Bewertung der Energieströme werden Wärmemengenzähler auf der Basis der Ultraschallvolumenstrommessung und Temperaturdifferenz in Vor- und Rücklauf installiert. Hier müssen schon bei der Heizungsplanung die Einzelstränge so konzipiert werden, dass eine einfache Differenzierung der Energieströme nach folgenden Gruppierungen möglich ist:

- Büros
- Labore (Physik/Chemie)
- Verkehrsfläche, etc.

- Stromverbrauch

Auch beim Stromverbrauch muss in der Planung berücksichtigt werden, dass eine Differenzierung nach den oben genannten Gruppierungen möglich ist. Darüber hinaus muss zwischen der zur Beleuchtung bereitgestellten, der zum Betrieb von Pumpen, Lüftungsanlagen und Regelorganen, und der sonstigen Energie (innere Wärmelasten) unterschieden werden können. Sollten die Anforderungen im Konflikt zu den gängigen Regeln der Elektroinstallation stehen, sind für beide Seite akzeptable Kompromisse zu finden.

- Kälte

Die Bewertung der Energieströme zur Kühlung, die durch das Kältenetz des FZJ gewährleistet werden sollen, erfolgt analog zur Messung der Wärmeströme.

- Regelung/Betriebsweise

Grundsätzlich ist eine Aufzeichnung aller Regelungsparameter, –Signale und –Zustände zur Bewertung der Strategien vonnöten. Hierzu werden keine weiteren Messpunkte installiert, es muss vielmehr eine generelle Schnittstelle zwischen der Gebäudeleittechnik und dem Logsystem geschaffen werden, die die jeweiligen Soll- und Istwerte zur Verfügung stellt, da nur so eine genaue Zuordnung der Messwerte zu den entsprechenden Betriebszuständen der jeweils betrachteten Anlagen und deren Beurteilung erfolgen kann.

- Umweltbedingungen

Die lokalen Wetterdaten wie Lufttemperatur, Niederschlag, Windgeschwindigkeit Solarstrahlung etc. müssen vom Wettermast des FZJ bezogen werden. An den Fassaden des Gebäudes werden die Werte auf die jeweiligen Flächen mit eigenen Sensoren erfasst.

**Folgende Messgrößen werden nicht kontinuierlich erfasst:**• Gebäudeklima/Ergonomie

## • Luftfeuchtigkeit

Die Luftfeuchtigkeit wird als relative Luftfeuchtigkeit oder als Partialdruck des Wasserdampfes in der Luft angegeben. Sie ist bei der Bestimmung des Wärmeaustauschs durch Verdunstung von Bedeutung: steigende Luftfeuchtigkeit verringert die Wärmeabfuhr durch verdunstenden Schweiß. Außerdem gibt es bauphysikalische Gründe (Schwitzwasser- und Schimmelbildung) für eine Luftfeuchtigkeit unter 70 %. Zu niedrige Luftfeuchtigkeiten unter 30 % führen zur Austrocknung der menschlichen Schleimhäute, zu erhöhter Staubbildung und zu elektrostatischer Aufladung von Kunststoffen. Die Luftfeuchtigkeit muss also zwischen 30 und 70 % liegen. Als ideal werden Werte zwischen 45 und 50 % bezeichnet /Schneider, A., 1996/.

## • Lufttemperatur

Die Lufttemperatur ist eine der wichtigen Größen für fast alle Wärmeaustauschmechanismen. Die Verteilung der Lufttemperatur über die Höhe ergibt die Luftschichtung. Allgemein als günstig gilt: Kopf kühl, Füße warm.

## • Strahlungstemperatur

Die Raumschließungsflächen wie Wände und Fenster tauschen durch Strahlung Wärme mit dem Menschen. Der Austausch ist abhängig von der Temperatur der Flächen und der Lage des Menschen zu ihnen. Besonders unangenehm werden große Temperaturunterschiede dieser Flächen, also Strahlungsasymmetrie, empfunden. Die mittlere Strahlungstemperatur der Umschließungsflächen ist die einheitliche Temperatur einer gedachten Umgebung, in der der Strahlungswärmeaustausch mit dem menschlichen Körper gleich ist dem Strahlungsaustausch in der tatsächlichen, uneinheitlichen Umgebung. (ISO 7730) Die Strahlungstemperaturasymmetrie wird als die Differenz zwischen der Ebenen Strahlungstemperatur in zwei zueinander entgegengesetzten Richtungen geschätzt (DIN EN 27726).

• CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft als Indikator für die Raumluftqualität

Die Vielzahl der die Raumluftqualität beeinflussenden Größen lässt sich nicht in einer Messgröße erfassen. Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass bei menschlichen Emissionsquellen die CO<sub>2</sub>-Konzentration zur Bewertung der Raumluftqualität als hinreichender Indikator genutzt werden kann. Darüber hinaus lässt sich die Luftwechselrate über das Abklingverhalten der CO<sub>2</sub>-Konzentration nach einer einmaligen Konzentrationserhöhung bestimmen (Tracer-Gas-Messung).

## • Beleuchtungsstärke, spektrale Zusammensetzung und Lichtverteilung im Raum zur Beurteilung der Wirksamkeit des vorgesehenen Verschattungs-/ Lichtlenksystems (Möglichkeit der Energieeinsparung durch Transport des Außenlichtes in die tiefer liegenden Bereiche der Räume), sowie des Sonnen- und Blendschutzes. Die Leuchtdichtevertielung wird exemplarisch an Arbeitsplätzen ausgemessen.

Die Beleuchtung hat einen großen Einfluss auf das Wohlbefinden des Menschen. Das Frequenzspektrum des Tageslichtes /Furchner, H., 1992/ wirkt auf das Wohlbefinden, wird aber in den bisherigen Ansätzen zur Behaglichkeit nicht berücksichtigt. Die DIN 5035 (und 5034) schreibt Mindestbeleuchtungsstärken an Arbeitsplätzen vor: in Laboren 500 Lux, in Unterrichtsstätten 300 Lux und in Büros mit Bildschirmarbeitsplätzen 500 Lux. In tageslichtorientierten Büros soll die Beleuchtung 300 Lux zusätzlich liefern. Untersuchungen an Arbeitsplätzen zeigen, dass das subjektiv wahrgenommene Raumklima schlechter bewertet wird, wenn dort unzulängliche Lichtverhältnisse herrschen. (VDI-Nachrichten, 30.1.1998, „ProKlima“)

- Luftbewegung

Der für den konvektiven Wärmeübergang maßgebliche Wärmeübergangskoeffizient hängt stark von der Luftgeschwindigkeit ab. Zu starke Luftbewegung, auch örtlich begrenzte, führt zu unbehaglichen Wärmeverlusten und muss daher vermieden werden. Die Luftbewegung am Menschen ist durch Luftgeschwindigkeit, Anströmrichtung und die angeströmte Körperpartie gekennzeichnet. Des Weiteren ist auch ein Minimalwert für die Luftbewegung zur Aufrechterhaltung einer minimalen konvektiven Wärmeabgabe sinnvoll (in Abhängigkeit von anderen Faktoren wie Temperatur und Bekleidung).

- Schallbelastung durch die Lüftungsanlagen

Lärm ist für den Menschen schädlich. Er hat bei hohen Pegeln Auswirkungen auf Konzentration, Schlaf, Atmung und Stoffwechsel, namentlich bei geistiger Tätigkeit. Dabei sind jedoch neben der Geräuschstärke besonders die Frequenzzusammensetzung, Dauer und Häufigkeit des Lärmes von Einfluss. Verschiedene Normen geben Grenzwerte an: DIN 1946 für Räume mit Lüftungs- oder Klimaanlage, die DIN 4109 für haustechnische Anlagen /Schramek, E.-R. (Hrsg.), 1997/.

- gegebenenfalls chemische Luftbelastung (in den Laboren).
- gegebenenfalls Partikelbelastung (in den Laboren bzw. Lüftungskanälen).

Parallel zu den über mindestens zwei Jahre durchgeführten Messungen wird das sanierte Gebäude in der Simulationsumgebung MATLAB-Simulink<sup>®</sup> abgebildet. Zeitreihen der Messdaten werden mit den durch Simulationsrechnungen erstellten Zeitreihen korreliert. Soll- und Ist-Zustände des Gebäudes lassen sich so direkt vergleichen. Eine durch Simulationsrechnungen gestützte Feinoptimierung führt voraussichtlich zu weiteren kostengünstigen Energieeinsparungen im Betrieb des Laborgebäudes.

### **Phase 3: Dokumentation für Sanierungsleitfaden**

Alle relevanten Erkenntnisse aus den obigen Arbeitspaketen werden für einen Leitfaden zur Sanierung von Laborgebäuden, dessen Koordination beim Forschungszentrum Jülich liegt und der im Antrag „Energetische Einsparmöglichkeiten am Laborgebäude 06.20“ ausführlich beschrieben ist, zusammengefasst. Die Einzelmaßnahmen der Sanierung werden bezüglich Energieeinsparung und Auswirkungen auf den Gebäudenutzer bewertet und mit Maßnahmen aus anderen Projekten verglichen (siehe z.B. /Hake et al. 1999/). Die einzelnen Messkurven und -daten werden erläutert als Anhang (CD-ROM) beigefügt.

Zwecks Übertragbarkeit auf zukünftige ähnliche Sanierungsobjekte werden die Projektergebnisse als Erfahrungsbericht und daraus abgeleitete Empfehlung formuliert. Der Beitrag zum Sanierungsleitfaden aus diesem Projekt gliedert sich in die Abschnitte

- Beschreibung des ursprünglichen Zustands (Bestandsanalyse und Energieverbrauch)
- Qualitätskontrolle während der Sanierung (Blower-Door-Test, IR-Thermografie)
- Bilanzierung aller Energieströme
- Bewertung von Einzelmaßnahmen und –komponenten
- Funktion der Regelungs- und Steuerungsanlagen
- Gebäudeklima und andere wesentliche Einflussgrößen auf den Gebäudenutzer
- Fehlerdiagnose bzw. Feinoptimierung von Sanierungskonzept, Komponenten, Regelungs- / Steuerungstechnik und Betriebsweise

Die inhaltliche Detaillierung und der Zeitrahmen werden im Verbundprojekt mit der Arbeitsgruppe STE / Prof. Kleemann des FZJ abgestimmt.

## Literatur

Furchner, H., 1992: Raumklima und Einflußfaktoren, TAB 6/92, S. 525-530

Hake, J.-Fr.; Kleemann, M.; Kolb, G.: Klimaschutz durch energetische Sanierung von Gebäuden  
Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Band 21, Jülich, 1999

Schneider: Wohn-Klima, Fernlehrgang Baubiologie, Lehrheft 5/6: , Institut für Baubiologie und  
Ökologie, Neubeuern

Schramek, E.-R. (Hrsg.), 1997: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, R. Oldenburg Verlag  
München, Wien