

Abschlussbericht 2007		
Forschungsvorhaben gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie		
Auftragnehmer:	Forschungszentrum Jülich	Kennzeichen: 0327330A
Auftragsbezeichnung:	Energetische Verbesserung der Bausubstanz Teilkonzept 3: Demonstrationsprojekte Energetische Sanierung des Laborgebäudes „Phytosphäre“ des FZJ	
Laufzeit des Auftrags:	01.06.2001 – 31.12.2006	
Berichtszeitraum:		

30.06.2007

2007_02_Abschlussbericht.doc

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG PROJEKTVERLAUF	3
1.1	Allgemeine Kennzeichen von Laborgebäuden	3
1.2	Projektverlauf	4
2	ZUSAMMENSTELLUNG DER ERGEBNISSE.....	6
2.1	Ausgangszustand des Gebäudes	6
2.2	Dokumentation der Planungsergebnisse.....	12
2.3	Mess- und Simulationsprogramm	36
2.4	Systemanalyse.....	36
3	VERÖFFENTLICHUNGEN	39
3.1	Leitfaden	39
3.2	sonstige Veröffentlichungen.....	40
4	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN.....	40
4.1	Zusammenfassende Bewertung der Sanierungsmaßnahmen	40
5	KOSTENÜBERSICHT UND WIRTSCHAFTLICHKEIT	48
5.1	Zielsetzung.....	48
5.2	Verringerung der Prototypkosten bei Folgesanierungen durch Lerneffekte	50

Vorwort

Der Abschlussbericht gibt nur die zusammengefassten Ergebnisse der Planung, Simulation, Ausführung, begleitenden Systemanalysen und Optimierung wieder.

Die ausführlichen Ergebnisse sind nachvollziehbar im Leitfaden zusammengestellt.

1 Zusammenfassung Projektverlauf

Gemäß Zielsetzung des Förderkonzeptes „ENSAN : Energetische Sanierung des Gebäudebestandes Teilkonzept 3: Demonstrationsprojekte“ sollte exemplarisch die Sanierung eines Laborgebäudes aufgezeigt werden. Demonstrationsprojekte haben das Ziel, beispielhaft für eine Gebäudeklasse die möglichen Energiesparpotenziale aufzuzeigen, innovative Technologien zu demonstrieren und durch eine wissenschaftliche Begleitung die Ergebnisse der Anwendung durch Dritte zugänglich zu machen.

Dabei soll nicht nur das sanierte Laborgebäude selbst, sondern auch der Sanierungsprozess und die mit der Sanierung erzielten Wirkungen zum Forschungs- und Dokumentationsgegenstand werden. Das Vorhaben wird durch eine breit angelegte wissenschaftliche Begleitforschung evaluiert. Das Arbeitsprogramm besteht aus fünf Paketen:

- Durchführung einer integralen Planung für eine innovative Sanierung.
- Bauausführung und Qualitätskontrolle der Bauausführung.
- Durchführung eines Mess-, Simulations- und Optimierungsprogramms.
- Wirtschaftliche, ökologische und sozialwissenschaftliche Bewertung.
- Aufbereitung der Projektergebnisse für einen Sanierungsleitfaden.

Neben den erheblichen Energie- und CO₂-Einsparungen, die erreicht werden, hat das Vorhaben Initialwirkungen für weitere Laborsanierungen. Ein wesentlicher Aspekt des Vorhabens ist die ganzheitliche wissenschaftliche Bewertung, die gleichzeitig technische, energetische, ökologische und sozialwissenschaftliche Elemente in sich vereint. Durch den Sanierungsleitfaden werden die Voraussetzungen für eine Übertragbarkeit auf andere Bedarfsträger geschaffen.

1.1 Allgemeine Kennzeichen von Laborgebäuden

Laborgebäude weisen besondere spezifische Merkmale gegenüber anderen Gebäudetypen auf. Diese können wie folgt zusammengefasst werden.

- Ein Laborgebäude umfasst eine Vielzahl von Nutzungseinheiten z.B. chemische- und physikalische Labore, Labore nach GenTVo, Büros, Lager, Technik Räume, EDV Räume, Seminarräume, Verkehrswege, sanitäre Einrichtungen etc.

Forschung wird zumeist in Teams betrieben, denen die Möglichkeit geboten werden muss, gemeinsam zu diskutieren, zu erörtern oder/und zu präsentieren. Entsprechende Räumlichkeiten sind deshalb unabdingbar und bei der Planung bzw. dem Bau eines modernen Laborgebäudes zu berücksichtigen.

- Aus energetischer Sicht unterscheiden sich diese Nutzungsbereiche erheblich. Ein Labor ist ein „Hochenergieverbraucher“. Dies ergibt sich aus den Anforderungen an Lüftung, Heizung, Kühlung (wegen Temperaturkonstanz), Beleuchtung, elektrische Verbraucher in Form von Messgeräten und Experimenten. Labore weisen also aufgrund von Mess- und Analyseinstrumenten eine hohe interne Wärmebelastung auf.

Ein Büro hingegen benötigt vorwiegend Energie in Form von Beleuchtung und Wärme. Es ist im Vergleich zu einem Labor ein „Niedrigenergieverbraucher“. Die anderen Nutzungseinheiten wie Lager oder Seminarräume haben energetisch wiederum eine andere Charakteristik.

- Zum Schutz der Labornutzer vor gesundheitsgefährdenden Stoffen müssen Labore mit einer Lüftung ausgestattet sein.

- Der Ausstattungsgrad mit einem komplexen HLK-System ist sehr hoch.

Als ein besonderes Merkmal von Laboratorien im Bereich Forschung und Lehre gilt im Gegensatz zu Laboratorien der industriellen Forschung, dass Grundlagenforschung im Mittelpunkt der Aktivitäten steht und keine auf einen bestimmten Zweck ausgerichtete Spezialisierung. Ein weiterer Unterschied ergibt sich dadurch, dass die wissenschaftliche Forschung ganz wesentlich von der Erarbeitung einer bestimmten Versuchskonzeption und der nachfolgenden Auswertung und Analyse der Versuchsergebnisse mitbestimmt wird. Das bedeutet, dass die Laboratorien nur zeitweise genutzt werden, da die Planung und Auswertung/Interpretation in der Regel in den Büroräumen vorgenommen wird.

1.2 Projektverlauf

Zum Verständnis der zeitlichen Abläufe wird der Projektverlauf wiedergegeben.

Jan 2001 Zustandsbewertung, Feststellung des Sanierungsbedarfs, anstehende Neuberufung und Neuausrichtung des Instituts

Jan-Feb 2001 Kurzanalyse, Verbrauchsmessungen, Simulation des Energieverbrauchs Identifizierung des Einsparpotentials =>Zwischenbericht zur Projektskizze ergibt, dass ein Einsparpotential von über 50 % vorhanden ist.

Feb-Mar 2001 Erstellung der Projektskizze mit Analyse des IST-Zustandes, Beschreibung der Energiesparmaßnahmen und Prognose des Einsparpotentials.

2007_02_Abschlussbericht.doc

Apr 2001	Einreichung des Förderantrages am 20.04.2001 beim BMWI Parallel zum Förderantrag werden vorbereitenden Maßnahmen zur Sanierung geplant. Dies sind Ersatzmaßnahmen zur Unterbringung der Mitarbeiter und der Experimente während der Bauzeit.
Jun 2001	Genehmigung der Förderung bis 31.12.2003
Jun 2001	Vergabe der HOAI Planungsleistungen an einen Generalplaner
Jul 2001	Neuberufung des Institutsleiters Der Planungsprozess wurde unter intensiver Mitwirkung des Nutzers vollzogen. Notwendige oder gewünschte Änderungen erfolgten zeitnah und auf kurzem Wege. Als Entscheidungsgrundlage für technische Fragestellungen wurden mehrfach Simulationen herangezogen. Deren Aussagewert wurde das anschließende Messprogramm bestätigt bestätigt wurde.
Okt 2001	Beginn der Räumung des Laborgebäudes, Verlegung von Experimenten
Nov 2001	Vorstellung der Planungsergebnisse beim Projektträger und den Gutachtern
Dez 2001	Einreichung des Bauantrages
Feb 2002	Erteilung der Baugenehmigung
Feb 2002	Schadstoffsanierung und Demontagen Als Voraussetzung für die Demontagen- und einen reibungslosen, planbaren Sanierungsablauf ist die Beseitigung von vorhandenen Gefahrstoffen. Die Gefahrstoffsanierung erfolgte auf der Grundlage eines Schadstoffkatasters.
Jul 2002	Beginn der Sanierungsarbeiten Die einzelnen Sanierungsmaßnahmen ließen sich grob in folgende Sanierungsabschnitte einteilen: Fassade, TGA Rohmontagen, Innenausbau, TGA Endmontagen, Laborausstattung, Endmontagen, Inbetriebnahme . Die Maßnahmen verliefen teilweise parallel, dadurch traten zeitliche und örtliche Überschneidungen auf. Durch Koordination der Gewerke in verschiedenen Etagen oder Gebäudeabschnitten kann eine Behinderung und damit terminliche Verzögerung ausgeschlossen werden.
Jul 2003	Übergabe an den Nutzer Erst nach dem Einzug des Nutzers, Einrichtung der Experimente und Aufnahme des Laborbetriebes kann die Feinjustierung der GLT und der TGA - Einstellungen erfolgen.
Sep 2003	Optimierung, Beginn Messprogramm Das Messprogramm soll sich über zwei Heiz- und Kühlperioden erstrecken. Gemäß ursprünglicher Planung hätte dies bis Jan 2006 erfolgen sollen.
Mai 2004	Durch aufgetretene Fehler in der GLT und TGA wurden erst ab Mai 2004 zusammenhängende Daten empfangen und konnten ausgewertet werden. Dadurch hat sich das Ende des Messprogramm bis Jun 2006 verschoben.
Jun 2006	Auswertung des Messprogramms
Jul 2006	Fortschreibung Leitfaden und Einpflegen der Ergebnisse
Dez 2006	Ende des Förderprojektes
2007	Abschluss und Veröffentlichung der Ergebnisse unter www.labsan.de

2007_02_Abschlussbericht.doc

2 Zusammenstellung der Ergebnisse

2.1 Ausgangszustand des Gebäudes

Das Gebäude 06.20 wurde Mitte der 60er Jahre Gelände des Forschungszentrums Jülich als Chemielabor errichtet



Bild 2-1: Gebäude 06.20 (Vordergrund) nach der Sanierung und das unsanierte Gebäude 06.10

Länge	53,7	m
Breite	23,4	m
Höhe	11,6	m
Bruttorauminhalt (BRI)	14.521	m ³
Bruttogeschossfläche (BGF)	3.762	m ²
Nettogeschossfläche (NGF)	3.227	m ²
Hauptnutzfläche (HNF)	2.102	m ²

Tabelle 2-1: Geometrie : Gebäudeabmessungen und –flächen

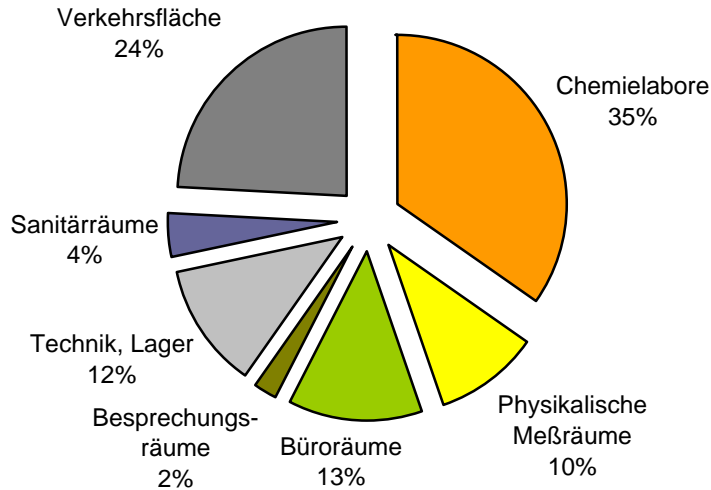


Bild 2-2: Aufteilung der Nettogeschossfläche im Geb. 06.2 vor der Sanierung

Die Gebäudegrundriss entspricht einem dreibündigen Konzept mit Außenzonen von 5,70 m Raumtiefe, Flurbreiten von je 2,05 m und einer Innenzone von 7,00 m. Die Innenzone nahm das zentrale Treppenhaus auf und diente untergeordneten Nutzungen wie Technikräumen, Lagern und WC's.

Jeder Außen liegende Raum war so konzipiert, dass er durch Versorgungsschächte erschlossen war und als Labor genutzt werden konnte. Das vorhandene Achsraster von 3,50 m war typisch für Laboratorien der damaligen Zeit.

Errichtet wurde das nicht unterkellerte dreigeschossige Gebäude in Beton-Skelettbauweise mit einem Flachdach. Charakteristisch waren auskragende Unterzüge, bestehend aus Betonplatten. Die ursprünglichen Fenster waren als Schiebefenster ausgeführt. Die lichte Geschosshöhe beträgt 3,50 m und wurde früher durch Abhangdecken auf 2,70 m reduziert.

Während der ca. 35-jährigen Nutzung bis zum Beginn der Grundsanie rung hat sich die Nutzung mehrfach geändert und Veränderungen sowie Nachrüstungen von raumluftechnischen Anlagen erforderlich gemacht. Sie betrafen vor allem frühere Lager- und Werkstattflächen. Einige Anlagen wurden zwischenzeitlich auch wieder zurückgebaut. Alle Änderungen waren nur lückenhaft dokumentiert und machten Bestandsaufnahmen vor Ort erforderlich. Alle Laborräume verfügten über zwei Schächte je 3,50-m-Achse, die die Zuluft- und Abluftführung ermöglichten. Dabei erfolgte die Zuluftzufuhr über eine zentrale Außenluft-Vollklimaanlage mit einem Volumenstrom von 42.000 m³/h im EG. Die Abluftentnahme übernahmen insgesamt 55 dezentrale Abluft-Dachventilatoren. Zusätzlich zu der reinen Laborlüftung befanden sich im Gebäude 06.20 Anlagen zur Abfuhr hoher Kühllasten (Klimaschränke) und zur Luftreinhaltung über Schwebstofffilter. Diese Anlagen wurden mit einem Umluftanteil betrieben.

Energetische Bewertung des Zustandes vor der Sanierung

Die Wärmedämmung des Gebäudes, die ursprünglich nur aus verputzten Holzfaserplatten bestand, wurde nachträglich bereits verstärkt. Dabei erfolgte die Aufbringung von Polystyrol - Dämmplatten mit einem neuen Außenputz. Die nachträglich aufgebrachte Dämmschicht wies erhebliche Feuchteschäden auf und war sanierungsbedürftig. Erhebliche Wärmebrücken bestanden durch die im Achsabstand von 0,875 m verlaufenden Betonbalken zur Aufnahme der Balkonplatten. Die zahlreichen, schadhafte Anschlussfugen waren verantwortlich für die Feuchteschäden in der Außenwandkonstruktion, bargen das Risiko von Schimmelpilzbildung im Inneren und führten zu erhöhten Transmissionswärmeverlusten.

Für die Aluminium-Schiebefenster wurde ein Wärmedurchgangskoeffizient U_w von ca. $3,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ geschätzt. Die Erreichberührende Bodenplatte verfügte über keinerlei Wärmedämmung.

Die Energieversorgung mit Wärme und Kälte erfolgte aus den Fernnetzen des Forschungszentrums. Dabei erfolgt die Fernwärmeeinspeisung aus dem RWE-Kohlekraftwerk Weisweiler. Über Kreuzstromwärmeüberträger erfolgte die Versorgung der sekundären Hausnetze, getrennt nach statischer und dynamischer Heizung, auf dem Temperaturniveau $90 / 70 \text{ °C}$.

Strom wurde mittelspannungsseitig eingespeist.

Klimakaltwasser wird im Forschungszentrum zentral auf dem Temperaturniveau $6 / 12 \text{ °C}$ und über direkte Anschlussstationen in die Gebäude geleitet. Die Erzeugung basiert auf dem Einsatz von zentralen Kompressionskältemaschinen mit offenen Kühltürmen.

Verantwortlich für ca.80 % des Primärenergieverbrauches waren die ineffizienten raumluftechnischen Anlagen. Durch die komplett dezentrale Ablufführung gab es keine Wärmerückgewinnung und es bestand auch keine Möglichkeit der Nachrüstung. Im gesamten Gebäude gab es keine Volumenstromregler, sodass die Lüftungsanlagen während der Haupt- und Nebenbetriebszeit mit konstanten Maximalvolumenströmen betrieben wurden. Die überwiegende Anzahl der Anlagen waren als Vollklimaanlagen errichtet worden. Für die Luftbefeuchtung wurden unregelmäßige Verdunstungsbefeuchter („Luftwäscher“), die Anlagen wurden nach dem besonders ungünstigen Prinzip der Taupunktregelung betrieben. Nachdem die Luftbefeuchter einige Jahre zuvor verschlissen waren, wurden sie nicht mehr instand gesetzt sondern stillgelegt. Dadurch wurde bereits ein größerer Teil des möglichen Energieeinsparpotenzials vorweggenommen. Altersbedingt waren die Ventilatoren ineffizient und durch nachträgliche Änderungen und Umbauten nicht mehr im optimalen Arbeitspunkt.

Zusätzliche Kühllasten wurden ausschließlich Luft basierend abgeführt, indem Lüftungsanlagen nachgerüstet wurden

Die Organisation des Gebäudes und die Nutzung der Räume unterschieden nicht zwischen Chemielaboren und z. B. physikalischen Messräumen. Die Luftvolumenströme des Gebäudes waren daher für die vorgefundene Nutzung deutlich zu hoch – eine bedarfsgerechte Anpassung war ohne größere bauliche Eingriffe nicht möglich.

Die Beleuchtung im Gebäude 06.20 wurde in den Hauptnutzflächen in der Zwischenzeit bereits teilsaniert. Von deutlich schlechterer Qualität war in den Nebennutzflächen auszugehen und Fluren, wo die ineffiziente Originalbeleuchtung vorgefunden wurde.

Die Gebäudeautomation basierte auf analoger Technik. Regler und Sensorik wurden bereits durch elektronische Komponenten ersetzt, Antriebe für Ventile und Klappen wiesen noch pneumatische Antriebe auf, die über entsprechende I/p-Wandler angesteuert wurden. Eine Anbindung an die zentrale Leittechnik des Forschungszentrums wurde zum Projektbeginn in ersten Schritten bereits begonnen. So wurden Stromzähler nachgerüstet, deren Daten für 5 Monate rückwirkend verfügbar waren. Fernwärme- und Fernkälteverbräuche wurden nicht gemessen sondern flächenabhängig auf die einzelnen Gebäude umgelegt.

Die fehlenden Verbrauchsdaten erschwerten die Beurteilung des energetischen Ausgangszustandes. Durch detaillierte Studien wurde der frühere Energieverbrauch nach bestem Wissen rekonstruiert. Dabei gelangten folgende Methoden zum Einsatz:

- Extrapolation der vorhandenen fünfmonatigen Stromverbrauchsmessdaten
- Analyse der hoch aufgelöst vorgelegenen Stromlastgänge
- Messung aller (konstanten) Außenluft- und Zuluftvolumenströme
- Messung der (konstanten) elektrischen Wirkleistung sämtlicher Ventilatoren
- Kurzzeitmessung des Wärmeverbrauches (14 Tage) mit mobiler Messtechnik und Extrapolation der Ergebnisse
- Thermische Gebäudesimulation
- RLT- Anlagensimulation
- Abgleich aller Messdaten und Simulationsergebnisse zu einem schlüssigen Gesamtbild.

Wegen der Übertragbarkeit und Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse war es notwendig, neben dem vorgefundenen Zustand (Szenario I) zwei zusätzliche Modelle für die raumluftechnischen Anlagen aufzustellen. Dabei wurde zunächst ein funktionsfähiger Zustand unterstellt, der die Mindestanforderungen an die Außenluftstraten und die planungsgemäßen Zuluftvolumenströme beinhaltet (Szenario II). Wegen des erheblichen Einflusses der Luftbefeuchtung bei den vorliegenden oder ähnlichen Anlagen wurde in einem weiteren Schritt die volle Funktionsfähigkeit der früheren thermischen Luftbehandlungsfunktionen unterstellt (Szenario III).

Als Primärenergiefaktoren wurden bewusst Standardwerte angesetzt, die die spezielle Energieversorgungssituation des FZ Jülich unberücksichtigt lassen (Fernwärme mit KWK-Anteil sowie Fernkälte). Somit ist ein objektiverer Vergleich mit anderen Laborprojekten gegeben.

Das Szenario II wurde herangezogen, um die durch die Sanierung hervorgerufene Energieeinsparung anhand späterer Verbrauchsmessungen zu quantifizieren.

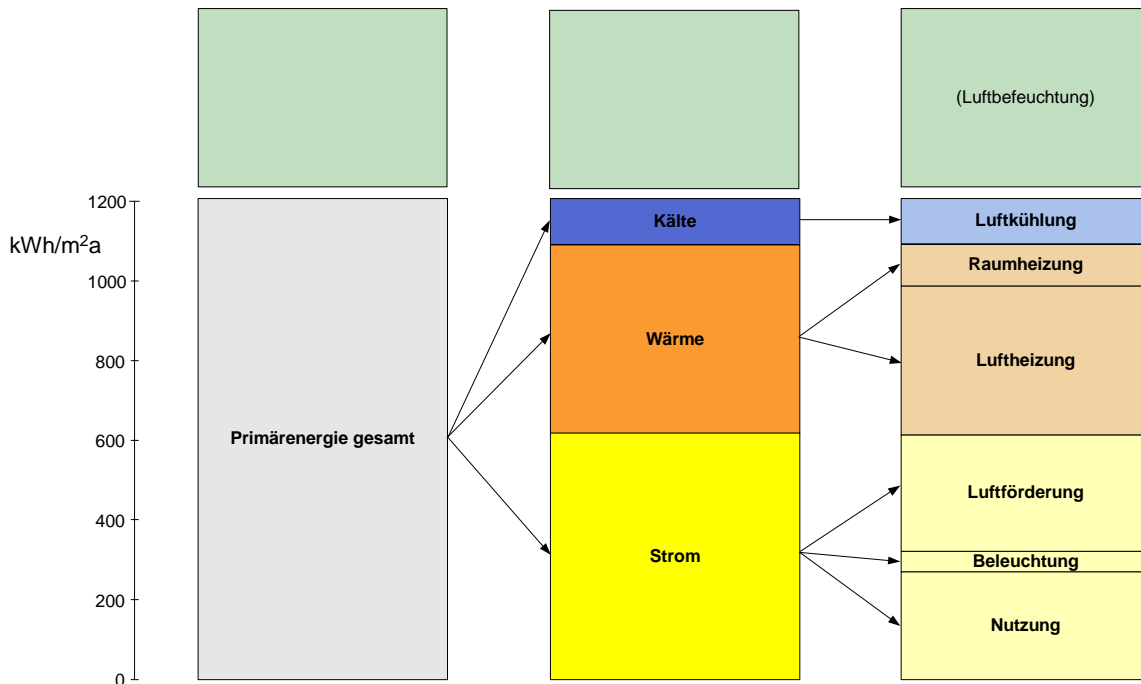


Bild 2-3: Spezifischer Primärenergiebedarf vor der Sanierung und Aufteilung auf Endenergieformen und Nutzungsarten

Standardlabor des Forschungszentrums Jülich

Für die Laborplanung hatte die Flexibilität eine hohe Bedeutung. Die reine Institutstätigkeit beinhaltet wenig Routinetätigkeiten. Vielmehr kann sich die Art und Wichtung der Arbeitsmethoden im Zusammenhang mit neuen Projekten ändern. Chemische Analytik wurde in den vergangenen Jahren zunehmend durch physikalische Messmethoden und bildgebende Verfahren ergänzt.

Vor diesem Hintergrund sollte der Labortrakt so flexibel geplant werden, dass jederzeit Nutzungsänderungen von chemischen und physikalischen Laboratorien und umgekehrt möglich sind, ohne dass andere Nutzungseinheiten davon betroffen sind. Dazu sollte pro Doppelachse (ca. 36 m²) der Einbau von maximal vier Abzügen (je 1,50 m breit) möglich sein. Die Lüftung sollte so geplant sein, dass das Kanalsystem für die maximale Summe der erforderlichen Volumenströme bemessen wird. Für zentrale raumluftechnische Geräte war ein sinnvoller Gleichzeitigkeitsfaktor ansetzbar.

Die Medien:

- Trinkwasser
- vollentsalztes Wasser
- Druckluft

- Sondergase (Helium, Kohlendioxid, Sauerstoff, Stickstoff, Argon)

werden zentral vorgehalten und über eine Medientrasse allen Laborräumen zur Verfügung gestellt.

Für Sondergase, die nur in begrenzten Bereichen und nur in geringen Mengen benötigt werden, wurden dezentrale Versorgungsanlagen über Gasflaschenschränke bereitgestellt.

Als Energien werden neben Heizwärme und Allgemeinstromversorgung in allen Laborräumen vorgehalten:

- Kühlwasser für Versuchsnutzung
- Kaltwasser für zusätzliche Klimatisierung
- Warmwasser (dezentrale Erzeugung).

Abzugsunterbauten werden entlüftet zur Aufbewahrung von Chemikalien des Tagesbedarfs. Z. T. sind auch Unterbauschränke als Sicherheitsschränke nach DIN 12925 vorgesehen worden.

Ein Elektro-Fensterbankkanal wurde im gesamten Fassadenbereich zur Aufnahme der Elektro-, Telefon- und Datenversorgung geplant.

Auf abgehängte Zwischendecken wurde aus Kostengründen und aus Gründen der Flexibilität verzichtet.

Vorbereitung der Planung

Im Vorfeld zum Sanierungsprojekt wurde durch das FZ Jülich eine energetische Grobanalyse durchgeführt. Diese hatte das Ziel:

die energetische Ausgangssituation trotz fehlender Verbrauchsdaten zu beurteilen

Vorschläge zur Verbesserung der Energieeffizienz zu unterbreiten

erste Abschätzungen zur Quantifizierung der Energieeinsparpotenziale vorzunehmen.

Die Ergebnisse der Grobanalyse wurden anschließend Bestandteil des Pflichtenheftes für die HOAI-Planung.

Als Dokumentation standen zum Planungsbeginn zur Verfügung:

1. Grundrisse Ausführungsplanung Neubau 1965
2. CAD-Grundrisse (Architektur) aus dem Jahr 2000
3. Grundrissausschnitte von Umbauten an RLT-Anlagen (lückenhaft) aus 1967 und 1985
4. Aufstellung von Leistungsdaten sämtliche Abluft-Dachventilatoren aus 1998
5. raumweise Flächenberechnung
6. Stromverbrauch für rückwirkend 5 Monate.

2.2 Dokumentation der Planungsergebnisse

Energetische Grobanalyse

Der benötigte Bearbeitungsaufwand für die energetische Grobanalyse belief sich auf einen Tag Bestandsaufnahmen vor Ort und ca. drei Tagen Bearbeitung im Büro. Die Ergebnisse der Grobanalyse wurden anschließend Bestandteil des Fördermittelanspruchs und des Pflichtenheftes für die HOAI - Planung. Die vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahmen wurden dann weitgehend umgesetzt.

Gebäudehülle	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verbesserung der Wärmedämmung auf einen mittleren k-Wert von 0,30 W/(m² K) 2. Erneuerung der Fenster mit $k < 1,5$ W/(m² K) 3. Evtl. Beseitigung der Wärmebrücken
RLT-Anlagen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Neustrukturierung und bedarfsgerechte Neudimensionierung der Anlagen nach heutigen Versorgungsaufgaben 2. Konzept als Variabel-Volumenstrom-System (VVS) zur bedarfsgerechten Anpassung und Volumenstromabsenkung in den Laboren außerhalb der Nutzungszeiten nach DIN 1946 / 7 3. Wassergestützte Raumkühlung in physikalischen Messräumen 4. Installation von Wärmerückgewinnungsanlagen durch teilweise Zentralisierung der Abluft 5. Wirkungsgradverbesserung bei den Ventilatoren 6. DDC-Regelung mit h,x-Optimierungsstrategien
Beleuchtung	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tageslichtabhängige und differenzierte Schaltmöglichkeiten für Innen-/Außenzonen bzw. Arbeitsbereiche 2. Einsatz von Tageslicht-Lenkelementen 3. Verbesserung des Tageslichtquotienten in den Fluren 4. Einsatz moderner Leuchten / Leuchtmittel in den Nebennutzflächen.

Tabelle 2-2: Sanierungsschwerpunkte als Ergebnis der energetischen Grobanalyse

Energetische Grobanalysen sind häufig die Grundlage für Energiesparmaßnahmen, Investitionsentscheidungen, Contracting-Ausschreibungen oder Detailuntersuchungen.

Vor diesem Hintergrund ist interessant, welche Prognosegenauigkeit mit einer derartigen Grobanalyse in einem technisch komplexen Gebäude erzielt werden kann.

Beim vorliegenden Projekt mussten aufgrund der fehlenden Verbrauchsdaten sowohl der Ist-Zustand als auch der Zustand nach der Sanierung beurteilt werden.

Typisch für die Ergebnisse der Grobanalyse des vorgefundenen Zustands war, dass sich die Bewertung eher an planungsgemäß funktionierenden Systemen orientierte. So wurde in der Grobanalyse davon ausgegangen, dass die vorhandenen Luftbefeuchter instand gesetzt werden und auch in der Zukunft eine Luftbefeuchtung erfolgen soll. Wegen fehlender Messwerte mussten statt der tatsächlichen Luftvolumenströme, die von den Sollwerten abwichen, die Typenschildangaben zugrunde gelegt.

Auch bei der Beurteilung des sanierten Gebäudes wurden in der Grobanalyse konservativere Annahmen hinsichtlich Dimensionierung und Betriebsweise der Lüftungsanlagen zugrunde gelegt. Dies ist verständlich, da zum damaligen Zeitpunkt keine genauen Informationen über mit der Instituts-Neuausrichtung verbundene Nutzung vorlagen. Diese Informationen sind jedoch notwendig, um die Nutzungstypen chemisches Labor, biologisches Labor oder physikalischer Messraum zu bestimmen, daraus den Luftvolumenstrombedarf hochzurechnen und typische Nutzungsszenarien für die Haupt- und Nebennutzungszeit zu entwickeln.

Der Vergleich von Detailanalyse und Messwerten 2005 zeigt dagegen eine sehr gute Übereinstimmung von Prognose und Verbrauch. Die größere Abweichung im Ventilatorstromverbrauch wird auf die beschriebenen Probleme bei der Volumenstromabsenkung in der Nebenbetriebszeit zurückgeführt, die im Rahmen der Betriebsoptimierung 2006 weiter verringert wurden.

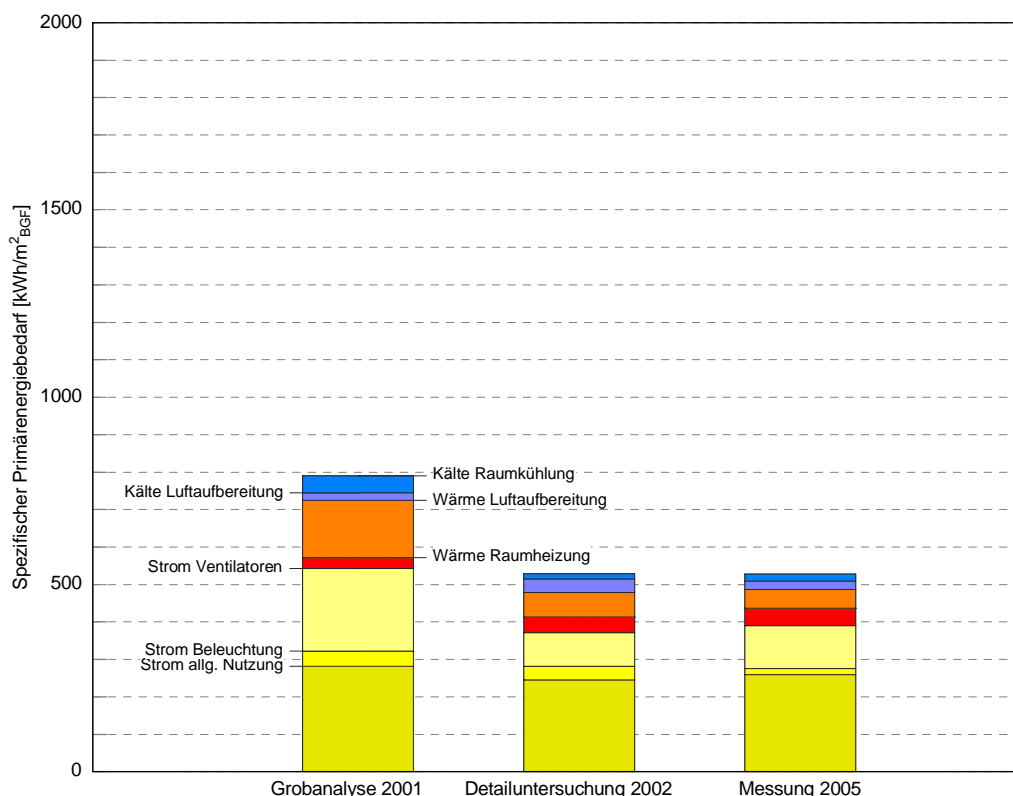


Bild 2-4: Vergleich der Ergebnisse aus Grobanalyse und Detailanalyse sowie den Verbrauchsmessungen für den Zustand nach der Sanierung

Lässt man den projektspezifischen Sondereinfluss der entfallenen Luftbefeuchtung vor der Sanierung außer Acht, ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung der Prognosen aus Grobanalyse und Detailuntersuchung mit der späteren Realität.

Einsparprognose der Grobanalyse	2001:	551 kWh/m ²
Einsparprognose der Detailuntersuchung	2002:	567 kWh/m ²
Primärenergieeinsparung im ersten Betriebsjahr 2005:		566 kWh/m ² .

Eine qualifizierte energetische Grobanalyse hat sich, trotz des extrem kurzen Bearbeitungszeitrahmens für das Gebäude 06.2 als sehr zielsicher erwiesen.

2.3.1 Nutzerbeteiligung

Das Institut „Phytosphäre“ (ICG III) ist eines von fünf „Instituten für Chemie und Dynamik der Geosphäre (ICG)“ im Forschungszentrum Jülich, die die Wechselwirkungen zwischen Boden, Wasser, Luft und Pflanzen erforschen.

Im Institut Phytosphäre werden in vier Projektbereichen (PB) die vielfältigen Wechselbeziehungen zwischen Pflanzen, Atmosphäre und Boden untersucht, pflanzliches Wachstum und der Transport von Stoffen in der Pflanze analysiert.

Zur Pflanzenanzucht werden Klimakammern sowie eine klimatisierte Gewächshausanlage betrieben.

Vertreter des Institutes wurden in die Sanierungsplanung intensiv einbezogen. Die Besonderheit beim LABSAN-Projekt war, dass annähernd zeitgleich mit Beginn der Sanierungsplanung die Leitung des Instituts durch eine Berufung neu besetzt wurde. Damit verbunden war eine teilweise Neuausrichtung der Forschungsschwerpunkte, der Start zahlreicher neuer Projekte und ein Zuwachs an Mitarbeitern. Entwurfsplanung, Nutzeranforderungen und Pflichtenhefterstellung mussten notgedrungen teilweise parallel erfolgen. Änderungen und Aktualisierungen erfolgten zeitnah und auf kurzem Wege.

Es hat sich als einer der wesentlichen Erfolgsfaktoren des Projektes herausgestellt, dass zwei autorisierte Institutsvetreter durchgängig vom Entwurf bis zur Inbetriebnahme des Gebäudes fester Bestandteil des interdisziplinären Planungsteams waren. Gerade für die Energieoptimierung, deren realistische Simulationsszenarien von Nutzungsintensität und Jahreslastprofilen zugrunde zu legen sind, lieferten sie wichtige Eingangsdaten und Einschätzungen.

HOAI-Phase und Integrale Planung

Nach der energetischen Grobanalyse, der Einreichung eines Projektantrages, deren rascher Evaluierung und Bewilligung im Zeitraum von Januar bis Mai 2001 wurde im Juni 2001 bereits mit der HOAI-Planung begonnen. Der Bauherr wurde zu energetischen Fragestellungen weiter von dem Projekt beraten, dass bereits die erste energetische Grobanalyse durchgeführt hatte.

Bei der Vergabe der HOAI Planungsleistungen entschied man sich für einen Generalplaner, der bis auf den Nachunternehmer für die Laborplanung sämtliche Gewerke mit eigenen Mitarbeitern oder Tochtergesellschaften personell abdecken konnte.

Für den Generalplaner sprach, dass nach eigenen Aussagen das Konzept der Integralen Planung im eigenen Haus umgesetzt werden sollte. Dafür standen z. B. Sonderspezialisten für die Gebäude- und Anlagensimulation zur Verfügung. Die Gesamtprojektleitung beim Generalplaner wurde, nicht wie üblich durch einen Architekten, sondern durch einen Gebäudetechniker wahrgenommen.

Einsatz innovativer Planungswerkzeuge

Im Rahmen des Projektes wurden innovative Planungswerkzeuge in Form von dynamischen Simulationsprogrammen und wissenschaftliche Berechnungs- und Diagnoseverfahren eingesetzt. Deren Ergebnisse beeinflussten den Systementwurf, die Klärung von Detailfragen und die spätere Betriebsoptimierung.

In den einzelnen Projektphasen wurden diese wie folgt angewendet:

Energetische Grob-analyse	Gebäudesimulation und RLT-Anlagensimulation auf Basis von geschätzten Randbedingungen zur Quantifizierung der Einsparpotenziale und Machbarkeit des Gesamtprojektes.
Detaillierte Ermittlung des Ist-Verbrauches vor der Sanierung:	Gebäudesimulation und RLT-Anlagensimulation zur Validierung von lückenhaften Messdaten und Ergänzung der Verbrauchsdaten zu einem vollständigen, witterungsbereinigtem Gesamtbild. Simulation zusätzlicher Szenarien.
Entwurfsplanung	Gebäudesimulation und RLT-Anlagensimulation zur energetisch – wirtschaftlichen Bewertung von unterschiedlichen Lösungsvarianten und zur Qualitätssicherung in Hinblick auf das angestrebte Energieeinsparziel
Ausführungsplanung	Tageslichtsimulation für die Entscheidungsfindung der Sonnenschutzlösung und Quantifizierung der Tageslichtautonomie. Dreidimensional Temperaturfeldberechnungen für die Entscheidungsfindung bei der Beseitigung bzw. Behandlungsalternativen von Wärmebrücken. Gebäudesimulation und RLT - Anlagensimulation zur Aktualisierung der Energieeinsparprognose.
Betriebsoptimierung	Betriebsoptimierung: Diagnosesystem zur Datenvisualisierung

und Fehlererkennung.

Die Werkzeuge im Einzelnen:

Dynamische Gebäudesimulation:

Berechnung von dynamischen Heiz- und Kühllasten, des Jahresenergiebedarfs für das Heizen / Kühlen von Raumzonen sowie freischwingenden Raumtemperaturen

Berücksichtigt werden:

äußere Einflüsse wie Sonnenstrahlung, Außentemperatur, langwellige Strahlung

bauphysikalische Eigenschaften der innerer und äußerer Gebäudeteile (Transmission, Wärmespeicherung, Strahlungsdurchgang und -austausch)

Nutzungsbedingte Einflüsse: Wärmequellen infolge Personen, Beleuchtung und elektrischer Geräte, mechanische und natürliche Lüftung, Nutzungszeiten

anlagentechnische Einflüsse: Leistungsbegrenzungen, Nachtabsenkungen, unregelmäßige Energieeinträge

Software: LACASA (Eigenentwicklung Solar-Institut Jülich);
TAS; GEBSIMU (TU München)

RLT-Anlagensimulation

Berechnung des Energiebedarfs für die thermische Luftaufbereitung und Luftförderung zentraler raumluftechnischer Anlagen.

Berücksichtigt werden:

Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten von Luft in unterschiedlichsten Kombinationen

Mischung von Luftzuständen und Wärmerückgewinnung

Energiebedarf von Ventilatoren bei konstanten und variable Zu- und Abluftvolumenströme

Regelstrategien (h,x-Strategien, Enthalpiesteuerung, Taupunktregelung)

Heiz- und Kühllasten aus der Gebäudesimulation.

Software: SIMHX (schiller engineering)

Temperaturfeldbe-

Berechnung von Oberflächentemperaturen dreidimensionaler Bautei-

rechnung	<p>le sowie Wärmeströme bzw. äquivalente Wärmedurchgangskoeffizienten. Bewertung der Wärmeverluste von Bauteilen und des Risikos der Schimmelpilzbildung.</p> <p>Berücksichtigt werden:</p> <p>dreidimensionale Geometrien aus inhomogenen Materialien</p> <p>Wärmeleitfähigkeit der Materialien</p> <p>Unterschiedliche frei wählbare Randbedingungen wie: Oberflächentemperaturen, Wärmeströme, Umgebungsbedingungen (Wärmeübergangskoeffizient, Umgebungstemperatur).</p> <p>Software: HEAT 3.0 (Hersteller: Blocon)</p>
Tageslichtsimulation	<p>Visualisierung der Tageslichtverteilung in fotorealistischeren Darstellungen, Berechnung des Tageslichtquotienten und deren Verteilung sowie der Tageslichtautonomie</p> <p>Berücksichtigt werden:</p> <p>Raumgeometrie und Möblierung</p> <p>Verschattung durch Nachbargebäude, Vorsprünge u. ä.</p> <p>Fensteranordnung und Lichttransmission</p> <p>Reflexionseigenschaften der inneren Raumbooberflächen</p> <p>Lichtlenkende Elemente</p> <p>Kunstlichtergänzung.</p> <p>Software: (RADIANCE, Programmumgebung des Herstellers AL-WARE)</p>
Kunstlichtberechnung	<p>Berechnung der Beleuchtungsstärken sowie deren Verteilung in Räumen für unterschiedlichste Beleuchtungsprinzipien und Leuchtenanordnungen</p> <p>Abbildung von Einflüssen ähnlich wie bei der Tageslichtsimulation jedoch ohne Tageslichteinfluss – dafür Berücksichtigung zahlreicher Leuchtencharakteristika.</p> <p>Software: Dialux</p>

Entscheidungsprozesse und Ergebnisse der Raumplanung

Bei der Raumplanung und Neuausrichtung der Forschungsschwerpunkte des Institutes ergaben sich zeitliche Überschneidungen. Durch die frühe Entscheidung für flexible Standardlaborräume war man während der Planung in der Lage, auf Änderungswünsche der Nutzer verhältnismäßig schnell zu reagieren.

Maßgeblichen Einfluss auf die Energieeinsparung hatte die Entscheidungen, die Raumnutzung in den Laborräumen differenziert festzulegen. Trotz gleicher Ausstattung als Standardlaborraum, gibt es neben den chemischen Laboren jetzt biologische Laborräume und physikalische Messräume. Für letztere wird vom Mindestluftwechsel entsprechend Laborrichtlinie DIN 1946-7 abgewichen. Organisatorisch, mit Nutzern und den Verantwortlichen für Arbeitssicherheit ist abgestimmt, welche Tätigkeiten in welchen Räumen durchgeführt werden dürfen.

Da diese Einschränkung aufgrund der einheitlichen Laborausstattung jederzeit änderbar ist, wurde die Akzeptanz bei den Nutzern gefunden.

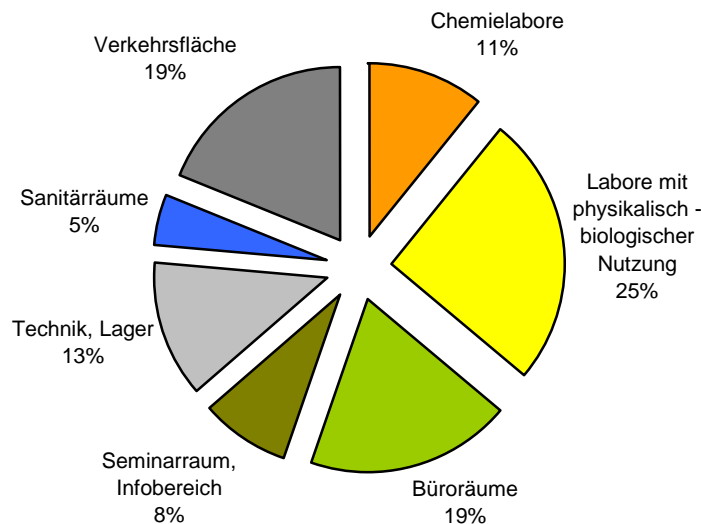


Bild 2-5: Flächenaufteilung im Laborgebäude Phytosphäre nach der Sanierung

Die Laborflächenanteile wurden im Rahmen der Sanierung von 1.495 m² auf 1.122 m² verringert. Der Anteil der Labore mit physikalisch oder biologischer Nutzung von diesen Flächen beträgt 794 m². Somit verblieben als reine Chemielabore nur 340 m². Dieser verhältnismäßig geringe Anteil an Chemielaboren wurde vor der Sanierung auch nicht in wesentlich größerem Umfang genutzt – dafür war jedoch die Förderung und Konditionierung wesentlich größere Außenluftvolumenströme notwendig.

Konsequent erfolgte die Ausrichtung der Räume nach energetischen Gesichtspunkten. Laborräume, die über hohe interne Wärmegewinne verfügen, wurden konsequent auf der Nordseite des Gebäudes

angeordnet. Büroräume, die aufgrund geringerer interner Wärmequellen von der passiven Solarheizung profitieren können, befinden sich überwiegend auf der Südseite.

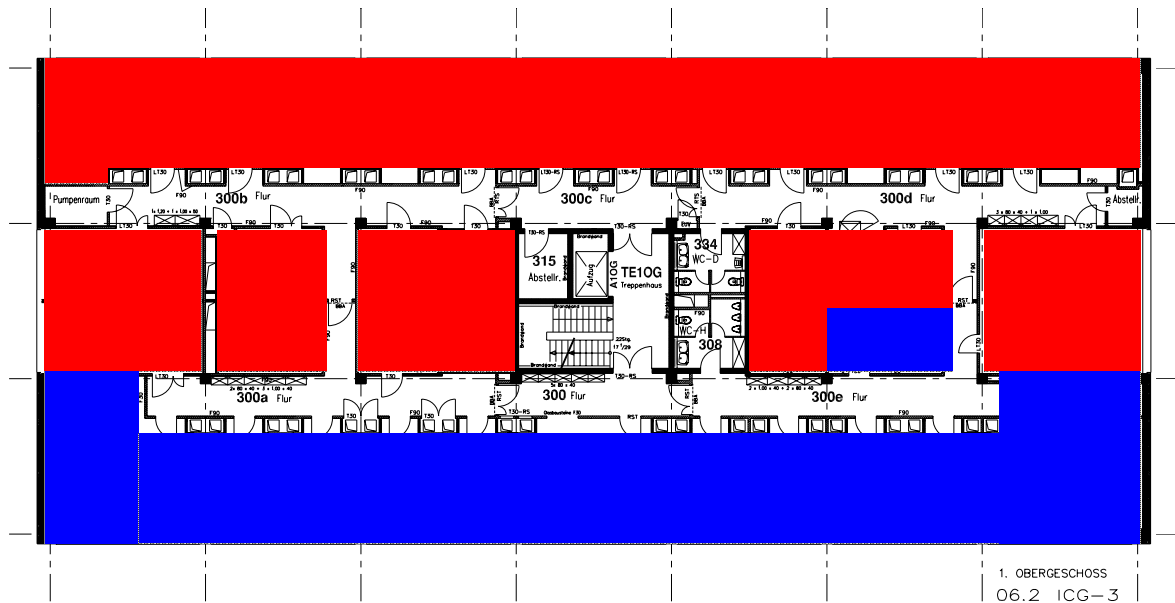


Bild 2-6: Grundriss des 1. Obergeschosses mit Anordnung von Laborräumen (rot – Nordseite) und Büroräumen (blau – Südseite)

Entscheidungsprozesse und Ergebnisse der Hochbauplanung

Mit Ausnahme der Bodenplatte wurden sämtliche Hüllflächend des Gebäudes aufgrund von Mängeln und unzureichendem Wärmeschutz saniert. Der vorgefundene spezifische Transmissionswärmeverlust in Höhe von $0,97 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ konnte um 50 % auf $0,49 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ gesenkt werden. Für die Bodenplatte konnte keine wirtschaftlich vertretbare Lösung gefunden werden. Bei den oberirdischen Bauteilen beträgt der mittlere Transmissionswärmeverlust $0,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Geplant und umgesetzt wurden im einzelnen folgende Schritte:

- Erhöhung der Wärmedämmung des Flachdaches auf eine Stärke von 10 cm zusätzliche Wärmedämmung im Außenwandbereich, teilweise als Wärmedämmverbundsystem – teilweise als hinterlüftete Fassade (Aluminium-Wellblech)
- Austausch der Fenster: Aufgrund der hohen internen Wärmelasten wurde der Einsatz von Dreifachverglasungen nicht als wirtschaftlich angesehen. Stattdessen wurden über dem allgemeinen Standard liegende Fensterkonstruktionen bei ansonsten konventionellem Aufbau geplant (Zweifachverglasung mit $U_G = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und hochgedämmte Aluminium-Rahmenprofile mit $U_F = 1,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).
- Beseitigung der Wärmebrücken.

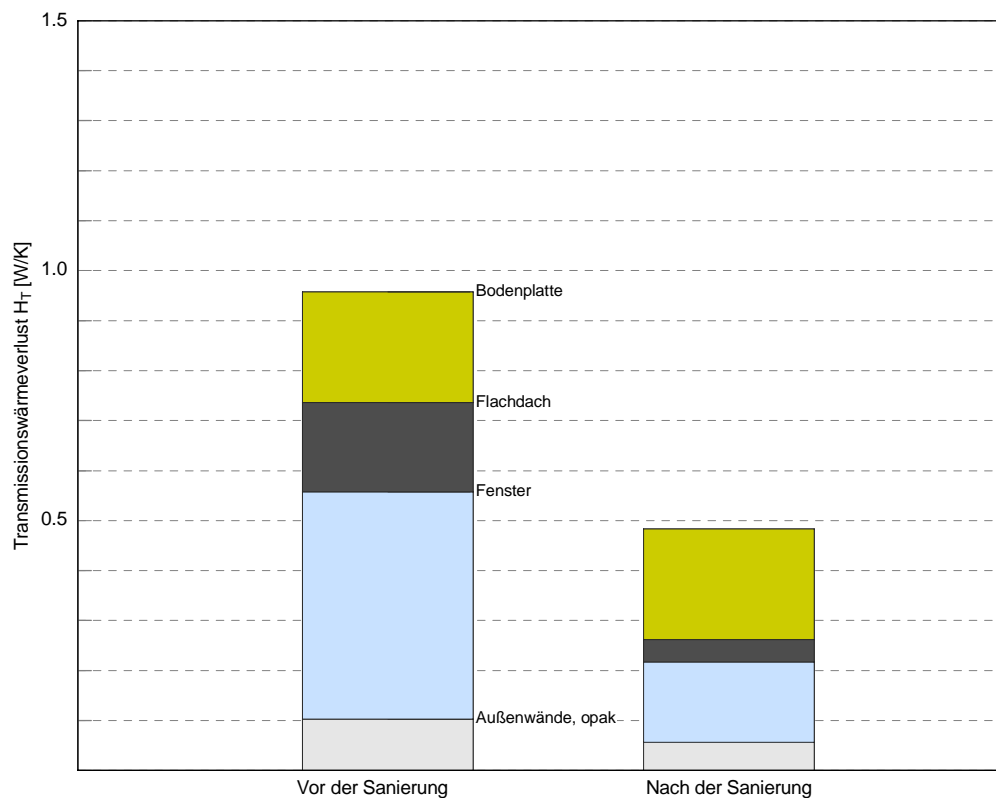


Bild 2-7: Spezifische Transmissionswärmeverlust vor und nach der Sanierung

Um das Thema Wärmebrückenbeseitigung wurde während der Planung lange gerungen. Drei Alternativen standen zur Verfügung:

- Belassen der Wärmebrücken, da eine Beseitigung zunächst unwirtschaftlich erschien
- Dämmen der Wärmebrücken auf der Außenseite
- Abschneiden der Wärmebrücken und durchgängige Dämmung.

Seitens des Fördermittelgebers bestand der verständliche Wunsch, bauphysikalisch vorbildliche Musterlösungen zu schaffen. Da die Kragarme der Aufnahme der Balkonplatten dienten, wurden Probleme des Brandschutzes (2. Flucht- und Rettungsweg) berührt.

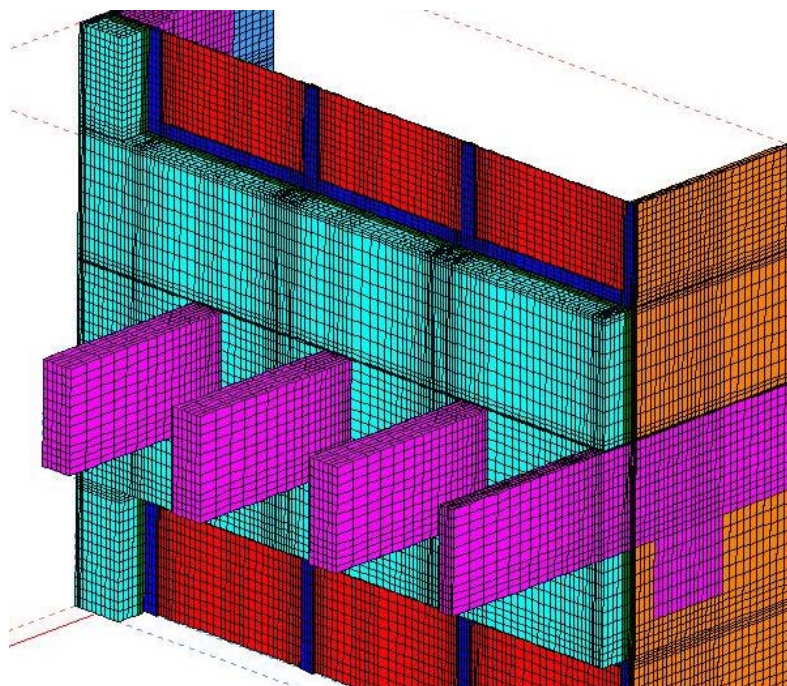


Bild 2-8: Gittermodell des nach der Finite-Elemente-Methode simulierten Fassadenausschnittes mit Kragarmen

Im Laufe intensiv geführter Untersuchungen kristallisierten sich folgende Erkenntnisse heraus:

- Mit Hilfe von dreidimensionalen Temperaturfeldberechnungen konnte der Wärmebrückeneinfluss quantifiziert werden. Berechnungsrandbedingungen für Wärmebrückenuntersuchungen sind in DIN V 4108 – 2 genormt. Anforderungen an die Berechnungsmethodik und die Modellierungstiefe stellt DIN EN ISO 10211. Nach den Berechnungsergebnissen würde sich für die betroffenen Hauptfassaden (Nord und Süd) der U-Wert der nichttransparenten Flächen von 0,220 um 113 % auf 0,468 W/(m²K) verschlechtern, würde man keine energetische Verbesserung herbeiführen. Der spezifische Transmissionswärmeverlust des Gebäudes würde sich um 8 % verschlechtern.

1. Parallele Berechnungen nach dem Monatsbilanzverfahren (DIN V 4108 – 6) und dynamische Simulationen ergaben eine Erhöhung des Heizwärmebedarfs um 6 – 7 % bzw. 11 – 15 MWh/a. Begünstigende Auswirkungen auf den Jahreskühlbedarf sind vernachlässigbar. Die Heizkostensparnis durch die Wärmebrückenbeseitigung beträgt bei üblichen Fernwärmepreisen weniger als 1.000 EUR pro Jahr, wonach die Beseitigung zunächst unwirtschaftlich erschien.
2. Aus Gründen des Schimmelpilzrisikos auf den raumseitigen Oberflächen wäre eine Wärmedämmung nicht zwingend erforderlich gewesen.
3. Nach Gesprächen mit den zuständigen Behörden ergab sich die Möglichkeit, auf die Fluchtbalkone zu verzichten, wenn Ersatzmaßnahmen (Brandmeldeanlage) geschaffen werden. Diese Option ist auch vor dem Hintergrund zu sehen, dass das Forschungszentrum Jülich ü-

ber eine eigene Betriebsfeuerwehr verfügt. Diese Lösung stellte sich als deutlich preiswerter heraus, als die ursprünglich angesetzten Kosten für eine neue, thermisch entkoppelte Balkonkonstruktionen

4. Die Kosten für das Absägen der Kragarme stellten sich nach Vorlage konkreter Angebote deutlich niedriger heraus als Ursprünglich geschätzt. Die Gesamtkosten für das Beseitigen und die Ersatzmaßnahmen beliefen sich auf ca. 100.000 EUR. Kostenminderungen kamen durch die eingesparte Betonsanierung und die einfachere Verarbeitung der Fassadendämmung zustande.
5. Die Folgekosten für die Bauunterhaltung für den Fall, dass die Kragarme beibehalten worden wären, wurden mit ca. 5.000 - 10.000 EUR jährlich eingeschätzt, da die zahlreichen Fugen potenzielle Schwachstellen für Risse und Feuchteschäden dargestellt hätten.



Bild 2-9: Kragarme unmittelbar vor dem Abschneiden

Letztlich waren die erwarteten Bauunterhaltungskosten und die brandschutztechnische Lösungsmöglichkeit ausschlaggebend dafür, dass eine Komplettbeseitigung der Kragarme beschlossen und durchgeführt wurde. Dabei wurden die Kragarme mit Diamantsägeblättern außenwandbündig abgesägt.

Das gesamte Gebäude profitiert aus architektonischer Sicht deutlich und verfügt heute über ein klares und modernes Erscheinungsbild.



Bild 2-10: Gebäudehülle vor Beginn der Fassadendämmung

Entscheidungsprozesse und Ergebnisse der HLK-Planung

Am Wärmeversorgungskonzept des fernwärmeversorgten Gebäudes wurde auch nach der Sanierung festgehalten. Vorteilhaft war hier vor allem, dass die Wärme aus dem nahe gelegenen Braunkohlekraftwerk Weisweiler ausgekoppelt wird. Es kann von einem sehr hohen Kraft-Wärme-Kopplungs-Anteil (KWK) ausgegangen werden. Grundsätzlich ist die KWK eine der volkswirtschaftlich und ökologisch sinnvollsten Art der Wärmeversorgung.

Die Fernwärmeübergabe erfolgt wie bisher indirekt über Gegenstromwärmeübertrager. Gegenüber dem früheren Stand (1.500 kW) wurde der Wärmeübertrager auf nunmehr 580 kW ausgelegt. Diese Leistung beinhaltet durchgeleitete Leistungen für das benachbarte Wasserstofflabor und Geb. 06.3 Pflanzenanzucht.

Gegenüber der früheren Auslegung wurden die Vorlauftemperaturen des Sekundärnetzes von 90 °C auf 70 °C gesenkt. Sämtliche Umwälzpumpen wurden mit einer Drehzahlregelung geplant. Die Wärmeverteilung befindet sich innerhalb der wärmegeprägten Hülle.

Insgesamt ist die Wärmeverteilung in 2 witterungsgeführte (Nord- und Südfassade) und einen konstanten Temperaturheizkreis unterteilt. Über den konstanten Heizkreis werden die Heizflächen der Laborräume versorgt. Das Konzept sieht hier vor, diese Heizflächen als Luftnachwärmer fungieren zu lassen. Dadurch kann die zentrale Zulufttemperatur in Winter und Übergangszeit zur freien Kühlung etwas abgesenkt werden. Kühlenergie wird dabei gespart. Die Heizflächen stellen dann sicher, dass schwach belegte Räume nicht unterkühlen.

Die Raumheizflächen wurden, den verringerten Heizlasten entsprechend angepasst, erneuert. Büroräume und Nebenräume wurden mit Thermostatregelventilen ausgestattet.

In Räumen, in denen Kühlflächen installiert sind oder die Möglichkeit der Nachrüstung von Kühlflächen besteht, wurden elektronische Regelventile eingeplant. Die Regelventile von Heizflächen und Kühlflächen wurden mittels Sequenzreglern gegeneinander verriegelt, sodass gegenläufiges Heizen und Kühlen ausgeschlossen ist. Die Sollwertvorgaben beinhalten ein „Temperatur-Totbereich“, in dem weder geheizt noch gekühlt wird. Selten genutzte Räume werden über Zonenventile geregelt und können zentral abgesenkt werden.

Die Frage der sinnvollsten Trinkwarmwasserbereitung wurde während der Planungsphase untersucht und mit den Nutzern besprochen. Im Ergebnis wurde eingeschätzt, dass der kontinuierliche Bedarf an Warmwasser gering ist, die Verfügbarkeit dagegen in allen Laborflächen gegeben sein muss.

Gegen eine zentrale Warmwasserbereitung sprachen:

- lange, verzweigte Rohrnetze
- Bereitschaftsverluste durch Zirkulationssystem
- Legionellen Problematik

- Platzbedarf für Speicher in den beengten Technikflächen.

Entschieden wurde, die Trinkwarmwasserbereitstellung über dezentral elektrische Geräte (Kleinspeicher, Durchlauferhitzer in Duschräumen) sicherzustellen. Neben den Laborräumen wurden die Teeküche und 4 selten genutzte Duschräume versorgt.

Bei der Lüftungsplanung wurden folgende Ziele verfolgt:

-möglichst starke Zentralisierung mit dem Ziel der Wärmerückgewinnung

-bedarfsgerechte Regelung mit variablen Volumenströmen

-Einsatz energieeffizienter Ventilatoren und Realisierung niedriger Druckverluste.

Die gesamte Außenluft wird zentral in einer Teilklimaanlage konditioniert. Auf eine Luftbefeuchtung und -entfeuchtung wurde aus Gründen der Kosten und Energieeinsparung verzichtet.

Das Zuluftgerät wurde im Erdgeschoss in der Nähe der früheren gemauerten Kammern installiert. Um entsprechend der Regeln der Technik die Außenluft in mindestens 3 m über dem Boden anzusaugen, wurde die Errichtung eines Ansaugbauwerkes notwendig, das über erdreichverlegte Rohrleitungen über eine kurze Distanz mit dem Lüftungszentralgerät verbunden wurde.



Bild 2-11: Zuluft-Zentralgerät mit Wärmerückgewinnung im Erdgeschoss

Für das Luftverteilnetz wurde ein Konzept erarbeitet, das die Anzahl der Brandschutzklappen stark reduziert bzw. die Anordnung zur besseren Wartung auf die Flure, hier besonders im EG konzentriert.

2007_02_Abschlussbericht.doc

Die wurde möglich, durch die Ertüchtigung der jeweils 2 flurseitig angeordneten Schächte je Laborachse.

Standardkonzept:

- Die horizontale Zuluftführung erfolgt, ausgehend von der Zuluftzentrale im EG im Zwischendeckenbereich der beiden Flure im EG.
- Die Zuluft Kanäle wurden im EG über die Flurwand und im 1. und 2. OG über separate F90-Schächte den Laboren zugeführt. Schachteintritte und Wanddurchführungen werden über Brandschutzklappen abgesichert.
- Die Abluft wird vom EG und 1. OG ebenfalls in separaten Schächten vertikal nach oben geführt. Von Labor im 2. OG werden die Abluftkanäle direkt durch das Dach geführt.
- Bei Doppelbelegung von Schächten mit Kanälen unterschiedlicher Räume, wurden diese feuerbeständig in L90-Qualität ausgeführt.
- Die an das zentrale Abluftnetz anzuschließenden Kanal Enden werden auf dem Dach über einen zentralen Sammelkanal dem Abluftgerät zugeführt.

Das auf dem Dach befindliche Abluftgerät ist mit dem Zuluftgerät im EG über ein kreislaufverbundenes Wärmerückgewinnungssystem verbunden. Die Dimensionierung der Wärmerückgewinnung war Thema intensiverer Untersuchungen. Aus Platzgründen (Zuluftgerät mit ca. 12 m Länge) musste die Rückwärmzahl auf 50 % reduziert werden. Das Ausschlusskriterium waren hier die notwendigen Baulängen im EG.



Bild 2-12: Abluftammelkanal auf dem Dach

Das Zuluft Zentralgerät wurden inklusive Reservevorhaltung für einen Außenluftvolumenstrom von $44.000 \text{ m}^3/\text{h}$ dimensioniert. Die Querschnittsbemessung führt zu einer niedrigen mittleren Luftgeschwindigkeit von $< 2,3 \text{ m/s}$. Ohne Inanspruchnahme der Reservevolumenströme führt die Dimensionierung damit zu extrem niedrigen internen Druckverlusten.

Der Zuluft Ventilator und die redundant ausgeführten Abluftventilatoren wurden als direktgetriebene Ventilatoren geplant, die aufgrund der entfallenen Keilriemenverluste energetische Vorteile bewirken. Bei der Auswahl der Ventilatoren wurde auf möglichst optimale Betriebspunkte bzw. Wirkungsgrade Wert gelegt.

Die Dimensionierung der einzelnen Luftvolumenströme erfolgte nach mit der Betriebsdirektion abgestimmten Vorgaben:

- Chemielabore: Luftwechsel $25 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ entsprechend DIN 1946-7 bzw. Raumbilanz entsprechend der Abzüge

- Biologische Labore und Messräume: Luftwechsel $12 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$

2007_02_Abschlussbericht.doc

- Lösemittelräume: 5 – 10-facher Luftwechsel
- WC`s, Duschräume: entsprechend Arbeitsstättenrichtlinie
- Seminarraum: personenbezogene Mindestaußenluftfrate DIN 1946-2.

Die Hochrechnung aller Räume führte zu nachfolgenden Ergebnissen für die Gesamtluftbilanz. Dabei beziehen sich die Maximalwerte im Tagbetrieb auf die gleichzeitige Nutzung aller Digestorien.

	Abluft			Zuluft		
	AB MAX Tagbetrieb m ³ /h	AB MIN Tagbetrieb m ³ /h	AB Nachtbetrieb m ³ /h	ZU MAX Tagbetrieb m ³ /h	ZU MIN Tagbetrieb m ³ /h	ZU Nachtbetrieb m ³ /h
EG	8.128	7.281	3.514	6.953	6.183	3.184
1. OG	19.291	13.328	7.668	17.262	12.471	6.691
2. OG	8.883	6.197	2.449	8.391	5.824	2.239
Summe:	36.302	26.806	13.631	32.606	24.478	12.114

Tabelle 2-3: Luftbilanz nach der Sanierung

Der Abluftüberschuss von durchschnittlich 10 % dient der Unterdruckhaltung in den Laborräumen. Ca. 5.300 m³/h stärker belastete Abluft (u. a. Lösemittelager, Unterschrankabsaugungen, Perchlorabzug) werden über insgesamt 8 Abluftanlagen dezentral gefördert. Somit stehen 85 % der Gesamtabluft für die Wärmerückgewinnung zur Verfügung, was ein wesentliches Planungsziel war.

Die Lüftungsanlage wurde als Variabel-Volumenstrom-System mit raumweiser Luftmengenbilanzierung geplant. Dadurch kann in der Hauptbetriebszeit der Luftvolumenstrom zwischen Mindestvolumenstrom (DIN 1946-7) und dem maximalen Luftbedarf der Laborabzüge stufenlos variiert werden. Über Zeitprogramme erfolgt die Gesamtabenkung in der Nebenbetriebszeit. Diese Mindestluftvolumenströme ergeben sich aus den minimalen Abzugsvolumenströmen bei geschlossenen Frontschiebern und den Konstantabsaugungen z. B. der Unterschrankabsaugungen.

Die Differenz aus den Maximal- und Minimailluftvolumenströmen zeigt das Einsparpotenzial der bedarfsgerechten Abzugsluftvolumenstromregelung. Bei einem späteren Ausbau der Laborflächen und intensiverer Nutzung würde sich diese Spanne vergrößern, da eher mit einer Zunahme der Abzüge zu rechnen wäre. Das größte Potenzial zur Luftmengenreduzierung und damit zur Energieeinsparung ergibt sich aus dem Unterschied zwischen Haupt- und Nebennutzungszeit (Tag / Nacht). Die Nacht- und Wochenendstunden nehmen ca. 60 % der jährlichen Betriebszeit ein.

Der Seminarraum des Institutes wird außerhalb von Veranstaltungen auch als Institutsbibliothek genutzt. Die Lüftung dieses Raumes erfolgt ebenfalls mit variablen Luftvolumenströmen, wobei hier als Regelgröße die Luftqualität dient. Eingesetzt wurde der neu entwickelte Mischgassensor LUQAS. Finden keine Veranstaltungen statt, reduzieren sich die Luftvolumenströme auf das Minimum. Nachts wird komplett abgeschaltet.

Hohe interne Wärmelasten machten die Installation zusätzlicher Raumkühleinrichtungen erforderlich. Planungsziel war es hier, einen möglichst hohen Anteil an freier Kühlung zu realisieren. Dies wurde auf zwei Wegen verfolgt:

- Nutzung von Oberflächenwasser (Flusswasser) der nahe gelegenen Rur
- Nutzung der Umgebungstemperatur in der kühleren Jahreszeit durch ein trockenes Rückkühlwerk.



Bild 2-13: Freikühler (Vordergrund) und Abluftgerät mit Wärmerückgewinnung

Beide alternativen Kältesysteme erfordern möglichst hohe Systemtemperaturen, um das Umweltenergiepotenzial lange ausnutzen zu können.

Für die Labore wurden zwei alternative Konzepte diskutiert.

Kühlkonvektoren

Dimensionierung der Kühler für Vorlauftemperatur 14 °C

Vorteil: flexible Ausstattung nach Bedarf

Putzkühldecke mit Kapillarrohrmatten

Vorlauftemperaturen von 18 °C

Nutzung der berippten Decke zur Oberflächenvergrößerung

Nutzung der Wärmespeicherfähigkeit, dadurch Verlagerung der Kühlung in die Nachtstunden

kein Hilfsenergiebedarf

Nachteil: geringe Flexibilität, dadurch Maximalausbau notwendig

Für die endgültige Entscheidung war die höhere Flexibilität der Kühlkonvektoren ausschlaggebend. Beispielhaft wurden zwei Räume mit der innovativeren Bauteilaktivierung auf Basis von Kapillarrohrmatten ausgestattet, um diese im Rahmen des wissenschaftlichen Begleitprojektes detaillierter zu untersuchen.

In zwei Räumen (Seminarraum und Institutsleiterbüro) wurden Kapillarrohrmatten als Schwerkraftkühler hinter Schranksystemen installiert. Auch hier stand die Erprobung innovativer Systeme im Vordergrund.

Die Kälteversorgung setzt sich zusammen aus folgenden Bestandteilen zusammen.

Erzeugung		
Zentrales Kaltwassernetz	310 kW	82 W/m ² _{BGF}
Oberflächenwasser (Flusswasser)	200 kW	53 W/m ² _{BGF}
Rückkühlwerk (Freikühler) bis +6°C	200 kW	53 W/m ² _{BGF}
Abnahme		
RLT-Anlage	142 kW	38 W/m ² _{BGF}
Dezentrale Raumkühlung	206 kW	55 W/m ² _{BGF}
Versuchskühlung (100 % regenerativ)	200 kW	53 W/m ² _{BGF}

Tabelle 2-4: Kälteanschlussleitungen und mögliche regenerative Kältequellen nach der Sanierung

Die MSR-Technik wurde komplett durch digitale Systeme ersetzt. Managementebene (Leittechnik des FZ Jülich) und Automationsebene können miteinander kommunizieren.

Zwischen den Einzelraumreglern der Laborlüftung und der ZLT war ursprünglich eine LON-Verbindung geplant. Diese wurde im Rahmen von Kostensenkungsmaßnahmen gestrichen, was sich bei der Betriebsoptimierung als Fehler herausstellte. Deshalb wurde die Nachinstallation nach dem ersten Betriebsjahr in Auftrag gegeben.

Entscheidungsprozesse und Ergebnisse der Beleuchtungsplanung

Um das Planungsziel, eine energieeffiziente Beleuchtung, zu erreichen, wurden folgende Themen untersucht:

- Verbesserung der Tageslichtversorgung
- Wirkungsgradverbesserungen bei der künstlichen Beleuchtung
- Bedarfsgerechte Kunstlichtsteuerung und -kontrolle.

Die Möglichkeiten, eine verbesserte Tageslichtversorgung zu erzielen, beschränkten sich auf das oberste Geschoss und die Tageslichtlenkelemente in der Fassade. Dabei ergaben sich Möglichkeiten Tageslichtlenkung ausschließlich auf der Südfassade des Gebäudes. Gründe:

- Nur auf der Südseite ergibt sich während der Nutzungszeit die Möglichkeit, direktes Licht für die Umlenkung zu nutzen.
- Bei den überwiegend auf der Nordseite angeordneten Laborräumen fehlte durch den Verzicht auf abgehängte Decken die notwendige Reflexionsfläche. Einerseits ergab sich ein ungünstiger Abstand zwischen Betondecke und Fenstersturz, andererseits sind die für die Reflexion notwendigen hellen Deckenoberflächen durch Luftkanäle, Medientrassen, Deckenkühlgeräte usw. zu einem großen Teil

abgedeckt. Weiterhin behindern die raumhohen Laboreinrichtungen den Tageslichttransport in größere Raumtiefen.

Für die überwiegend an der Südfassade angeordneten Büroräume besteht die Aufgabe, den Sonnenenergieeintrag wirksam zu reduzieren, um auf den Einsatz maschinell erzeugter Kälte zu verzichten. Der Tageslichtlenkung kam daher die Funktion zu, bei geschlossenem Sonnenschutz im Sommer den Kunstlichteinsatz zu reduzieren. Der gewählte Sonnenschutz besitzt die Besonderheit, dass der Winkel der Lamellen im oberen Drittel fest mit 38° eingestellt ist. Dies führt dazu, dass ein aktivierter Sonnenschutz den Raum nicht vollständig abdunkelt, sondern ein Teil des einfallenden Sonnenlichts durch die leicht offen stehenden Lamellen in den Raum reflektiert und zur Beleuchtung genutzt wird.



Bild 2-14: Tageslichtlenkung in einem südorientierten Büroraum – Simulation und Realität

Die Auswirkung der Tageslichtlenklamellen auf die Kunstlichtreduzierung wurde per Simulation untersucht und mit 12 bis 15 % gegenüber dem Einsatz konventioneller Sonnenschutz-Raffstores quantifiziert.

In den Fluren und im oberen Geschoss konnte eine gewisse Tageslichtversorgung durch zusätzliche bauliche Maßnahmen geschaffen werden:

- Für Labortüren und Brandschutztüren wurde ein kleiner Glasausschnitt vorgesehen.
- Bürotüren ohne Brandschutzanforderungen wurden mit einem Norm-Lichtausschnitt ausgestattet.
- Rauchschutz-Türanlagen in Fluren und zum Treppenhaus wurden als Stahl-Glas-Konstruktion ausgeführt.
- In den innen liegenden Fluren wurde besonders auf hell reflektierende Oberflächen geachtet.
- Ein Kommunikationsraum im 2. OG, der als rein innen liegender Raum an die zwei Flure angrenzt, wird durch drei Oberlichter mit Tageslicht grundversorgt.



Bild 2-15: Flurbeleuchtung: vor der Sanierung (Kunstlicht) und nach der Sanierung (Tageslicht)

Für die künstliche Beleuchtung wurden nach Untersuchung mehrerer Varianten und Vergleich deren Wirtschaftlichkeit folgende Planungsentscheidungen umgesetzt:

Standardlaborraum

Laborräume wurden entsprechend der Regeln der Technik für eine Beleuchtungsstärke von ca. 500 lx geplant. Die Anordnung der Leuchten erfolgt parallel zur Fassade in 2 Reihen mit jeweils 3 Leuchten. Es gelangten abgependelte Spiegelrasterleuchten in 2-flammiger Ausführung mit dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten zum Einsatz. Die eingesetzte T5-Technologie führte zwar zu einer etwas ungleichmäßigeren Leuchtdichteverteilung, führte aber zu den geringsten Anschlussleistungen. Die Beleuchtungssteuerung erfolgt sowohl tageslichtabhängig stufenlos regelbar und präsenzabhängig.

Büroräume

Hier wurde die Standardbeleuchtungsstärke auf 300 lx reduziert, die gegebenenfalls durch Arbeitsplatzleuchten ergänzt werden kann. Auf eine stufenlose Regelung wurde hier verzichtet. Stattdessen erfolgt die Beleuchtungssteuerung präsenzabhängig und zweistufig schaltbar. Da die Institutsmitarbeiter in ihrer Tätigkeit zwischen Labor und Schreibtisch häufig pendeln, wurde durch die Präsenzsteuerung der größte Einspareffekt erwartet.

Flure

2007_02_Abschlussbericht.doc

Eine Grundbeleuchtung von 33 % wird über Präsenzmelder geschaltet und Helligkeitssensor geregelt. Die Vollbeleuchtung kann manuell, z. B. zu Reinigungszwecken, zugeschaltet werden und wird über Zeitschalter automatisch wieder ausgeschaltet.

WC-Räume, Lagerflächen

Auch hier wurde eine präsenzabhängige Beleuchtungssteuerung geplant.

Die installierte Kunstlichtleistung reduzierte sich aufgrund modernerer Leuchten und Leuchtmittel auf durchschnittlich 9,7 W/m². Gegenüber dem (bereits teilsanierten) Zustand vor der Modernisierung reduziert sich die Anschlussleistung um 31 % von 44,5 kW auf 30,7 kW. Durch die umfangreichen Steuerungs- und Kontrollmaßnahmen wurde eine Energieeinsparung im Bereich Beleuchtung von 53 % rechnerisch prognostiziert.

Kommentierung der Planung

Die für eine energetische Optimierung entscheidende Entwurfsplanung fand aufgrund der knappen Terminvorgaben unter extremen Zeitdruck statt. Neben den energetisch relevanten Untersuchungen galt es, die Nutzeranforderungen zu koordinieren sowie erhebliche konstruktive Probleme, die sich aus dem Bauen im Bestand ergeben, planerisch zu lösen.

Unter diesen Voraussetzungen besteht im Planungsprozess die Gefahr, dass

- die Untersuchung alternativer energetischer Varianten zu kurz kommt
- technisch „einfachere“, sichere Lösungen, die vielfach erprobt wurden, bevorzugt werden.

Diese Tendenz war auch im beschriebenen Projekt spürbar. Der Generalplaner zeigte sich bei der konstruktiven Umsetzung sehr effizient, bei der Einhaltung des Termin- und Kostenrahmens als zuverlässig, bedurfte jedoch immer wieder äußere Anstöße, wenn es um die Umsetzung innovativer Technologien gibt.

Vor diesem Hintergrund hatte es sich bewährt, dass die Systemoptimierung im Rahmen einer Machbarkeitsstudie vorgenommen wird. Im vorliegenden Fall geschah dies durch die energetische Grobanalyse und die Projektstudie zum Fördermittelantrag, die wesentliche Voraussetzungen für den Projekterfolg in energetischer Hinsicht darstellten. Vorangestellte Machbarkeitsstudien haben den Vorteil, dass die Zahl der beteiligten Personen deutlich geringer als in der HOAI - Phase ist, unkonventioneller gearbeitet werden kann und weniger Bedenken geäußert werden.

Die Ergebnisse der Planung haben gezeigt, dass die Schwerpunkte der Grobanalyse umgesetzt wurden. Positiv bewährt hatte sich der Einsatz des Generalplaners in Hinsicht auf die interne Schnittstellenkoordination.

Planung :

Durchführung einer integralen Planung zur Energie- und Betriebsoptimierung:

In der Anlage zum Zuwendungsbescheid vom 27.09.2001 ist gezielt auf Programme hingewiesen worden, nämlich Verbund RETEx2 / INTESOL; usw. Einsatz von INTESOL + im Rahmen der Sanierung Münchenstift Ebert-Ingenieure / Uni Karlsruhe. Von Seiten der Projektträgerschaft war zur Einführung dieser Programme eine gesonderte Informationsveranstaltung vorgesehen worden durch Prof. Kohler, Universität Karlsruhe, deren Durchführung bei der Ing.-Gesellschaft Höpfner in Köln terminiert gewesen ist.

Diese Veranstaltung ist durch den Referenten abgesagt worden, weil er nach Bewertung des vorgesehenen Sanierungsprojektes diese Planungshilfsmittel nicht als optimal geeignet angesehen hat. Aus diesem Grunde ist die Bearbeitung mit den genannten Programmen nicht mehr verfolgt worden.

Die integrale Planung zur Energie- und Betriebsoptimierung hat in erster Linie dadurch gut funktioniert, weil alle beteiligten Fachingenieure, Nutzer und Vertreter des Bauherrn an einem Tisch zusammen gewirkt haben. Die Ergebnisse dieser Planung aus den einzelnen Facharbeitsbereichen sind dann

übergreifend durch ein Simulationsprogramm Prüfungen unterzogen und in einem endgültigen Vorgang berechnet worden.

Dieses Ergebnis ist in dem Verbundprojektgespräch am 30.11.2001 den Beteiligten vorgestellt worden. Daher ist aus Sicht des Forschungszentrums der Einsatz eines zusätzlichen Rechenprogramms für die Planung nicht erforderlich. (Vgl. Statusbericht 2001_02_Jahresbericht)

Der integrale Planungsprozess mit seinen Anforderungen und seinem Nutzen wurde separat zusammengestellt. (vgl. STE Bericht Integrale Planung 02_2005)

2.3 Mess- und Simulationsprogramm

In einem Verbundprojekt zwischen der [Forschungszentrum Jülich GmbH](#) und dem [Solar-Institut Jülich](#) der Fach-Hochschule-Aachen wurde ein umfangreiches Mess- und Optimierungsprogramm einschließlich dynamischer Gebäudesimulation durchgeführt und gesondert dokumentiert. (vgl. Abschlussbericht zum Verbundprojekt)

2.4 Systemanalyse

Die Ziele dieser wissenschaftlichen Begleitung der [Forschungszentrum Jülich GmbH Programmgruppe STE](#) sind eine wirtschaftliche, ökologische und soziologische Bewertung der energetischen Sanierungsmaßnahmen und die Entwicklung eines Ansatzes für die Umsetzung der bei dem Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen in anderen Labor-Sanierungsprojekte.

Im einzelnen handelt es sich um eine Kosten/Nutzen Analyse mit der Erarbeitung von Kostenminderungspotentialen, einer ökologischen Bewertung der Sanierungsmaßnahmen, welche u.a. eine Ökobilanz der eingesetzten Materialien und der verminderten Emissionen umfasst und einer sozialwissenschaftlichen Bewertung, welche die objektive und subjektive Akzeptanz der Sanierungseffekte durch die Nutzer ermittelt.

Die in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen wurden für eine externe Nutzung aufbereitet und soweit wie möglich und notwendig in generalisierter Form dargestellt, so dass sie teilweise oder ganz auf die Sanierung anderer Labors anwendbar sind.

2.4.1 CO₂-Bilanz der energetischen Sanierung

Im Vorfeld der Sanierungsmaßnahme wurde intensiv darüber diskutiert, ob die energetische Sanierung des Laborgebäudes auch ökologisch zweckmäßig sei. Als Kriterium für eine entsprechende Untersuchung wurden CO₂-Emissionen ausgewählt.

2007_02_Abschlussbericht.doc

Die durch die Sanierung verursachten Emissionen wurden entlang der Produktketten ermittelt und zu der Emission ins Verhältnis gesetzt, die durch die energetischen Sanierungsmaßnahmen vermieden werden.

Die Ermittlung der Emissionen erfolgte auf zwei Wegen, nach der Materialbilanzierung (Methode 1) und der Input-Output Analyse (Methode 2). Während Methode 1 auf den eingesetzten Materialmassen in Kilogramm und den zugehörigen CO₂-Koeffizienten aufbaut, werden bei Methode 2 die getätigten Investitionen [Euro] verwendet. Mit Hilfe der gesamtwirtschaftlichen Input-Output-Tabelle werden sie in entsprechende CO₂-Emissionen umgerechnet. Beide Methoden berücksichtigen die Emissionen der Vorleistungen und stellen so für CO₂ eine ganzheitliche Bilanzierung dar.

Beide Verfahren haben ihre spezifischen Besonderheiten. Methode 1 erfordert eine umfangreiche Materialdatenbasis, die die Qualität der Ergebnisse bestimmt. Bei Methode 2 liegen die Probleme bei der Aufteilung der Investitionen auf die Wirtschaftssektoren der Input-Output-Tabelle. Die vorliegende Untersuchung hat aber gezeigt, dass beide Methoden trotz ihrer Probleme geeignet sind, die CO₂-Emissionen einer Laborsanierung hinreichend genau schätzen zu können.

Die mit der Sanierung eingesparte CO₂-Emission bei der Versorgung des Gebäudes lag im Bereich von 1.000 bis 1.200 Tonnen CO₂ pro Jahr. Der obere Wert tritt auf, wenn die Wärmeversorgung auf der Basis von Heizöl erfolgt und der untere Wert bei Fernwärmeversorgung, so wie es im Forschungszentrum der Fall ist. Der Verbrauch aufgrund der wissenschaftlichen Experimente im Labor sind hierbei nicht berücksichtigt.

Aus diesen Zahlen ergibt sich eine Amortisationszeit von 5 bis 6 Monaten. In diesem Zeitraum wird beim Betrieb des Labors genau die Menge an CO₂ eingespart, die bei der Sanierung frei gesetzt wurde. Diese sehr kurze Amortisationszeit bestätigt die Zweckmäßigkeit der energetischen Laborsanierung aus klimapolitischer Sicht.

Da man für die Lebensdauer der Anlagen 25 Jahre ansetzen kann ergibt sich über diese Zeit eine kumulierte Einsparung von 25.000 bis 29.000 Tonnen CO₂. Das entspricht in etwa der Menge, die die Heizungen von rund 3.500 durchschnittlichen Haushalten derzeit emittieren.

2.4.2 Integrale Planung

Die Anforderungen an/in komplexe/n Bauten mit einem hohen Ausstattungsgrad an technischen Geräten sind außerordentlich hoch, dem Zusammenspiel der verschiedenen Systeme kommt große Bedeutung zu, nicht erst in der Bauausführungs- oder Nutzungsphase sondern bereits in der Planungsphase. Schon zu diesem frühen Zeitpunkt werden Schritte geplant, die während der gesamten Gebäude-

nutzungsdauer Wirkungen haben. Das gilt zum einen für die Unterhaltungskosten, aber zum anderen auch für die Effizienz der Arbeit, die in diesen Gebäuden verrichtet werden.

Das Zusammenführen von Planern, Handwerkern und Gebäudenutzern eröffnet nicht nur die Möglichkeit, entscheidende Weichen für den Gebäudelebenszyklus zu stellen sondern erschließt auch bislang nicht genutzte Ressourcen zur Kosten- wie Energiebedarfsreduktion nicht nur in der Bauphase, sondern auch in der Nutzungsphase des Gebäudes.

Die Ausführungen zur "Integralen Planung" gehen vertiefend auf Nutzen wie Anforderungen dieses modernen und nachhaltigen Instrumentariums ein.

2.4.3 Wirtschaftliche Bewertung der energetischen Sanierung

Die wirtschaftliche Bewertung der energetischen Sanierung will in Form einer Kosten-Nutzen Analyse herausarbeiten, ob und inwieweit die getätigten Investitionen über die erzielten Energieeinsparungen bzw. vermiedenen Energieaufwendungen aufgewogen werden.

Die durchgeführte dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt nur energieverbrauchsrelevante Investitionen, wobei die Wirtschaftlichkeit der Gesamtsanierung untersucht wird. Da mangels ausreichender Datenverfügbarkeit die Analyse von Einzelkomponenten nicht möglich war, wurden alle Komponenten der Gebäudehülle und Anlagentechnik zusammen bewertet.

Um darzustellen, welche Parameter einen besonders starken Einfluss auf das Ergebnis haben und wie sie das Ergebnis beeinflussen, wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

Außerdem wurden Kostenvergleiche mit anderen Sanierungsvorhaben und mit einem Neubau durchgeführt, um abschätzen zu können, ob diese Maßnahmen im allgemeinen Trend liegen oder deutlich von anderen Projekten abweichen.

2.4.4 Mitarbeiterbefragungsstudie

Da der Energiebedarf eines Gebäudekomplexes nicht allein von technischen Geräten oder dem Isolierungsstandard des Gebäudes abhängen, sondern auch ganz wesentlich vom Nutzerverhalten bestimmt werden, wurden nach Fertigstellung und Einzug die Nutzer befragt.

Ziel war es herauszufinden, ob sie mit den durchgeführten Maßnahmen und den vorgesehenen Möglichkeiten der Energiebedarfsbeeinflussung zufrieden sind, sie zu bedienen wissen, ihre Funktionen kennen und sie bestimmungsgemäß nutzen.

Die Befragung erfolgte per Fragebogen und anschließend in persönlichen Gesprächsrunden, die auch dazu dienen sollten, die Zufriedenheit bzw. Unzufriedenheit der Mitarbeiterinnen wie Mitarbeiter zu erkennen und auch Mängel aufzudecken, die durch Unkenntnis, unzureichende Funktionserklärung oder Fehlplanung aufgetreten sind und in der Folge dazu führen können, dass theoretische Potentiale zur Energiebedarfsreduktion nicht wie erwartet ausgeschöpft werden..

Die Resultate münden in Empfehlungen, wie festgestellte Mängel oder Unzulänglichkeiten behoben werden können, wobei die Belange der Nutzer berücksichtigt werden und damit ihre Einbindung in Energieeinsparskonzepte.

3 Veröffentlichungen

3.1 Leitfaden

Im Leitfaden sind allgemeine Informationen, Planungshilfen, Anforderungen und Bewertungskriterien für die energetische Laborsanierung zusammengestellt und sollen dem Nutzer schon in einer frühen Phase der Vorüberlegungen helfen, Energieeffizienz-Kriterien zielgerichtet in den Entscheidungsprozeß einzubeziehen.

Die einzelnen Ergebnisse der verschiedenen Planungs- und Ausführungsschritte sind im Leitfaden und in den Zwischenberichten ausführlich erläutert und sollen an dieser Stelle nur inhaltlich umrissen werden.

Das Kapitel 1 beschreibt die Zielsetzung der Fördermaßnahme und das Potential der Energieeinsparung bzw. CO² - Reduktion durch die energetische Sanierung bei Laborgebäuden.

In Kapitel 2 des Leitfadens werden die Grundlagen für eine energieeffiziente Laborsanierung behandelt.

In Kapitel 3 werden die beim konkreten Sanierungsbeispiel gewonnenen Erkenntnisse in einer nutzbaren Weise aufbereitet.

In Kapitel 4 werden die Erkenntnisse der Planungen, Simulationen und Erfahrungen in Handlungsempfehlungen für zukünftige Sanierungen umgesetzt.

Der Leitfaden wird im Dezember 2007 zur Veröffentlichung freigegeben und kann kostenfrei unter der Internet Adresse www.labsan.de heruntergeladen werden.

3.2 sonstige Veröffentlichungen

Zur Verbreitung der gewonnenen Erkenntnisse wurden die Ergebnisse auf Fachtagungen, in der Fachpresse, vor Fachplanern und in der Öffentlichkeit vorgestellt.

Weitere Verbreitung der Erkenntnisse :

Die Sanierung eines Laborgebäudes für den Bereich Forschung und Lehre hat einen überschaubaren, eng begrenzten Interessentenkreis. Deshalb ist geplant, Entscheidungsträger und Planer nach dem Abschluss des Projektes direkt anzusprechen und über die Veröffentlichungen zu informieren.

Internetpräsentation :

Im Internet wurde eine Präsentation des Forschungsprojektes unter www.labsan.de (LABor SANierung) eingerichtet. Die durchgeführten Arbeiten und Erkenntnisse wurden hier zeitnah während des Projektverlaufs dokumentiert.

Zum Abschluss des Projektes werden hier die Ergebnisse aus den Systemanalysen und der Leitfaden eingestellt und können von interessierten Nutzern kostenfrei herunter geladen werden.

4 Handlungsempfehlungen

4.1 Zusammenfassende Bewertung der Sanierungsmaßnahmen

In dem nachfolgenden Kapitel werden abschließend alle durchgeführten Maßnahmen der Sanierung des Laborgebäudes 06.2 im Forschungszentrum Jülich bewertet.

Es wird auf eine Bewertung durch Angabe spezifischer Kennzahlen und Kennwerte verzichtet, da die Auswirkungen einiger Maßnahmen nur qualitativ zu beschreiben sind. Zusätzlich ergaben sich nicht vermeidbare Randeinflüsse im Rahmen der energetischen Beurteilung einzelner Maßnahmen, die eine genaue quantitative Bewertung verhinderten.

Zu diesen Randeinflüssen zählten:

- der Einfluss des Nutzers durch stark variierende Intensität des Gebrauches von Räumlichkeiten und Geräten
- die über längere Zeiträume nicht gewährleistete Funktionalität von Teilen der technischen Gebäudeausstattung aufgrund von Mängeln in der Ausführung und Regelungstechnik
- die aufgrund der Komplexität des Gebäudes und der Technik nicht vollständig umsetzbaren energetischen Bilanzierungszonen (Bilanzierung aller Energien, die in eine Zone eingebracht, bzw. aus ihr entzogen werden).

2007_02_Abschlussbericht.doc

Es ist zu beachten, dass die Bewertung der Maßnahmen nur eng im Zusammenhang mit dem Typ des sanierten Gebäudes (Laborgebäude mit Forschungsbetrieb in Labor- und Büroräumen) betrachtet werden darf.

Ein Teil der Maßnahmen wird in anderen Gebäudetypen zu vergleichbaren positiven Ergebnissen führen (z. B. Integrale Planung oder die Zusammenlegung von Räumen identischer Nutzung). Einige Maßnahmen werden aber in anderen Gebäudetypen negative Auswirkungen haben, bzw. keinen Sinn ergeben (z.B. eine Nacht/Wochenendabsenkung von Temperaturen oder Luftvolumenströmen in Produktionslaboren mit Mehrschichtbetrieb oder der Einsatz von Präsenzmeldern zur Beleuchtungssteuerung).

Die Bewertung der einzelnen Maßnahmen erfolgt nach den Kriterien:

- **Energetischer Nutzen**

Dieses Kriterium bewertet die einzelne Maßnahme allein nach dem Einfluss auf den Energieverbrauch durch eine gute Abstimmung oder nach der erzielten energetischen Einsparung.

- **Wirtschaftlich**

Dieses Kriterium bewertet die Maßnahmen unter wirtschaftlichen Aspekten. Positiv bewertet werden geringe Mehrkosten gegenüber einer Standardvariante oder ein hohes Maß an Synergieeffekten.

- **Komfortgewinn für den Nutzer**

Dieses Kriterium bewertet Auswirkungen der Maßnahme auf die Behaglichkeit am Arbeitsplatz, die Steigerung der Arbeitseffizienz des Nutzers und die Automatisierung des Arbeitsplatzumfeldes.

Die Bewertungsskala der Maßnahmen ist wie folgt aufgebaut:

- +++ erheblicher positiver Einfluss/Auswirkung
- ++ starker positiver Einfluss/Auswirkung
- + positiver Einfluss/Auswirkung
- keine positiven oder negativen Auswirkungen
- negativer Einfluss/Auswirkung
- starker negativer Einfluss/Auswirkung
- erheblicher negativer Einfluss/Auswirkung

Zusätzlich zu der Bewertung nach den beschriebenen Kriterien werden Möglichkeiten zu Optimierung der energetischen Auswirkungen, der Steigerung der Wirtschaftlichkeit und der Erhöhung der Nutzerfreundlichkeit, bzw. zu Erhöhung des Komforts angegeben.

4.1.1 Integrale Planung

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
++	++	+

Eine integrale Planung stellt bei einem Gebäude mit einer solch komplexen Technik und einer so starken Wechselwirkung zwischen den verschiedenen technischen und organisatorischen Aspekten eine Selbstverständlichkeit dar (siehe Kapitel 3.1). In diesem speziellen Fall kamen noch Anforderungen aus dem Förderprogramm und der wissenschaftlichen Begleitforschung hinzu, die reibungslos in den Planungsprozess integriert wurden. Auch der zukünftige Nutzer war bei allen wichtigen Planungsgesprächen präsent.

Insbesondere wurde im Verlauf der Planungen eine Vielzahl von Simulationsrechnungen durchgeführt.

4.1.2 Simulationen

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
+	+	+

Durch Simulationsrechnungen wurden bereits in der Planungsphase Entscheidungen unterstützt. Aber auch im Rahmen der Betriebsoptimierungen konnte durch entsprechende Rechenergebnisse aus der dynamischen Simulation die Relevanz unterschiedlicher Maßnahmen im Vorfeld bewertet werden.

4.1.3 Gebäudehülle

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
+	+	+

Die energetische Bewertung der Gebäudehülle durch Blower-Door-Test und Thermografie ergab gute Ergebnisse, so dass keine Nachbesserungen erforderlich wurden. Insgesamt wurden deutlich unter den Anforderungen der Normen liegende U-Werte und Luftwechselraten erzielt.

2007_02_Abschlussbericht.doc

4.1.4 Zonierung

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
++	++	+

Die Bündelung von Funktionsräumen auf nach energetischen Gesichtspunkten gewählten Gebäude-seiten spielt eine wichtige Rolle für Energieeinsparung und Komfort. Zusätzlich werden Kosten für Versorgungstrassen eingespart.

4.1.5 Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

Variable Volumenstromregler (VVR)

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
++	+	+

Die VVR tragen wesentlich zur Einsparung von Wärme, Strom und Kälte bei, da die Nutzungsintensität starken Schwankungen unterworfen ist und nur mit angepassten Volumenströmen das Angebot an temperierter Frischluft dem Bedarf entsprechen kann.

Wärmerückgewinnung

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
+++	+++	o

Die Wärmerückgewinnung aus der Abluft war hier zwar mit recht hohem Aufwand verbunden (Zusammenführung der Abluftkanäle in einen Sammelkanal), stellt aber eine Wärmemenge zur Verfügung, die der gesamten in das Gebäude gelieferten Heizwärme etwa entspricht.

Kältebereitstellung

Umluftkühltruhen

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
+	+	-

Umluftkühltruhen zur Kältebereitstellung besitzen zwar energetische Vorteile gegenüber einer Wärmeabfuhr durch erhöhte Luftwechsel (Trennung von Lüftung und Kältebereitstellung) und bieten unter diesem Aspekt eine höhere Flexibilität bezüglich veränderlicher Lastsituationen, doch sind sie mit Geräusentwicklung und gelegentlich mit Zug Erscheinungen verbunden.

Deckenkühlung

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
++	o	++

Die Deckenkühlung, hier mit Kapillarrohrmatten ausgeführt, ist in ihrer Leistungsfähigkeit beschränkt, hat sich im Projekt aber durchaus bewährt. Ihren energetischen Vorteil spielt sie allerdings nur dann aus, wenn natürliche Kältequellen zur Verfügung stehen, deren gegenüber mechanischer Kälte erhöhtes Temperaturniveau über einen möglichst langen Zeitraum genutzt werden kann.

In jedem Fall stellt die geräuschlose Strahlungskälte einen hohen Komfortgewinn für die Nutzer dar.

Schwerkraftkühlung

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
++	o	+

Die hier mit Kapillarrohrmatten in zwei Räumen ausgeführte Schwerkraftkühlung besitzt dieselben Vorteile wie die Deckenkühlung, ist aber nicht mit einem so hohen Installationsaufwand behaftet. Ihre Leistungsfähigkeit hängt von den räumlichen Gegebenheiten ab. Für sehr tiefe Räume kommt das in der Regel an einer Wand installierte System nicht in Frage.

Das Einbringen kalter Luft im Bodenbereich kann zu unerwünscht hohen Temperaturgradienten führen.

Beleuchtung

Präsenzmelder

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
+	o	+

Die Präsenzmelder im Beleuchtungssystem haben sich bewährt und werden insbesondere in Fluren und Toiletten geschätzt. Die Energieeinsparung ist im Gesamtkontext als gering zu bewerten.

Tageslichtregelung

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
o	-	-

Die in den Laboren eingesetzten Systeme zur Tageslichtregelung haben ihre Erwartungen nicht erfüllt. Wegen des hohen Lichtbedarfs wurden die Sensoren teilweise überklebt, um eine hohe Beleuchtungsstärke zu erzielen. Bereits durch die Anwesenheit von Laborassistenten in weißen Kitteln (Kontrast gegenüber dem grauen Boden) reagierte das System mit einer Verringerung des Lichtangebots. Die Energieeinsparung ist im Gesamtkontext zu vernachlässigen.

Lichtlenkung/Sonnenschutz

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
o	o	+

Die in den Büroräumen eingesetzten außen liegenden Raffstores mit verspiegelten nach oben gekrümmten Lamellen und oben separat steuerbarem Bereich bieten hohen Komfort (guter Sonnenschutz, Blendschutz) bei gleichzeitig guter Tageslichtnutzung. Der energetische Nutzen ist als gering einzustufen, da die Büroräume nicht aktiv gekühlt werden.

Kombinierte Heizwärmeversorgung

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
+	o	+

Die Möglichkeit, in den Laboren Heizwärme sowohl über die Luft als auch über Radiatoren zuführen zu können, lässt bei stark unterschiedlicher Nutzung (innere Wärmelasten) einen Optimierungsspielraum für die Zuluft Temperatur zu.

4.1.6 Gebäudeleittechnik (GLT)

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
+++	+++	+

Die GLT ist Voraussetzung für einen Energie sparenden Nacht-/Wochenendbetrieb. Dieser ist insbesondere durch die Absenkung der Luftmengen, aber auch durch Temperaturabsenkungen für den größten Anteil an der Energieersparnis verantwortlich. Da die Kosten der GLT als Sowieso - Kosten angesehen werden, ist eine entsprechend gute Wirtschaftlichkeit gegeben.

4.1.7 Einzelraumregelung

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
++	+	+

Das Konzept der Einzelraumregelung erlaubt maximale Flexibilität in der Nutzung, so dass die Regelparameter optimal auf die Raumnutzung eingestellt werden können. Voraussetzung für die erfolgreiche Nutzung ist eine gute bidirektionale Kommunikation zwischen Nutzer und Betreiber.

4.1.8 Betriebsoptimierung

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
+++	+++	++

Eine Betriebsoptimierung sollte zwingend nach jeder Inbetriebnahme vorgesehen werden. Ein Zeitraum von mehreren Monaten sollte für diese Phase vorgesehen werden, damit die TGA - Komponenten und deren Zusammenspiel beobachtet und unter dem Aspekt der Erfüllung der Vorgaben aus der Planung sowie der Erschließung weiterer Energiesparpotenziale eingestellt werden können.

4.1.9 Inbetriebnahme

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
++	+++	o

Gerade im Kontext hoch - installierter Gebäude mit komplexen TGA - Systemen werden an die Inbetriebnahme besonders hohe Ansprüche gestellt, da die Auftragserfüllung oft nicht durch eine kurze Begehung festgestellt werden kann, sondern nur durch längere kritische Beobachtung oder entsprechende Messkampagnen belegt werden kann. Effektive Prozeduren zur Erfolgskontrolle sollten bereits Bestandteil der Ausschreibung sein, damit entsprechende Prüfungen vor der endgültigen Abnahme und vollständiger Rechnungszahlung stattfinden können.

4.1.10 Monitoring

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
++	++	+

Im vorliegenden Projekt hat das Monitoring im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitforschung eine Vielzahl von Fehlern in Installation und Programmierung aufgedeckt. Diese aufwändige Begleitung wird allerdings nicht zum Standard werden können. Daher wurden im Rahmen des Projekts Verfahren entwickelt und angewandt, die zu einer kostengünstigeren Analyse führen. Diese basieren auf mobiler und eingriffsfreier Messtechnik, deren Daten über einen Zeitraum von 1-2 Wochen unabhängig von der GLT aufgezeichnet werden.

4.1.11 Nutzerverhalten

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
--- bis +++	-- bis ++	?

Das Verhalten der Gebäudenutzer besitzt auch im Kontext eines Chemielabors einen starken Einfluss auf den Energieverbrauch. Der gedankenlose Umgang mit Laborabzügen, Fenstern oder Raumthermostaten kann sich äußerst negativ auswirken. Selbst bei guter Kenntnis des Gebäudekonzepts fehlt dem Nutzer in der Regel die Motivation, sich energetisch optimal zu verhalten. Die hohe Bandbreite unterschiedlicher Nutzereigenschaften und Nutzerverhalten sollte in die Konzeption der GLT einfließen.

5 Kostenübersicht und Wirtschaftlichkeit

Die Kosten- und Wirtschaftlichkeitsanalyse wird im Rahmen des Leitfadens ausführlich erörtert. An dieser Stellen werden deshalb nur herausragende Einzelmerkmale dargestellt.

5.1 Zielsetzung

Ziel der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist es, in Form einer Kosten-Nutzen Analyse zu analysieren, inwieweit die Investitionen durch die erzielten Energieeinsparungen aufgewogen werden. Hierzu wird eine dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt, in der nur die energierelevanten Investitionen berücksichtigt werden.

- Es wird die Wirtschaftlichkeit der Gesamtsanierung untersucht, d.h. alle Komponenten der Gebäudehülle und Anlagentechnik werden zusammen bewertet. Eine Untersuchung von Einzelkomponenten ist aufgrund der unzureichenden Datenlage nicht möglich.
- Mittels Sensitivitätsanalysen wird aufgezeigt, welche Parameter einen starken Einfluss auf das Ergebnis haben, und in welcher Weise Veränderungen die Ergebnisse beeinflussen.
- Darüber hinaus werden Kostenvergleiche mit anderen Sanierungen und mit einem Neubau durchgeführt.
- Abschließend werden verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit diskutiert.

5.2 Konzept zur Festlegung der energiebedingten Zusatzkosten

Bei den Rechnungen werden nur die energierelevanten Kosten berücksichtigt. Sie umfassen die Ausgaben für die Dämmung der Gebäudehülle, für die Beleuchtung, für die RLT-Anlagen und für den Fernwärmeanschluss. Die Gesamtkosten der energetischen Sanierung werden mit Hilfe der Daten auf die Einzelkosten der Komponenten herunter gebrochen. Leider ist das wegen der zum Teil pauschalierten Abrechnungen nur eingeschränkt möglich. Bei Komponenten, deren Einzelkosten nicht verfügbar waren, wurden Kostenangaben der Vorkalkulation verwendet. Bei diesem Verfahren werden also nur die Plankosten berücksichtigt und nicht die tatsächlich angefallenen Kosten der einzelnen Komponenten. Das ist als Nachteil anzusehen.

Es sollte eine detaillierte Abrechnung der tatsächlich aufgetretenen Kosten statt einer pauschalen Abrechnung durchgeführt werden, damit eine detaillierte Kostenanalyse möglich ist.

Das Konzept der Sowieso- und der Zusatzkosten

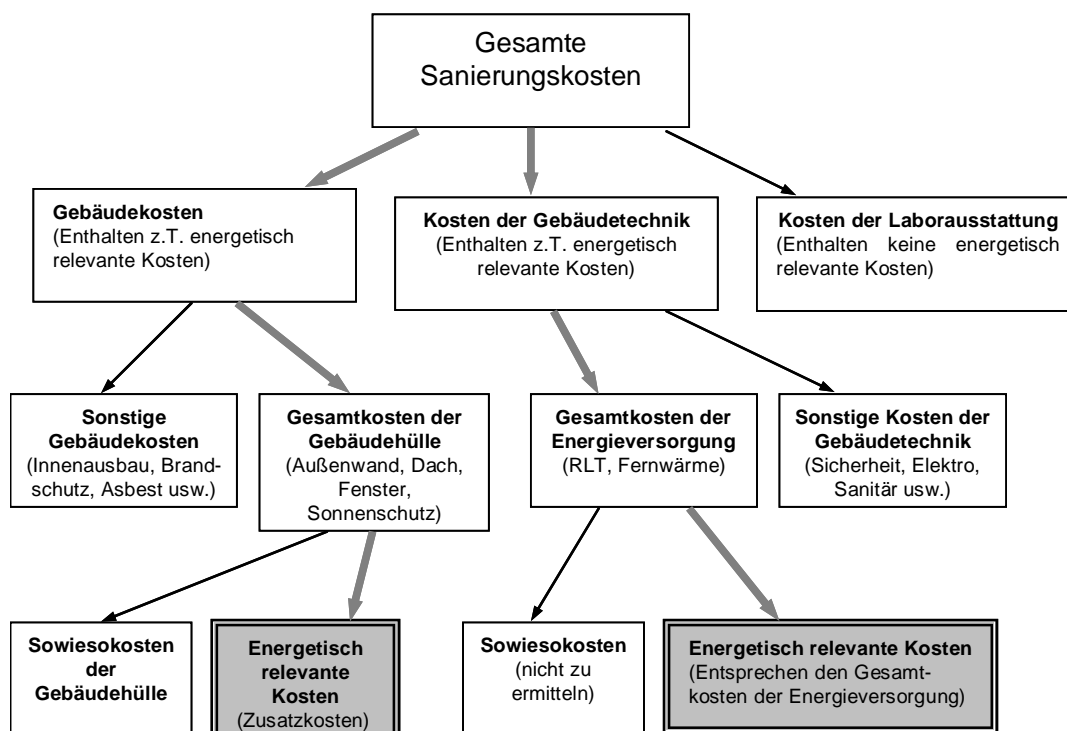
Die gesamten Sanierungskosten für die Gebäudehülle und die Anlagentechnik werden für die Wirtschaftlichkeitsrechnungen häufig in Sowiesokosten und in energierelevante Zusatzkosten (Mehrkosten) aufgeteilt. Es gilt der Zusammenhang:

$$\text{Gesamtkosten} = \text{Sowiesokosten} + \text{Zusatzkosten}$$

Sowiesokosten, die auch als Grundkosten oder baulich bedingte Kosten bezeichnet werden, beziehen sich auf die ohnehin fällige Sanierung der Bausubstanz. Bei einem konsequenten Vorgehen nach diesem Konzept dürfen die Sowiesokosten bei der Ermittlung der Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen nicht berücksichtigt werden. Die Kosten der zusätzlichen Bauteile, die eine Energieeinsparung bewirken, werden den Mehrkosten (Zusatzkosten) zugerechnet. Das sind dann die sog. energierelevanten Kosten.

Dieses Kostenkonzept ist ein theoretisches Konzept, das sich bei praktischen Wirtschaftlichkeitsrechnungen nicht immer konsequent umsetzen lässt. So sind z. B. die Sowiesokosten nicht bei allen Komponenten exakt zu definieren, wie später gezeigt wird. Hier ist dann ein Kompromiss bei der Definition der Kostenkategorien zu finden.

Das Kostenkonzept bei den hier durchgeführten Rechnungen zeigt die Struktur der Kostendefinitionen und der Kostenzuweisungen. Nach diesem Schema werden die gesamten Sanierungskosten in energetisch nicht relevante Kosten und in energetisch relevante Kosten aufgeteilt. Die breiten grauen Pfeile zeigen die Pfade für die energetisch relevanten Kosten.



Schema der Kostendefinition und Kostenzuweisung

Wesentlich ist, dass sich die Gesamtkosten der Gebäudehülle in Sowiesokosten und Zusatzkosten aufteilen lassen. Bei den Gesamtkosten der Energieversorgung ist dies aufgrund der Datenlage und wegen konzeptioneller Probleme nicht möglich. Die Gesamtkosten der Energieversorgung werden deshalb als energetisch relevante Kosten definiert.

5.2 Verringerung der Prototypkosten bei Folgesanierungen durch Lerneffekte

Die Jülicher Sanierungskosten sind Prototypkosten

Die energetische Sanierung des Institutsgebäudes Phytosphäre des Forschungszentrums Jülich ist das erste Vorhaben dieser Art, das im Rahmen des Programms „Energetische Verbesserung der Bausubstanz“ gefördert wurde. Auch für die ausführende Baudirektion war es das erste Vorhaben dieser Art. Spezielle Erfahrungen zur energetischen Sanierung von Laborgebäuden lagen nicht vor. Es handelt sich also bei dieser Sanierung um eine Prototyp-Sanierung und die Kosten müssen als Prototypkosten eingestuft werden.

Lerneffekte mindern Kosten

Weitere energetische Laborsanierungen im Forschungszentrum Jülich oder in anderen wissenschaftlichen Zentren können auf diesen Erfahrungen aufbauen und das vorliegende Wissen nutzen. Durch Lerneffekte lassen sich die Sanierungskosten in Zukunft bei der Planung und der Durchführung verringern.

Lernkurvenanalysen stellen einen Zusammenhang zwischen den Kosten eines Produktes und der kumulierten Produktmenge her. Die Kostensenkungspotenziale für energiesparende Technologien und Maßnahmen werden in der Literatur häufig mit 10 % bis 30 % angegeben, wenn sich die Anzahl verdoppelt. Diese Erfahrungswerte dürften prinzipiell auch auf die energetische Laborgebäudesanierung anwendbar sein und versprechen deshalb ein erhebliches Minderungspotenzial.

