

# Leitfaden für die energetische Sanierung von Laboratorien



## Autoren:

Ulf Birnbaum  
Bernd Kauert  
Manfred Kleemann

Forschungszentrum Jülich  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Heiko Schiller

schiller engineering  
Hamburg

Karsten Gabrysch  
Joachim Göttsche  
Klemens Schwarzer

Solar-Institut Jülich  
der Fachhochschule Aachen



Forschungszentrum Jülich  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



# *Leitfaden für die energetische Sanierung von Laboratorien*

Stand: 31.10.2007

## **Autoren:**

Ulf Birnbaum

Bernd Kauert

Manfred Kleemann

**Forschungszentrum Jülich  
in der Helmholtz-Gemeinschaft**

Heiko Schiller

**schiller engineering  
Hamburg**

Karsten Gabrysch

Joachim Götsche

Klemens Schwarzer

**Solar-Institut Jülich  
der Fachhochschule Aachen**

## Impressum

Herausgeber:

Forschungszentrum Jülich GmbH

Redaktion :

Bernd Kauert            Telefon 02461 61 5902 E-Mail    b.kauert@fz-juelich.de

Karsten Gabrysch      Telefon 02461 61 2803 E-Mail    k.gabrysch@fz-juelich.de

Layout    :

Karsten Gabrysch      Telefon 02461 61 2803 E-Mail    k.gabrysch@fz-juelich.de

Druck    :

Grafische Medien des Forschungszentrums Jülich GmbH

Die in diesem Buch veröffentlichten Beiträge stellen die Meinung der angegebenen Verfasser dar und stimmen nicht unbedingt mit der Meinung des Herausgebers überein.

Nachdruck und Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Druckbetriebes zulässig.

© 2007 – Forschungszentrum Jülich GmbH

**Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 0327 330 A und B gefördert.**

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Alle in diesem Buch enthaltenen Angaben, Daten, Ergebnisse etc. wurden von den Autoren nach bestem Wissen erstellt und mit größtmöglicher Sorgfalt überprüft. Gleichwohl sind inhaltliche Fehler nicht vollständig auszuschließen. Daher erfolgen die Angaben ohne jegliche Verpflichtung oder Garantie der Autoren. Es wird deshalb keine Verantwortung und Haftung für etwaige inhaltliche Unrichtigkeiten übernommen.

## Dank

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) für die Förderung des Projektes „LabSan“ im Rahmen des Programms „EnSan“ Energetische Verbesserung der Bausubstanz als Teil des Zukunftsinvestitionsprogrammes ZIP.

Dank gebührt insbesondere Herrn Jürgen Gehrmann vom Projektträger Jülich (PTJ) der Forschungszentrum Jülich GmbH für die kompetente und aufgeschlossene Begleitung von der Antragstellung bis zum Projektabschluss. Mit seinen Wünschen, Anforderungen und Fragen hat er wesentliche Denkanstöße gegeben.

Ebenfalls danken wir den Nutzern des Gebäudes Phytosphäre. Sie haben während der Bauzeit Einschränkungen Ihrer Arbeitsmöglichkeiten hinnehmen müssen. Speziellen Dank an den Institutsleiter Herrn Professor Schurr und an die Vertreter des Institutes ICG III, Herr Björn Thiele und Herrn Nguyen Van Dy, die während der Planung und Durchführung viel Zeit dem Projekt zur Verfügung gestellt haben.

Das Projekt hat von der Betriebsdirektion des Forschungszentrums Jülich an vielen Stellen Unterstützung während der Planung, Realisation und Optimierung erfahren. In Vertretung für all die Kollegen, die hier nicht aufgezählt werden können, möchten wir uns bei Herrn Jürgen Hohmann, Herrn Gerhard Staschen und Herrn Uwe Pfister bedanken.

Schließlich danken wir allen Kollegen, die mit ihren Anmerkungen, Verbesserungsvorschlägen, fachlichen Beiträgen und ihrer konstruktiven Kritik zur vorliegenden Arbeit beigetragen haben, insbesondere: Sascha Röther (SIJ), Ming Zhang (SIJ), Yan Li (SIJ).

August 2007



# Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung des Leitfadens .....	8
1.1	Der Gebäudebereich als größter Energieverbraucher .....	9
1.2	Laborgebäude sind Hochverbraucher .....	10
1.3	Die Mehrzahl der älteren Laboratorien hat große Einsparpotenziale.....	10
1.4	Hemmnisse bei der Umsetzung der Einsparpotenziale .....	11
1.5	Zielsetzung des Forschungsvorhabens.....	13
2	Grundlagen der energiegerechten Laborsanierung.....	14
2.1	Allgemeine Kennzeichen von Forschungslaboratorien .....	14
2.2	Energiebedarf für Laboratorien .....	16
2.2.1	Einflussfaktoren auf den Energiebedarf.....	17
2.2.2	Energiebedarf für Heizung, Lüftung, Kühlung und Beleuchtung.....	24
2.2.3	Energiebedarf für die Nutzung.....	29
2.2.4	Bewertungsmethoden für den Energiebedarf .....	32
2.2.5	Orientierungswerte für spezifische Kennzahlen des Energieverbrauchs .....	37
2.3	Energieeinsparpotenziale durch Sanierung .....	39
2.3.1	Anlass und Ziel einer energieeffizienten Sanierung .....	39
2.3.2	Logistische Projektdurchführung .....	41
2.3.3	Flächennutzung / Raumprogramm .....	41
2.3.4	Gebäudehülle .....	44
2.3.5	Raumluftechnik.....	51
2.3.6	Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung .....	67
2.3.7	Beleuchtung.....	70
2.3.8	Gebäudeautomation .....	74
2.3.9	Bewertung der Energiesparpotenziale.....	76
2.4	Integrale Planung zur Umsetzung der Einsparpotenziale .....	79
2.4.1	Serieller und Integraler Planungsansatz.....	79
2.4.2	Instrumente und Methoden der integralen Planung.....	84
2.4.3	Integrale Planung im Sanierungsprozess .....	89
2.4.4	Chancen und Risiken.....	93
2.5	Innovative Energietechniken für Forschungslabors .....	95
2.5.1	Definition innovativer Techniken.....	95
2.5.2	Beispiele innovativer Techniken .....	96
2.6	Vorgaben und Anforderungen durch Richtlinien und Normen (Auszug) .....	112
2.6.1	Energieeffizienz allgemein.....	112
2.6.2	Thermische Bauphysik .....	115

2.6.3	Heiz- und Raumlufttechnik.....	117
2.6.4	Beleuchtung.....	119
2.7	Literaturverzeichnis zu Abschnitt 2.....	120
3	Praxisbeispiel: Sanierung des Phytosphären-Labors im Forschungszentrum Jülich ....	122
3.1	Der Planungsprozess.....	122
3.1.1	Ausgangszustand des Gebäudes.....	122
3.1.2	Standardlabor des Forschungszentrums Jülich.....	129
3.1.3	Dokumentation der Planungsergebnisse.....	132
3.1.4	Kommentierung der Planung.....	163
3.2	Praktische Durchführung der Sanierung.....	164
3.2.1	Vorbereitungsphase.....	164
3.2.2	Gefahrstoffbeseitigung.....	165
3.2.3	Projektmanagement, Bauablauf und Baukosten .....	166
3.2.4	Unerwartete Entwicklungen.....	168
3.2.5	Bauüberwachung und Qualitätskontrolle.....	168
3.2.6	Allgemeine Erfahrungen und Hinweise für die praktische Umsetzung.....	169
3.2.7	Fotodokumentation.....	170
3.3	Mess- und Optimierungsprogramm.....	175
3.3.1	Messprogramm.....	175
3.3.2	Simulationen.....	184
3.3.3	Messtechnische Analyse des unsanierten und sanierten Gebäudes.....	190
3.3.4	Optimierungsempfehlungen.....	207
3.4	Wirtschaftliche Bewertung der Sanierung.....	215
3.4.1	Methodisches Vorgehen bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	215
3.4.2	Methodik der Analyse.....	217
3.4.3	Zusammenstellung der Daten für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen.....	220
3.4.4	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnungen.....	234
3.4.5	Kostenvergleich mit anderen Sanierungen und mit einem Neubau.....	239
3.4.6	Potenziale zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit .....	243
3.5	Ökologische Bewertung der Sanierung.....	247
3.5.1	CO <sub>2</sub> -Emissionen der Sanierung und Methoden der Ermittlung .....	247
3.5.2	CO <sub>2</sub> -Emissionen durch die Energieversorgung des Gebäudes.....	256
3.5.3	Berechnung der CO <sub>2</sub> -Armortisationszeiten.....	258
3.5.4	Fazit.....	259
3.5.5	Zusammenfassende Bewertung.....	261
3.6	Sozialwissenschaftliche Bewertung einer Sanierung.....	263
3.6.1	Methoden.....	263

3.6.2	Die standardisierte Befragung .....	264
3.6.3	Die Fokusgruppengespräche.....	265
3.6.4	Erkenntnisse aus der Nutzerbefragung im aktuellen Projekt.....	266
3.7	Literaturverzeichnis zu Abschnitt 3.....	268
4	Empfehlungen für die Laborgebäudesanierungspraxis .....	270
4.1	Entwurfsphase .....	271
4.2	Bedarfsplanung .....	271
4.3	Planung und Ausführung.....	273
4.4	Empfehlungen zur Überprüfung der Sanierungsmaßnahmen.....	275
4.5	Empfehlungen für den laufenden Betrieb.....	277
4.6	Zusammenfassende Bewertung der Sanierungsmaßnahmen .....	278
4.6.1	Integrale Planung.....	280
4.6.2	Simulationen .....	280
4.6.3	Gebäudehülle .....	281
4.6.4	Zonierung.....	281
4.6.5	Technische Gebäudeausrüstung (TGA) .....	281
4.6.6	Gebäudeleittechnik (GLT).....	284
4.6.7	Einzelraumregelung.....	285
4.6.8	Betriebsoptimierung.....	285
4.6.9	Inbetriebnahme .....	285
4.6.10	Monitoring.....	286
4.6.11	Nutzerverhalten .....	286



# 1 Zielsetzung des Leitfadens

Der Gebäudebestand in Einrichtungen der Forschung und Lehre muss zu einem erheblichen Teil als überaltert und sanierungsbedürftig angesehen werden. Ursachen sind altersbedingte Mängel an der Bausubstanz, technische Ausstattungen, die heutigen wie zukünftigen energetischen und technischen Anforderungen nicht mehr gerecht werden, die teilweise auch der veränderten Gesetzgebung nicht mehr entsprechen.

Das gilt auch für Gebäude im Forschungszentrum Jülich. Ein Teil der Gebäude beherbergt ausschließlich Büros, während in anderen entsprechend der wissenschaftlichen Ausrichtung auch Laborräume eingerichtet sind und somit eine gemischte Nutzung vorliegt.

Im Rahmen des Projektes „Laborgebäudesanierung“ wurde ein etwa 40 Jahre altes Gebäude unter Einbeziehung aktueller Erkenntnisse und unter Berücksichtigung zukunftsweisender Techniken saniert und umgestaltet. Im Rahmen des Projektes wurden der Ablauf des Vorhabens, sowie die erreichten Wirkungen in Bezug auf Energieverbrauch, Umweltschutz und Nutzerakzeptanz analysiert, beurteilt und dokumentiert. Auch Entscheidungsgrundlagen und organisatorische Zusammenhänge dieser Sanierungsmaßnahme wurden im Leitfaden dargestellt, so dass er von Entscheidungsträgern in den Baubehörden und Baudirektionen von Forschungszentren, Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen genutzt werden kann.

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

In Kapitel 2 des Leitfadens werden die Grundlagen für eine energieeffiziente Laborsanierung behandelt. In Kapitel 3 werden die beim konkreten Sanierungsbeispiel gewonnenen Erkenntnisse dargestellt.

Forschungslaboratorien können sich entsprechend ihrer Nutzung und Bauart deutlich unterscheiden, so dass sich Sanierungserfahrungen für ein einzelnes Labor nicht maßstäblich und vollständig auf andere Fälle übertragen lassen. Dennoch kann dieser Leitfaden hilfreich sein, indem er Anregungen und praktische Hinweise zu einer energieeffizienten Laborgebäudesanierung gibt.

## **1.1 Der Gebäudebereich als größter Energieverbraucher**

Zur Raumwärmeerzeugung in Wohngebäuden und in Nicht-Wohngebäuden wurden in der Bundesrepublik Deutschland 2004 knapp 2.800 PJ Endenergie eingesetzt, was einem Anteil von ~30 % am Endenergieverbrauch entspricht. Nicht zu beziffern ist der Energieeinsatz zur Raumluftkonditionierung, der zu einem erheblichen Anteil mit Elektrizität bewerkstelligt wird und im Einzelfall den Gesamtverbrauch an Energie dominiert. Man muss davon ausgehen, dass sein Anteil durch die große Zahl an Nicht-Wohngebäuden mit zentralen Klimatisierungsanlagen erheblich ist.

Die Gesamtheit der Gebäude verbraucht damit vor dem Industrie- und Verkehrssektor den bedeutendsten Anteil an Energie und emittiert gleichzeitig auch die meisten klimawirksamen Abgase. Damit werden die Gebäude und ihre energetischen Versorgungssysteme zum Ziel von Maßnahmen zur Effizienzsteigerung und Energieeinsparung.

Maßnahmen und Entwicklungen zur Reduzierung des Gebäudeenergiebedarfs zielen aber nicht nur auf Neubauten. Da etwa 70 % des heutigen Bestandes älter als 30 Jahre sind und sich in einem energetisch nicht akzeptablen Zustand befinden, steht auch die nachhaltige Sanierung von Altbauten im Fokus von Forschung, Entwicklung und Umsetzung.

## **1.2 Laborgebäude sind Hochverbraucher**

Der gesamte Energieverbrauch im Gebäudesektor und die Emissionen von Klimagasen verteilen sich etwa zu zwei Dritteln auf den Wohngebäudebereich und zu einem Drittel auf den Nichtwohnbereich. Während zu sanierende Wohngebäude je nach Alter und Gebäudetyp flächenspezifische Jahres-Endenergieverbräuche für die Heizung von 150 bis 300 kWh/m<sup>2</sup> aufweisen, sind Nichtwohngebäude wegen der komplexen RLT-Technik (Raumluftechnik) ausgesprochene Hochverbraucher. Die Bedarfswerte für die Raumlufkonditionierung liegen bei vielen Nichtwohngebäuden im Mittel doppelt so hoch und können im Einzelfall bis zu zehn mal höher sein, bedingt durch die besondere Art der Nutzung. Für medizinische, biologische, chemische und pharmazeutische Institutsgebäude, die heute in Betrieb sind, werden in der Literatur Energieverbrauchswerte für Heizung und Klimatisierung von 300 bis 700 kWh/m<sup>2</sup> angegeben bei einem Stromverbrauch von 50 bis 600 kWh/m<sup>2</sup>. Besonders in alten Gebäuden mit einer Ausstattung, die nicht mehr dem Stand der Technik entspricht, kann der Energiebedarf für Heizung und Luftaufbereitung noch wesentlich höher sein und entsprechend der Nutzungsart bis 2000 kWh/m<sup>2</sup> betragen.

## **1.3 Die Mehrzahl der älteren Laboratorien hat große Einsparpotenziale**

Insbesondere bei älteren Gebäuden werden ganz erhebliche technische Einsparpotenziale gesehen. Durch Sanierung der Gebäudehülle und gleichzeitige Verbesserung der RLT-Technik sind an existierenden Gebäuden ohne Einschränkung der Nutzung Einsparpotenziale von 30 % bis 70 % zu erzielen, je nach Gebäudetyp, Baualter und Nutzungsart. Eine breite Umsetzung dieser Potenziale fehlt allerdings bis heute im Nichtwohnbereich und insbesondere im Laborbereich. Eine Reihe von Hemmnissen ist die Ursache hierfür.

## 1.4 Hemmnisse bei der Umsetzung der Einsparpotenziale

So bestehen bei Nutzern und Betreibern von Labors oft Informationsdefizite über die Höhe der eigenen Energieverbräuche in Relation zu dem, was man durch eine Sanierung sparen kann. Es ist meist auch unbekannt, welche positiven ökologischen Effekte, z. B. durch CO<sub>2</sub>-Einsparungen, mit einer Sanierung erreicht werden können. Außerdem herrschen Unklarheiten über die neuesten technischen Möglichkeiten zur Sanierung und deren Kosten. Was fehlt sind speziell auf diesen Bedarf zugeschnittene technische Informationsquellen, z. B. in Form eines Sanierungsleitfadens für Laborbetreiber oder -eigentümer.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass der Einsatz innovativer RLT-Komponenten und Systeme und ihr Zusammenspiel insbesondere bei der Sanierung von alten Laborgebäuden bisher noch nicht genügend erprobt wurden. Die Schwierigkeiten resultieren aus den komplexen Anforderungen durch den modernen Laborbetrieb, der eine sehr aufwendige Raumluftechnik verlangt, während auf der anderen Seite gleichzeitig erhebliche Restriktionen durch die alte Bausubstanz zu überwinden sind. Zudem müssen die technischen Lösungen möglichst kostengünstig sein. Planung, Installation und optimierter Betrieb stellen unter diesen Randbedingungen eine neue Herausforderung dar. Hier gilt es Erfahrungen zu sammeln und zu bewerten.

Im Gegensatz zum Wohn- und Bürogebäudebereich fehlen im Laborbereich bisher überzeugende Beispiele für modellhafte Sanierungen, die über eine fortschrittliche Vernetzung von Mensch, RLT-Technik und Gebäude dazu beitragen, dass Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit der Nutzer verbessert werden und gleichzeitig erhebliche Mengen an Energie eingespart werden. Solche Demonstrationsobjekte können zur Orientierung und auch zur Motivation anderer sanierungswilliger Laborbetreiber oder -eigentümer dienen.

Bereits in der Entwurfsphase der Planung ist die kritische Frage zu stellen, welche Vorgehensweise am wirtschaftlichsten ist - eine Sanierung oder Abriss und Neubau. Dies ist eine Einzelfallentscheidung, welche von vielen Kriterien beeinflusst wird.

Wenn aber sowieso eine Sanierung wegen baulicher Mängel, neuer Nutzung oder Abnutzung unumgänglich ist, muss man überlegen, ob man neben der baulichen Sanierung auch den energetischen Faktor stärker berücksichtigt. An vielen Sanierungsmaßnahmen lässt sich belegen, dass durch ein wenig mehr an finanziellem Aufwand [max. 5-10 %], eine geeignete Wahl der Sanierungsmaßnahmen und letztlich durch eine gute Planung die Betriebskosten gesenkt werden und das Befinden der Mitarbeiter und damit der Arbeitserfolg langfristig positiv beeinflusst wird. Die wirtschaftlichen Aspekte zur Beantwortung der Fragestellung Abriss oder Neubau werden nachfolgend im Kapitel 3.4.5 genau erörtert.

Ein weiteres wichtiges Hemmnis ist die zum Teil noch unzureichende Wirtschaftlichkeit der energetischen Sanierung. Dies liegt einerseits an den niedrigen Energiepreisen und andererseits an den sehr komplexen und kostenintensiven RLT-Anlagen. Hier ist insbesondere bei der Kosten-Nutzen Rechnung ein Ansatz zu finden, der die energetischen und die nichtenergetischen Investitionen in geeigneter Weise separiert, um zu einer richtigen wirtschaftlichen Beurteilung der Energieeinsparungen zu kommen. Im volkswirtschaftlichen Sinne sind solche Sanierungsmaßnahmen auf jeden Fall zweckmäßig.

Das Vorhaben Energetische Sanierung des Laborgebäudes „Phytosphäre“ des Forschungszentrums Jülich soll einen Beitrag zur Überwindung eines Teils dieser Hemmnisse liefern.

## 1.5 Zielsetzung des Forschungsvorhabens

Ziel des Vorhabens ist es, eine innovative, energiegerechte Sanierung und Umgestaltung mit Modell- und Vorbildcharakter am Beispiel des Laborgebäudes ICG III „Phytosphäre“ des Forschungszentrums Jülich durchzuführen. 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 CO<sub>2</sub>-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.

## 2 Grundlagen der energiegerechten Laborsanierung

### 2.1 Allgemeine Kennzeichen von Forschungslaboratorien

Als Laboratorium, kurz Labor, wird üblicherweise ein Arbeitsraum bezeichnet, in dem naturwissenschaftliche Experimente durchgeführt werden und der mit dafür geeigneten Einrichtungen wie Geräten ausgestattet ist. Labore werden in der Chemie, der Biologie, der Physik, den Ingenieurwissenschaften oder der Medizin eingesetzt.

Obwohl sich die verschiedenen Fachgebiete und Arbeiten in den Laboratorien z. T. sehr deutlich unterscheiden, sind Einrichtungen zur Arbeitssicherheit und des Umweltschutzes in allen Laboratorien essentielle Bestandteile der Ausrüstung und Einrichtung.

Die Aufgabenbereiche können entsprechend den auftretenden Stofflasten in den Laborräumen unterschieden werden:

- In Chemielaboren werden zum einen präparative Arbeiten durchgeführt, bei denen die Herstellung chemischer Stoffe und Verbindungen durch Synthese und Abwandlung bereits bekannter Verbindungen im Vordergrund steht. Zum anderen werden verfahrenstechnische Aspekte der Herstellung bearbeitet. Beiden Typen ist gemein, dass auch größere Stoffmengen zum Einsatz kommen. Es wird häufig innerhalb von Digestorien (Abzughauben) gearbeitet, in denen entstehende Gase oder Aerosole abgesaugt werden, und die die Arbeitenden bei einem Unfall vor Splintern oder spritzenden Flüssigkeiten schützen.
- Im Physiklabor stehen physikalische Messungen mit bestimmten Geräten und mechanischen/elektronischen Apparaten im Vordergrund. Es existieren Anschlüsse für Drehstrom, Druckluft und auch technische Gase. Eine besonders saubere und staubfreie Atmosphäre ist in Reinraumlaboren zu gewährleisten.

- In der Biochemie stehen die Zusammenhänge zwischen Chemie, Medizin sowie Biologie im Mittelpunkt, der Aufbau der Lebewesen sowie das Zusammenwirken der beteiligten chemischen Verbindungen. Eine eindeutige Zuordnung und Spezifizierung zu bestimmten Labortypen ist daher nicht möglich.
- Das gleiche gilt auch für Laboratorien, in denen es um medizinische Weiterentwicklungen geht, wie auch für Laboratorien aus den vielfältigen Bereichen der Ingenieurwissenschaften, in denen technische Aspekte einen höheren Stellenwert haben. Aber selbst bei ihnen können raumluftechnische Belastungen entstehen, die es zu beherrschen gilt, z. B. bei der Wärmebehandlung von Kunststoffen oder bei verbrennungstechnischen Entwicklungen.

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 nicht eine 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. Forschung wird zumeist in Teams betrieben, denen Möglichkeiten geboten werden müssen, 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.



## 2.2 Energiebedarf für Laboratorien

Ein Charakteristikum von Laborgebäuden ist, dass der Energiebedarf in hohem Maße durch die spezielle Art der Nutzung bestimmt wird, denn

- In Laboratorien sind hohe Außenluftvolumenströme notwendig, die zum Arbeits- und Gesundheitsschutz, zur Aufrechterhaltung der erforderlichen Raumlufthqualität bzw. zur Verdünnung oder Verdrängung von Luftschadstoffen dienen. Diese Außenluftvolumenströme müssen thermisch konditioniert und mit Hilfe von Ventilatoren gefördert werden.
- Laboratorien weisen überdurchschnittlich hohe interne Wärmequellen auf, die neben der Beleuchtung und Personen vor allem durch Messgeräte, wärmeintensive Laborgeräte (Kühlschränke, Heizplatten, Bunsenbrenner) und EDV-Anlagen verursacht werden. Die Wärmequellen beeinflussen den Heizbedarf, aber auch den Kühlbedarf des Gebäudes.

Laborgebäude bestehen in der Regel aus zusammengesetzten Nutzungseinheiten. Die genannten Besonderheiten beziehen sich nur auf die reinen Labornutzflächen. Darüber hinaus sind Büroflächen, Verkehrsflächen, Lager, Technikräume und eventuelle Seminarräume speziell zu bewerten.

In [2-1] wurden die Sanierungsmaßnahmen von insgesamt 9 Chemieinstitutsgebäuden aus dem Hochschulbereich dokumentiert. Eine Auswertung der Grundflächenzuordnungen der Gebäude nach DIN 277 [2-6] ergab die in Tabelle 2–1 angegebenen Bandbreiten.

	Mittelwert	Minimum	Maximum
Verhältnis BGF / NGF	1,22	1,09	1,33
Verhältnis HNF / NGF	0,60	0,51	0,73
Verhältnis NNF / NGF	0,04	0,01	0,08
Verhältnis FF / NGF	0,11	0,02	0,22
Verhältnis VF / NGF	0,25	0,20	0,32

Tabelle 2–1: Aufteilung der Flächenanteile in ausgewerteten Chemieinstituten nach [2-1]

	Mittelwert	Minimum	Maximum
Anteil Forschungs- und Praktikumsfläche an HNF	0,65	0,46	0,80
Anteil Bürofläche an HNF	0,14	0,11	0,18
Anteil Hörsaal- / Seminarraumfläche an HNF	0,06	0,02	0,13
Anteil Lager, Werkstätten, Sonstige an HNF	0,15	-	0,32

*Tabelle 2–2: Aufteilung der Hauptnutzfläche in Chemieinstituten nach [2-1]*

Im Vergleich zu den Hochschulinstituten kann bei reinen Forschungsinstituten, wie z. B. innerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft, davon ausgegangen werden, dass der Anteil der Laborflächen im Verhältnis zu den Büroflächen kleiner ist, da die Ausbildung von Studenten und Praktikanten eine geringere Rolle spielt und die theoretischen Arbeiten an normalen Büroarbeitsplätzen eine größere Rolle spielen.

Die unterschiedlichen Nutzungsbereiche erfordern eine zumindest grob differenzierte Betrachtung bei der Bestimmung des Energiebedarfs.

Pauschalierende Hüllflächenverfahren, wie sie im öffentlich-rechtlichen Nachweisverfahren [2-15] nach Energieeinsparverordnung üblich sind, führen leicht zu verfälschenden Aussagen. Bei der Einzonenbilanzierung des kompletten Gebäudes findet eine Verrechnung der Wärmequellen und –senken statt, die der Realität widerspricht. Nähere Hinweise zu Bewertungsverfahren befinden sich in Abschnitt 2.2.4.

## **2.2.1 Einflussfaktoren auf den Energiebedarf**

### **Gebäudenutzung**

Die Gebäudenutzung wirkt direkt und indirekt auf den Energiebedarf von Laboratorien.

Direkt wirksam wird die Wärmefreisetzung von Personen und elektrischen Geräten der Büro- und Laboreinrichtung sowie der elektronischen Datenverarbeitung. Alle Wärmequellen wirken sich unmittelbar aus auf:

- den Energiebedarf eventuell vorhandener Raumkühleinrichtungen
- die Minderung des Heizenergiebedarfs.

Indirekt beeinflusst das Nutzerverhalten den Betrieb und das zeitliche Verhalten gebäudetechnischer Anlagen. Beispielhaft wären zu nennen:

- die Betriebszeiten von raumluftechnischen Anlagen
- die Benutzungsdauer von Abzügen und deren Gleichzeitigkeit
- individuelle Sollwert-Vorgaben für heiz- und raumluftechnische Anlagen
- die Präsenz von Personen in einzelnen Räumen und das Steuerverhalten bei der künstlichen Beleuchtung
- die Fensterlüftung in Büro- und Seminarräumen
- und die Zonierung (Büro / Labor).

Generell kann festgestellt werden, dass der Nutzereinfluss in älteren Bestandsgebäuden deutlich geringer ist als in modernen Neubauten oder sanierten Altbauten. Dafür sind vor allem zwei Aspekte verantwortlich.

- Ältere Gebäude weisen bei den gebäudetechnischen Anlagen eine geringe Flexibilität und einen geringeren Automatisationsgrad auf. Dadurch sind die Systeme in geringerem Umfang imstande, die Versorgung mit Licht, Luft und Energie wirklich bedarfsgerecht anzupassen und somit auf veränderliches Nutzerverhalten zu reagieren.
- In älteren Gebäuden wirken Witterungseinflüsse wegen unzureichend gedämmten Gebäudehüllen, Undichtigkeiten sowie fehlender Wärmerückgewinnung wesentlich dominanter auf den Gesamtenergiebedarf als in Neubauten. Schwankungen im Nutzerverhalten haben dadurch einen relativ geringeren Einfluss auf den Gesamtenergiebedarf.

## **Bauliche Hülle**

Die bauliche Hülle beeinflusst den Energiebedarf durch

- den Wärmedurchgang an die bzw. von der Außenumgebung, wodurch Transmissionsheizlasten oder Transmissionskühllasten entstehen
- die Luftdurchlässigkeit, die zu einer natürlichen Außenluftinfiltration führt

- die Transparenz, die die Tageslichtversorgung beeinflusst, sowie die solaren Energieeinträge bewirkt, die im Winter gewünscht sind und im Sommer minimiert werden sollten
- das Wärmespeichervermögen bzw. die Gebäudeschwere, welche den Ausnutzungsgrad interner und externer Wärmegewinne beeinflusst sowie zur Dämpfung von Kühllasten oder frei schwingender Raumtemperaturen im Sommer beiträgt.

Neben den genannten Punkten, die prinzipiell als Material- oder Bauteileigenschaften gesehen werden können, sind auch geometrisch-konstruktive Gesichtspunkte zu berücksichtigen, wie

- die Kubatur des Gebäudes, ausgedrückt durch das Oberflächen-Volumen-Verhältnis (A/V-Zahl)
- die Ausrichtung des Gebäudes nach Himmelsrichtungen
- Wind- und Verschattungseinflüsse der Umgebung, wie z. B. durch Nachbarbebauungen.

## **Raumluftechnik**

Bedingt durch den hohen Luftwechsel in Laboratorien haben die raumluftechnischen Anlagen den größten Einfluss auf den Gesamtenergiebedarf der Gebäude.

Die wesentlichen Einflussgrößen, insbesondere bei Altbauten, sind:

- die Übereinstimmung der tatsächlichen mechanisch geförderten Luftvolumenströme mit den aktuell notwendigen Luftvolumenströmen nach häufiger Umnutzung von Räumen
- der Umfang thermischer Luftbehandlungsfunktionen wie Luftbefeuchtung und Luftkühlung
- zusätzliche Raumkühleinrichtungen
- der Energiebedarf für die Luftförderung, hervorgerufen durch hohe Druckverluste in Kanälen und Geräten
- das Leistungsvermögen von möglichen Anlagen zur Wärmerückgewinnung

- die Flexibilität und Regelbarkeit der Anlagen (Variabel-Volumenstrom-Betrieb, Regelstrategien)
- die Betriebszeiten der Anlagen und die Fähigkeit der Anlage einen zumindest abgesenkten Volumenstrom außerhalb der Hauptnutzungszeit zu realisieren.

In Altbauten ist häufig ein Missverhältnis zwischen dem Umfang der Luftbehandlungsfunktionen (Vollklimaanlagen mit Be- und Entfeuchtung, Kühlung) einerseits und fehlender Ausstattung zur Energieeinsparung andererseits vorzufinden.

Gleichzeitig ist die Regelfähigkeit von Alt-Anlagen, bedingt durch den früheren Stand der Technik, oftmals sehr eingeschränkt.

Beispiel: Variabel-Volumenstrom-Regler für Laborlüftung

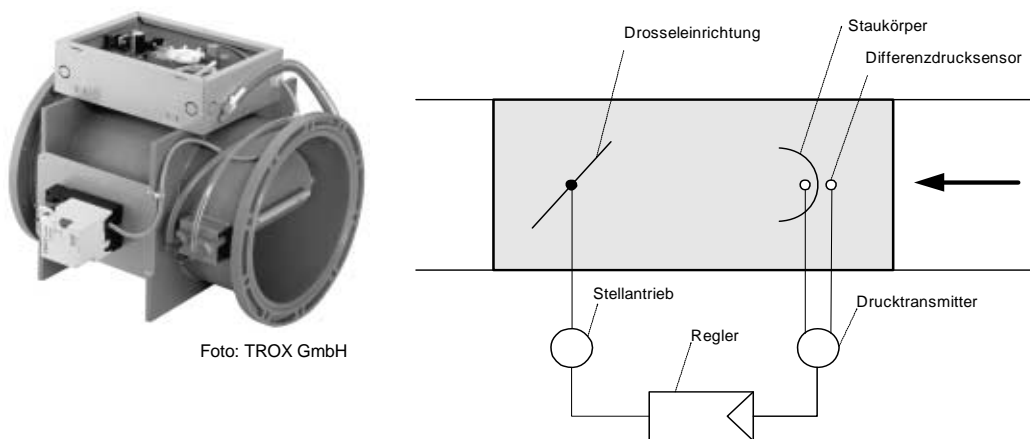


Bild 2–1: Variabel-Volumenstrom-Regler

Beispiele:

- Volumenstromregler, die selbsttätig oder mittels elektronischer Regelung und elektrischem Stellantrieb konstante oder gezielt steuerbare Einzelraumvolumenströme sicherstellen, waren in den 60er und 70er Jahren nicht verfügbar.

- Moderne Leistungselektronik, wie die Frequenzumformertechnik zur Drehzahlregelung von Ventilatorantrieben, war ebenfalls nicht verfügbar bzw. zu teuer.
- Die Regelung basierte auf analoger Technik mit elektrischer oder pneumatischer Signalverarbeitung. Wegen des hohen Aufwandes bei der Umsetzung stand häufig nur die Sicherstellung der Funktion und nicht das Energiemanagement im Vordergrund. Späteren Änderungen stand häufig die geringere Flexibilität analoger Systeme im Weg.
- Die Sensorik, um z. B. eine sichere und langfristig robuste Feuchtemessung vorzunehmen, stand nicht zur Verfügung, wodurch Vollklimaanlagen in der Regel nach der energetisch ungünstigen Taupunktregelung betrieben wurden.

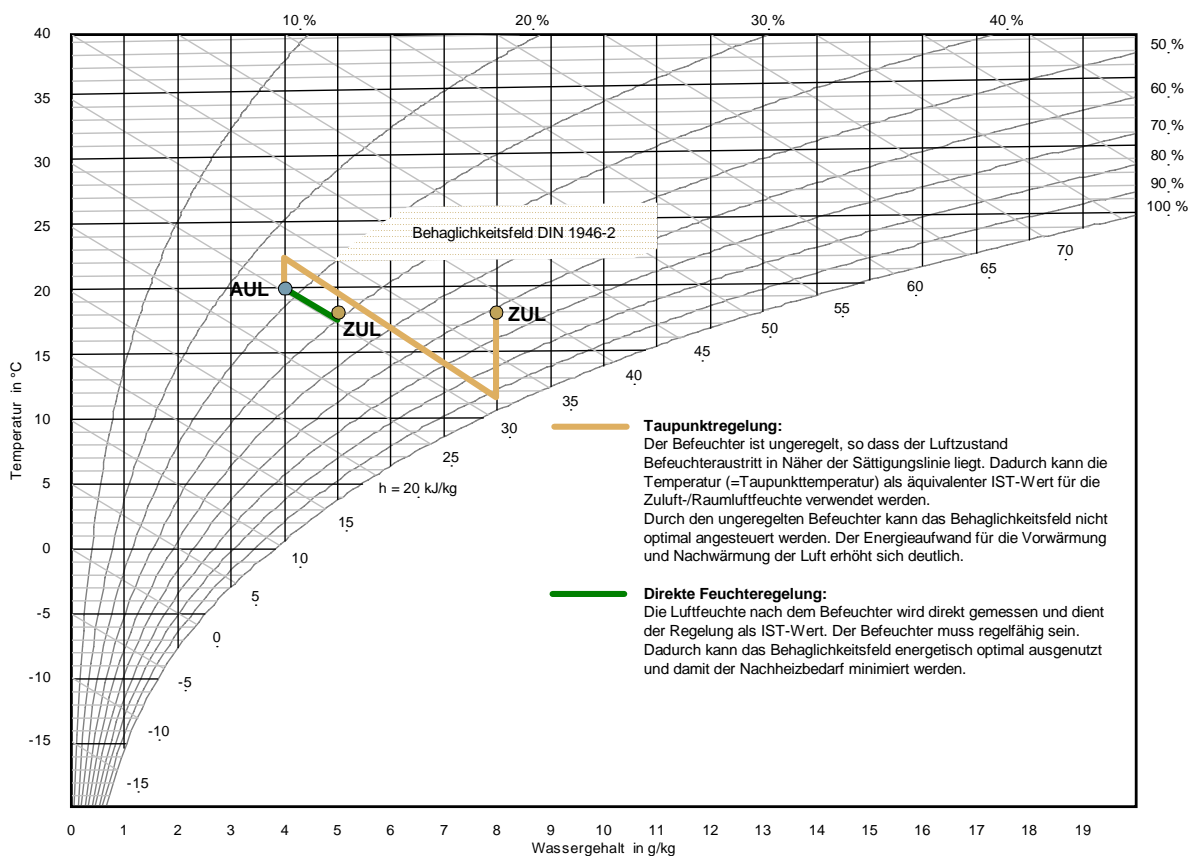


Bild 2–2: Gegenüberstellung Taupunktregelung – direkte Feuchteregelung

Ein weiteres Problem ist die räumliche Integrationsfähigkeit von Energiesparmaßnahmen, da Lüftungsanlagen und Lüftungskomponenten von allen gebäudetechnischen Anlagen das mit Abstand größte Bauwerksvolumen für Zentralen, Schächte und Kanäle beanspruchen.

Beispiele:

- Aus Platz- oder Kostengründen wurden häufig die Abluftanlagen dezentral ausgeführt, wodurch die Nachrüstung von Wärmerückgewinnungsanlagen ohne Grunderneuerung des Systems praktisch unmöglich wurde.
- Das Nachrüsten zusätzlicher Wärmeübertrager in den Zentralen, die wie im Beispiel Laborgebäude Phytosphäre, teilweise aus gemauerten Kammern bestehen, war aus Platzgründen häufig nicht möglich.
- Dem Nachrüsten von Volumenstromreglern in den Zwischendecken standen häufig räumliche Probleme im Weg.



*Bild 2–3: Dezentrale Abluftführung im Laborgebäude Phytosphäre*

## **Heizungstechnik**

In Bezug auf die Heizungstechnik weisen Laboratorien wenige Besonderheiten gegenüber anderen Gebäudetypen auf. In der Regel werden die Räume über statische Heizflächen an der Außenfassade beheizt. Aufgrund der hohen Luftwechsel fällt den Heizflächen zum Teil die Nachheizfunktion der Zuluft zu, wodurch es zu einer Verlängerung der Heizperiode kommen kann. Dies ist energetisch sinnvoll, da durch die Heizflächen eine konstante Raumtemperatur eingeregelt werden kann und ein Höchstmaß an freier Kühlung durch die Außenluft erzielt wird.

Wichtige Einflussgrößen auf den Energiebedarf für die Raumheizung sind:

- das Regelverhalten der Heizkörperregelventile
- die Wärmeabgabe der Rohrleitungen
- der Hilfsenergiebedarf für Pumpen
- der Energieaufwand für die Wärmeerzeugung.

## **Beleuchtung**

In den reinen Laborbereichen spielt die Tageslichtversorgung eine geringere Rolle als an büroähnlichen Arbeitsplätzen. Die Gründe liegen in den teilweise größeren Raumtiefen, der Anordnung von Arbeitsbereichen in größerem Abstand von den Fenstern, der Verschattung durch raumhohe Laboreinrichtungen, Medientrassen u. ä.. Daher sind für Laborflächen höhere Ansätze für die Volllaststunden der künstlichen Beleuchtung anzusetzen.

Bei der künstlichen Beleuchtung von Laborflächen sind Deckeneinbauleuchten mit Leuchtstoffröhren zur direkten Beleuchtung der Regelfall.

Die spezifischen installierten Leistungen für die künstliche Beleuchtung können im Bestand durch:

- veraltete Leuchtmittel (T8-Technik)
- ungünstige Beleuchtungswirkungsgrade aufgrund veralteter Leuchten, Wannen oder Raster
- Energieverluste durch ineffiziente konventionelle Vorschaltgeräte



gegenüber dem Neubaustandard sehr hoch ausfallen.

Die flächenspezifische Leistung hängt auch von der individuellen Geometrie der Räume ab, da die Lampen nur in bestimmten Baugrößen abgestuft verfügbar sind.

Die technischen Möglichkeiten einer tageslichtabhängigen oder präsenzabhängigen Beleuchtungssteuerung oder gar Bus-Steuerungen waren in den 60er und 70er Jahren nicht verfügbar.

## **2.2.2 Energiebedarf für Heizung, Lüftung, Kühlung und Beleuchtung**

Die unterschiedlichen Nutzungsbereiche von Laborgebäuden sind differenziert zu betrachten. In den Nutzungsbereichen, die einer Labornutzung im Sinne der DIN 1946 – 7 [2-8] unterliegen, überlagert der Energiebedarf für die Außenluftkonditionierung die bauphysikalischen Einflussfaktoren erheblich.

Aber auch bei der Außenluftkonditionierung selbst sind die Unterschiede im Energiebedarf je nach Anlagenkonfiguration erheblich, sodass Verallgemeinerungen nur schwer möglich sind.

In [2-4] wurde ein vereinfachtes Berechnungsverfahren für die thermische Luftaufbereitung entwickelt, das sich auf spezifische Kennwerte bezieht. Die Kennwerte wurden für eine umfangreiche Variantenmatrix im Stundenschrittverfahren entwickelt und lassen sich durch Korrekturen und Interpolationen auf den konkreten Anwendungsfall umrechnen. Bild 2–4 zeigt die daraus resultierende Bandbreite für die einzelnen Luftbehandlungsfunktionen.

Die Angaben gelten für eine durchgängige Betriebsweise der Anlage von 8760 Stunden pro Jahr und die mittleren Wetterdaten der Station Würzburg (Testreferenzjahr 05), die für das Bundesgebiet als Mittelwerte repräsentativ sind.

Die Kennwerte beinhalten den auf den Zuluftstrom bezogenen jährlichen Nutzenergiebedarf, der durch Aufwandszahlen für die Übergabe, Verteilung und Energieerzeugung zu erweitern ist. Bei der Luftbefeuchtung kann der Energiebedarf für die Verdunstungsbefeuchtung und Dampf befeuchtung in erster Näherung gleich gesetzt werden, solange die Dampferzeugung thermisch erfolgt.

Ergänzend ist der Strombedarf für die Luftförderung anhand der physikalischen Gesetzmäßigkeiten berechenbar. Im Gebäudebestand sind dazu die Druckverluste der Luftkanalnetze abzuschätzen. Dabei muss in Hinblick auf die Druckverluste differenziert werden nach:

- der Anzahl der Luftaufbereitungsstufen
- der mittleren Luftgeschwindigkeiten im Kanalnetz
- der räumlichen Ausdehnung des Kanalnetzes (zentrale / dezentrale Abluft)
- dem Vorhandensein von Volumenstromreglern, die einen Mindestvordruck benötigen.

Die Gesamtwirkungsgrade von Ventilator, Übertragungssystem, Motor und Motorsteuerung können hinreichend genau im Bereich von 0,60 .. 0,70 geschätzt werden.

Es können die in Tabelle 2–3 aufgeführten Richtwerte für die Leistungsschätzung angesetzt werden. Mit der Größe SFP („specific fan power“), die sich im europäischen Raum als Beurteilungsgröße durchsetzt, kann die elektrische Leistung mit dem Luftvolumenstrom direkt errechnet werden.

			Minimum	Maximum
Zuluft	$\Delta p$	[Pa]	1.000	1.800
	SFP	[W/(m <sup>3</sup> /h)]	0,37	0,77
Abluft	$\Delta p$	[Pa]	400	1.400
	SFP	[W/(m <sup>3</sup> /h)]	0,15	0,60

*Tabelle 2–3: Richtwerte für die elektrische Leistung zur Luftförderung bei Volllast*

Legt man für die Laborflächen zugrunde:

- einen Außenluftvolumenstrom von 25 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>) als Mindestforderung nach DIN 1946-7 [2-8]
- Mittelwerte des Nutzenergiebedarfs nach Bild 2–4
- einen durchgängigen Anlagenbetrieb
- ein Verhältnis von Nettolaborfläche zu BGF von 1:1,22 nach Tabelle 2–1

- primärenergetische Bewertung des Strombedarfs mit Faktor 3,0; Faktoren für Wärme, Kälte und Dampf jeweils 1,0,

dann ergeben sich beispielhaft die Bandbreiten für spezifische Energiebedarfswerte raumluftechnischer Anlagen nach Bild 2–5.

Bei der Beurteilung von Bild 2–5 muss die weiterhin vorhandene enorme Bandbreite des Energiebedarfs berücksichtigt werden, die sich aus Planung und Betrieb raumluftechnischer Anlagen in den Laborflächen ergibt. Beispielhaft sind zu nennen:

- Anlagenbetrieb mit abgesenkten Volumenströmen in der Nebenbetriebszeit
- Laborflächen mit einer hohen Dichte an Abzügen, die zu höheren spezifischen Volumenströmen führen kann.

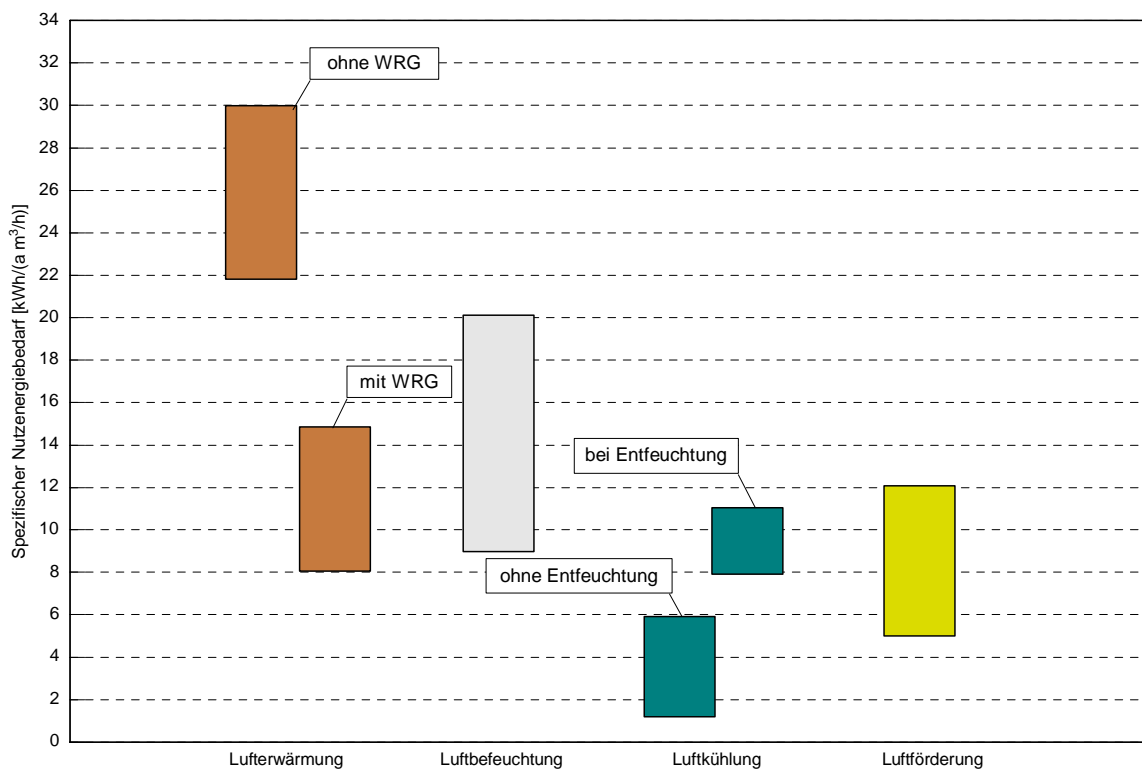


Bild 2–4: Bereiche des Energiebedarfs von RLT-Anlagen, bezogen auf den Volumenstrom

In [2-5] wurde für das Laborgebäude „Phytosphäre“ der Energiebedarf der Anlagen vor der Sanierung differenziert dargestellt. Separiert man aus den vorliegenden Daten die reinen Laborflächen, ergibt sich ein spezifischer Primärenergiebedarf der raumluftechnischen Anlagen von jährlich  $2.043 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGF}}$ .

In der Untersuchung zum Energiesparpotenzial von RLT-Anlagen [2-3] werden Simulationsergebnisse unterschiedlicher Anlagenkonfigurationen angegeben. Für einen 24h-Betrieb einer einfachen Anlage mit Luftheizfunktion wurde ermittelt (primärenergetisch bewertet):

- 1.909 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> bei Vorhandensein einer Wärmerückgewinnungsanlage
- 2.270 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> ohne Wärmerückgewinnung

(die auf Nettonutzfläche bezogenen Angaben wurden auf die Bruttogeschossfläche mit dem Faktor 1,22 entsprechend Tabelle 2–1 umgerechnet). Somit decken sich die Ergebnisse gut mit den Angaben in Bild 2–5.

In der gleichen Quelle [2-3] wird aufgezeigt, dass durch die bedarfsgerechte Volumenstromanpassung Energieeinsparungen von bis zu 75 % möglich sind.

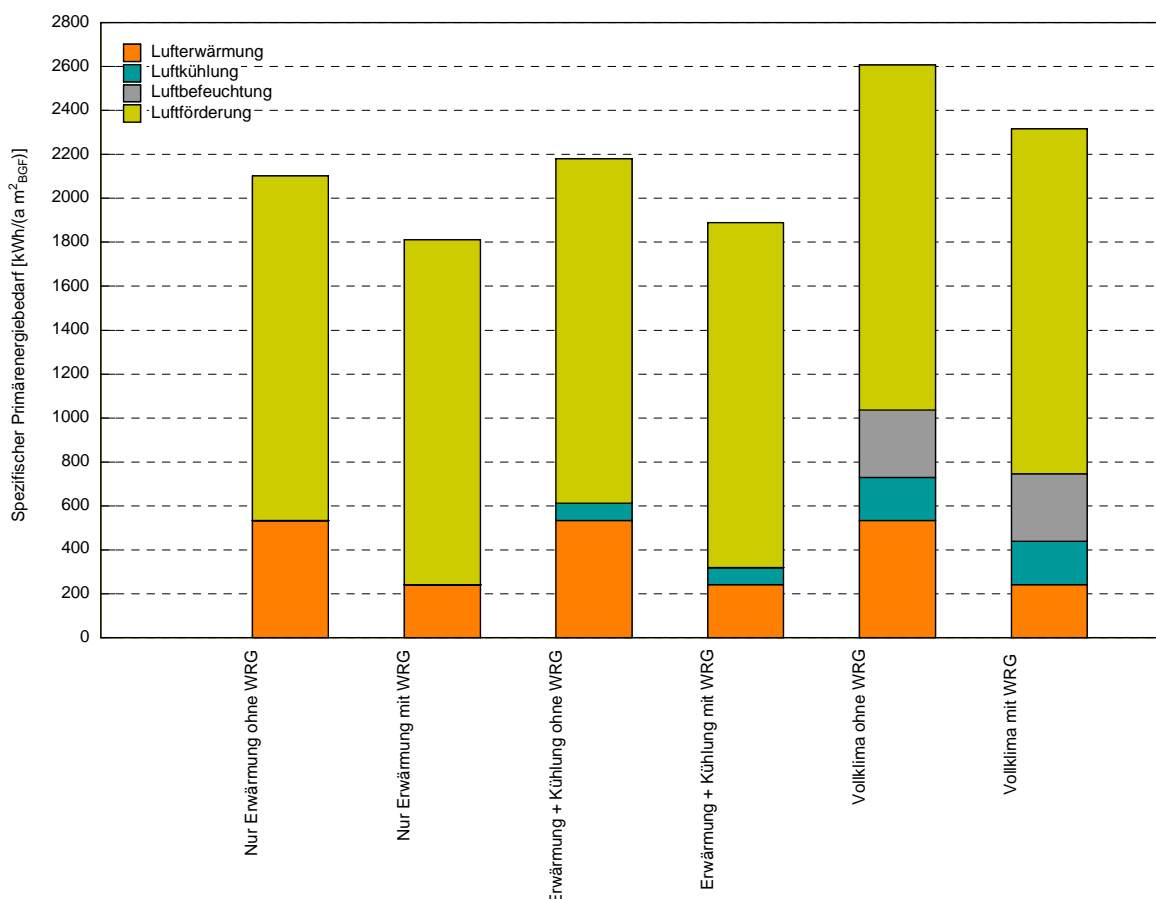


Bild 2–5: Energiebedarf von RLT-Anlagen, bezogen auf Labor-Bruttogeschossfläche

In den übrigen Nutzungsbereichen, die nicht der Laborrichtlinie DIN 1946-7 [2-8] unterliegen, spielen bei der Betrachtung von Altbauten die bauphysikalischen Einflussfaktoren auf den Heizenergiebedarf eine bedeutendere Rolle.

In [2-2] wurden gemessene Heizenergieverbräuche aus zwei Nutzungsgruppen:

- Verwaltungsgebäude sowie
- Gebäude für wissenschaftliche Lehre und Forschung

analysiert, witterungsbereinigt und statistisch aufbereitet.

Für ältere Gebäude kommt demnach ein Bereich von ca. 100 ... 250 kWh/m<sup>2</sup> in Betracht, wobei auch hier die Bruttogeschossfläche den Bezug bildet.

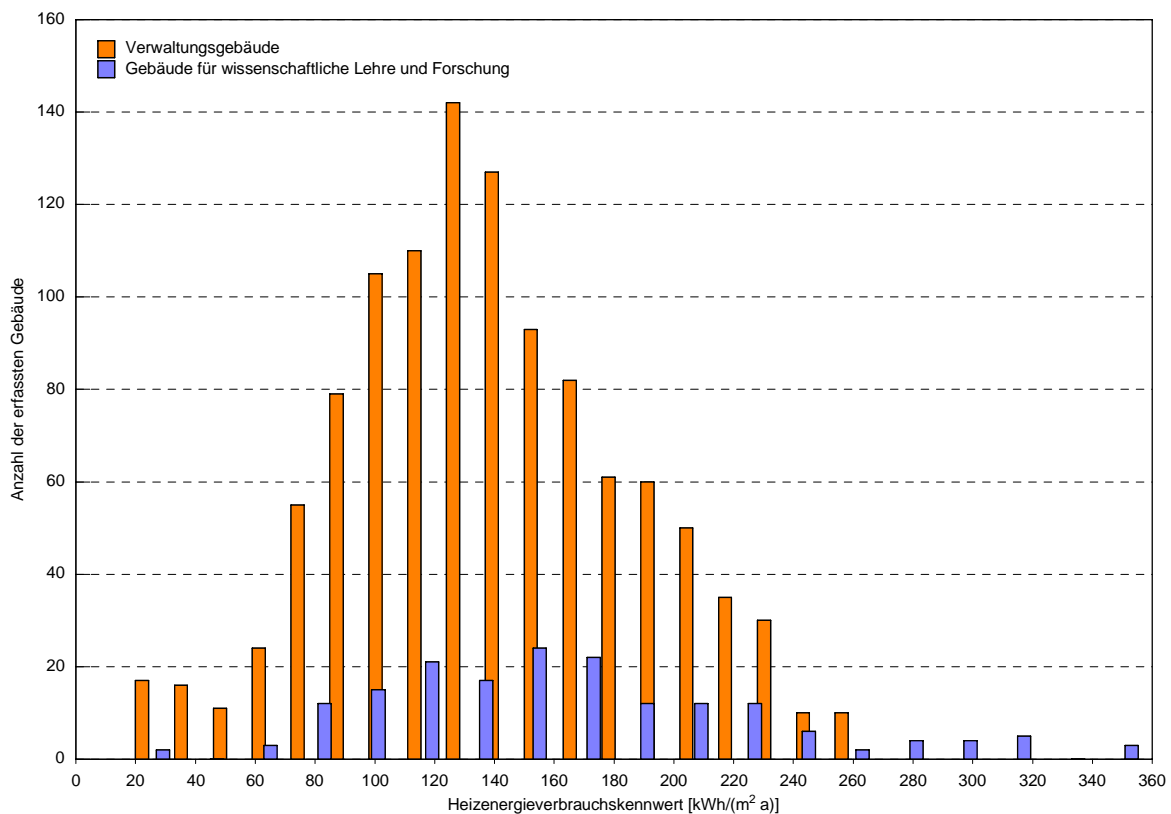


Bild 2–6: Heizenergieverbrauchskennziffern nach VDI 3807-2 [2-2] (Bezugsfläche = BGF)

In den Laborflächen kann davon ausgegangen werden, dass äußere Kühllasten durch den Mindestluftwechsel abgeführt werden können. Bei extremen internen Wärmebelastungen sind im Altbaubereich vereinzelt zusätzliche Raumkühlgeräte anzutreffen.

In außenliegenden Räumen kann dabei von ca. 400 – 800 Volllaststunden ausgegangen werden. Innen liegende Räume müssen entsprechend höher bewertet werden.

Bei der Beleuchtung hängt die flächenspezifische Leistung auch von der Geometrie der Räume ab, da die Leuchtengrößen gewissen Rastern unterliegen. Als Richtwerte für die spezifischen Leistungen können 20 – 40 W/m<sup>2</sup> in Altbauten und 10 – 20 W/m<sup>2</sup> in moderneren Gebäuden angesetzt werden.

Die Vollbeleuchtungsstundenzahl kann bei älteren Gebäuden ohne Steuer- und Kontrollsysteme angesetzt werden mit:

- ca. 1.000 h/a für Büroräume
- ca. 2.000 h/a für Laborräume.

Somit können für den spezifischen Energiebedarf von älteren Laborgebäuden angesetzt werden:

- ca. 16 - 33 kWh/m<sup>2</sup> für Büroräume
- ca. 33 – 66 kWh/m<sup>2</sup> für Laborräume

Für Verkehrswege, Lager und andere innen liegende Sonderräume sind individuelle Zahlen abzuschätzen.

Beim Laborgebäude Phytosphäre wurde für die Beleuchtung vor der Sanierung ein Bedarf von 19,5 kWh/m<sup>2</sup> als Mittelwert sämtlicher Nutzungsbereiche ermittelt, wobei die vorgefundene Beleuchtung bereits nicht mehr dem ungünstigeren Originalzustand entsprach.

### **2.2.3 Energiebedarf für die Nutzung**

Die nutzungsbedingten Wärmequellen in Laboratorien unterliegen individuell starken Schwankungen. Genaue Prognosen zur Effektivleistung der elektrischen Verbraucher, realistischen Lastverläufen und Gleichzeitigkeitsfaktoren sind in der Praxis schwer zu bestimmen. Die Kenntnis von Intensität und zeitlichem Verhalten ist jedoch für die energetische Optimierung aus mehreren Gründen von entscheidender Bedeutung.

- In der Regel wird man bei älteren Laborgebäuden nicht auf differenzierte Messergebnisse einzelner Stromverbrauchergruppen zurückgreifen können. Da jedoch eine umfassende Bilanzierung des Verbrauches des unsanierten Gebäudes mit verursachungsgerechter Aufteilung am Beginn der konzeptionellen Überlegungen stehen sollte, ist eine Ermittlung des Nutzungsstrombedarfs wichtig. Indirekt beeinflussen die nutzungsbedingten Wärmegewinne den Raumheiz- und Raumkühlbedarf. Daher ist eine möglichst genaue Kenntnis auch hier wichtig für die korrekte Bilanzierung.
- Die maximalen thermischen Belastungen sind die Grundlage für die Dimensionierung von Raumkühlsystemen. Die Kenntnis des Teillastverhaltens ist jedoch für die energetische Optimierung von mindestens gleicher Wichtigkeit, da hieraus Entscheidungen für oder gegen energiesparende Systeme, wie zum Beispiel Einrichtungen zur freien Kühlung, zu begründen sind.

In [2-3] wurden auf Basis einer statistischen Erhebung Fragebögen über 346 Laboratorien in Forschung, Lehre und Industrie ausgewertet. Aus der Datenbasis wurden unterschiedliche Standardlabortypen definiert und deren durchschnittliche Ausstattung an elektrischen Geräten ermittelt. Messungen ergaben, dass die Dauerleistung erheblich unter den Typenschildangaben zur maximalen Leistung liegt. Beispiele für Dauerleistungen nach [2-3]:

- Gaschromatographen: 10 %
- Trockenofen: 35 %
- Mittelwert: 22,5 %.

Aus dem Mittelwert und der mittleren Ausstattung wurden durchschnittliche Leistungsaufnahmen für die unterschiedlichen Standardlabore ermittelt:

- Minimum: 6 W/m<sup>2</sup>
- Maximum: 63 W/m<sup>2</sup>
- Mittelwert: 18 W/m<sup>2</sup>.

In der gleichen Quelle [2-3] werden Ergebnisse von umfangreichen Simulationsrechnungen zur Bestimmung des Energiebedarfs dargestellt, die sich auf Ansätze mit kurzzeitigen Spitzenleistungen von 78 und 100 W/m<sup>2</sup> stützen. Die bei der Simulation verwendeten Zeitprofile lassen sich auf ca. 3,7 Volllaststunden bei einer insgesamt zehnstündigen Betriebszeit zurückrechnen.

Damit folgen für die betrachteten Standardlabore:

- Mittelwerte der elektrischen Leistung über 10 h von 29 – 37 W/m<sup>2</sup>.
- ein täglicher Strombedarf von 286 – 367 Wh/m<sup>2</sup>
- ein jährlicher Strombedarf von 69 – 88 kWh/m<sup>2</sup> bei angenommenen 240 Tagen pro Jahr.

Zu beachten ist der Bezug auf die reine Nutzfläche in den vorgenannten Angaben.

Für büroähnliche Nutzungen sind geringere Werte anzusetzen. Auch hier gibt es individuell starke Schwankungen.

Beim öffentlich-rechtlichen Nachweisverfahren EnEV werden sowohl in DIN 4108-6 (Berechnung des Heizenergiebedarfs) als auch für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 mit mittleren internen Wärmegewinnen von 144 Wh/(m<sup>2</sup>d) für den Nichtwohnbereich gerechnet. Daraus würden ca. jährlich 34 kWh/m<sup>2</sup> resultieren. Allerdings dürften hier die Personenwärme und die Beleuchtung enthalten sein.

Die Schwankungsbreite aufgrund praktischer Erfahrungen wird im Bereich 20 ... 50 kWh/m<sup>2</sup> gesehen.

Beim Laborgebäude Phytosphäre war die Dichte an elektrischen Verbrauchern sehr hoch, was teilweise an der Personalbelegung lag. Es wurde für den nutzungsbedingten Strombedarf ein Wert von jährlich 93 kWh/m<sup>2</sup> im Bürobereich ermittelt.



## 2.2.4 Bewertungsmethoden für den Energiebedarf

Bei der Sanierung von Laborgebäuden oder der Planung von Energiesparmaßnahmen sollte eine möglichst umfassende energetische Bilanzierung des Gebäudes am Anfang stehen. Eine vollständige Bilanzierung des unsanierten Zustandes, die durch Verbrauchswerte oder Messergebnisse evaluiert wird, bietet die Sicherheit, dass die gewünschten Energieeinsparungen eintreten werden.

Im ersten Schritt sollte eine Bestandsaufnahme erfolgen. Dabei sind die zeichnerischen Unterlagen zusammenzustellen und auf Vollständigkeit zu prüfen.

Wegen der großen Bedeutung der Raumluftechnik ist nach Möglichkeit ein aktualisiertes Schaltschema zu erstellen, aus dem die aktuellen Luftvolumenströme und die Nutzungsarten der versorgten Raumbereiche / Raumgruppen zu entnehmen sind. Es hat sich in diesem Zusammenhang als sehr nützlich erwiesen, ein digitales Raumbuch zu erstellen, in dem die Nutzungsprofile, die thermischen Lasten sowie die minimalen und maximalen Luftvolumenströme enthalten sind. Als Werkzeug bieten sich Tabellenkalkulationsprogramme an.

Der Zustand der baulichen Hülle ist zu überprüfen, wobei von besonderem Interesse sein sollte:

- der Zustand der Fenster
- die Luftdichtigkeit
- der Zustand der Fassaden- und Dachdämmung.

Häufig arbeiten die raumluftechnischen Anlagen aufgrund vorangegangener Änderungen nicht mehr in den ursprünglich vorgesehenen Betriebspunkten. Derartige Abweichungen lassen sich im Rahmen der Bestandsaufnahmen nur schwer erkennen. Es ist daher zu empfehlen, die Bestandsaufnahmen mit stichprobenartigen Messungen zu begleiten. Hierzu zählen die Messungen von:

- Luftvolumenströmen
- Stromaufnahmen der Ventilatoren
- Austrittstemperaturen an Wärmerückgewinnungsanlagen
- typischen Zulufttemperaturen.

Wenn Daten aus Energieverbrauchsmessungen vorliegen, sind diese wie auch die erfassten Verbraucher auf Vollständigkeit zu prüfen. Bei mehrjährigen Daten können Mittelwerte gebildet oder Witterungsbereinigungen mittels Gradtagszahlen durchgeführt werden.

Für den Fall, dass keine gesicherten Verbrauchsdaten vorliegen, sind gute Erfahrungen mit verkürzten Messperioden gesammelt worden.

Beispiele:

- Im Vorfeld der Sanierung des Laborgebäudes Phytosphäre erfolgten Messungen des Heizenergieverbrauches der statischen Heizung und der raumlufttechnischen Anlagen mit Hilfe von Ultraschall-Durchflussmessgeräten. Durch eine Extrapolation mit Hilfe von statistischen Wetterdaten konnten recht genaue Ergebnisse erzielt werden.
- Aus der kontinuierlichen Aufzeichnung der elektrischen Leistungsaufnahme des Gebäudes lassen sich bei Kenntnis der Betriebszeiten Rückschlüsse aus den grafisch visualisierten Lastverläufen von Ventilatoren, der Beleuchtung und der nutzungsbedingten Stromverbraucher ziehen. Diese können ebenfalls die Grundlage für die Extrapolation auf den Jahresverbrauch bilden.

Die auf diese Art ermittelten Verbrauchsdaten sind in einem zweiten Schritt einem rechnerischen Bilanzierungsmodell gegenüberzustellen. Das Ziel des rechnerischen Modells besteht darin, eine detaillierte verursachungsgerechte Umlage der Verbrauchsdaten auf die einzelnen Abnehmergruppen vorzunehmen. In der Regel wird das rechnerische Modell auf zahlreichen Schätzungen und Annahmen zum Betriebs- und Nutzungsverhalten beruhen. Durch den Vergleich mit den gemessenen Verbrauchsdaten sollte es möglich sein, durch Anpassung oder Korrektur der Schätzungen das rechnerische Modell zu kalibrieren.

Für das rechnerische Modell gibt es unterschiedliche Ingenieurwerkzeuge, wobei hier Detaillierungsgrad und Datenverfügbarkeit in Übereinstimmung gebracht werden sollten.

## Meteorologische Daten

DIN 4710 [2-14] stellt statistische Wetterdaten für 15 Zonen der Bundesrepublik Deutschland zur Verfügung.

Für die Berechnung thermischer Luftaufbereitungsprozesse werden so genannte t,x-Korrelationen angeboten. Zu einem Wertepaar t,x wird die statistisch gemittelte Häufigkeit des Auftretens, basierend auf stündlichen Messwerten der Jahre 1961 - 1990, angegeben. Damit wird jeder Luftzustand aufgeführt, der innerhalb der Bezugsperiode von 30 Jahren an mindestens zwei Stunden gemessen wurde.

Der Vorteil der Darstellung von Häufigkeiten besteht in

- der leichten Nutzung für Handrechnungen infolge der reduzierten Darstellung
- der vollständigen Darstellung aller gemessenen Wetterdaten einschließlich seltener Extrema.

Der Nachteil der Häufigkeitsdarstellung besteht darin, dass die Daten als Randbedingungen für die Nachbildung dynamischer Vorgänge nicht geeignet sind, da die zeitliche Zuordnung fehlt. So sind für die dynamische Gebäudesimulation realistische Witterungsverläufe unverzichtbar. Diese Bedingung erfüllen Testreferenzjahrs-Datensätze. Ein Testreferenzjahr (TRY) gibt den typischen Witterungsverlauf einer Region wieder, wobei die Mittelwerte den Klimamittelwerten der Region entsprechen.

Für die alte Bundesrepublik Deutschland sind 1986 für 12 Regionen flächendeckend Testreferenzjahre veröffentlicht worden [2-12]. Die Datensätze sind über den deutschen Wetterdienst zu beziehen.

TRY-Datensätze sind für Simulationsberechnungen die am besten geeigneten Wetterdaten, da sie in hoher Auflösung und mit zeitlicher Zuordnung maschinenlesbar vorliegen. Sie enthalten sowohl die erforderlichen Daten für die Gebäudesimulation (Temperatur, Wind, Solarstrahlung) als auch für die RLT-Anlagensimulation (z. B. Luftfeuchte).

## **Bewertung der energetischen Luftaufbereitung**

Mit der VDI-Richtlinie 2067 Blatt 21 [2-10] steht ein genormtes Rechenverfahren für die Bewertung der thermischen Luftaufbereitung zur Verfügung. Der Algorithmus beruht darauf, dass für eine Anlagenschaltung mehrere Felder im h,x-Diagramm mit qualitativ gleichem Prozessverlauf gebildet werden. Für jedes Feld werden aus den Testreferenzjahr-Wetterdaten die Mittelwerte der Außenlufttemperatur und –feuchte sowie die Häufigkeit ihres Auftretens ermittelt. Mit diesen Daten wird der Energiebedarf aus den thermodynamischen Zusammenhängen für jedes Feld errechnet.

Stehen die Wetterdaten nach DIN 4710 oder Testreferenzjahrdaten zur Verfügung, ist prinzipiell auch eine schrittweise Berechnung der Zustandsänderungen für die t,x-Wertepaare oder nach Stundenschritten möglich. Bei einfachen Teilklimaanlagen bietet sich diese Methode unter Verwendung von Tabellenkalkulationsprogrammen an.

Im Zusammenhang mit der derzeit erstellten Norm DIN 18599 „Energetische Bilanzierung von Gebäuden“ wird ein einfaches Verfahren für die thermische Luftaufbereitung zur Verfügung gestellt, das auf spezifischen Kennwerten unterschiedlicher Anlagenprinzipien beruht. Das Verfahren wird bei der Erstellung von Energiepässen im öffentlich-rechtlichen Nachweisverfahren Anwendung finden.

Die flexibelsten Möglichkeiten bieten Verfahren für die Anlagensimulation, die im Stundenschritt arbeiten und insbesondere die regelungstechnischen Zusammenhänge und Optimierungsmöglichkeiten abbilden.

Beim Laborgebäude Phytosphäre wurde mit der leistungsfähigen Software SIMHX ein derartiges Werkzeug eingesetzt.

## **Bewertung des energetischen Gebäudeverhaltens**

Prinzipiell sind statische und dynamische Verfahren zu unterscheiden. Bei statischen Verfahren erfolgen eine stationäre Ermittlung der Heiz- und Kühllasten sowie deren Aufrechnung zum Jahresenergiebedarf. Innere und äußere Energiegewinne und –verluste werden dabei bilanziert. Dynamische Einflüsse werden pauschal über die Bildung von Ausnutzungsgraden berücksichtigt. Dadurch werden größere Zeitschrittweiten möglich. Üblich sind Monatsbilanzverfahren oder Heizperiodenverfahren.

Derzeit ist ein derartiges Rechenverfahren mit DIN 4108 – 6 [2-15] für öffentlich-rechtliche Nachweise genormt, welches allerdings eher auf die Belange des Wohnungsbaus zugeschnitten ist und nur den Heizenergiebedarf als Ergebnis liefert.

Mit der DIN 18599 steht nun ein Nachfolgeverfahren zur Verfügung, mit dem sich Nichtwohngebäude, klimatisierte Gebäude oder Gebäude mit erhöhten Luftwechseln besser abbilden lassen werden. DIN 18599 hat den Anspruch einer Gesamtbilanzierung von Gebäuden und wird auch ein Bewertungsverfahren für den Energiebedarf der künstlichen Beleuchtung beinhalten sowie die Wechselwirkungen von Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung beinhalten.

Dynamische Gebäudesimulationsverfahren arbeiten mit sehr kurzen Zeitschrittweiten und bilden die instationären Wärmeleitvorgänge anhand der physikalischen Gesetzmäßigkeiten mit hoher Genauigkeit ab. Durch die kurzen Zeitschrittweiten lassen sich auch die Nutzungsprofile sehr detailliert abbilden. Der Einsatz der dynamischen Simulation wird dann besonders sinnvoll, wenn sich die Bilanzgebiete auch auf kleinere geschlossene Nutzungsbereiche wie Einzelräume begrenzen. Der Aufwand, ein gesamtes Gebäude zu bilanzieren, kann entsprechend hoch sein, da in jedem Gebäude zahlreiche besondere Raumsituationen existieren. Bewährt hat sich die Simulation von mehreren Typräumen, der Bildung von spezifischen Energiekennwerten für die Typräume und die anschließende Hochrechnung auf das Gesamtgebäude.

Die dynamische Gebäudesimulation ist zudem geeignet, frei schwingende Raumtemperaturverläufe zu berechnen. Dadurch wird sie zu einem wichtigen Planungsinstrument bei der Entscheidung, ob zukünftig auf eine Klimatisierung verzichtet werden kann oder ob die Kühlung eingeschränkt werden kann.

Die Erfahrungen zeigen, dass die Prognosesicherheit bei älteren Gebäuden höher ist, da dort der Nutzereinfluss auf den Energiebedarf wegen der geringeren Beeinflussungsmöglichkeiten geringer ist.

Bei Laborneubauten, die über gut gedämmte Hüllen und bedarfsgerecht regelbare Anlagentechnik verfügen, spielt der Nutzereinfluss dagegen eine größere Rolle. Das Nutzerverhalten ist nur zu schätzen und kann sich bereits während der Bauphase ändern. Daher sollten nach Möglichkeit Sensitivitätsanalysen angestellt werden, um Unsicherheitstoleranzen für die Energieeinsparprognosen abzuleiten.

## 2.2.5 Orientierungswerte für spezifische Kennzahlen des Energieverbrauchs

Nachfolgend in Bild 2–7 und Tabelle 2–4 ist der spezifische Primärenergieverbrauch einiger vergleichbarer Gebäude dargestellt. Es handelt sich hier auch um Gebäude, die einen Labor- und Bürobereich besitzen.

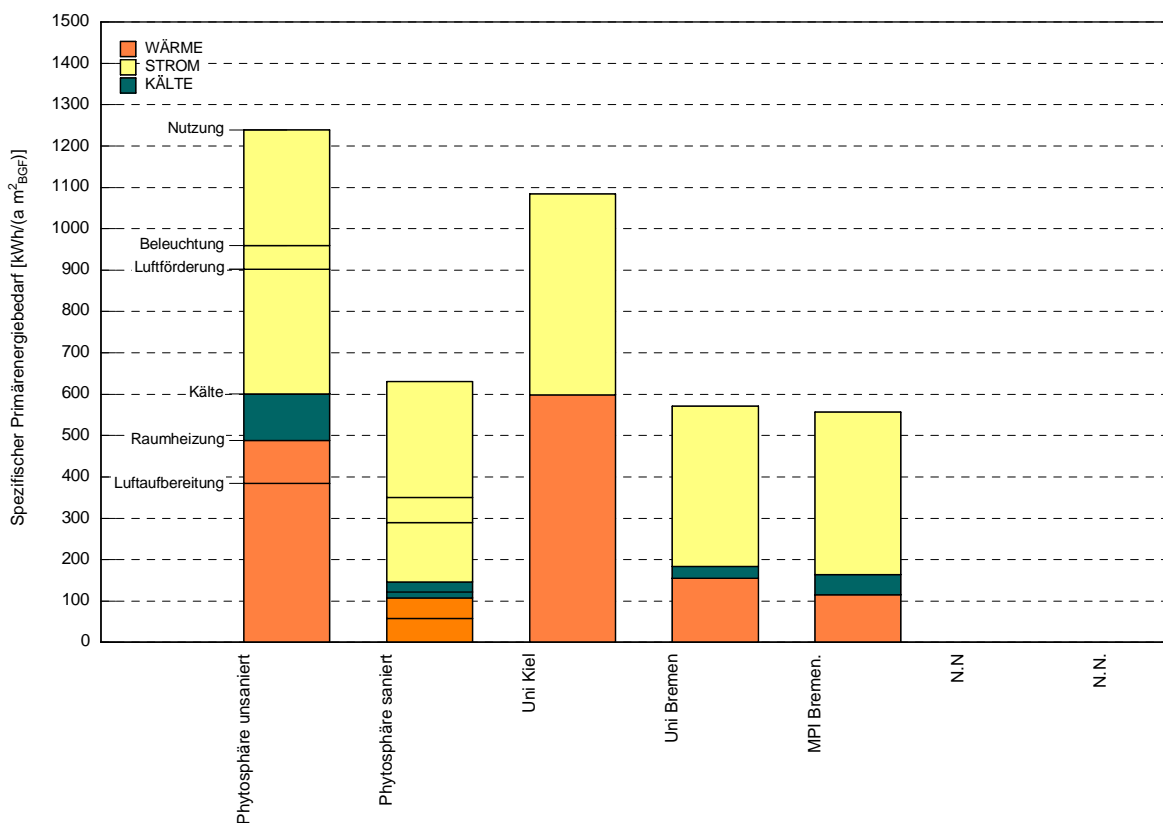


Bild 2–7: Kennwerte des spezifischen Energieverbrauchs von Laborgebäuden

Bezeichnung	Beschreibung	
Phytosphäre	Baujahr: BGF: Anteil Chemielabore an HNF: Außenluftvolumenstrom:	Forschungszentrum Jülich, Institut Phytosphäre (ALT) 1967 3.762 m <sup>2</sup> 35 % 45.382 m <sup>3</sup> /h
Phytosphäre sanierter Zustand	Baujahr: BGF: Anteil Chemielabore an HNF: Außenluftvolumenstrom:	Forschungszentrum Jülich, Institut Phytosphäre (ALT) 2003 (Fertistellung der Sanierung) 3.762 m <sup>2</sup> 32 % 39.753 m <sup>3</sup> /h
Uni Kiel	Baujahr: BGF: Anteil Chemielabore an HNF: Außenluftvolumenstrom:	Institut für Anorganische Chemie 1995 3.480 m <sup>2</sup> 80 % 78.000 m <sup>3</sup> /h
Uni Bremen	Baujahr: BGF: Anteil Chemielabore an HNF: Außenluftvolumenstrom:	Institut für Umweltforschung und -technologie 1995 11.201 m <sup>2</sup> 46 % 81.680 m <sup>3</sup> /h
MPI Bremen	Baujahr: BGF: Anteil Chemielabore an HNF: Außenluftvolumenstrom:	Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie 1996 12.145 m <sup>2</sup> 37 % 65.800 m <sup>3</sup> /h

Tabelle 2–4: Ausgewertete Laborgebäude

## 2.3 Energieeinsparpotenziale durch Sanierung

### 2.3.1 Anlass und Ziel einer energieeffizienten Sanierung

Der Begriff Sanierung umfasst im Zusammenhang mit Bauwerken alle baulichen Maßnahmen zur Instandsetzung und Modernisierung. Mit energetischer bzw. energieeffizienter Sanierung verbindet man begrifflich die Anhebung der Energieeffizienz älterer Gebäude auf das vergleichbare Neubauniveau.

Der Auslöser für Sanierungen ist in der Regel eine Kombination der nachfolgenden Faktoren, die fallweise unterschiedlich gewichtet sein können.

- **Verschleiß**
- Schäden am Gebäude
- Ausfall von technischen Anlagen
- überhöhte Wartungs- und Instandhaltungskosten
- **Nutzungsanforderungen**
- Veränderung der Mitarbeiterzahlen
- Umnutzung von Gebäudeteilen, z. B. Bedarf an zusätzlichen Büro- oder Laborkapazitäten, Lagerflächen, Klimakammern u. ä.
- Bedarf an stärkerer Flexibilisierung der Nutzflächen
- Wunsch nach architektonischen Verbesserungen
- **Gesundheits- und Arbeitsschutz**
- Mängel im baulichen Brandschutz
- Notwendigkeit von Entrauchungsanlagen
- unzureichende Lüftung, Schadstofffassung
- Asbestfunde oder sonstige Schadstoffe (PCB, KMF..)
- **Energieeffizienz**
- hohe Energiekosten und/oder zusätzlicher Leistungsbedarf



Eine Auswertung von abgeschlossenen Grundsanierungen durch Hochschulinformationssysteme (HIS) [2-1] liefert Bandbreiten von spezifischen Investitionskosten. Unter Berücksichtigung eines Preissteigerungsindex von jährlich 2 % ergibt sich für das Jahr 2005 eine Spanne von 1.100 – 3.300 EUR/m<sup>2</sup> bezogen auf die Bruttogeschossflächen.

Legt man zugrunde,

- dass unter günstigen Umständen Energieeinsparungen von 600 kWh/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> zu erzielen sind,
- dass der durchschnittliche Energiepreis derzeit ca. 70 EUR/MWh<sub>pr</sub> beträgt,

dann errechnet sich ein Potenzial für die Energiekostenreduzierungen von ca. 40 EUR/ m<sup>2</sup><sub>BGF</sub>.

**Trotz individuell möglicher Schwankungen wird deutlich, dass bei betriebswirtschaftlicher Betrachtungsweise die Energieeinsparung im Regelfall nicht der alleinige Auslöser einer Grundsanierung sein kann.**

Die spezifischen Investitionskosten für eine Grundsanierung nähern sich teilweise den Kostenrichtwerten für Institutsneubauten. Im 32. Rahmenplan für den Hochschulbau nach dem Hochschulbauförderungsgesetz werden Kostenrichtwerte für Chemieinstitute genannt. Unter Berücksichtigung der Preissteigerung und mit Bezug auf die Bruttogeschossfläche (BGF) dürften sich Kosten von ca. 3.100 EUR/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> ergeben. Bei einem reinen Kostenvergleich müssen zugunsten der Sanierung die Abbruchkosten, die längere Bauzeit und die notwendigen längerfristigen Interimsmaßnahmen berücksichtigt werden.

Bei der Entscheidung für eine Grundsanierung müssen die baulichen Voraussetzungen des Bestandsgebäudes auf Zukunftsfähigkeit untersucht werden. Wesentliche Einflussgrößen sind:

- die Grundrissorganisation mit Gebäudetiefen (Zweibund, Dreibund), Stützen und tragenden Wänden
- das Fassadenraster als Grundlage für die Raumaufteilung
- die Erschließungskerne, Fluchtwege

- die Schachtanordnung für die Installation raumluftechnischer Anlagen.

### **2.3.2 Logistische Projektdurchführung**

In Abhängigkeit des Gebäudezustandes und der verfügbaren Investitionsmittel werden häufig Teilmodernisierungen einzelner Systeme oder Komponenten durchgeführt. Diese können z. B. eine Modernisierung der Wärmeerzeuger, der Lüftungszentralen oder Beleuchtung beinhalten.

Häufig können dadurch die vorhandenen Energiesparpotenziale nicht wie bei einer umfassenden Sanierung ausgeschöpft werden, da Systemwechsel wie z. B. von dezentraler auf zentrale Ablufführung nicht möglich sind. Unter ungünstigen Umständen werden sogar die vorhandenen systembedingten Nachteile für längere Zeiträume konserviert.

Ein weiteres Hemmnis für integrale Sanierungskonzepte kann die Notwendigkeit zur Sanierung während des laufenden Betriebes sein. Durch den Zwang, die notwendigen Gebäudefunktionen während der Sanierung aufrechtzuerhalten, können konzeptionelle Erneuerungen behindert werden.

Idealerweise sollte für ein älteres Gebäude ein langfristiges Sanierungskonzept erstellt werden, das notwendige vorgezogene Teilmodernisierungen oder das Arbeiten in Bauabschnitten ebenso berücksichtigt, wie Interimsmaßnahmen, Umschlüsse oder Provisorien zur Gewährleistung einer durchgängigen Gebäudenutzung. Am Ende des Sanierungskonzeptes sollte aber trotz allem eine energetisch optimale Systemlösung für das Gebäude und die technischen Anlagen erzielt werden.

### **2.3.3 Flächennutzung / Raumprogramm**

Bei einer integralen Planung finden energetische Aspekte bereits in den ersten Planungsschritten Beachtung. Ein Beispiel hierfür ist die Aufstellung eines Raumprogramms und die architektonische Umsetzung. Erforderlich ist die frühzeitige Einbeziehung der späteren Nutzer. Dabei hat es sich bewährt, auf Nutzerseite einen oder mehrere „Sanierungsbeauftragte“ zu benennen, die von der Planung bis zur Übergabe als kompetente Ansprechpartner zur Verfügung stehen.

Aus energetischer Sicht gilt es bei der Entwicklung des Raumprogramms der planerischen Umsetzung die nachfolgenden Aspekte zu berücksichtigen.

### **Klassifizierung der Raumnutzung**

Als Grundlage einer bedarfsgerechten Technikplanung sollten Raumklassen gebildet werden, für die differenzierte Nutzungsanforderungen definiert werden. Gerade im Forschungsbereich schwinden die Grenzen zwischen klassischer Labortätigkeit, Büro- und Rechnerarbeit. Wenn man in jedem Raum zu jeder Zeit jede Tätigkeit ausüben wollte, hätte dies erhebliche energetische Konsequenzen. Umgekehrt kann eine differenzierte Raumklassifizierung bei der Sanierung ein erhebliches Energieeinsparpotenzial mobilisieren.

Die raumweisen Nutzungsanforderungen setzen sich zusammen aus:

- Anforderungen an die Raumklimaparameter (Temperatur, Feuchte, zulässige Toleranzen)
- Anforderungen an die Außenluftwechsel (mechanische Lüftung, Quellabsaugungen)
- Anforderungen an die Luftreinhaltung (Reinheitsklassen)
- Anforderungen an die Kühllastabfuhr
- Anforderungen an die Beleuchtungsstärken.

Beispiele für Raumklassen, die auf den unterschiedlichen Nutzungsanforderungen basieren können sein:

- Büroräume (natürliche Lüftung / keine Kühlung)
- physikalische Messräume (natürliche Lüftung / Kühlung)
- biologische Labore (mechanische Lüftung mit reduzierten Luftwechseln)
- chemische Labore (mechanische Lüftung mit Luftwechseln nach DIN 1946 Teil 7 [2-8]).

Die praktische Umsetzung einer differenzierten Raumklassifizierung ist in erster Linie ein organisatorisches Problem, das durch Mitarbeiterschulung, Arbeitsanweisungen, Beschilderungen und Warnsysteme umzusetzen ist.

Mit der Definition von Nutzungsanforderungen sollten möglichst realistische Zeitprofile erstellt werden, die Gleichzeitigkeitsfaktoren berücksichtigen. Diese betreffen vor allem:

- die Anwesenheit
- die Nutzung von Laborabzügen
- die inneren Wärmequellen.

Für die Dimensionierung der technischen Anlagen wurden in der Vergangenheit immer nur Maximalwerte gefordert. Die Erfahrungen zeigen, dass die Nutzer sich nur sehr schwer auf Gleichzeitigkeitsfaktoren u. ä. festlegen lassen. Vielfach spielt sicher die Sorge mit, dass Anlagen möglicherweise zu knapp dimensioniert werden.

Energiesparende Technologien beruhen häufig darauf, eine bessere Anpassung der Beleuchtung, Belüftung, Kühlung an den Teillastfall zu ermöglichen. Beispiele hierzu werden in den nachfolgenden Abschnitten behandelt.

### **Flexibilisierung der Anlagentechnik**

Die Akzeptanz einer Raumklassifizierung mit entsprechend bedarfsgerecht zugeschnittener Technik wird dadurch verbessert, dass die Raumausstattung flexibel geplant wird. Dadurch kann bei veränderten Nutzungen ein Wechsel der Raumklassifizierung erzielt werden. D. h. wenn zusätzliche Chemielaborflächen benötigt werden, können jederzeit z. B. biologische Labore mit entsprechenden Technikanpassungen umklassifiziert werden. Neben der Akzeptanzverbesserung bedeutet dies umgekehrt aber auch, dass auf längere Sicht Potenzial für Energieeinsparungen entsteht.

Die Flexibilisierung der Anlagentechnik gewinnt auch dann an Bedeutung, wenn die Arbeitszeiten flexibler werden. Beispiele sind Gleitzeit oder Projektarbeit an Wochenenden. Die Technik sollte von vornherein berücksichtigen, dass auch unter diesen veränderten Bedingungen ein energiesparender Betrieb des Gebäudes möglich ist.

## **Optimierung der Raumanordnung in Hinblick auf passive Solarenergienutzung**

Bei einem stark verbesserten baulichen Wärmeschutz verliert die Raumheizung für die Gesamtenergiebilanz an Bedeutung. Gleichzeitig steigt der Energiebedarf für die Raumkühlung, zumal die Labore immer stärker mit elektrischen Geräten ausgestattet werden und daher die internen Wärmegewinne zunehmen. Der Wärmestrom von Innen nach Außen wird durch die Wärmedämmung behindert.

Bei der Raumanordnung kann diesen Aspekten Rechnung getragen werden, indem Nutzungen mit hohen internen Wärmegewinnen tendenziell an der Nordseite eingeplant werden. Im Heizfall können die Wärmegewinne besser genutzt werden, der Kühlfall tritt dagegen später ein. Räume mit geringen internen Wärmegewinnen sollten tendenziell eher an der Südseite eingeplant werden, um von der passiven Solarenergienutzung stärker profitieren zu können. Der Kühlfall kann durch Sonnenschutzmaßnahmen vermieden werden.

## **Minimierung der Versorgungswege**

Eine Minimierung der Versorgungswege wirkt sich insbesondere bei den raumlufttechnischen Anlagen auf den Energiebedarf für die Luftförderung aus. Aus Gründen der Wärmerückgewinnung ist eine Zentralisierung der Lüftungsanlagen energetisch sinnvoll. Räume mit gleichen Klimaanforderungen sollten möglichst konzentriert angeordnet werden, um die Kanalwege zu verkürzen.

### **2.3.4 Gebäudehülle**

Die Qualität der Gebäudehülle beeinflusst die Energiebilanz eines Laborgebäudes auf vielfältige Weise. Dabei können die Anforderungen des winterlichen und sommerlichen Wärmeschutzes sowie der Tageslichtnutzung teils widersprüchlich sein. Dies führt zu einer Optimierungsaufgabe (Integrale Planung), die durch den Einsatz der dynamischen Gebäudesimulation gelöst werden kann. Optimale Gesamtlösungen werden häufig dann erreicht, wenn die energetischen Eigenschaften der Hülle (z. B. hinsichtlich der solaren Transparenz, Luftdichtheit) veränderlich gestaltet werden kann.

Folgende Themen werden berührt:

- die Transmissionswärmeverluste
- die Luftdichtheit des Gebäudes
- die solare Energiedurchlässigkeit
- die Tageslichtdurchlässigkeit
- die Wärmespeicherfähigkeit.

### **Transmissionswärmeverluste**

Gegenüber älteren Bestandsgebäuden führt die Erneuerung der Wärmedämmung zu erheblichen Verbesserungen der Energieeffizienz. Für die Bestimmung des unsanierten Zustandes bieten sich Materialproben oder der Vergleich mit Gebäudetypologien an. Der Bestand beheizter Nichtwohngebäude wird beispielsweise in [2-18] nach energetischen Kriterien typologisiert.

In der Energieeinsparverordnung 2004 werden in bestehenden Gebäuden bezüglich des Wärmedurchgangskoeffizienten U folgende Forderungen bei Ersatz oder erstmaligem Einbau erhoben (Auszug):

- Ersatz oder erstmaliger Einbau von Außenwänden:  $\leq 0,45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Erneuerung von Außenwänden:  $\leq 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Erneuerung von Flachdächern:  $\leq 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Ersatz von Fenstern:  $\leq 2,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Ersatz von Verglasungen:  $\leq 1,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Zugängliche oberste Geschossdecken zu unbeheizten Räumen sind nach EnEV bis zum 31.12.2006 nachträglich zu dämmen.

Die Wärmedämmung auf Flachdächern ist in der Regel einfach zu realisieren. Bei Einsatz von Dämmstoffen mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$  ist der erforderliche U-Wert bei einer Dämmstoffstärke von 12 – 14 cm realisierbar.

Bei der Außenwanddämmung unterscheidet man zwischen Innen- und Außendämmung. Die Außendämmung ist bezüglich der Tauwasserbildung unproblematisch. Überwiegend werden dabei hinterlüftete Fassadenkonstruktionen oder Wärmedämmverbundsysteme eingesetzt.

Eine Innendämmung sollte nur in Betracht gezogen werden, wenn besondere architektonische Gründe, eine Außendämmung nicht zulassen. Hierbei kann es zu einer Wasserdampfkondensation in der Wandkonstruktion kommen, da diese sich auf der „kalten“ Seite der Dämmung befindet. Daher sind raumseitig angeordnete Wasserdampfdiffusionssperren notwendig. Entsprechende Nachweise sind nach den Regeln der Technik zu führen.

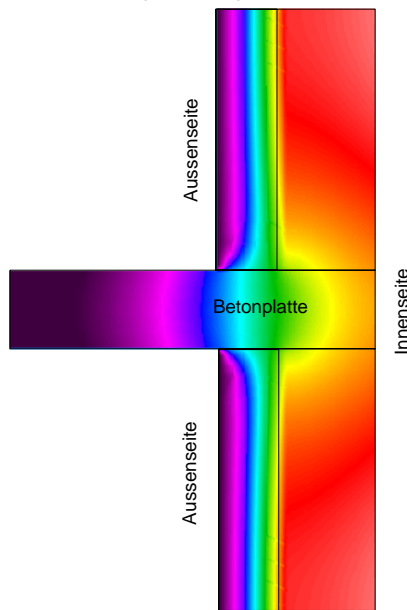
Als weitere Maßnahmen zur Minderung der Transmissionswärmeverluste bietet sich die Decke zu unbeheizten Kellern oder die Perimeterdämmung am Erdreich anliegender Außenwände an.

Die Wärmedurchgangskoeffizienten von Wandbauteilen beziehen sich auf eine rein eindimensionale Betrachtung von Bauteilen. Zwei- oder dreidimensionale Effekte der Wärmeleitung von Bauteilen werden als „Wärmebrücken“ bezeichnet. Man unterscheidet in geometrische und konstruktive Wärmebrücken.

Geometrische Wärmebrücken werden durch Vorsprünge, Ecken oder ähnliche Details gebildet, die dazu führen, dass der inneren Oberfläche eine größere wärmeübertragende Außenfläche gegenübersteht.

Konstruktive Wärmebrücken entstehen dann, wenn wärmeleitende Materialien punkt- oder linienförmig die Wärmedämmung durchdringen.

Beispiel:  
Betonplatte durchdringt außenliegende Wärmedämmung



Geometrische Wärmebrücke einer Wandecke

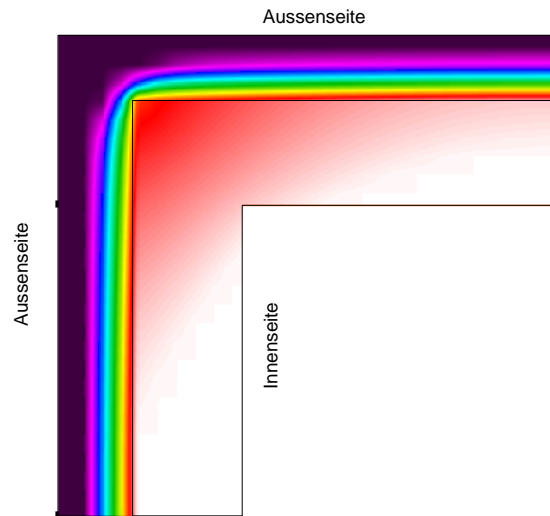


Bild 2-8: Temperaturfeld einer konstruktiven (links) und einer geometrischen (rechts) Wärmebrücke

Wärmebrücken sollten aus Gründen:

- der Energieeinsparung
- der Vermeidung von Bauschäden (z. B. Schimmelpilzbildung)

weitgehend minimiert und ausreichend gedämmt werden.

Fenster stellen hinsichtlich der Transmissionswärmeverluste auch nach einer Sanierung die Schwachstellen jeder Gebäudehülle dar. Durch technische Weiterentwicklungen konnten die U-Werte von Wärmeschutzverglasungen gegenüber älteren Isoliergläsern jedoch deutlich herabgesetzt werden.

Dies war möglich durch:

- den Einsatz von Edelgasfüllungen (z. B. Argon)
- Beschichtungen der Glasoberflächen zur Verringerung des langwelligen Emmissionsgrades.

Gegenüber dem Standard-Zweischeibenisolierglas mit einem  $U_G$ -Wert von 2,5 – 3,5  $W/(m^2K)$  erzielen moderne Zweischeibenwärmeschutzgläser  $U_G$ -Wert von 1,0 – 1,4  $W/(m^2K)$ .



Entsprechend der neuen Nomenklatur aus der europäischen Normung setzt sich der Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters  $U_W$  aus den Bestandteilen Glas  $U_G$ , Rahmen  $U_F$  und dem längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten des Randverbundes zusammen.

Als Anhaltswerte für standardmäßige Fensterrahmen können herangezogen werden:

- Holzrahmen:  $U_F = 1,8 \dots 2,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Kunststoffrahmen:  $U_F = 2,0 \dots 2,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Metallrahmen, thermisch entkoppelt:  $U_F = 1,9 \dots 3,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Mit diesen Standardkomponenten sind Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_W$  von  $1,30 \dots 1,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  erzielbar. Kleinteilige oder mehrflügelige Fenster schneiden wegen des großen Rahmenanteils dabei im Vergleich ungünstiger ab.

Deutlich niedrigere Werte bis zu  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  lassen sich mit Komponenten aus dem Passivhausbau erzielen, wenn Dreifachverglasungen, kerngedämmte Rahmenprofile und ein verbesserter Glasrandverbund eingesetzt werden.

Neben den erheblichen energiesparenden Effekten bietet verbesserter Wärmeschutz – hier insbesondere bei Fenstern – auch wärmephysiologische Vorteile. Kaltluftabfall, Fugendurchlässigkeit und „Kältestrahlung“ können deutlich herabgesetzt werden.

Kriterien für die Auswahl von Verglasungen sind weiterhin der Gesamtenergiedurchlassgrad  $g$  und der Tageslichttransmissionsgrad  $\tau_L$ . Während  $\tau_L$  eine reine Strahlungsgröße ist, bezieht der  $g$ -Wert den sekundären Wärmedurchgang mit ein, der aus der solaren Absorption an der Scheibe resultiert. Wesentlicher Unterschied der beiden Größen ist jedoch der Wellenlängenbereich der solaren Strahlung. Der  $g$ -Wert nimmt Bezug auf die gesamte Energieeinstrahlung,  $\tau_L$  beschränkt sich auf den sichtbaren Bereich der Solarstrahlung.

Durch selektiv wirkende Glasbeschichtungsverfahren ist es gelungen, die beiden Faktoren von einander zu entkoppeln. So sind heute Sonnenschutzgläser auch mit hoher Tageslichtdurchlässigkeit verfügbar.

Generell haben Sonnenschutzgläser ( $g < 0,45$ ) den Nachteil, dass der Solarwärmeeintrag auch im Winter verringert wird. Die hohe Wirksamkeit von beweglichen Sonnenschutzanlagen kann ebenfalls nicht erzielt werden. Die Tageslichtdurchlässigkeit ist trotz selektiver Beschichtungen geringer. Sonnenschutzgläser bieten dagegen den Vorteil, dass sie unempfindlich gegen Wind und Fehlbedienung sind.

Sonnenschutzanlagen dienen zur Vermeidung von Überhitzung in nicht klimatisierten Räumen bzw. zur Energieeinsparung in klimatisierten Räumen. Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Wirkung in äußere, innere und zwischen den Scheiben liegende Konstruktionen. Innen liegender Sonnenschutz hat den Nachteil, dass die absorbierte Strahlung konvektiv an die Raumluft abgegeben wird und die Reflexion aus dem Raum durch die Scheiben behindert wird. Die Wirkung hängt daher von der Art der Verglasung ab und kann nicht als konstant angesehen werden. Die Abminderungsfaktoren  $F_C$  liegen im Bereich 0,40 (nur bei Wärmeschutzverglasung) bis 0,80 (bei Sonnenschutzverglasung). Außen liegender beweglicher Sonnenschutz ist vorzuziehen. Es lassen sich Abminderungsfaktoren  $F_C$  im Bereich 0,12 .. 0,25 erzielen.

### **Luftdichtheit**

Der Luftdichtheit von Gebäuden wurde in der Vergangenheit kaum Aufmerksamkeit gewidmet, sodass ältere Gebäude häufig Mängel aufweisen. Undichtigkeiten in der Gebäudehülle führen zu erhöhten Lüftungswärmeverlusten und können speziell bei Laboratorien die Druckhaltung der Räume beeinträchtigen und damit zu einem unkontrollierten Schadstofftransport führen.

Ursachen für Undichtigkeiten können sein:

- veraltete und verschlissene Fenster und Außentüren
- Mängel in konstruktiven Details wie Anschlussfugen, Rollladenkästen, Rohr- und Kabeldurchführungen u. ä..

Verbesserungen lassen sich durch den Ersatz von Fenster und Türen sowie eine permanente Qualitätssicherung während der Bauausführung erzielen. Der Nachweis der Luftdichtheit kann mit einer messtechnischen Prüfung, dem so genannten „Blower-Door-Test“, vorgenommen werden.

## **Wärmespeicherfähigkeit**

Die Wärmespeicherfähigkeit kann aus zwei Gründen die energetische Qualität von Räumen verbessern.

Im Heizfall können Wärmegewinne, die durch solare Einstrahlung und die innere Nutzung in erster Linie während der Hauptnutzungszeit anfallen, durch die Baukonstruktion gespeichert werden und während der Nebenbetriebszeit genutzt werden. Der „Ausnutzungsgrad“ (Definition nach DIN V 18599) der Wärmegewinne steigt mit zunehmender Wärmespeicherfähigkeit.

Im Sommerfall trägt eine hohe Wärmespeicherfähigkeit dazu bei, Überhitzungen von Räumen zu dämpfen und Klimatisierung zu vermeiden. Durch spezielle Konzepte, wie die intensive Sommernachtlüftung, kann die Wirksamkeit der Speicherfähigkeit verbessert werden.

Die Wärmespeicherfähigkeit eines Raumes wird bestimmt durch die Oberfläche, die Dichte und spezifische Wärmekapazität der raumseitigen Baustoffe. Wegen des Einflusses der Dichte wird die Wärmespeicherfähigkeit auch als „Bauschwere“ charakterisiert.

Vereinfachend wird für die Quantifizierung der Wärmespeicherfähigkeit von Räumen die sogenannte „10 cm-Regel“ angewendet, wonach nur die ersten raumseitigen 10 cm einer Wand in die Bewertung einbezogen werden. Raumseitig aufgebrachte Dämmungen und Verkleidungen können die Speicherwirkung massiver Baustoffe stark beeinträchtigen.

Als Maßnahmen zur Verbesserung der Wärmespeicherfähigkeit im Rahmen von Laborsanierungen bieten sich an:

- der Verzicht auf abgehängte Decken
- die Errichtung von Trennwänden in Massivbauweise, z. B. Kalksandsteinmauerwerk.

## 2.3.5 Raumluftechnik

### Thermische Raumkonditionen

Die Definition von Raumklimaparametern in der Vorplanungsphase kann den späteren Energieverbrauch bereits beeinflussen, da hieraus der Umfang der thermodynamischen Luftbehandlungsfunktionen resultiert.

Für die winterlichen Raumtemperaturen von Laborräumen und anderen mechanisch belüfteten Räumen gelten nach DIN 1946 Teil 2 höhere Werte als im allgemeinen Fall für nur beheizte Räume. Danach sollte die Raumluffttemperatur 22 °C nicht unterschreiten. Begründet wird dieses erhöhte Raumtemperatur durch das generell höhere Niveau der Raumlufftgeschwindigkeiten aufgrund der hohen Luftwechsel.

Für die sommerlichen Raumtemperaturen gelten

- die Arbeitsstättenrichtlinie 6, wonach die Raumtemperatur 26 °C nicht überschreiten „soll“
- die DIN 1946 Teil 2 für Räume mit RLT-Anlagen, wonach ein Anstieg der Raumtemperatur auf 26 °C und im Extremfall auf 27 °C möglich ist.

Aus beiden Formulierungen könnte eine Kühlung der Räume bzw. der Zuluft abgeleitet werden.

Dabei ist die Formulierung der Arbeitsstättenrichtlinie 6 in der Fachwelt umstritten, da eine strikte Einhaltung des 26 °C-Kriteriums eine Kühlung nahezu aller in üblicher Bauweise errichteter Arbeitsräume zur Folge hätte, wogegen das Gebot des Klimaschutzes steht. Vieles spricht dafür, bereits bei durchschnittlichen sommerlichen Witterungen Überschreitungen dieser Grenztemperatur zuzulassen. So wird in den Nachweisen zum sommerlichen Wärmeschutz von Räumen nach DIN 4108 Teil 2 davon ausgegangen, dass eine Überschreitung von Grenztemperaturen während 10 % der jährlichen Nutzungsdauer zumutbar ist. Die Grenztemperatur wird in DIN 4108 Teil 2 differenziert bewertet mit:

- 25 °C für sommerkühle Regionen
- 26 °C für gemäßigte Regionen
- 27 °C für sommerheiße Regionen,

um der Adaption des Menschen an das vorherrschende Außenklima Rechnung zu tragen.

Auf für mechanisch belüftete Nutzungsbereiche, die unter die Anwendung von DIN 1946 Teil 2 fallen, können individuelle Vereinbarungen und Regelungen getroffen werden, die größere Toleranzen bei den sommerlichen Raumtemperaturen zulassen und damit energiesparenden Technologien den Weg ebnen.

Ebenfalls nicht unumstritten sind die Forderungen nach den minimalen Raumluftfeuchten. Aufgrund der hohen Raumluftwechsel in Laborräumen dürfte der Wasserdampfgehalt der Raumluft annähernd dem der Außenluft entsprechen. Die Erwärmung der Außenluft im Winter führt dann zu niedrigen relativen Raumluftfeuchten. DIN 1946 Teil 2 empfiehlt eine Einhaltung von 30 % relativer Feuchte und hält gelegentliche Unterschreitungen für vertretbar.

Hinsichtlich der maximalen Raumluftfeuchten begrenzt DIN 1946 Teil 2 den Behaglichkeitsbereich durch

- die Grenzwerte Wasserdampfgehalt  $< 11,5 \text{ g/kg}$
- relative Luftfeuchte  $< 65 \%$ .

Hier sollte die unregelmäßige Entfeuchtung im Luftkühler gegenüber einer gezielten Entfeuchtung mit verstärkter Taupunktunterschreitung und Nacherwärmung der Luft bevorzugt werden.

Das Be- und Entfeuchten der Luft durch raumluftechnische Anlagen sind insgesamt sehr energieintensive Vorgänge. Erhöhte Anforderungen an die Feuchtekonstanz sollten, wenn unumgänglich, auf einzelne Räume beschränkt werden und dann gegebenenfalls dezentral realisiert werden.

### **Optimierung der Wärmerückgewinnung**

Bedingt durch die hohen Außenluftwechsel, die in Laborräumen aus Gründen des Gesundheits- und Arbeitsschutzes unerlässlich sind, wird der Heizenergiebedarf maßgeblich durch die Lufterwärmung verursacht.

Beispiel:

- Laborraum mit den Abmessungen (BxTxH):  $3,50 \times 5,00 \times 3,50 \text{ m}$

- Fensteranteil an der Fassade: 60 %
- U-Werte für Fenster / Außenwand: 1,60 / 0,40 W/(m<sup>2</sup> K)
- Mindestluftwechsel DIN 1946 Teil 7: 25 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>)
- Temperaturdifferenz Raum – Außenluft: 34 K (22°C / -12 °C)
- Transmissionswärmeverlust Fenster: 400 W
- Transmissionswärmeverlust Außenwand: 167 W
- Lüftungswärmeverlust: 5.058 W

Durch Wärmerückgewinnungsanlagen (Abkürzung: WRG) kann ein Teil der Abluftenthalpie zur Vorwärmung der Außenluft genutzt werden.

Nach VDI 2071 [2-16] lassen sich Wärmerückgewinnungsanlagen hinsichtlich der Übertragbarkeit von Schad- und Geruchsstoffen klassifizieren. Für Laboratorien kommen im Regelfall Systeme in Frage, in denen auch bei Betriebsstörungen oder Defekten keine Schadstoffübertragung möglich ist (Klasse C).

Dies sind kreislaufverbundene Systeme, die aus Luft-Sole-Wärmeübertragern im Zuluft- und Abluftgerät bestehen. Die Wärmeübertragung erfolgt über einen Solekreis als Zwischenmedium, sodass es sich um ein regeneratives System handelt. Prinzipiell wären auch Wärmerohre oder Wärmepumpenanlagen geeignet – deren Einsatzfähigkeit beschränkt sich aber eher auf sehr kleine Anlagen.

Ein Vorteil von kreislaufverbundenen Wärmerückgewinnungsanlagen besteht darin, dass Zuluft- und Abluftanlage räumlich voneinander entkoppelt werden können. Dadurch entstehen mehr konstruktive Freiheitsgrade. In Laborgebäuden werden häufig die Zuluftanlagen im Keller bzw. Erdgeschoss und die Abluftanlagen im Dachbereich angeordnet, um zu gegenläufiger Kanalführung (Schachtflächenminimierung) zu gelangen. Bei günstigen Verhältnissen ist auch eine Nachrüstung von kreislaufverbundenen Wärmerückgewinnungsanlagen in bestehenden Anlagen möglich.

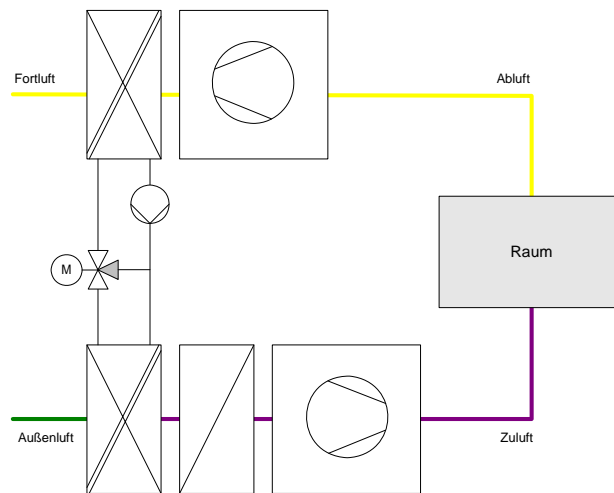


Bild 2–8: Schema eines kreislaufverbundenen Wärmerückgewinners

Die Leistungsregelung kreislaufverbundener Wärmerückgewinner kann über die Umwälzpumpe oder durch das Mischventil erfolgen. Eine unerwünschte Lufterwärmung im Sommer kann durch Abschaltung verhindert werden. Das Mischventil dient auch zum Vereisungsschutz der Fortluftregister, indem die Soletemperatur auf einen Minimalwert begrenzt wird.

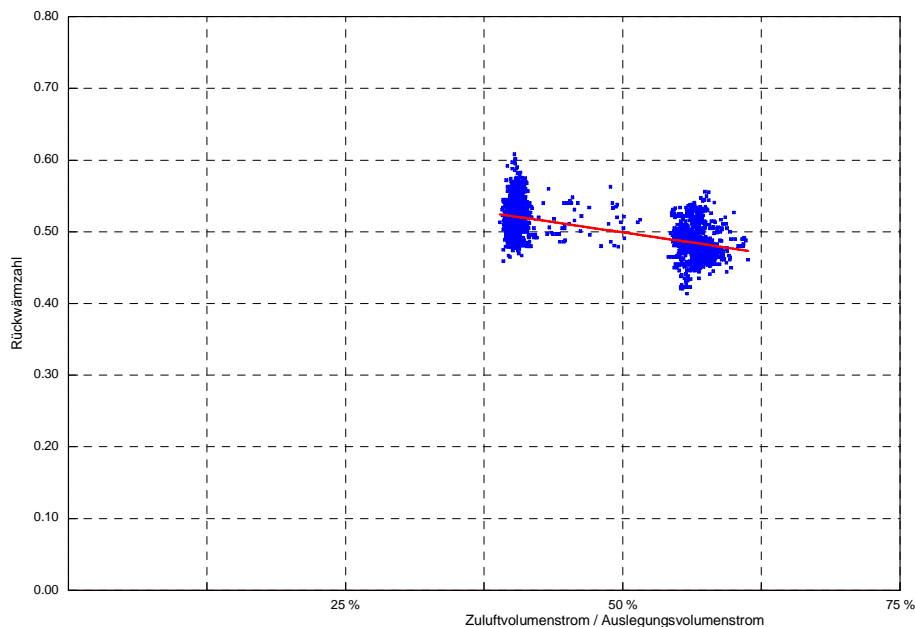
Eine Feuchteübertragung ist systembedingt unmöglich. Bei bestimmten Betriebsverhältnissen kann es jedoch auf der Abluftseite zur Wasserdampfkondensation kommen, wodurch partielle Leistungssteigerungen bzw. eine Nutzung der latenten Abluftenthalpie möglich sind.

Charakteristische Kenngrößen von Wärmerückgewinnungsanlagen sind:

- Rückwärmzahl nach VDI 2071: Verhältnis der erzielbaren Zulufttemperaturdifferenz durch die WRG zur maximal möglichen Temperaturdifferenz. Die Definition ist identisch mit der Definition der in der Wärmetechnik allgemeineren Bezeichnung Betriebscharakteristik.
- Jahresnutzungsgrad: Verhältnis der auf den Zuluftstrom übertragenen jährlichen Wärme durch die WRG zur insgesamt übertragenen Wärme einschließlich Nachheizung.

Rückwärmzahlen sind vom Luftvolumenstrom abhängig. Weichen Zuluft- und Abluftvolumenstrom voneinander ab, treten je nach Bezugsseite unterschiedliche Rückwärmzahlen auf. Sie sollten grundsätzlich für den kondensationsfreien Betriebsfall angegeben, um Vergleichbarkeit und Nachprüfbarkeit zu gewährleisten.

Bei Variabel-Volumenstrom-Anlagen treten gegenläufige Effekte auf. Sinkt der Volumenstrom, steht die wärmeübertragende Fläche in einem günstigeren Verhältnis zum Luftstrom. Gleichzeitig verschlechtern sich jedoch die konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten. Die Erfahrungen zeigen, dass die Luftvolumenstromabsenkungen nur zu geringen Verbesserungen der Rückwärmzahl führen.



*Bild 2–9: Messergebnisse aus dem Projekt Phytosphäre: Rückwärmzahl als Funktion des Luftvolumenstroms*

Der Jahresnutzungsgrad kann durch Berechnung oder durch Messung an ausgeführten Anlagen bestimmt werden. Für die Berechnung bieten sich mehrere Verfahren mit unterschiedlichem Genauigkeitsanspruch an, z. B. nach DIN V 18599-3, VDI 2071, VDI 2067-21 oder Simulationsrechnungen. Derartige Berechnungen bilden auch die Grundlage für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen.

Wenn die Zuluft mit einer Temperatur unterhalb der Ablufttemperatur zugeführt wird, erzielt man Jahresnutzungsgrade, die höher sind als die Rückwärmzahlen. Da Rückwärmzahlen einfacher messtechnisch nachprüfbar sind, sollten sie zur Grundlage von Ausschreibungen oder Garantievereinbarungen verwendet werden.



Gut wärmeleitende Rippenrohrkonstruktion und eine optimale Medienführung im Gegenstrom sind angesichts der geringen Temperaturdifferenzen die Voraussetzung für eine Systemoptimierung. Trotzdem sind für sehr hohe Rückwärmzahlen entsprechend große wärmeübertragende Oberflächen notwendig, die dann auch zu einer Erhöhung der luft- und wasserseitigen Druckverluste führen. Die Nettoenergieeinsparung ergibt sich aus der Differenz des zusätzlichen Stromaufwandes für Ventilatoren (in der Regel ganzjährig) sowie Umwälzpumpen (Sole) und dem erzielbaren Wärmehöchstgewinn. Dabei können sich ausgeprägte Optima herausbilden. So wäre für das in Bild 2–10 dargestellte Beispiel, hier handelt es sich um einen Anwendungsfall mit sehr hohen internen Kühllasten, eine Rückwärmzahl > 70 % rein energetisch nicht zu vertreten. Das betriebswirtschaftliche Optimum, in dessen Ermittlung auch die Investitionskosten einfließen, würde darunter liegen.

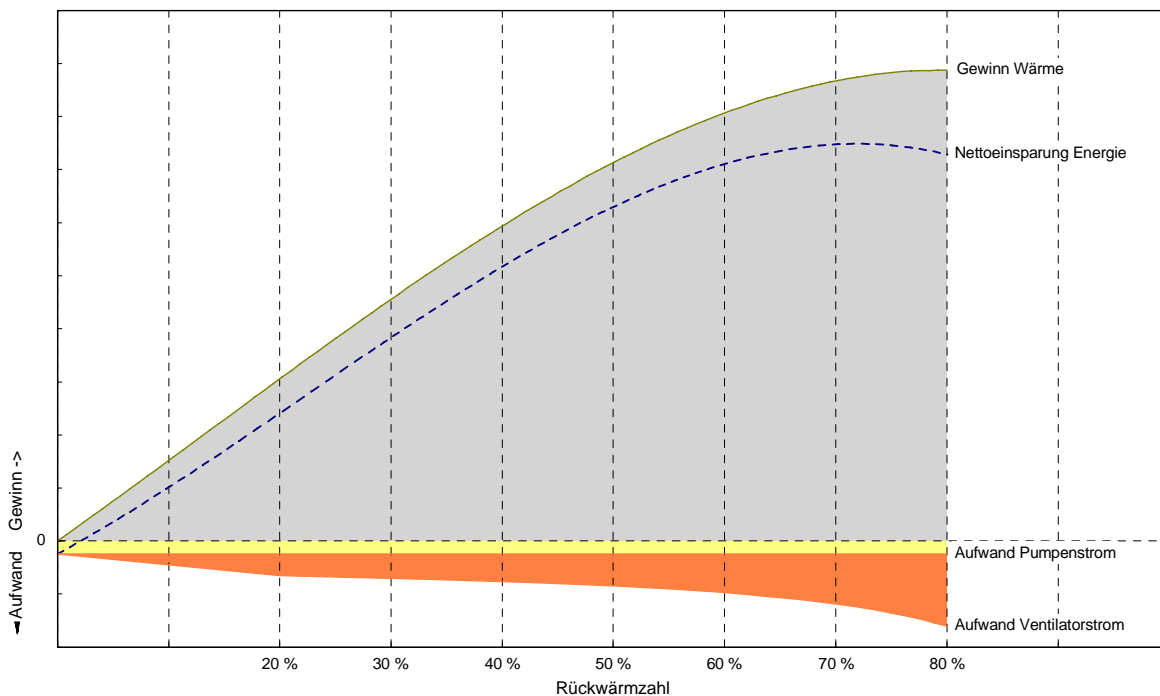


Bild 2–10: Beispiel für eine energetische Optimierung der Rückwärmzahl

### Minimierung der Druckverluste

Berücksichtigt man, dass durchaus 30 – 50 % des Primärenergiebedarfs bzw. der Energiekosten von Laborgebäuden auf die Luftförderung durch Ventilatoren entfallen, kommt deren Optimierung höchste Bedeutung zu.

Die elektrische Ventilatorleistung ist proportional dem Produkt aus gefördertem Luftvolumenstrom und der Druckerhöhung zur Überwindung der Reibungswiderstände. Die Zielstellung muss daher lauten, die Reibungsverluste des gesamten Kanalnetzes zu minimieren.

Dem Erreichen dieses Zieles müssen sich bereits die Aufteilung der RLT-Anlagen und die Anordnung der Lüftungszentralen im Gebäude in Hinblick auf möglichst kurze Leitungswege unterordnen.

Liegen die Leitungswege fest, kommt es darauf an, die Dimensionierung so zu gestalten, dass die Luftgeschwindigkeiten in Kanälen und Einbauteilen niedrig gehalten werden können. Der Zusammenhang zwischen der Luftgeschwindigkeit und dem Druckverlust ist im Regelfall quadratisch, sodass sich ein Zusammenhang zwischen Energiebedarf und Luftgeschwindigkeit in der dritten Potenz ergibt. Lassen sich beispielsweise die Luftgeschwindigkeiten generell um 20 % absenken, hätte dies in erster Näherung eine Reduzierung des Strombedarfs um 49 % zur Folge.

Das Hemmnis für energetisch günstig dimensionierte Lüftungsanlagen bildet häufig der zur Verfügung stehende Platz in Schächten, Zwischendecken und Lüftungszentralen. Dieser Platz ist bei Sanierungsmaßnahmen oft weitgehend vorgegeben. Lösungsmöglichkeiten können darin bestehen, z. B. Dachflächen für die Aufstellung von Lüftungsgeräten zu nutzen.

Erfahrungsgemäß entfallen auf das reine Kanalsystem nur ca. 20 – 40 % der Gesamtdruckverluste einer Anlage, wobei hier eine Aufteilung auf gerade Kanal- und Rohrstrecken sowie auf Formstücke und Klappen als Einzelwiderstände (Richtwert 50 % : 50 %) zu sehen ist.

Bei den Endkomponenten wie Volumenstromreglern, Luftdurchlässen, Induktionsgeräten ist der Gestaltungsspielraum gering, da einerseits bestimmte Vordrücke für die Funktion notwendig sind, andererseits aufgrund der Geräuscherzeugung bereits enge Grenzen bei der Auslegung gesetzt sind.

Mit der Dimensionierung und der strömungsgünstigen Konstruktion von Lüftungszentralgeräten bestehen erfahrungsgemäß wirksame Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz. Bis zu 50 % der Druckverluste einer Lüftungsanlage können in den Zentralgeräten an Klappen, Filtern, Umlenkungen, Wärmeübertragern oder Schalldämpfern auftreten. Als Beurteilungskriterium für die Energieeffizienz können die rechnerischen mittleren Luftgeschwindigkeiten, bezogen auf die innere Querschnittsfläche herangezogen werden. Energieeffizient geplante Geräte erreichen Luftgeschwindigkeiten unter 2 m/s. Üblich ist ein Bereich von 2 – 3 m/s.

Die reinen Investitionsmehrkosten für vergrößerte Gerätequerschnitte lassen sich im Regelfall in Zeiträumen amortisieren (4 - 6 Jahre), die deutlich unterhalb der Lebensdauer (ca. 25 Jahre) dieser Geräte liegen.

### **Ventilatorwirkungsgrade**

Selbst bei unveränderten äußeren Randbedingungen lässt sich bei einer Sanierung der Strombedarf für die Luftförderung senken, indem die Effizienz der Ventilatoren verbessert wird. Der Gesamtwirkungsgrad der Luftförderung setzt sich aus den Teilwirkungsgraden des Ventilators im Einbauzustand, der Kraftübertragung und des Elektromotors zusammen.

Ventilatorwirkungsgrade lassen sich verbessern durch

- die Bauform des Ventilators, z. B. Ersatz von Radialventilatoren mit vorwärts gekrümmten Schaufeln durch Hochleistungsventilatoren mit rückwärts gekrümmten Schaufeln
- die optimale Abstimmung von Ventilator- und Kanalnetzkenlinie mit dem Ziel der Wirkungsgradmaximierung
- den strömungsgünstigen Einbau des Ventilators in das Gerät.

Beim Kraftübertragungssystem unterscheidet man zwischen

- Keilriemenantrieb
- Flachriemenantrieb
- (verlustfreiem) Direktantrieb.

Beim Übergang von Keilriemen auf Flachriemen lassen sich bereits 2-4 % Wirkungsgradverbesserung erzielen.

Drehstrom-Asynchronmotore haben je nach Effizienzklasse eine Bandbreite im Wirkungsgrad von bis zu  $\pm 1,5$  %. In kleineren Leistungsbereichen können durch den Einsatz von EC-Motoren (elektronisch kommutierte Gleichstrommotoren) bis zu 10 % Wirkungsgradsteigerung erzielt werden.

In der Summe dieser Maßnahmen können gegenüber ineffizienten Bestandsanlagen teilweise 10 - 30 % Energieeinsparung erzielt werden, ohne die Anlage komplett zu erneuern.

### **Leistungsregelung von Ventilatoren**

Für die bedarfsgerechte Lüftung von Laboratorien ist eine Leistungsregelung der Ventilatoren erforderlich. Die unterschiedlichen Regelungsverfahren im Bereich größerer Leistungen sind:

- Drosselregelung (geringer Regelbereich)
- Drallregelung durch verstellbare Schaufeln vor dem Laufrad
- Schaufelverstellung (nur Axialventilatoren)
- Drehzahlregelung.

Mit der heute nahezu ausschließlich angewendeten Drehzahlregelung lassen sich die Teillastwirkungsgrade der Ventilatoren gegenüber den anderen Regelungsverfahren erheblich verbessern.

Für die Drehzahlregelung von Elektromotoren gibt es wiederum unterschiedliche Verfahren wie:

- Phasenanschnittsteuerung
- Nebenschlussmotor
- Frequenzumformer,

wobei sich der Einsatz von Frequenzumformern in den letzten Jahren aufgrund des optimalen Preis-Leistungs-Verhältnisses durchgesetzt hat.

## Variable Volumenströme

In der Raumluftechnik wird unterschieden in Konstant-Volumenstrom-Systeme und Variabel-Volumenstrom-Systeme. Die Unterscheidung ist deshalb eingeführt worden, weil Variabel-Volumenstrom-Systeme grundsätzlich anders konzipiert sein müssen. Die Regelung des Ventilators allein reicht für den variablen Betrieb einer Anlage im Regelfall nicht aus.

Das Energieeinsparpotenzial durch Luftvolumenstromabsenkung ist beträchtlich, da nicht nur die Luftförderung sondern auch die komplette thermische Luftkonditionierung verringert wird. Die Studie RELAB: Energieeinsparung in Laboratorien durch Reduzierung der Luftströme [2-3] widmete sich dieser Thematik ausführlich.

Luftvolumenstromreduzierungen durch variablen Anlagenbetrieb sind aus zwei Gründen möglich.

- In der Nebenbetriebszeit, wenn keine Personen anwesend sind, können die Mindestaußenluftstraten deutlich reduziert werden. Bei einer 12-stündigen Labornutzung von Montag – Freitag nimmt die Nebenbetriebszeit bereits 64 % der Gesamtbetriebszeit der Anlage ein. Die Luftvolumenströme können in dieser Zeit erfahrungsgemäß um 60 – 80 % reduziert werden.
- In der Hauptbetriebszeit ergibt sich der erforderliche Luftvolumenstrom aus den Anforderungen des Mindestluftwechsels nach DIN 1946 Teil 7 und den Mindestvolumenströmen der Laborabzüge. Ausschlaggebend für die Bemessung ist der jeweils größere Wert, der Raum für Raum ermittelt werden muss. Sind zahlreiche Abzüge vorgesehen, kann sich ein notwendiger Außenluftvolumenstrom ergeben, der den Mindestaußenluftvolumenstrom bei weitem übersteigt. In der Zeit, in der die Abzüge nicht geöffnet werden, ist eine Reduzierung auf den Mindestaußenluftvolumenstrom möglich. Unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit kann sich auch hier ein erhebliches Einsparpotenzial ergeben.

Variabel-Volumenstrom-Systeme müssen so konzipiert sein, dass auch im Teillastfall eine korrekte Einregulierung der Luftvolumenströme erfolgt, die Raumbilanzen und damit eventuell erforderliche Druckgefälle zu Nachbarräumen eingehalten werden. Bei zentralen Systemen ist dies nicht durch eine starre Eindrosselung von Kanal-Teilstrecken möglich. Deshalb müssen Variabel-Volumenstrom-Regler eingesetzt werden, die zeit- oder ereignisabhängig einen vorgegebenen Volumenstrom mithilfe eines geschlossenen Regelkreises einstellen. Der Regelkreis besteht aus den Komponenten Messaufnehmer (Druck), Druckwandler, elektronischem Regler, Klappenantrieb und Regelklappe.

In der Regel treten in Gebäuden Versorgungsbereiche auf, die eine konstante durchgängige Be- und Entlüftung erfordern. Dies können einzelne Speziallabore, Chemikalienlager oder Lösemittelschränke sein. Für diese Bereiche können Konstantvolumenstromregler eingesetzt werden, die auf rein mechanischer Basis ohne Hilfsenergie arbeiten.

Die zentralen Ventilatoren werden druckgeregelt. Der Druckfühler wird an der Stelle im Kanalnetz positioniert, wo der niedrigste statische Druck erwartet wird („Schlechtwertregelung“). Die überschüssigen Drücke werden an den einzelnen Volumenstromreglern selbsttätig gedrosselt. Es ergibt sich für das Gesamtsystem somit eine Kombination aus Drehzahlregelung am Ventilator und Drosselregelung in den Versorgungsbereichen.

Im einfachsten Fall erfolgt die Volumenstromregelung zeitabhängig. Für die Variabel-Volumenstrom-Regler wird dabei zeitabhängig zwischen den Sollwerten für die Haupt- und Nebenbetriebszeit umgeschaltet. Konstant-Abluftvolumenströme können durch rein mechanisch wirkende Konstant-Volumenstrom-Regler geregelt werden.

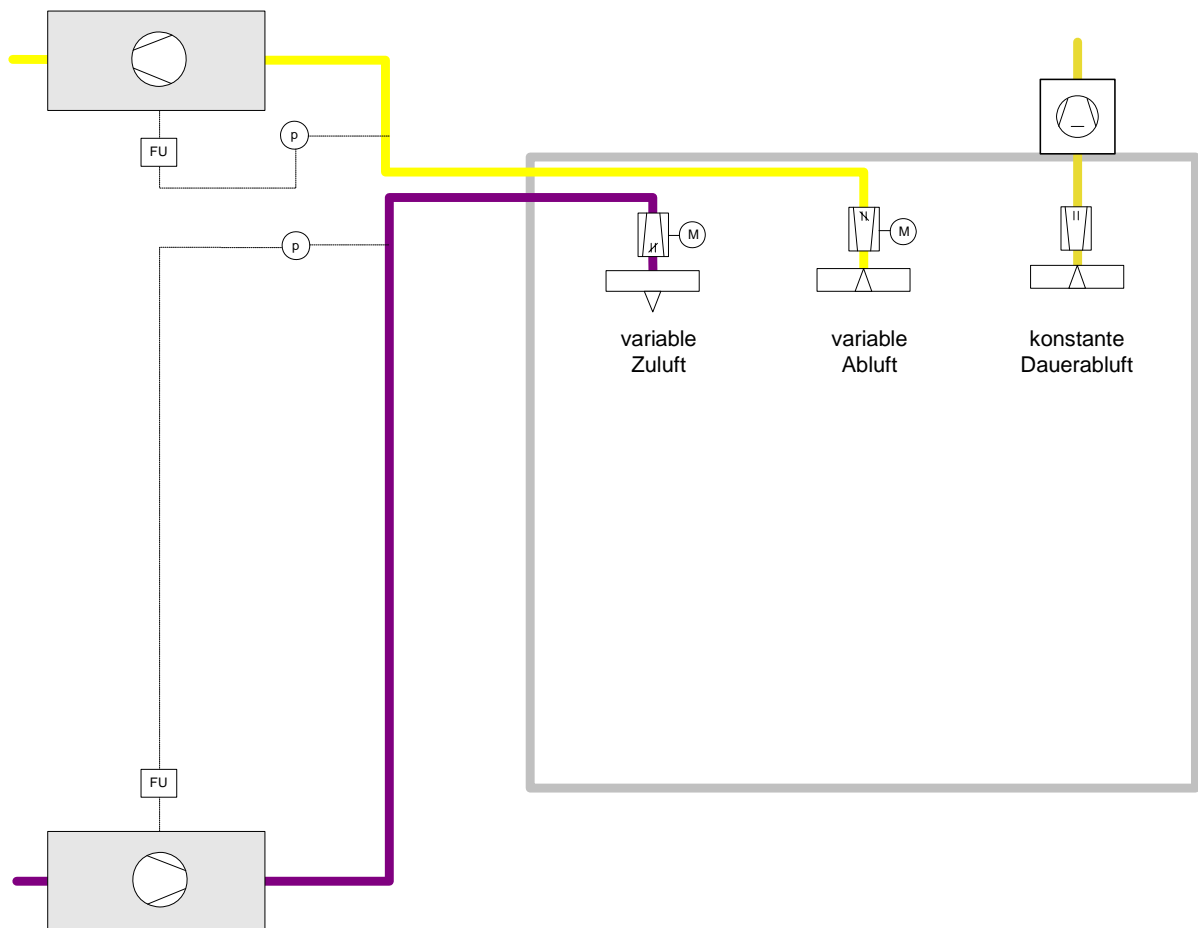


Bild 2–11: Schematische Darstellung eines Variabel-Volumenstrom-Systems

Wenn durch eine größere Zahl von Laborabzügen auch innerhalb der Hauptbetriebszeit eine größere Variabilität für den Luftvolumenstrom entsteht, empfiehlt sich der Einsatz einer bedarfsgerechten Raumregelung auf Basis von rechnergestützten Einzelraumcontrollern. Nähere Hinweise liefert Abschnitt 2.5.2.

An die Qualität von Volumenstromregler sind für den Einsatz in Laboratorien erhöhte Anforderungen zu stellen. Diese betreffen die Regelgenauigkeit und die Stellgeschwindigkeit. Bei hohen Anforderungen an die Druckhaltung können schnelle pneumatische Antriebe erforderlich werden. Der Regelbereich der Volumenstromregler sollte möglichst groß sein, damit eine Übereinstimmung mit den minimalen und maximalen Sollwerten des Versorgungsbereiches hergestellt werden kann.

Aus energetischen Gründen sollte der notwendige statische Mindestvordruck möglichst gering sein, da dieser Wert maßgebend für die Ventilatorregelung ist und damit direkt auf den Energiebedarf wirkt.

## Raumkühlung

Trotz optimalem Sonnenschutz kann in Räumen mit hohen internen Wärmequellen zusätzliche Raumkühlung notwendig werden. Ein verbesserter Wärmeschutz und eine erhöhte Luftdichtheit können unter Umständen den Raumkühlbedarf sogar verschärfen. Im Einzelfall können auch in Laborräumen zusätzliche Kühlleistungen auftreten, die durch den notwendigen Laborluftwechsel nicht mehr gedeckt werden können. Ebenso kann Kühlung in Räumen notwendig werden, die aufgrund ihrer Geometrie, Lage und sonstigen Nutzung für eine natürliche Entwärmung ungeeignet sind.

Für alle diese Räume sind Entscheidungen hinsichtlich des Raumkühlsystems zu fällen.

### 1. Wasser- oder Luftsystem

Die Kühllasten können durch mechanische Lüftung bzw. durch eine Erhöhung der Mindestaußenluftfrate oder durch ein zweites Kühlmedium abgedeckt werden. Aus energetischer Sicht bieten beide Lösungen Vor- und Nachteile. Durch luftbasierte Systeme kann das Potenzial zur freien Kühlung optimal genutzt werden. Aufgrund der Wetterstatistiken ergibt sich, dass die Außenlufttemperatur größtenteils unter der Raumlufttemperatur liegt. Nachteilig bei luftbasierten Lösungen ist der hohe Energieaufwand für Lufttransport und zusätzliche Luftbehandlung (Be- und Entfeuchtung). Wasserbasierte Systeme können aufgrund der höheren Dichte und spezifischen Wärmekapazität die Energie effizienter transportieren. Allerdings muss die Kälteerzeugung auch bei niedrigeren Außenlufttemperaturen vorgenommen werden. Sinngemäß gelten die Aussagen auch bei Verwendung von Kältemittel zur Direktverdampfung in so genannten Splitgeräten oder Multisplitanlagen.

Die Vor- und Nachteile der Grundsysteme und auch die investiven Folgen müssen im Einzelfall geprüft werden. Hierfür sind möglichst realistische Ansätze für die zu erwartenden internen Wärmequellen und deren Gleichzeitigkeit notwendig. Vielfach hat es sich als optimal erwiesen, wassergestützte Systeme in Kombination mit Einrichtungen zur freien Kühlung einzusetzen.



## 2. Systemtemperaturen

In Verbindung mit wasserbasierten Raumkühleinrichtungen wird mit der Wahl der Systemtemperatur das Potenzial für die Nutzung von Umweltenergie (z. B. freie Kühlung, Grundwasserkühlung) festgeschrieben. Je näher die Systemtemperaturen an der Raumtemperatur liegen, desto besser der Selbstregelfekt und das Potenzial für Umweltenergienutzung („Hochtemperaturkühlung“).

## 3. Nutzung der Wärmespeicherfähigkeit

Je besser die Wärmespeicherfähigkeit des Raumes, desto geringer die Kühllasten. Die Wärmespeicherfähigkeit eines Raumes lässt sich durch die Baukonstruktion verbessern. Entscheidend sind die Stoffeigenschaften spezifische Wärmekapazität und Dichte und damit die „Schwere“ der Baustoffe (z. B. Innenwände aus Kalksandsteinmauerwerk statt Gipskarton). Dabei können raumseitige Verkleidungen wie Abhängedecken eine thermische Entkopplung des Bauteils vom Raum bewirken. Die Nutzung der Wärmespeicherfähigkeit von Räumen hängt von periodischen Temperaturschwankungen, z. B. zwischen Tag und Nacht ab. Diese Schwankungen können passiv oder aktiv herbeigeführt werden. Aktive Bauteile sind direkt an Kühlsysteme angekoppelt.

## 4. Zulufttemperaturen / Nachheizung

Für die mechanisch belüfteten Räume kann die Zulufttemperatur nur zentral oder maximal zonenweise gesteuert werden. Je niedriger diese Zulufttemperatur angesetzt werden kann, desto geringer ist der zusätzliche Kühlbedarf in den Räumen. In Winter und Übergangszeit kann mit niedrigen Zulufttemperaturen die freie Kühlung maximiert und gegenläufiges Heizen und Kühlen vermieden werden. Die Nacherwärmung in unbelegten oder schwach belasteten Räumen, die zur Verhinderung einer Unterkühlung notwendig ist, kann bedarfsgerecht über die statischen Heizflächen erfolgen. Zur Vermeidung von Zugerscheinungen sind hochinduzierende Luftauslässe auszuwählen.

## **Kälteerzeugung**

Bei der Optimierung von Kälteerzeugungsanlagen sind die unterschiedlichen Verbraucher nach Systemtemperatur und Abnahmedauer zu analysieren.



Schrauben- und insbesondere Turboverdichter (ab ca. 700 kW) werden bei größeren Anlagen eingesetzt. Bei Einsatz von Turboverdichtern lassen sich die Nennleistungsziffern um bis zu 30 % verbessern.

Neben der Nennleistungsziffer kann das Teillastregelverhalten sehr unterschiedlich ausfallen. Typische Regelungsarten sind:

- Kolben-/Scrollverdichter mit Zweipunktregelung taktend (EIN/AUS-Betrieb)
- Kolben-/Scrollverdichter mehrstufig schaltbar (mind. 4 Schaltstufen als Verdichterverbund)
- Kolbenverdichter durch Zylinderabschaltung geregelt
- Kolben-/Scrollverdichter mit Heißgasbypassregelung
- Schraubenverdichter mit Schiebersteuerregelung einstufig
- Turboverdichter mit Einlassdrosselregelung.

Mit der Berechnungsnorm DIN V 18599 Teil 7 steht erstmalig ein genormtes Berechnungsverfahren für die energetische Bewertung von Kälteerzeugungsanlagen zur Verfügung, das die vorgenannten Einflussfaktoren berücksichtigt.

Mit der Erneuerung der Kälteerzeugung geht der Einsatz umweltfreundlicherer Arbeitsmittel einher. Bei den heute eingesetzten halogenierten Fluorkohlenwasserstoffen HFKW besteht zwar kein Ozonschädigungspotenzial (ODP = Ozon Depletion Potential) mehr, jedoch ein erhebliches Treibhauspotenzial (GWP = Global Warming Potential). Daher ist nicht auszuschließen, dass auch die Verwendung von HFKW zukünftig durch Restriktionen begrenzt wird. Alternativen bietet der ökologisch unbedenkliche Einsatz von  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  oder  $\text{H}_2\text{O}$  als Kältemittel.

Alternativ kann der Einsatz von Absorptionskältemaschinen sinnvoll sein. Die Kältemittelverdichtung erfolgt nach einem thermischen Prinzip. Sinnvoll ist der Einsatz besonders dann, wenn die Antriebsenergie in Form von Abwärme, Solarwärme oder aus Kopplungsprozessen zur Verfügung steht. Vorteilhaft ist zudem, dass die eingesetzten Arbeitsmittelpaare  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$  oder  $\text{H}_2\text{O}/\text{NH}_3$  kein direktes Klimaschädigungspotenzial besitzen.

Bei hohen internen Wärmequellen im Gebäude, die den Einsatz von wassergestützten Raumkühlsystemen erforderlich machen, sollte der Einsatz von Umweltenergie geprüft werden. Mögliche natürliche Kältequellen sind:

- Oberflächenwasser (direkte Nutzung)
- Erdreich (Erdreichkollektoren, Erdsonden)
- Grundwasser (direkte Nutzung über Brunnenanlagen)
- Außenluft (Trockenkühler oder Nasskühler).

Für die wirtschaftliche Planung ist die Kenntnis bzw. realistische Prognose der Lastgänge entscheidend.

### **2.3.6 Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung**

Die Energieeinsparmöglichkeiten bei Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung (TWW) unterliegen den gleichen Grundsätzen und Technologien wie in anderen Gebäudetypen auch. Sie seien an dieser Stelle daher nur kurz aufgeführt.

Hinsichtlich der TWW-Bereitstellung sollte zunächst ein weitgehender Verzicht angestrebt werden. Ausnahmen können entstehen durch Duschräume, Laborspülen, Teeküchen, Putzmittelräume, Sondernutzungen. Bei der Systemplanung sind die Vor- und Nachteile von zentraler TWW-Bereitung mit thermischer Erzeugung und dezentraler TWW-Bereitung mit elektrischer Erzeugung primärenergetisch zu bewerten.

Mit Energieaufwand bezeichnet man die Differenz zwischen (idealisiertem) Nutzenergiebedarf und Endenergiebedarf. Der Energieaufwand setzt sich zusammen aus den Energieverlusten und dem sogenannten Hilfsenergiebedarf. Bei der Klassifizierung des Energieaufwands hat sich die Systematik Übergabe, Verteilung, Speicherung und Erzeugung in der Normung durchgesetzt. Diese Systematik ist für die Raumheizung und TWW-Bereitung gleichermaßen anzuwenden.

## **Wärmeübergabe**

Der Energieaufwand für die Wärmeübergabe Raumheizung charakterisiert die Fähigkeit des Raumheizsystems, die vorgegebenen Raumtemperaturen und Raumtemperaturabsenkungen einzuhalten, dabei Lastschwankungen auszuregeln und interne bzw. solare Wärmegewinne energiesparend zu nutzen.

Optimierungspotenziale ergeben sich durch die Anordnung der Heizflächen (Außenwandbereich, Strahlungsschutz vor Verglasungen), die Regelungsgüte und den Verzicht auf elektrischen Hilfsenergiebedarf (z. B. Ventilator-konvektoren).

Die größte Bedeutung kommt dabei der selbsttätigen Einzelraumregelung zu, die bereits durch die Energiesparverordnung vorgeschrieben ist. Den Regelfall stellt dabei der Einsatz von thermostatischen Regelventilen dar. Aufgrund des Verhaltens als Proportionalregler mit 1-2 K Proportionalbereich sind Thermostatregelventile elektronischen Reglern unterlegen, wenn diese als PI- oder PID-Regler ohne bleibende Regelabweichung ausgeführt werden. Weitere Vorteile von elektronischen Einzelraumreglern sind:

- raumweise programmierbare Nachtabsenkung mit Optimierungsfunktion
- Sequenzregelung in Verbindung mit Raumkühleinrichtungen zur Verhinderung von gegenläufigem Heizen und Kühlen
- der Möglichkeit zur Vernetzung mit dem Ziel einer zentralen Betriebsführung bzw. -überwachung.

## **Wärmeverteilung**

Energieeinsparpotenziale bestehen bei der Wärme- und TWW-Verteilung in folgenden Ansätzen:

- Optimierung der Netzstruktur des Wärme- bzw. TWW-Verteilung
- Absenken der Systemtemperaturen
- Minimierung der Rohrwärmeabgabe durch Wärmedämmung und Anordnung innerhalb beheizter Gebäudezonen
- hydraulischer Abgleich von Heizwassernetzen

- genaue Auslegung von Umwälzpumpen
- Einsatz drehzahl geregelter Umwälzpumpen
- bedarfsabhängige Steuerung von TWW-Zirkulationspumpen.

### **Wärmespeicherung**

Energiesparpotenziale ergeben sich aus folgenden Ansätzen:

- Optimierung der Speichergrößen
- Minimierung der Speicherwärmeabgabe durch Wärmedämmung und Anordnung innerhalb beheizter Gebäudezonen
- genaue Auslegung und Steuerung von Ladepumpen.

### **Wärmeerzeugung**

Generell sind Energie- bzw. Primärenergieeinsparungen möglich durch

- verbesserte Wärmeerzeugungsanlagen
- den Einsatz regenerativer Wärmequellen
- die Nutzung von Wärme aus Kopplungsprozessen.

Bei der Eigenwärmeerzeugung können durch den Ersatz veralteter Heizkessel teils spürbare Wirkungsgradverbesserungen erzielt werden. Ältere Kessel wiesen durch die Abstimmung von Brenner und Kesselheizflächen niedrigere Wirkungsgrade auf. Zudem waren sie in der Regel für einen Niedertemperaturbetrieb aus Korrosionsgründen ungeeignet. Dadurch entstanden dann zusätzlich erhöhte Abgas- und Bereitschafts- sowie Strahlungsverluste.

Niedertemperaturkessel gestatten dagegen gleitende Kesselwassertemperaturen mit einer weitgehenden Ausnutzung des sensiblen Wärmepotenzials.

Durch den Einsatz von Brennwertkesseln wird ein Teil des Wasserdampfes aus dem Abgas auskondensiert und somit als latente Wärme nutzbar. Gegenüber dem unteren Heizwert des Brennstoffes sind Jahresnutzungsgrade von über 100 % möglich.

Der Einsatz regenerativer Energiequellen wie Biomasse oder industrieller Abwärme ist prinzipiell möglich. Gegen eine thermische Solarwärmenutzung spricht der im Vergleich zu Wohngebäuden niedrige Warmwasserbedarf, wodurch die Wärmeabnahme in den ertragreichen Sommermonaten behindert wird. Durch die Kombination mit solarer Kühlung oder anderen sommerlichen Wärmeabnehmern ließe sich dagegen die Nutzung von Solarkollektoren verbessern.

Aus multifunktionalen Kopplungsprozessen ergeben sich zahlreiche Anwendungen. Denkbar wären:

- Wärmepumpenanwendungen mit Nutzung geothermischer Quellen
- Blockheizkraftwerke zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme (Kraft-Wärme-Kopplung)
- Abwärmenutzung aus Kälteprozessen (Wärme-Kälte-Kopplung)
- Abwärmenutzung aus Druckluftkompressoren.

Der wirtschaftliche Einsatz von Kopplungsprozessen oder regenerativen Energiequellen setzt eine sorgfältige Analyse der Lastsituation und Planung voraus.

### **2.3.7 Beleuchtung**

In Abhängigkeit der Grundrissorganisation von Laborgebäuden kann die Tageslichtversorgung eingeschränkt sein.

Beispiele:

- In den häufig anzutreffenden dreibündigen Grundrissen entsteht eine Vielzahl von innen liegenden Räumen ohne Tageslichteinfall.
- Bei dreibündigen Grundrissen entsteht zudem ein verhältnismäßig großer Verkehrsflächenanteil, für den eine Tageslichtversorgung ebenfalls kaum möglich ist.
- Bei zweibündigen Laborgrundrissen treten häufig größere Raumtiefen (häufig > 7,0 m) auf, was in Verbindung mit raumhohen Laboreinrichtungen die Tageslichtversorgung in den Innenbereichen beeinträchtigt.

Speziell für Institutsgebäude in reinen Forschungseinrichtungen gilt, dass die wissenschaftlichen Mitarbeiter neben dem Laborarbeitsplatz häufig einen zusätzlichen Büroarbeitsplatz haben. Eine ständige Präsenz in den Laborräumen ist nicht gegeben, was den Einsatz von Lichtsteuerungen sinnvoll erscheinen lässt.

Die Anforderungen an die Tageslichtversorgung werden durch DIN 5034 vorgegeben. Bei der Sanierung von Bestandsgebäuden sind die Verbesserungsmöglichkeiten begrenzt. Geschosstiefen, äußere Verbauungen und Mauerwerksöffnungen sind vorgegeben. Trotzdem bieten sich Optimierungsmöglichkeiten, z. B. durch die Herstellung von Oberlichtern, den optischen Glaseigenschaften oder durch die Oberflächengestaltung Verbesserungen herbeizuführen.

Durch die künstliche Beleuchtung muss eine zur Erfüllung der Sehaufgabe ausreichende Nennbeleuchtungsstärke im Arbeitsbereich jederzeit sichergestellt werden. Die Anforderungen ergeben sich aus den Arbeitsstättenrichtlinien, Normen wie DIN 5035 sowie Unfallverhütungsvorschriften.

Die Beleuchtungsstärke wird durch den Lichtstrom der Lampen, den Wirkungsgrad der Leuchten, die Beleuchtungsart (direkt / indirekt) und die Reflexionseigenschaften der Umgebung beeinflusst.

Gütemerkmale der Beleuchtung sind neben der Beleuchtungsstärke auch die Farbwiedergabe, die Leuchtdichteverteilung, die Begrenzung der Direktblendung, die Vermeidung von Reflexblendung sowie Lichtrichtung und Schattigkeit.

Für Laboratorien und experimentelle Praktikumsräume kann eine Nennbeleuchtungsstärke von 500 lx zugrunde gelegt werden.

Kennzeichnend für die Energieeffizienz eines Leuchtmittels ist die Lichtausbeute [lm/W]. Sie errechnet sich als Quotient von Lichtstrom [lm] und elektrischer Leistungsaufnahme [W].



Für die Arbeitsplatzbeleuchtung dürften Leuchtstoffröhren den häufigsten Anwendungsfall darstellen. Für den Betrieb von Leuchtstofflampen sind Vorschaltgeräte notwendig. Bei Verwendung von elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) wird gegenüber konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) sowohl die Lichtausbeute als auch die Lebensdauer verbessert. Zudem wird das Startverhalten verbessert und Flimmern verhindert. Leuchtstofflampen mit EVG können gedimmt werden. Dimmbare EVG bilden die Voraussetzung für tageslichtabhängige Steuerungen. Die Verlustleistungen der EVG liegen um ca. 62 % niedriger als bei KVG.

Als Zwischenlösung existieren noch die so genannten verlustarmen Vorschaltgeräte (VVG).

Durch Leuchtstofflampen der aktuellen T5-Generation (Rohrdurchmesser 16 mm) kann die Lichtausbeute gegenüber den älteren Modellen mit 26 mm Durchmesser weiter abgesenkt werden.

Als Anhaltswerte für die Systemlichtausbeute (inkl. Vorschaltgerät) können nach herangezogen werden:

- Leuchtstofflampe 16 mm mit EVG: 94 lm/W
- Leuchtstofflampe 26 mm mit VVG: 80 lm/W
- Leuchtstofflampe 26 mm mit KVG: 73 lm/W.

Die Beleuchtungsart berücksichtigt ganz erheblich die Energieeffizienz. Neben den Grenzfällen vollständig direkte und indirekte Beleuchtungen sind auch Kombinationen realisierbar. Aus energetischer Sicht ist eine direkte Beleuchtung zu bevorzugen.

Der Leuchtenwirkungsgrad beschreibt die Abminderung des Lichtstroms durch die Leuchte. Dabei kann gegenüber älteren Leuchten mit opaker Abdeckung oder Prismenabdeckung durch den Einsatz von hochglänzenden Spiegelrastern der Leuchtenwirkungsgrad von ca. 50 % auf bis zu 75 % verbessert werden.

Die endgültig benötigte elektrische Anschlussleistung pro Raum ergibt sich aus der Beleuchtungsplanung. Dabei kommt es darauf an, den Leuchtentyp, deren Anzahl und Anordnung optimal auf die Raumgeometrie abzustimmen. Für eine Vorplanung ist das Wirkungsgradverfahren eine geeignete Methode. Eine detaillierte Fachplanung kann mit entsprechender Lichtplanungssoftware durchgeführt werden. Dabei können gegebenenfalls auch Tageslichtanteile eingeplant werden. DIN 18599 Teil 4 bietet zudem noch ein stark vereinfachtes Tabellenverfahren an. Aufgrund der komfortablen Handhabbarkeit von Lichtplanungssoftware sollten diese für häufig wiederkehrende Standardräume generell verwendet werden.

Unter günstigen Voraussetzungen lassen sich bei Räumen mit 500 lx Beleuchtungsstärke die spezifischen elektrischen Anschlussleistungen von Bestandsanlagen mit 25 – 35 W/m<sup>2</sup> auf Werte von 10 – 15 W/m<sup>2</sup> reduzieren.

Im Betrieb der Beleuchtung entstehen Energieeinsparpotenziale durch die Automation der Beleuchtungssteuerung. Mit Hilfe von Tageslichtsensoren kann die Beleuchtungsstärke bedarfsgerecht angepasst werden. Tageslichtsensoren sind als separate Module für Gruppensteuerungen oder direkt in die Leuchte integriert verfügbar.

Durch Präsenzmelder kann bei Abwesenheit von Personen eine automatische Umschaltung auf Minimalversorgung erfolgen. Präsenzmelder reagieren auf Infrarotstrahlung. Durch entsprechende Verzögerungen kann zu häufiges Schalten, das als störend empfunden wird, unterbunden werden.

Für die Verknüpfung von Sensoren, Leuchten und übergeordneter Leittechnik stehen Bussysteme wie der Europäische Installationsbus EIB/KNX (Europäischer Installationsbus EIB / Konnex Association) zur Verfügung. Verknüpfungen von Bussystemen mit anderen Gebäudefunktionen wie der Heizungsregelung sind möglich. Einige Bussysteme wie LCN (Local Controller Network) oder Power-EIB können gegebenenfalls auch unter Verwendung vorhandener Verkabelungen nachgerüstet werden.

Mit der DIN 18599 Teil 4 steht ein einfach handhabbares Instrument zur Verfügung, um den Endenergiebedarf für die künstliche Beleuchtung zu berechnen. Zu berücksichtigende Einflussgrößen sind:

1. Tageslichtversorgung in Abhängigkeit von
  - Nutzungszeit

- Fensterorientierung
  - Raumeigenschaften
  - optischen Fenstereigenschaften
  - Sonnenschutzeigenschaften
  - äußerer Verbauung
2. Anschlussleistung auf Basis einer vereinfachten Lichtplanung
    - erforderlicher Wertungswert der Beleuchtungsstärke
    - Beleuchtungsart
    - Leuchtmittel
  3. Kontrollsystem
    - Automatisierungsgrad (autark / vernetzt)
    - Reaktionsfähigkeit auf Tageslicht
    - Reaktionsfähigkeit auf fehlende Präsenz.

### **2.3.8 Gebäudeautomation**

Die Systematik der Funktionen in der Gebäudeautomation wird nach einem Ebenenmodell gegliedert:

1. Feldebene (Stellorgane, Sensoren)
2. Automatisierungsebene (Steuerungen, Regler, Controller)
3. Managementebene (Gebäudeleittechnik).

In den vorstehenden Abschnitten wurde eine Vielzahl von Energiesparmaßnahmen aufgeführt, die überhaupt nur in Zusammenhang mit Mess-, Steuer- und Regelungstechnik zu realisieren sind.

Dies betrifft vor allem die bedarfsgerechte Bereitstellung von Licht, Luft, Wärme, Kälte und Dampf. Prinzipiell sind diese Prozesse mit unterschiedlichen, auch älteren, analogen Technologien zu automatisieren. Durch technische Weiterentwicklungen und digitale Technologien eröffnen sich jedoch auch qualitativ verbesserte Möglichkeiten, z. B. durch neue oder genauere Sensoren, adaptive Regler oder frei programmierbare Regelstrategien.

Gänzlich neue Möglichkeiten entstanden im Zusammenhang mit der Entwicklung digitaler Technologien durch die Managementfunktionen im Zusammenhang mit Gebäudeleittechnik (GLT). Merkmal einer Gebäudeleittechnik ist die digitale Vernetzung unterschiedlicher lokaler Automatisationsstationen. Informationen werden an einer oder mehreren zentralen Punkten abrufbar - Stellbefehle können ebenfalls zentral ausgelöst werden. Das geschieht über Kommunikations-Protokolle (Bussysteme und Netzwerke), die sich in offene Standards und Herstellerstandards unterscheiden. Mit Systemintegration bezeichnet man die gewerkeübergreifende Gebäudeleittechnik, bei der u. U. unterschiedliche Protokollformen verknüpft werden müssen.

Durch die Energiemanagementfunktion der Gebäudeleittechnik bzw. der digitalen Gebäudeautomation ergeben sich zahlreiche Potenziale zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden.

#### 1. Verarbeiten von Störmeldungen

Die Meldung von Betriebsstörungen dient der Aufrechterhaltung der energetischen Effizienz von Gebäude und Anlagen. Beispiele:

- offen stehende Fenster
- Ausfall von Reglern
- fehlerhafte Sensoren
- Ausfall von Antrieben für Klappen und Ventile
- Ausfall von Wärmerückgewinnungsanlagen
- Alarmierung bei beliebigen Grenzwertüberschreitungen.

#### 2. Bedienung / Betriebsoptimierung

Die Betriebsführung als Teil des Gebäudemanagements kann durch die deutlich höhere Informationsdichte unterstützt werden. Verfügbare Daten können dabei frei grafisch visualisiert werden. Die Visualisierung erfolgt durch dynamische Anlagenbilder oder durch Trendaufzeichnungen in Diagrammform. Aufgrund der verfügbaren Informationen lassen sich Optimierungsstrategien ableiten, die durch manuelle Eingriffe in die Betriebsführung oder verbesserte Automatisationsalgorithmen umsetzbar sind. Sollwerte, Betriebs- und Schaltzeiten lassen sich so leichter an veränderliche Nutzungen anpassen.

### 3. Verbrauchsanalysen

Die Erfassung und verursachungsgerechte Umlage von Energieverbräuchen kann durch entsprechende Mess- und Auswerteverfahren unterstützt werden. Benchmarks bilden ein wichtiges Diagnoseinstrument für weiterführende Optimierungsprozesse. Gleichzeitig bieten Benchmarks die Voraussetzung für eine erhöhte Motivation der Nutzer zum energiesparenden Verhalten.

Instrumente der digitalen Gebäudeautomation stellen letztlich Werkzeuge für qualifiziertes Betreiben von Gebäuden und engagiertes Energiesparen dar. Die erzielbaren Effekte hängen in starkem Maße von den handelnden Personen ab. Für eine Quantifizierung der Energiesparerefolge fehlen auf empirischer Basis ermittelte Daten. Realistischen Schätzungen zufolge dürfte das durchschnittlich erzielbare Potenzial bei über 10 % des Energieverbrauches liegen. Dies wird durch erfolgreich abgewickelte Performance-Contracting-Projekte deutlich, bei denen sich ein Großteil der Gesamteinsparungen aus dem verbesserten Energiemanagement ergeben.

#### **2.3.9 Bewertung der Energiesparpotenziale**

Zur Erstbewertung der Effizienz von Sanierungsmaßnahmen werden in Tabelle 2–5 Bandbreiten für die Einsparpotenziale angegeben. Die Bandbreiten sind vor allem deshalb notwendig, weil die Ausgangssituationen sehr unterschiedlich ausfallen können. Eine fachliche Beurteilung des Einzelfalls ist auch bei Verwendung der Richtwerte unumgänglich.

Die Energieeinsparpotenziale werden in Tabelle 2–5 als spezifische Kennwerte angegeben. Dies war deshalb notwendig, weil die Nutzungsarten innerhalb von Institutsgebäuden stark differieren können. So wirkt sich eine Wärmerückgewinnungsanlage lediglich auf die belüftete Fläche aus – der Einsatz von Energiesparlampen u. U. auf die Gesamtfläche.

Weiterhin ist zu beachten, dass nicht alle Maßnahmen additiv wirken können. So kann durch den Variabel-Volumenstrom-Betrieb der Lüftungsanlagen ein Teil der Einsparung, der bei gleichzeitiger Nachrüstung von Wärmerückgewinnungsanlagen erwartet wird, vorweg genommen werden.

Maßnahme	Einsparpotenzial		Einheit	Bezug
	von	bis		
1. Dach- und Außenwanddämmung	15	40	kWh <sub>tr</sub> /m <sup>2</sup>	beheizte Fläche
2. Erneuerung der Fenster	20	50	kWh <sub>tr</sub> /m <sup>2</sup>	beheizte Fläche (<5m Raumtiefe)
3. Verbesserung der Luftdichtheit	5	15	kWh <sub>tr</sub> /m <sup>2</sup>	beheizte Fläche
4. Verzicht auf Luftbe- und -entfeuchtung (Vollklima)	3,0	9,0	kWh <sub>tr</sub> /(m <sup>3</sup> /h)	Zuluftvolumenstrom
5. Verzicht auf Raumkühlung	20	50	kWh <sub>tr</sub> /m <sup>2</sup>	gekühlte Fläche
6. Nachrüstung Wärmerückgewinnung	6,0	12,0	kWh <sub>tr</sub> /(m <sup>3</sup> /h)	Zuluftvolumenstrom
7. Verbesserung Wärmerückgewinnung	2,0	6,0	kWh <sub>tr</sub> /(m <sup>3</sup> /h)	Zuluftvolumenstrom
8. Variabel-Volumenstrom-Betrieb	2,5	6,0	kWh <sub>el</sub> /(m <sup>3</sup> /h)	Zuluftvolumenstrom
	2,0	8,0	kWh <sub>tr</sub> /(m <sup>3</sup> /h)	Zuluftvolumenstrom
9. Optimierung Luftförderung	1,5	3,5	kWh <sub>el</sub> /(m <sup>3</sup> /h)	Zuluftvolumenstrom
10. Freie Kühlung	10	20	kWh <sub>tr</sub> /m <sup>2</sup>	gekühlte Fläche
11. Erneuerung Heizungsanlage	10	30	kWh <sub>tr</sub> /m <sup>2</sup>	gekühlte Fläche
12. Erneuerung Beleuchtung	5	10	kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup>	Nettogeschossfläche
13. Steuerung Beleuchtung	3	8	kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup>	Nettogeschossfläche
14. Energiemanagement / Betrieboptimierung über Gebäudeleittechnik	8	16	kWh <sub>el</sub> /m <sup>2</sup>	Nettogeschossfläche
	10	30	kWh <sub>tr</sub> /m <sup>2</sup>	Nettogeschossfläche

Tabelle 2–5: Bandbreite der Energieeinsparpotenziale von Sanierungsmaßnahmen

## 2.4 Integrale Planung zur Umsetzung der Einsparpotenziale

### 2.4.1 Serieller und Integraler Planungsansatz

Moderne Gebäude werden immer komplexer, sowohl hinsichtlich der gesetzlichen Anforderungen wie der Energieeinsparverordnung oder der Arbeitsstättenrichtlinie als auch bezüglich der Vorstellungen des Gebäudenutzers und des Bauherren. In der Realisierung konfrontieren solche Bauvorhaben den Bauherren mit erheblichen Investitionskosten und den Fachplaner mit anspruchsvollen Aufgaben. Die Gründe liegen meist in der engen Verzahnung verschiedener Problemkomplexe. So werden Aspekte der optischen Gestaltung, des thermischen Komforts, des Brandschutzes und der Invest- und Betriebskosten miteinander verknüpft und sind nur noch gewerkeübergreifend zu optimieren. Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden bedarf es neuer Planungsansätze.

#### Serielle Planung

Im traditionellen, seriellen Planungsprozess wird die Grundkonzeption von dem Bauherren mit dem Architekten zusammen festgelegt und im weiteren Planungsverlauf sukzessive von den verschiedenen Fachplanern ausdifferenziert, wobei die in der HOAI festgelegte restriktive Phasenaufteilung diesen seriellen Prozess fördert (Bild 2–12). Die ausführenden Unternehmen sind in der Regel an der Planung nicht beteiligt, so dass Planen und Bauen nahezu als von einander losgelöste Phasen zu sehen sind, woraus Probleme für den späteren Betrieb resultieren können.

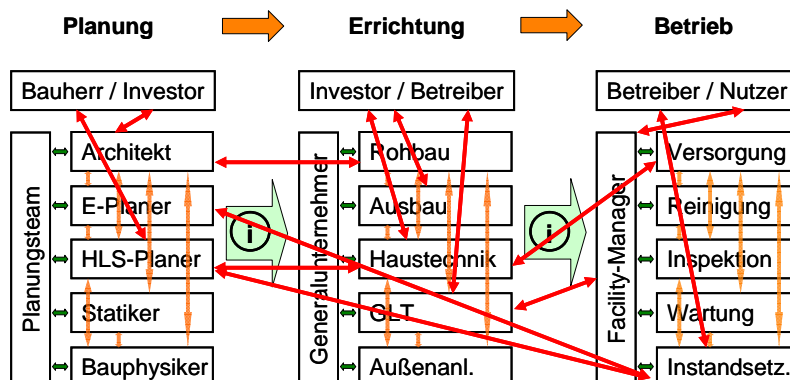


Bild 2–12: Serieller Planungsprozess



## Integrale Planung

Im Gegensatz zur seriellen Planung werden beim integralen Planungsansatz alle Beteiligten (Bauherr, Nutzer, Architekt, Energieplaner, Haustechnik-Planer, Bauphysiker, Sonderplaner) in einem Planungsteam zusammengeführt, Bild 2–13. Die integrale Planung ist keine fest definierte Form der Projektorganisation sondern eine iterative Planungsstrategie, bei der ein möglichst frühzeitiges Zusammenwirken der Planer störungsfrei gewährleistet und durch EDV-Tools unterstützt wird.

Im Fokus steht dabei nicht die isolierte Lösung von Detailproblemen sondern die Optimierung des gesamten Gebäudelebenszyklus. Integrale Planung analysiert die Wechselwirkungen von Nutzer, Architektur sowie Technik und leitet daraus für den Betrieb optimierte Gebäudekonzepte ab. Das gilt gleichermaßen für den Neubau wie auch für den Sanierungsfall.

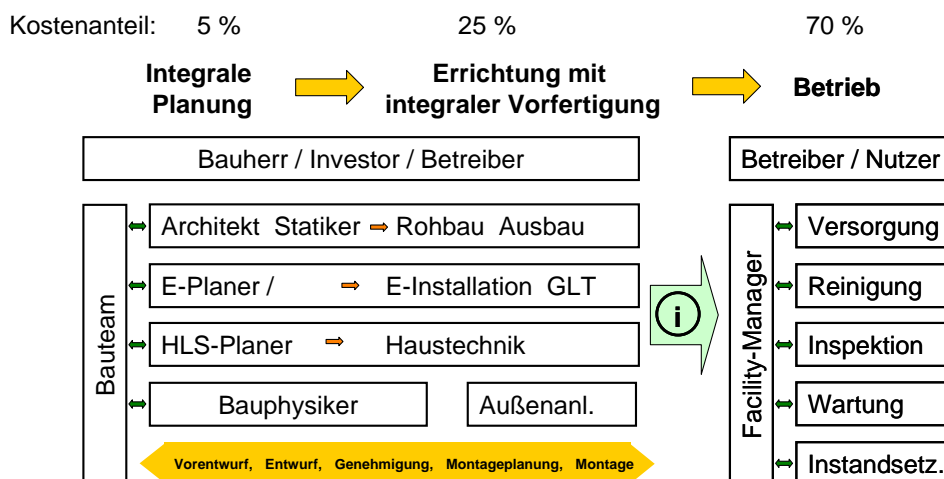


Bild 2–13: Anforderungen an den integralen Planungsprozess

### Aufgabendefinition

Während die Witterungseinflüsse und im Sanierungsfall auch die Gebäudestruktur für einen gegebenen Standort als Randbedingung festliegen, müssen alle weiteren Anforderungen projektspezifisch hinterfragt werden.

Allgemein umfasst diese Fragestellung den Flächenbedarf, die Art der Nutzung, die räumliche Anforderung und Optionen auf Erweiterungen. Bei der Planung des Baus eines Laborgebäudes kommen weitere Detailfragen hinzu, von denen hier einige exemplarisch benannt werden:

- Welche Nutzungsänderungen sind mit einer Sanierung verbunden?
- Wie viele Mitarbeiter arbeiten parallel?
- Wie viele Prozesse und Versuche werden parallel durchgeführt?
- Welche Reinheitsklassen sind einzuhalten?
- Welche Emissionen (Mengen und Konzentrationen sind zu erwarten)?
- Welche Luftwechsel müssen eingehalten werden?
- Welche Stoffe werden gelagert (Gefahrgut, Brandlast)?
- Welche Sicherheitskriterien sind einzuhalten für?
  - Wasser (Abwasser)
  - Luft (Abluftaufbereitung)
  - Zugriffssicherheit
- Welche Medien müssen bereitgestellt werden (Druckluft, Gas, Inertgas, Sauerstoff, VE-Wasser, ....)?
- Welche Flexibilität für alternative Nutzungen muss sichergestellt werden?

Laborbauten erfordern aufgrund ihrer hohen Technisierung ein besonderes Augenmerk für die Integration der Technik in die Organisation der Flächen. Der Architekt kann solch ein Projekt nicht mehr alleine durch Platzhalter für Schächte und Trassen gestalten, sondern benötigt für Fragen der Erschließung und der Sicherheit die Unterstützung von Fachplanern aus dem HLS- und Laborbereich. Bei der Sanierung werden die Freiheitsgrade für die Leitungs- und Medienführung zusätzlich durch die vorhandene Bausubstanz eingegrenzt, die sich aus baustatischen und ökonomischen Gründen oft nur bedingt umgestalten lässt.

#### Lebenszyklusorientierte Zieldefinition

Ziel der integralen Planung ist ein optimiertes Gebäude, das die Balance zwischen Kosten und Nutzen wahrt, eine Flexibilität für den Lebenszyklus bereithält und durch ausreichenden Komfort hohe Nutzungsakzeptanz genießt.

Die Planung der Kosten muss heutzutage transparent sein. Mit GP-Verträgen (Generalplaner-Verträgen) geben die Bauherren das Risiko für die Planerhonorare an die Planer ab und fixieren ihre Kosten mit einem Festpreis für die Planung, unabhängig von Genehmigungsverfahren, Altlasten auf dem Baugrund oder anderen Randbedingungen.

Als nächste Stufe folgen in der Regel GÜ-Verträge (Generalübernehmer-Verträge). Sie verlagern nicht nur das Risiko der Planungsphase sondern auch der Ausführung an einen Unternehmer, indem ein Festpreis für ein funktionsfähiges Gebäude verhandelt wird. Der Bauherr gibt somit auch die Koordination der Schnittstellen zwischen den Planern bzw. zwischen Planern und ausführenden Firmen ab. Alternativ kann eine Baudirektion diese Rolle mit Einzelvergaben auch selbst übernehmen.

Bauherren erwarten, mit GP- oder GÜ-Modellen Gesamtkosten zu erreichen, die geringer ausfallen als bei einem Einzelvergabemodell.

Lebenszyklusanalysen zeigen, dass die Planung etwa 5 % und die Errichtung etwa 25 % der Lebenszykluskosten eines Gebäudes ausmachen. 70 % der Gesamtkosten im Lebenszyklus entfallen auf Betriebskosten (Energie, Wasser, Reinigung), auf Aufwendungen für Wartung und Inspektion

Kostengruppe 310	Ver- und Entsorgung	150.569 €a	8,9 €a	14 %
Kostengruppe 320	Reinigung und Pflege	162.371 €a	9,6 €a	15 %
Kostengruppe 330	Bedienung der technischen Anlagen	20.800 €a	1,2 €a	2 %
Kostengruppe 340	Inspeltion und Wartung der Baukonstruktion	23.569 €a	1,4 €a	2 %
Kostengruppe 350	Inspektion und Wartung der technischen Anlagen	67.051 €a	3,9 €a	6 %
Kostengruppe 410	Instandsetzung der Bauwerkskonstruktion	331.598 €a	19,5 €a	31 %
Kostengruppe 420	Instandsetzung der technischen Anlagen	285.695 €a	16,8 €a	27 %
Kostengruppe 430	Instandsetzung der Aussenanlagen	15.400 €a	0,9 €a	1 %
<b>DIN 18960 Summe</b>		<b>1.057.052 €a</b>	<b>62,2 €a</b>	<b>100 %</b>

Tabelle 2–6: *Beispiel einer Folgekostenberechnung eines Gebäudes mit 17.000 m<sup>2</sup> BGF mit Mischnutzung (Büro, Lager, Labor, Druckerei) nach DIN 18960. Die Folgekosten betragen pro Jahr etwa 6% der Erstinvestition*

(Hausmeister- und Sicherheitsdienste, wiederkehrende Prüfungen an Förder- und Brandschutzeinrichtungen, Filterwechsel ...) und auf Instandsetzung (Reparaturen oder Ersatz von Einzelanlagen am Ende des jeweiligen Lebenszyklus – Beispiel Kältekompressor nach ca. 20 Jahren). Ein Beispiel für eine solche Aufschlüsselung ist in Tabelle 2–6 für ein 17.000 m<sup>2</sup> großes Verwaltungsgebäude mit Mischnutzung gezeigt.

Diese Kosten werden allgemein als Folgekosten bezeichnet und sind beispielhaft in der DIN 18960 – Nutzungskosten im Hochbau – gegliedert und nach Kostengruppen (KG) aufgeteilt. Die Folgekosten eines Gebäudes werden nachhaltig in der Planungsphase festgelegt und natürlich auch durch die Qualitäten der Ausführung beeinflusst. Wird nun als Ziel der integralen Planung eine Balance zwischen den Kosten auf der einen und dem Nutzen oder einer Flexibilität auf der anderen Seite betrachtet, so kann im Vorfeld mit dem Bauherrn ein Zeitfenster der Folgekostenbetrachtung festgelegt werden - z. B. 30 Jahre. Auf diese Weise wird eine Transparenz geschaffen, die die Entscheidungsprozesse für oder gegen eine höher technisierte Ausstattung nachhaltig beeinflusst. Z. B. können so die Energieeinsparungen durch ein komplexeres Lüftungssystem dem Mehraufwand für Inspektion, Wartung und Instandsetzung gegenübergestellt werden. Wichtig ist die Festlegung eines definierten Zeitraums der Lebenszyklusbetrachtung und die Darstellung des Restwertes.

Eine Optimierung der Lebenszykluskosten kann nur durch die Integration aller Gewerke erfolgen, da die Funktion eines Baukörpers immer durch die Wechselwirkung von Nutzer, Architektur und Technik beschrieben wird.

## 2.4.2 Instrumente und Methoden der integralen Planung

### Projektmanagementsysteme

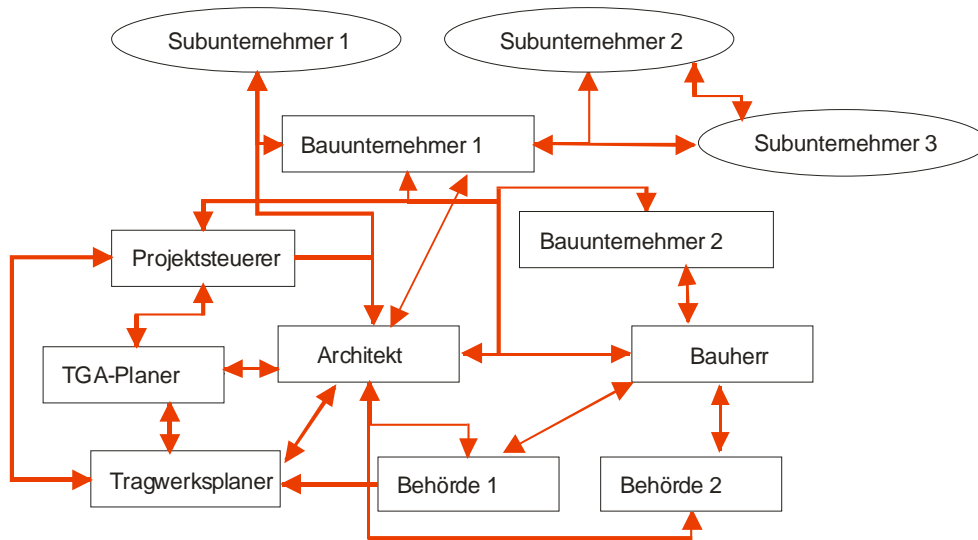
Die Optimierung und einheitliche Dokumentation des Planungsprozesses ist das wichtigste Ziel von Projektplattformen und Managementsystemen. Zu diesem Zweck werden den Beteiligten einheitliche, aktuelle und konsistente Informationen wie z. B. Planunterlagen zur Verfügung gestellt. Die vereinfachte Kommunikation bei reduziertem Zeitdruck und die gemeinsame Verfügbarkeit von Projektdokumenten erleichtern eine integrale Planung erheblich, Bild 2–14.

Neben der Verwaltung von Dokumenten (1. Ebene) soll ein ideales Projektmanagementsystem auch die gesamte Kommunikation (2. Ebene) und eine durchgängige Abwicklung von Prozessen (3. Ebene) garantieren.

Allerdings bedingt diese Projektorganisation einen Mehraufwand für Einrichtung, Pflege und Aktualisierung der gewählten Plattform. Diese Mehrkosten fallen in der Regel außerhalb der Honorarordnung an und verteuern zunächst die Planungskosten.

Ein zentral gesteuertes und EDV-unterstütztes Projektmanagement erfordert von den Beteiligten Disziplin, vor allem wenn es auch die Ebenen 2 und 3 der Kommunikations- und Prozessorganisation abdecken soll. Insbesondere bei öffentlichen Bauvorhaben ist es entscheidend, den Willen und die Fähigkeit zur Integration in ein solches Konzept zum Bestandteil der Ausschreibungsvorgaben zu machen.

## Verteilte Kommunikation und Dokumentenaustausch (Standard Baupraxis)



## Zentral gesteuerte Kommunikation mit internetbasiertem Projektmanagementsystem

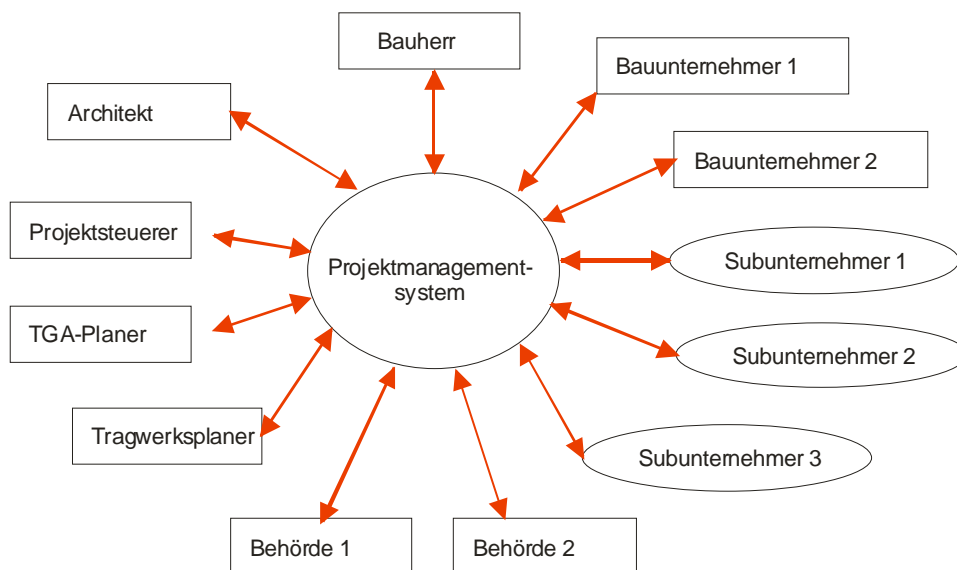


Bild 2–14: Verteilte und zentralisierte Kommunikation im Planungs- und Bauprozess

Nachfolgend sind einige Beispiele für Projektmanagementsysteme genannt:

### Retex Intesol

Der im RETEX II / INTESOL verfolgte Ansatz zur integralen Planung hat die rechnergestützte Integration aller planungsrelevanten Ressourcen und Planungsbeteiligten zum Ziel. Eine Vertiefung der Projektarbeit erfolgt hinsichtlich

energetischer Gesichtspunkte bereits bei der Gebäudeplanung mit der Zielsetzung, Energieoptimierung und Klimadesign in den Planungsprozess zu integrieren.

### **Digitales Bauen**

Die Methode "Digitales Bauen" beschreibt eine besondere Art der Gebäudemodellierung. Gebäude werden so strukturiert, dass sie ideal und mit breitem Nutzen in Softwarestrukturen abgebildet werden können. Kernelement der Methodik ist das Herausarbeiten der vielfältigen "Wiederholung" eines Gebäudes, bzw. seines Planungs-, Bau- und Betriebsprozesses. Diese Wiederholungen werden mit Techniken der objektorientierten Modellierung strukturiert in CAD- und Datenbanksystemen abgelegt. Auf ihrer Grundlage erschließen sich erhebliche Rationalisierungspotentiale für fast alle Beteiligten. Die Potentiale lassen sich grob auf vier verschiedene Anwendungsbereiche aufteilen, auf die Projektentwicklung, die Planung, die Ausführung und den Betrieb.

### **AWARO.NET®**

Die internetbasierte Projektmanagementlösung AWARO.NET® ermöglicht die Vernetzung unternehmensübergreifender Bauplanungs- und Ausführungsprozesse. Dadurch sollen sich Optimierungspotenziale in den Bereichen Organisation, Kommunikation, Dokumentation und Koordination erschließen. Basis hierfür ist eine zentrale webbasierte Kooperationsplattform, die ohne Installation lokaler Software auskommt. Neben grundlegenden Funktionsmodulen für Dokumentenmanagement, Kommunikation, Termin- und Benutzerverwaltung stehen zahlreiche Fachmodule zur Verfügung.

## **Simulation und Energiedesign**

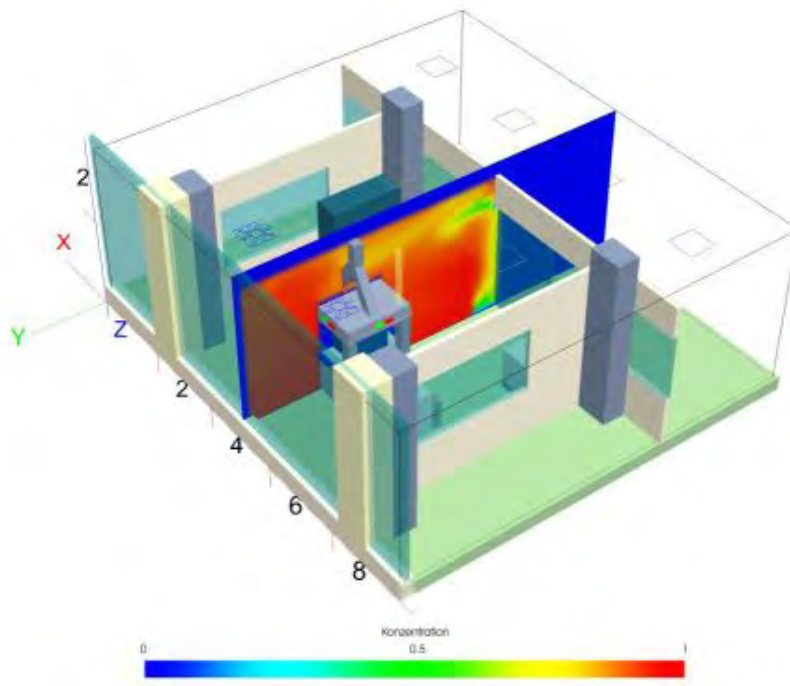
Gebäude- und Anlagensimulationen sind wichtige Werkzeuge für Planungen im Hochbau. Auf diesem Weg können, und das ist ein Ziel, bereits in einem frühen Planungsstadium das thermische wie energetische Verhalten des Gebäudes sowie seiner technischen Anlagen nachgebildet und analysiert werden. Dabei fließen die örtlichen Klimabedingungen, die Gebäudenutzung, innere Lasten und auch das Nutzerverhalten in die Berechnungen und Überlegungen ein. Die Erkenntnisse können dazu beitragen, die Funktionalität der Gebäude wie auch die Nutzungsqualität zu steigern. Die Analyse von energetischen Wirkungen gibt Hinweise auf Möglichkeiten, den Energiebedarf zu optimieren und Investitions- wie Betriebskosten zu optimieren.

Dynamische Berechnungsmethoden sind in der Lage instationäre Zustände im Gebäude abzubilden und eignen sich deshalb sehr gut für die Analyse von komplexen Einheiten. In der Regel bestehen die Modelle aus verschiedenen Teilmodellen, mit denen das Gebäude selber bzw. die Gebäudetechnik analysiert wird. Die Verknüpfung der verschiedenen Teilmodelle zeigt dann in den Ergebnissen Zusammenhänge auf und ermöglicht in der Lösung zielgerichtete Modifikationen.

## **Visualisierung**

Unter Visualisierung versteht man die Verknüpfung komplexer numerischer Berechnungen mit einem 3-dimensionalen Gebäudemodell und einer graphischen Oberfläche zur Navigation. Dadurch können zum Beispiel Strömungsverhältnisse und Temperaturschichtungen als Ergebnis einer Simulation im untersuchten Objekt anschaulich dargestellt und im Planungsteam diskutiert werden.





*Bild 2–15: Visualisierung der Konzentrationsverhältnisse und Reinraumklassen in einem Reinraum durch Falschfarbendarstellung. Erkennbar ist die Vermischung von Raumluft und Reinluft aus einem konditionierten Flurbereich durch Überdruck-Nachströmung durch Türspalte.*

Durch Visualisierungstechniken ist es möglich, komplexe Berechnungen Fachplanern und Bauherren transparent darzustellen und erlebbar zu machen, Bild 2–15, um damit eine transparente Entscheidungsgrundlage für Systeme und Varianten zu schaffen.

### 2.4.3 Integrale Planung im Sanierungsprozess

Eine Sanierungsmassnahme unterscheidet sich von einer Neubaumaßnahme zwar in der Grundlagenermittlung durch die eingeschränkten Freiheitsgrade, aber nur unwesentlich im weiteren Planungsablauf. Dennoch werden gerade im Sanierungsbereich die Ansätze eines integralen Vorgehens häufig außer Acht gelassen. Der Grund dafür ist einfach beschrieben. Ein vollständig funktionstüchtiges Gebäude lässt zunächst keinen Sanierungsbedarf erkennen. Werden in Teilbereichen Funktionsstörungen festgestellt, die für den laufenden Betrieb abgestellt werden müssen, beginnt häufig das Stückwerk einer Sanierung, bei dem Einzelgewerke und Einzelaktionen möglichst schnell oder möglichst preiswert instand gesetzt werden, ohne deren Vernetzung im komplexen Wechselspiel der Gesamtfunktionalität eines Gebäudes zu betrachten. Die scheinbare Wirtschaftlichkeit einzelner kleiner Maßnahmen kann dazu führen, dass die Gesamtwirtschaftlichkeit des Gebäudes verloren geht.

Im Sanierungsfall ist daher die Grundlagenermittlung ein noch wichtigerer Bestandteil der integralen Planung als bei der Planung eines Neubaus. Beim Neubau wird die Aufgabenstellung bzw. die Funktionalität des Gebäudes in einem Raumprogramm beschrieben, auf dem anschließend das Rauml原因 entwickelt wird. Bei einer Sanierung ist es Bestandteil der Grundlagenermittlung, die Aktualität des Raumprogramms abzufragen und Änderungen oder auch zukünftige Umnutzungen zu berücksichtigen.

Die Besonderheit der Sanierung liegt darin, dass die Grundlagenermittlung auch den Nutzungs- bzw. Abnutzungszustand der Technik, des Baukörpers und des Innenausbaus berücksichtigen muss. Moderne Diagnosetechniken unterstützen das Vorgehen durch eine elementgeführte Analyse und berücksichtigen dabei nicht nur den aktuellen Ist-Zustand sondern ermöglichen auch durch eine Prognose der Restlebenserwartung eine langfristige Maßnahmen- und Finanzplanung.

Der Laborbau bildet hier ähnlich wie andere, hoch technisierte und spezifizierte Gebäudenutzungen eine besondere Herausforderung, da die Wirtschaftlichkeit der Sanierung nur durch die Berücksichtigung der vernetzten Zusammenhänge aus Nutzeranforderungen und Sicherheitsansprüchen gesichert werden kann.

## Bestandsaufnahme und Bestandsanalyse

Die Bestandsaufnahme sowie die daraus abgeleitete Definition von Instandhaltungsszenarien sollten im Sinne einer Lebenszyklusoptimierung ein Bestandteil der Integralen Planung sein. In der Literatur und in der Praxis haben sich vier Abnutzungsstufen von Gebäudeelementen durchgesetzt,

- I. keine oder unbedeutende Schäden: keinerlei oder unbedeutende Gebrauches- oder Funktionsminderungen, die keine Instandsetzungen notwendig machen.
- II. geringe Schäden: die Gebrauchs- oder Funktionstüchtigkeit ist in geringem Maße beeinträchtigt, Instandsetzungen können zweckmäßig sein, um die Funktionsstörungen zu beseitigen und eine Ausweitung der Schäden zu vermeiden.
- III. schwere Schäden: die Gebrauchs- oder Funktionstüchtigkeit ist erheblich gemindert; Instandsetzungen größeren Ausmaßes sind angezeigt.
- IV. die Schadensgrenze ist erreicht oder der untere akzeptable Standard des Elementes ist überschritten: die Gebrauchs- oder Funktionstüchtigkeit ist nicht mehr gewährleistet. Eine Instandsetzung ist erforderlich.

Eine weitere Definition findet sich in dem Schweizer Impulsprogramm, das das Amt für Konjunkturfragen in der Schweiz von 1990 bis 1995 durchführen lies (Tabelle 2–7 und Bild 2–16).

Code	Zustand	Dringlichkeit	Maßnahme
A	gut	Unterhalten	Unterhalten
B	leichte Abnutzung	Überwachen	kleinere Instandsetzung
C	größere Abnutzung	Eingreifen	größere Instandsetzung
D	Ende Lebensdauer	sofort handeln	Erneuerung (Ersatz)

*Tabelle 2–7: Beispiel einer Bauteil-Alterungsklassifizierung*

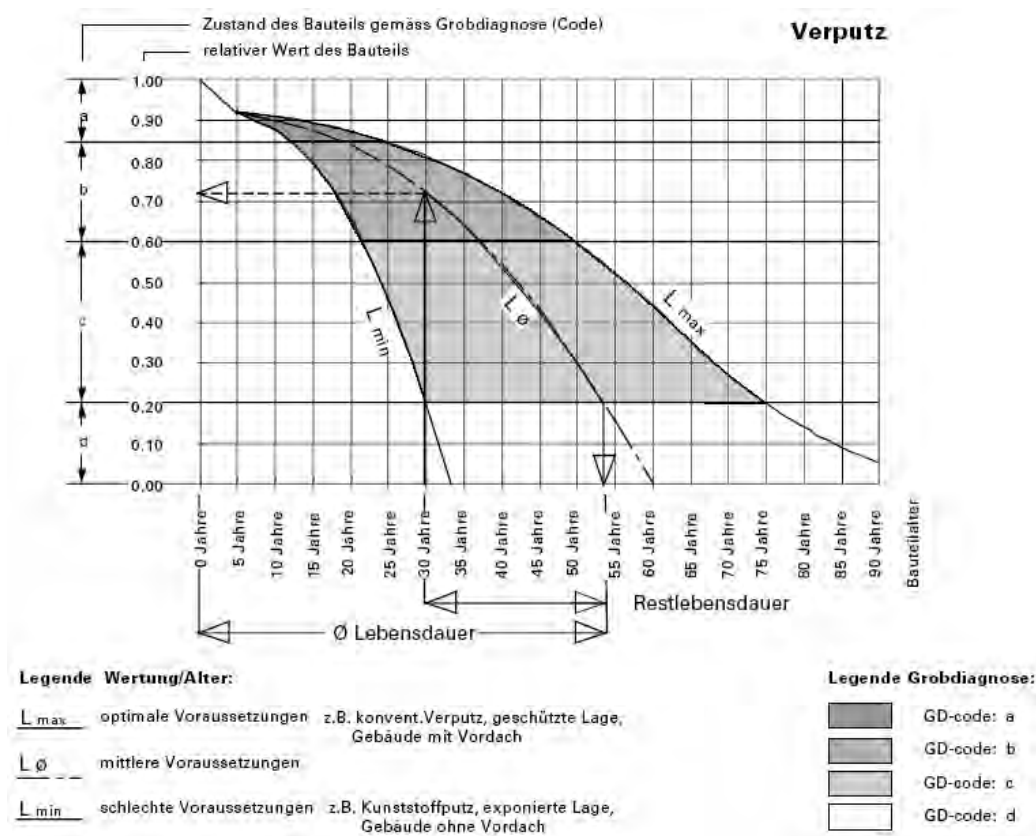


Bild 2–16: Beispiel einer Bauteil-Alterungskurve nach der Methode IP Bau

Bei dieser Einstufung geht man davon aus, dass das Ende der „Lebensdauer“, also Stufe „d“, erreicht und die Erneuerung dringend notwendig ist, wenn nur noch 20% Restlebensdauer vorhanden ist.

Mit der Grobdiagnose des Schweizer Impulsprogramm IP Bau können Instandhaltungsszenarien prognostiziert werden, um eine Grundlage zur Bewertung von Instandhaltungsschau und Sanierungsbedarf zu schaffen. Dabei wird das Gebäude in 50 Grobelemente zerlegt, Bild 2–17. Den einzelnen Elementen werden je nach Erhaltungszustand Kostenkennwerte zugeordnet. Dadurch kommt man sehr schnell zu gebäudebezogenen Kosten, die der Genauigkeit des Kostenrahmens entsprechen.

Einige dieser 50 Grobelemente sind in Ausführungsarten unterteilt. Darüber hinaus lösen einige Zustandcodes Nachfolgecodes aus. Die Grobelemente sind nicht nach DIN 276 gegliedert, sondern die Aufteilung folgt dem Grundsatz der systematischen Kontrolle. Diese Kontrollen beginnen bei der Außenhülle, den äußeren Einrichtungen und den Fassaden (Außenwänden des Erdgeschosses und der oberen Stockwerke). Dann gehen sie zur Überprüfung der Untergeschosse über, es folgen Verkehrs- und Gemeinschaftsräume (Eingang, Halle, Gänge, Treppenhaus, Aufzüge), danach Dachstuhl und Dachkonstruktion (Sparren, Dachdeckung, technische Räume) und schließlich die Nutzflächen und besonderen Einrichtungen. Die Liste endet mit den Elementen für Elektro-, Heizungs-, Lüftungs- und Sanitärinstallationen.

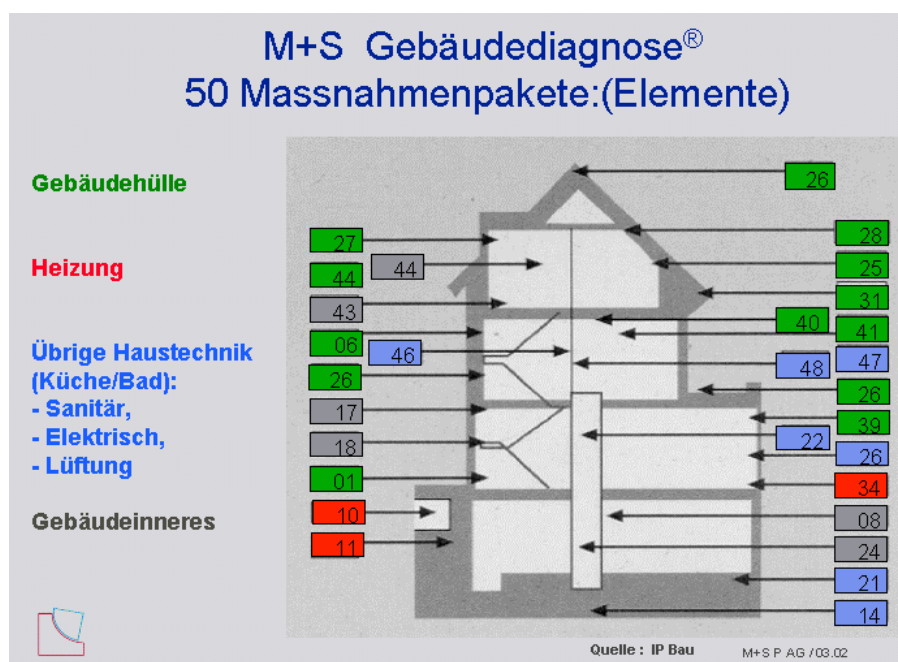


Bild 2–17: Elementierung eines Gebäudes nach der Methode IP Bau

Eine Umgliederung nach DIN 276 ist möglich. Diese Grobdiagnose wird ohne technische Hilfsmittel durchgeführt. Aufgrund einer solchen Grobdiagnose lassen sich belastbare Szenarien für die Prognose des Instandhaltungsbedarfes und eines optimalen Sanierungszeitpunktes erstellen. Für die speziellen Fragestellungen eines Laborbaus müssen die 50 Grobelemente um projekt- und nutzungsspezifische Zusatzfaktoren ergänzt werden.

## 2.4.4 Chancen und Risiken

Die steigenden Anforderungen und die stärkere Vernetzung der bei Bauvorhaben zu beachtenden Randbedingungen erfordert die Zusammenführung breiten Fachwissens in einem integralen Planungsteam bereits in frühen Planungsphasen. Damit eröffnen sich einerseits Chancen, entscheidende Weichen für den Lebenszyklus des Gebäudes frühzeitig richtig zu stellen, andererseits erfordert die interdisziplinäre Zusammenarbeit im Planungsteam aber auch eine vernetzte Denkweise und mehr „Disziplin“ bei den beteiligten Fachplanern sowie die Einsicht des Bauherren, dass mehr Zeit, Geld und Qualität in die Konzeptentwicklung und die Planung des Nutzungszyklus von Gebäuden fließen muss. Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, zahlt sich die erhöhte Planungsqualität auch wirtschaftlich aus, so zum Beispiel durch exakte Technik-Dimensionierung, verkürzte Bauzeiten und erhöhte Nutzungsflexibilität, Bild 2–18.

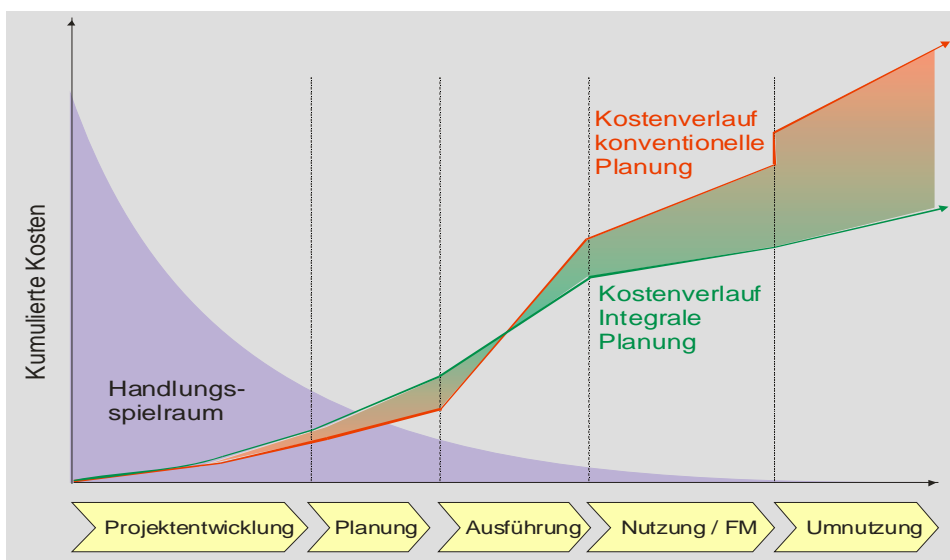


Bild 2–18: *Einsparung im Gebäudelebenszyklus durch Integralen Planungsansatz [Wolkenhauer]*

Der Projektsteuerung kommt im Integralen Planungsprozesses eine neue Rolle zu. Auch die anderen Fachplaner übernehmen neben der originären Verantwortung für ihr eigenes Gewerk im integralen Planungsprozess Projektverantwortung für den gesamten Bauprozess.

Die Bildung eines interdisziplinären Planungsteams sollte bereits in einer frühen Entwurfphase oder sogar schon in der Wettbewerbsphase erfolgen, um hier bereits die Weichen für ein effizientes Gebäude- und Nutzungskonzept zu stellen.

Unterstützt wird der integrale Planungsprozess durch EDV-gestützte, datenbankorientierte Projektplattformen, die ein standardisiertes Datenmanagement sowohl ermöglichen als auch erzwingen.

Zusammengefasst sind die wesentlichen Elemente der integralen Planung:

- Betrachtung und Optimierung des gesamten Gebäudelebenszyklus. Durch die Verknüpfung von Konzeption, Planung, Ausführung und Nutzung verändert sich der traditionelle sequentielle Planungsprozess hin zu einer integralen Projektstruktur,
- Kooperative Planung in interdisziplinären Teams, unterstützt durch moderne EDV-Werkzeuge wie Simulationstools und Projektserver,
- Umverteilung von Planungs- und Konzeptionsleistungen in frühe Projektphasen.

Der Integralen Planung kommt gerade bei der Bestandssanierung und Revitalisierung große Bedeutung zu, da hier ein beachtliches Energieeinsparpotenzial erschlossen werden kann. Sie bietet Chancen, birgt jedoch auch Risiken, Tabelle 2–8. Zu den Hemmnissen zählt der monetäre Mehraufwand in den frühen Planungsphasen durch die Einrichtung von Projektservern oder den Einsatz von Simulationsverfahren. Aber auch die Planungsbeteiligten selber können zum Risiko werden, da an ihre Bereitschaft und Fähigkeit, Disziplin zu üben bzw. sich einzuordnen, hohe Anforderungen gestellt werden.

<b>Chance</b>	<b>Risiko</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimierte Investitionen</li> <li>• Optimierte Energie- und Lebenszykluskosten</li> <li>• Minimierte Planungs- und Bauzeit</li> <li>• Transparenz im Betreiben und Sanieren durch prognosegestützte Strategien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mehraufwand für Grundlagenermittlung und Planung z. B. durch Projektmanagement und Simulation</li> <li>• Einheitliche Standards erfordern mehr Disziplin im Planungsteam</li> <li>• Teilweise Unverträglichkeit der horizontalen und vertikalen integration mit öffentlichen Vergaberichtlinien</li> </ul>

*Tabelle 2–8: Chancen und Risiken der Integralen Planung*

## 2.5 Innovative Energietechniken für Forschungslabors

### 2.5.1 Definition innovativer Techniken

Innovation steht für „Erneuerung“ oder „Neuerung“. Das Wort ist vom lateinischen Begriff *novus* „neu“ abgeleitet. Mit innovativen Techniken werden neuen Ideen und Erfindungen sowie für deren wirtschaftliche Umsetzung verbunden. Objektiv wird das Ziel verfolgt, mit innovativen Produkten oder Technologien dem technischen Fortschritt zu genügen oder auf ein verändertes Nachfrageverhalten zu reagieren. Die Verwendung des Begriffes innovativ in Werbung und Marketing erfolgt teilweise inflationär und wird häufig bereits bei geringen Produktmodifikationen angewandt.

Die im nachfolgenden Abschnitt aufgeführten innovativen Techniken haben folgende Gemeinsamkeiten:

1. Die Innovationen zielen auf eine verbesserte Energieeffizienz, eine verstärkte Nutzung regenerativer Energien und somit auf einen Beitrag zum globalen Klimaschutz.
2. Die Techniken oder Technologien sind technisch ausgereift und somit grundsätzlich marktfähig, haben aber aufgrund ihrer „Neuheit“ noch keine allgemeine Marktakzeptanz gefunden. Gründe für die fehlende Marktakzeptanz können neben dem niedrigen Bekanntheitsgrad häufig wirtschaftliche Faktoren sein. So führen geringe Absatzzahlen und hoher Entwicklungsaufwand in der Anlaufphase zu hohen Preisen und erschweren die Produkteinführung. Merkmale innovativer Techniken sind daher häufig direkte Fördermittel oder indirekte Förderungen im Rahmen von Demonstrationsprojekten.
3. Der spezielle Bezug zur Laborsanierung muss gegeben sein. Innovative Techniken wie die solare Stromerzeugung (Photovoltaik) sind in weiten Bereichen der Energieversorgung anwendbar. Wenn deren Einsatz in der Laborsanierung keine überdurchschnittlichen Vorteile bietet, werden diese Techniken nicht aufgeführt.



Neben innovativen Techniken sind Beiträge zum Klimaschutz häufig auch mit rein konventionellen Techniken, wie Abschnitt 2.3 zeigt, möglich. Beispiele:

- Gebäudeoptimierungen durch integrale Planung
- Maßnahmen zum Wärmeschutz, Wärmerückgewinnung, Modernisierung gemäß 2.3
- Betriebsoptimierungen bei laufender Nutzung.

## 2.5.2 Beispiele innovativer Techniken

### Bedarfsgerechte Laborlüftung

Wenn aufgrund zahlreicher Laborabzüge innerhalb der Hauptbetriebszeit ein größerer Schwankungsbereich für den Luftvolumenstrom entsteht, empfiehlt sich der Einsatz von Einzelraumcontrollern.

Das Energiesparpotenzial ergibt sich aus den unterschiedlichen Anforderungen an den Abluftvolumenstrom entsprechend:

- DIN 1946 – 7: Danach sollte der flächenbezogene Abluftvolumenstrom während der bestimmungsgemäßen Nutzungszeit mindestens  $25 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$  betragen.
- DIN 12924: Für die Funktionstüchtigkeit von Laborabzügen müssen durch Musterprüfungen ermittelte Abluftvolumenströme innerhalb vorgegebener Grenzen eingehalten werden. Dabei kann der Abluftvolumenstrom zwischen einem Minimalwert (bei geschlossenem Frontschieber) und einem Maximalwert (bei voll geöffnetem Frontschieber) stetig oder nach einem 2-Punkt-Verhalten variiert werden.

Der wirtschaftliche Einsatz einer bedarfsgerechten Einzelraumregelung wird durch die Abzugsausstattung und die Intensität der Abzugsbenutzung bestimmt.

Anhand von drei Raumbeispielen nach Tabelle 2–9 werden die möglichen Effekte dargestellt.

		Beispiel 1	Beispiel 2	Beispiel 3
Hauptnutzfläche Labor	m <sup>2</sup>	22	22	22
Mindestabluftvolumenstrom nach DIN 1946-7	m <sup>3</sup> /h	550	550	550
Anzahl der Laborabzüge	-	1	3	3
Maximaler Abluftvolumenstrom je Abzug	m <sup>3</sup> /h	500	500	500
Minimaler Abluftvolumenstrom je Abzug	m <sup>3</sup> /h	150	150	150
Konstanter Dauerabluftvolumenstrom	m <sup>3</sup> /h	80	80	80
Intensität der Abzugsbenutzung	-	0,10	0,10	0,40
Maximaler Abluftvolumenstrom Raum (tags)	m <sup>3</sup> /h	<b>580</b>	<b>1.580</b>	<b>1.580</b>
Minimaler Abluftvolumenstrom Raum (tags)	m <sup>3</sup> /h	550	550	550
Mittlerer Abluftvolumenstrom Raum (tags)	m <sup>3</sup> /h	<b>553</b>	<b>653</b>	<b>962</b>
Reduzierung durch Einzelraumregelung	%	- 5	- 59	- 39

Tabelle 2–9: Beispielrechnung variable Abzugsregelung

Im Beispiel 1 tritt nur ein geringer Einspareffekt auf, da der maximale Abluftvolumenstrom bei nur einem Abzug mit 30 m<sup>3</sup>/h lediglich um 5 % über dem Mindestabluftvolumenstrom nach DIN 1946 – 7 liegt.

Werden im gleichen Raum (Beispiele 2 und 3) zwei zusätzliche Abzüge vorgesehen, entstehen zwischen den Mindestanforderungen nach DIN 1947 – 7 und den Maximalvolumenströmen der Abzüge ein Unterschied von 1.010 m<sup>3</sup>/h bzw. 183 %.

In den beiden Beispielen 2 und 3 beträgt das Reduktionspotenzial dann 58 % und 39 %. Bei fehlender Einzelraumbilanzierung müsste der maximale Abluftvolumenstrom von 1.560 m<sup>3</sup>/h während der kompletten Hauptnutzungszeit gefördert werden. Entscheidend für die tatsächliche Reduzierung ist die Intensität der Abzugsnutzung. Diese ist in einem reinen Forschungslabor beispielsweise geringer anzusetzen als in einem Praktikumlabor innerhalb im Hochschulbereich. Realistische Einschätzungen zum Labornutzerverhalten sind daher für die Planung von großer Bedeutung.

Die Reduzierung der Luftvolumenströme verringert den Energiebedarf sowohl für die Luftförderung als auch für die thermische Luftaufbereitung. Während der Nebenbetriebszeit lässt sich zusätzlich die allgemeine Luftvolumenstromabsenkung über Zeitsteuerprogramme absenken. (siehe Abschnitt 2.3.5).

Die Raumcontroller verarbeiten

- die Frontschieberstellung der Abzüge



Um den möglichen Bereich der Luftmengen Anpassung maximal auszuschöpfen, muss auf eine sorgfältige Auslegung der Volumenstromregler geachtet werden. Für die nach Nennweiten abgestuft verfügbaren Volumenstromregler werden von den Herstellern Minimum- und Maximumwerte als Stellbereiche angegeben. Diese Stellbereiche sollten den raumweise möglichen Regelbereich idealerweise vollständig einschließen.

### **Multifunktionale Wärmerückgewinnung**

Mit zunehmender Effizienz der Wärmeübertrager nach Abschnitt 2.3.5 ergibt sich die Möglichkeit, ursprünglich reine Wärmerückgewinnungssysteme zu multifunktionalen Systemen zu erweitern. Diese Systeme können die vollständige Lufterwärmung und Luftkühlung gewährleisten. Spezialisierte Anbieter übernehmen die Auslegung, Lieferung und Betriebsüberwachung von kompletten Teilklimaprozessen.

Entsprechend Bild 2–20 findet eine separate Luftnachwärmung bzw. Luftnachkühlung nicht mehr statt. Stattdessen erfolgt die Einspeisung der notwendigen Restenergie indirekt über den Zwischenmedienkreis des Wärmerückgewinnungssystems.

Der Vorteil dieser Schaltung besteht darin, dass zusätzliche Strömungswiderstände durch Heiz- und Kühlregister im Luftstrom vermieden werden. So führt ein konventionelles Kühlregister bei üblicher Auslegung zu einem luftseitigen Druckverlust von 100 Pa. Der Druckverlust wirkt ganzjährig, obwohl der Kühler nur selten benötigt wird.

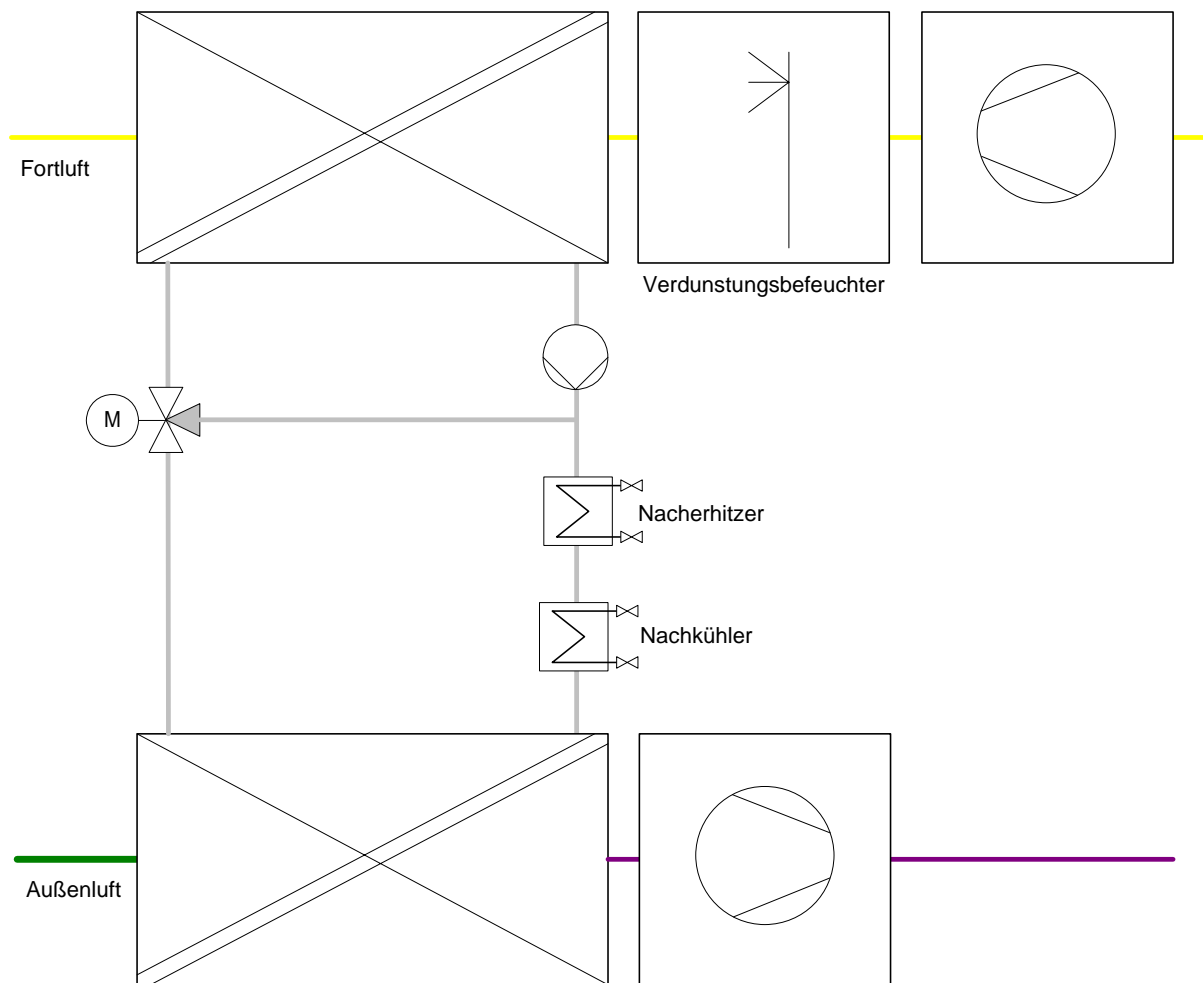


Bild 2–20: Schaltschema einer multifunktionalen Wärmerückgewinnung mit adiabater Kühlung

Für den Wärmerückgewinn sind die Temperaturverschiebungen durch im Zwischenmedienkreis nach Bild 2–20 grundsätzlich nachteilig, da die Temperaturdifferenz im Fortluft-Wärmeübertrager zwischen Luft und Sole verringert wird. Bild 2–21 zeigt beispielhaft den Temperaturverlauf der Luft- und Medienströme entlang der Wärmeübertragerfläche. Hierbei wird die Zuluft auf das Ablufttemperaturniveau nachgewärmt.

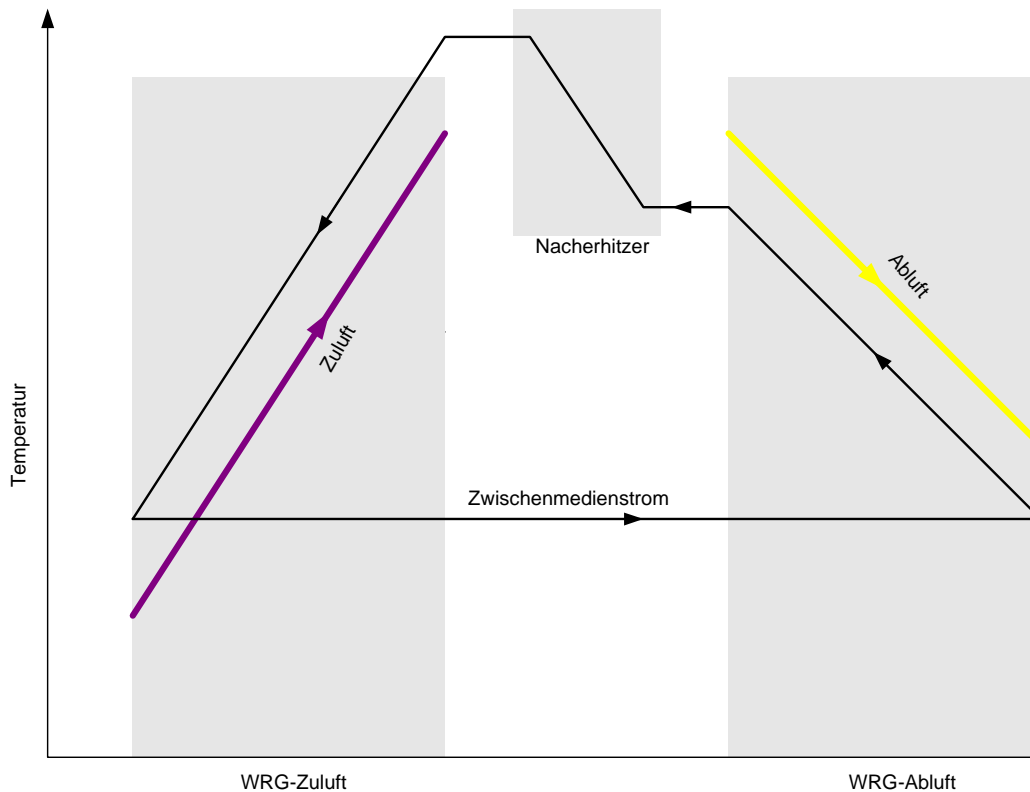


Bild 2–21: Temperaturverlauf bei Gegenstromführung und Nachwärmung im Zwischenmediensystem

Bei hocheffizienten Gegenstrom-Systemen fällt der Nachteil jedoch gering gegenüber den energetischen Vorteilen bei der Luftförderung aus, zumal eine nennenswerte Nacherwärmung nur an extrem kalten Tagen notwendig ist.

Die hohen Betriebscharakteristika der WRG-Register führen auch im Nachheiz- und Nachkühlfall zu geringen Temperaturdifferenzen, wodurch der Einsatz regenerativer Energien vorteilhaft wird.

Eine gezielte Luftentfeuchtung (Vollklimaprozess) ist mit der Schaltung nach Bild 2–20 nicht möglich, da die Nachheizfunktion beim gleichzeitigen Kühlen fehlt.

Für einen Kälterückgewinn gibt es aufgrund der Wetterdaten nur ein geringes Potenzial, da die Zulufttemperaturen häufig unterhalb der Ablufttemperatur und die Außenlufttemperatur selten oberhalb der Ablufttemperatur liegt. Durch Wasserverdunstung in der Abluft lässt sich jedoch deren Temperatur absenken. Ein Vorkühlen der Außenluft gemäß Bild 2–22 wird damit möglich. Das Einsparpotenzial für die Kühlung beträgt ca. 30 – 50 %.

Besondere Vorteile der adiabaten Kühlung entstehen,

- wenn die erzielbaren Zulufttemperaturen von ca. 22 °C ausreichen, um auf eine Nachkühlung ganz zu verzichten
- wenn die Spitzenlastreduzierung zu deutlich kleineren Kältemaschinen führt.

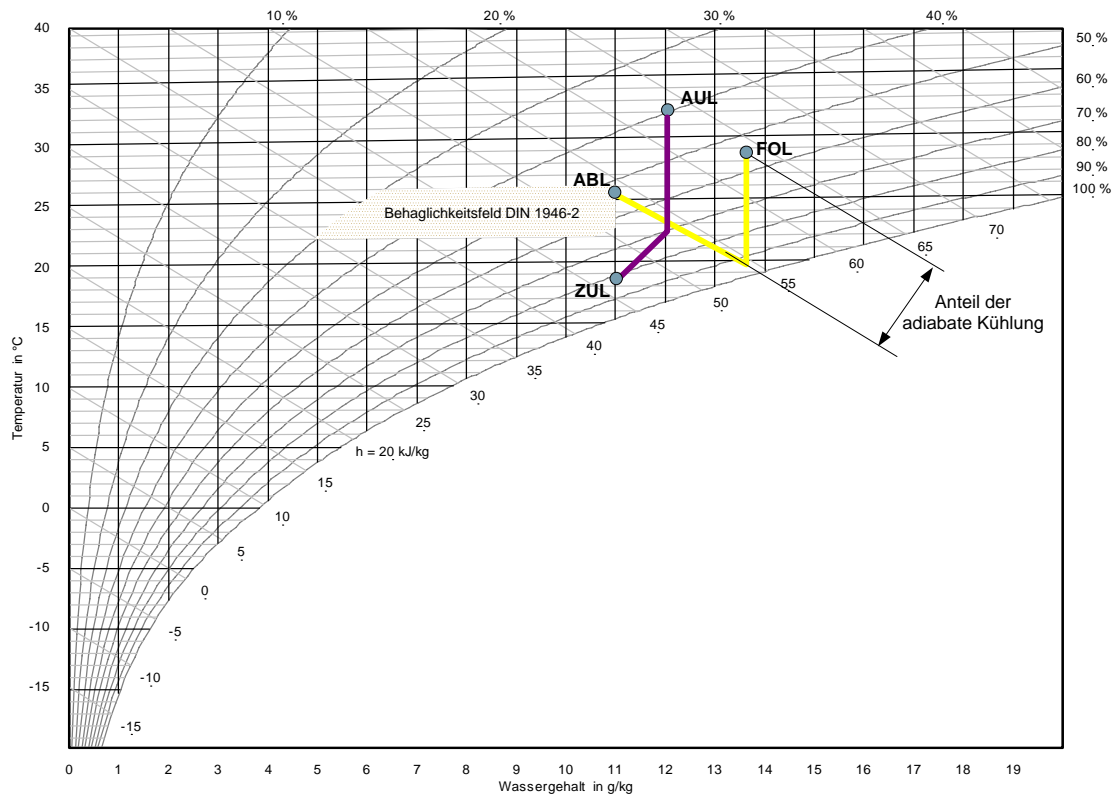


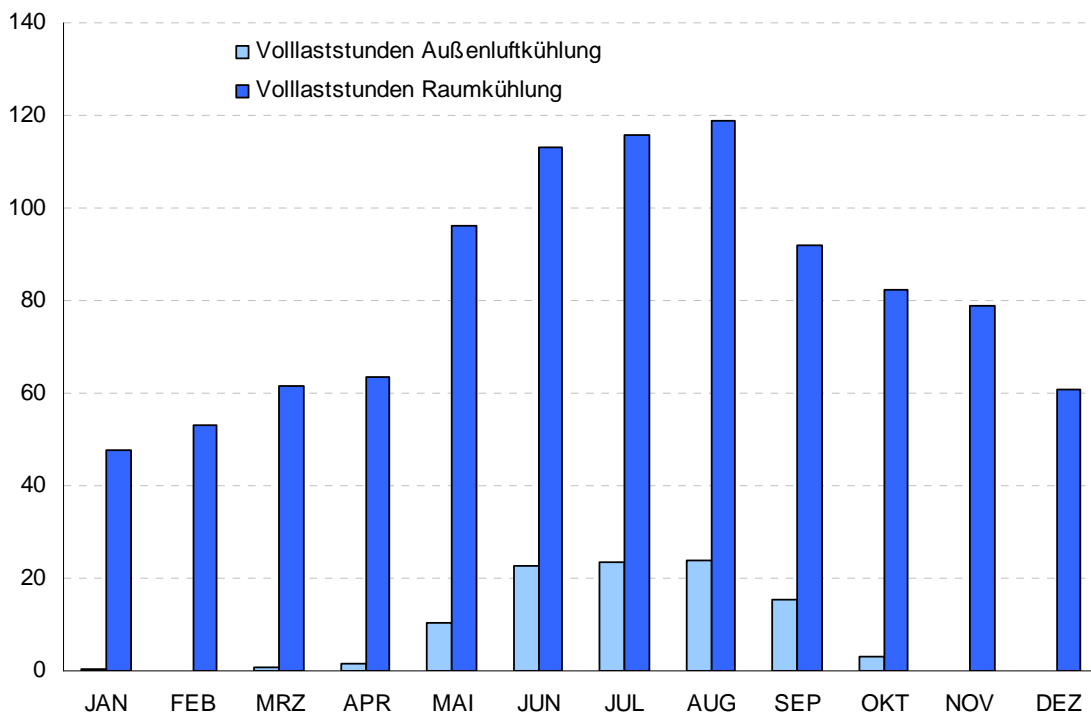
Bild 2–22: Funktion der adiabaten Kühlung

Weitere Optionen multifunktionaler Wärmerückgewinnungsanlagen sind:

Rückkühlung von für Kältemaschinen

## Freie Kühlung

Unter freier Kühlung versteht man das Kühlen von Räumen ohne Einsatz maschinell erzeugter Kälte, indem Temperaturpotenziale aus der Umwelt genutzt werden. Beispielhaft für das Laborgebäude Phytosphäre zeigt Bild 2–23 die unterschiedliche Bedeutung von Luftkühlung und Raumkühlung. Freie Kühlung ist, wie in Bild 2–23 erkennbar, immer dann einsetzbar, wenn nutzungsbedingt hohe thermische Belastungen unabhängig von der Witterung auf Räume wirken. Beispiele sind: Rechenzentren, innenliegende Räume, physikalische Messräume.



*Bild 2–23: Monatliche Volllaststunden (Laborgebäude Phytosphäre) für Raumkühlung und Außenluftkühlung im Vergleich*

Die einfachste Art der freien Kühlung besteht in der natürlichen Lüftung, die tags über Fenster und gegebenenfalls nachts zur thermischen Entspeicherung genutzt werden kann. In Laborräumen und innenliegenden Räumen sind die Lüftungsmöglichkeiten auf die Nutzung mechanischer RLT Anlagen beschränkt.



Für wassergestützte Raumkühlssysteme kann die freie Kühlung über Rückkühlwerke genutzt werden. Bei Rückkühlwerken wird in Trockenkühler und Verdunstungskühler unterschieden. In Verdunstungskühlern nimmt die Umgebungstemperatur aufgrund der Befeuchtung die Feuchtkugeltemperatur an, wodurch tiefere Wassertemperaturen zu erreichen sind.

Die auf statistischen Wetterdaten basierenden Summenhäufigkeitskurven zeigt Bild 2–24. Danach wird eine Systemtemperatur von 16 °C statistisch durch die Außenlufttemperatur (Trockenkugeltemperatur) an 22 % des Jahres überschritten, die Feuchtkugeltemperatur nur an 9 % des Jahres. Für die übrige Zeit besteht die Möglichkeit der freien Kühlung. Je höher die Systemtemperatur, desto höher das Potenzial.

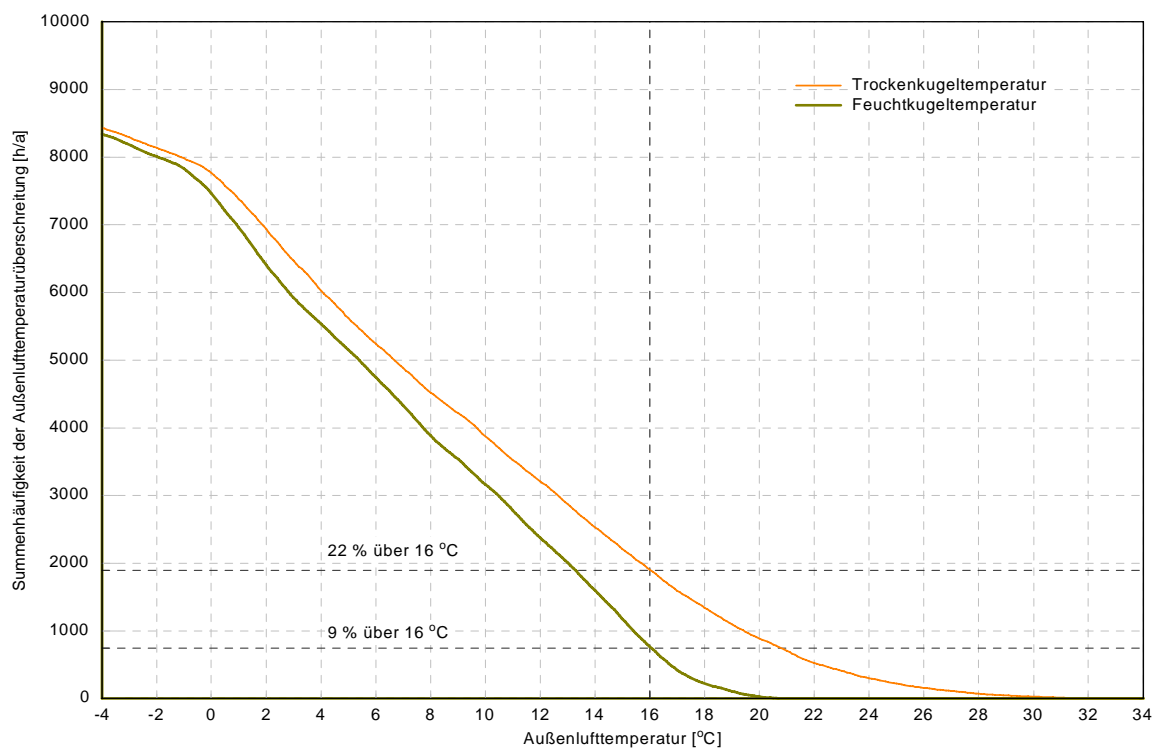


Bild 2–24: Summenhäufigkeitslinien der Trocken- und Feuchtkugeltemperatur für das Außenklima (Referenzstation Würzburg)

In Laborgebäuden bietet sich für die freie Kühlung eine spezielle Schaltung in Verbindung mit hocheffizienten Wärmerückgewinnungsanlagen nach Bild 2–25 an.

Besonderheiten der Schaltung:

- Die Kälteauskopplung erfolgt direkt aus dem Zwischenmedien- (Sole-Strom).

- Bedingt durch die notwendigen Laborluftvolumenströme steht ein hoher Wärmekapazitätsstrom zur Verfügung, der für die freie Kühlung genutzt werden kann. Beispiel: Würde bei einem flächenbezogenem Außenluftvolumenstrom von  $25 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$  im Solekreis eine Temperaturänderung um 4 K erfolgen, entspräche dies für die gleiche Fläche einer Kühlleistung von  $34 \text{ W/m}^2$ .
- Wärmerückgewinnungssysteme verfügen über Einzelwärmeübertrager mit sehr hoher Betriebscharakteristik. Dadurch erfolgt eine weitgehende Angleichung der Soleaustrittstemperatur an die Lufteintrittstemperatur. Beispiel: Bei Außenluft- / Ablufttemperaturen von  $+5 \text{ °C}$  /  $+22 \text{ °C}$  und einer WRG mit Rückwärmzahl 70 % tritt die Sole aus dem Außenluft-Wärmeübertrager mit einer Temperatur von  $+8 \text{ °C}$  aus.

Vorteile der Schaltung:

- Der apparative Aufwand ist gering, da keine zusätzlichen Außenluftkühler bzw. Dachaufstellflächen benötigt werden.
- Die Abwärme aus den thermisch hochbelasteten Räumen kann teilweise zur Außenluftvorwärmung genutzt werden.

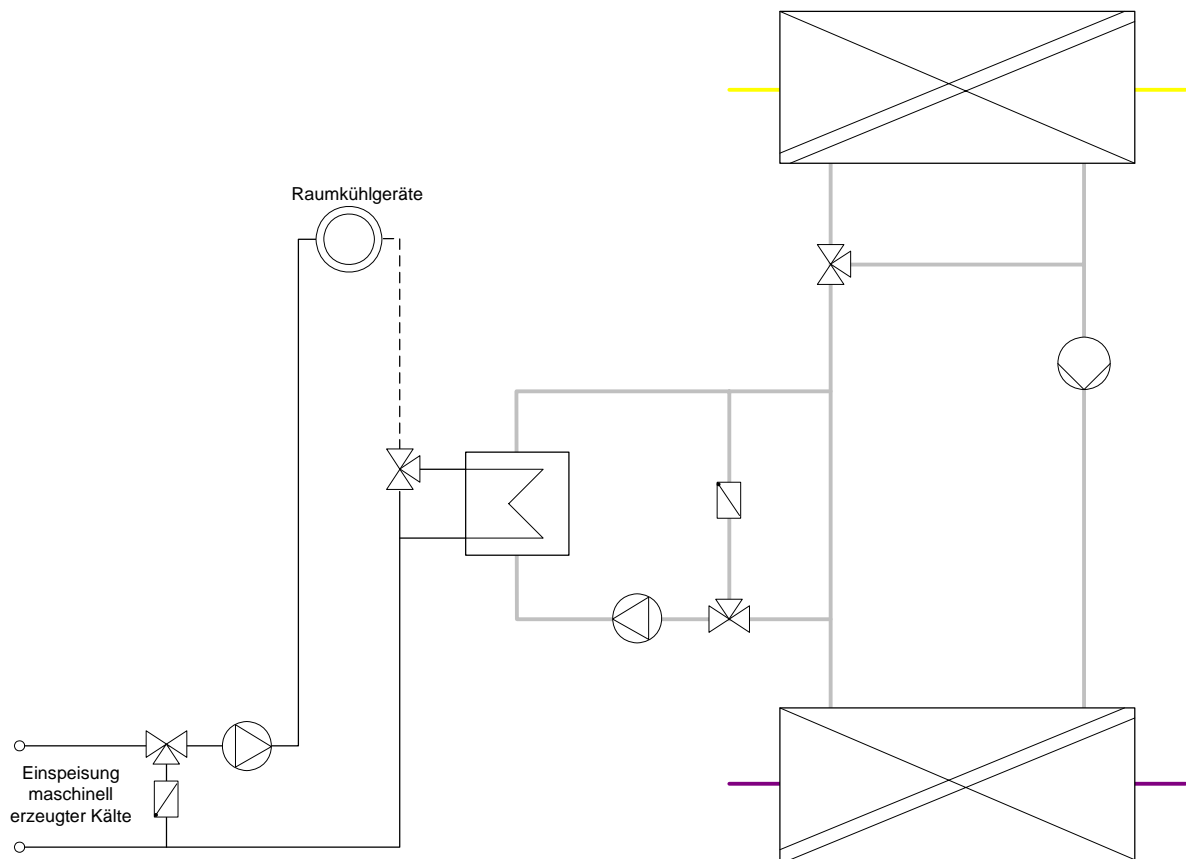


Bild 2–25: Auskopplung „freie Kühlung“ bei Einsatz hocheffizienter Wärmerückgewinner

Die Planung von Anlagen erfordert genaue Kenntnisse des Nutzerverhaltens bzw. des Kühllastverlaufes während der kühleren Jahreszeit. Auf Basis einer Lastanalyse lassen sich die Deckungsgrade für die freie Kühlung durch Gebäude- und Anlagensimulationen bestimmen. Ein Beispiel zeigt Bild 2–1.

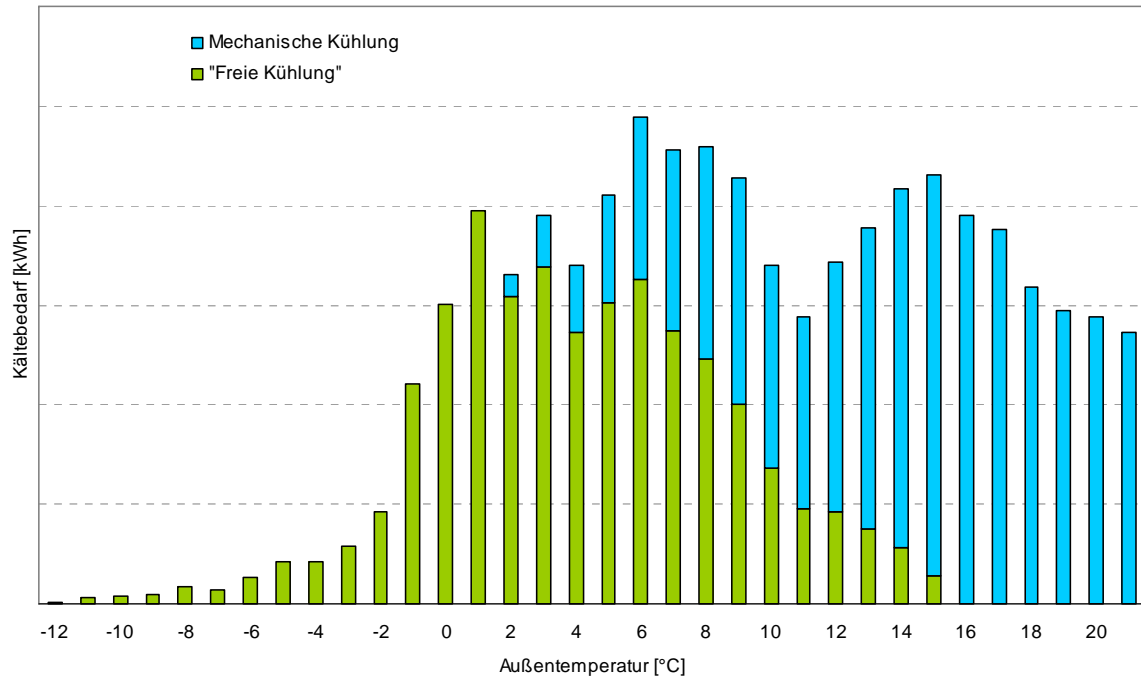


Bild 2–26: Beispiel einer Lastanalyse für die freie Kühlung

## Oberflächennahe Geothermie und Wärme-Kälte-Kopplung

Unter oberflächennaher Geothermie versteht man die Wärmenutzung des Erdreichs in Tiefen bis zu 200 m. Üblicherweise gelangen Wärmepumpen zum Einsatz, deren Quellenergie dem Erdreich bei einer Temperatur von 10 -12 °C über Grundwasser, über vertikale Sonden oder horizontale Register entzogen wird.

Konventionell geplante Laboratorien sind für eine Niedertemperaturwärmenutzung eher ungeeignet, da der Einsatz von Flächenheizsystemen (Fußbodenheizung, Wand- oder Deckenheizung) die Funktionalität und Flexibilität der Räume einschränkt. Den größten Wärmeabnehmer stellen die RLT-Anlagen dar, deren Heizregister in der Regel höhere Vorlauftemperaturen benötigen.

Bei Einsatz einer multifunktionalen Wärmerückgewinnung nach Bild 2–20 werden RLT-Anlagen zu ausgesprochenen Niedertemperaturwärmeverbrauchern. Durch die großzügig dimensionierten Wärmeübertrager sind bereits geringe Heizmedien-Übertemperaturen zum Erreichen eines Sollwertes von 20 .. 22 °C ausreichend.

Der Einsatz einer geothermischen Wärmepumpenanlage kann daher eine sinnvolle Ergänzung des Wärmeversorgungskonzeptes sein.

Zusätzliche Vorteile ergeben sich durch Wärme-Kälte-Kopplung, wenn ein ganzjähriger Kühlbedarf besteht. Geothermische Energiequellen lassen sich darüber hinaus im Sommer zur direkten Kühlung nutzen, wenn die Raumkühlsysteme konsequent für hohe Systemtemperaturen ausgelegt sind. Auch für andere Formen der Abwärmenutzung, z. B. aus der Druckluftherzeugung, Tiefkühlräumen sind bei Einsatz von Pufferspeichern die multifunktionalen Wärmerückgewinnungsanlagen geeignet.

## **Tageslichtsysteme**

Laboratorien gehören unterliegen in der Regel intensiven nutzungsbedingten Wärmebelastungen durch Personen, Computern, Messgeräten und Versuchsaufbauten. Um eine energieintensive Kühlung von Räumen zu minimieren, müssen zusätzliche solare Energieeinträge durch Sonnenschutzgläser oder Sonnenschutzanlagen vermieden werden. Dies beeinträchtigt die Tageslichtversorgung und kann den Einsatz künstlicher Beleuchtung während Zeiten mit ausreichendem Tageslichtangebot notwendig machen. Eine Tageslichtplanung ist daher Bestandteil der integralen Planung, bei der es um die optimalen Kompromisse aus teils widersprechenden Anforderungen geht.

Spezielle Tageslichtsysteme können

- den Einsatz der künstlichen Beleuchtung bei gleichzeitigem Sonnenschutz reduzieren
- zum Blendschutz beitragen
- die Tageslichtversorgung fassadenferner Bereiche verbessern, was für Laborräume mit typischerweise größeren Raumtiefen von besonderer Bedeutung ist
- die Attraktivität der Räume verbessern und damit die Nutzerakzeptanz erhöhen.

Einen umfassenden Überblick über die Systeme geben [2-19] und [2-20]. Grundsätzlich können unterschieden werden:

- Systeme in Ergänzung der Sonnenschutz- bzw. Blendschutzfunktion
- Systeme zur Lichtumlenkung.

Bei tageslichtoptimierten Sonnenschutzlamellen ist der Stellwinkel starr oder kann separat gesteuert werden. Dadurch ist eine Reflexion von direktem Tageslicht gegen die Raumdecke im entscheidenden Sturzbereich möglich, während die Hauptfensterfläche wirksam verschattet wird. Innovative Systeme zeichnen sich durch tageslichtoptimierte Geometrien und hochreflektierende Beschichtungen aus. Die Anordnung ist im Außen- und Innenbereich sowie zwischen den Scheiben möglich.

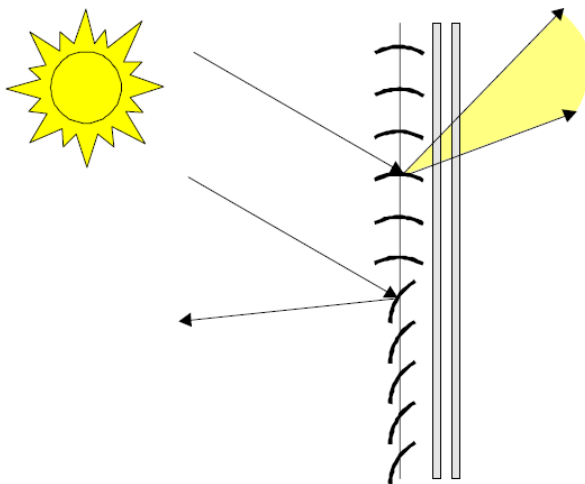


Bild 2–27: Tageslichtoptimierter Außenraffstore

Speziell entwickelte Geometrien gestatten auch bei starren Lamellen eine wirksame Funktion gegen Direktstrahlung bei hohem Sonnenstand bei gleichzeitig guter Durchsicht nach Außen.

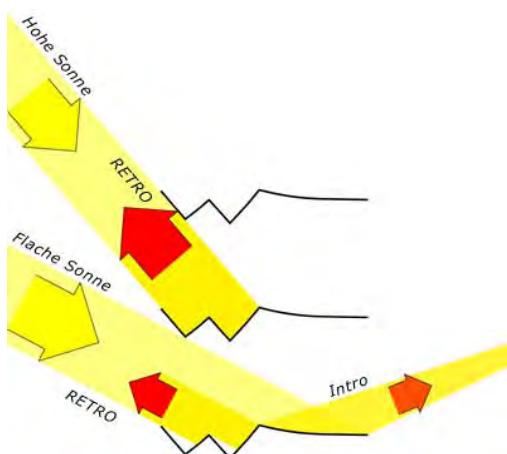


Bild 2–28: Beispiel einer starren Tageslichtlamelle mit Sonnenschutzfunktion (System Köster Retrolux)

Systeme zur Lichtumlenkung werden unterschieden Systeme für die Lenkung von diffusem (ungerichtetem) Licht und Systeme zur Umlenkung von Direktstrahlung.

Beispielhafte Funktionsprinzipien für Umlenkung von direktem Licht:

- Prismen: Umwandlung von direkt einfallendem Tageslicht in diffus austretendes Tageslicht auf der Innenraumseite. Prismen können starr oder veränderbar (Nachführung) ausgeführt werden.
- Lichtlenkgläser: Direkt einfallendes Tageslicht wird nach dem Prinzip des Lichtwellenleiters durch transparente Profile, die sich innerhalb der Glaskonstruktion verbinden umgelenkt. Dadurch wird auch bei hohem Sonnenstand eine Strahlung gegen die Decke möglich.

Die Anordnung der Elemente erfolgt im Sturzbereich als Oberlichter. Bereits geringe Höhen ergeben eine spürbare Wirkung.

Grundsätzlich ist die Umlenkung von diffusem Himmelslicht von geringerer Wirkung und daher eher bei sehr ungünstigen baulichen Situationen (z. B. Innenhöfen) einzusetzen.

Mit Systemen der Lichtleitung kann direktes Tageslicht in größere Raumtiefen oder innen liegende Räume (Kernbeleuchtung) transportiert werden. Dazu erfolgt eine Bündelung des Tageslichtes durch sonnenstandsgeführte Spiegel („Heliostate“). Den Tageslichttransport übernehmen reflektierende Lichtlenkrohre („Lightpipes“).

Durch den Einsatz von Tageslichtsimulationen lässt sich die Wirkung von Systemen durch Visualisierungen beurteilen und die Energieeinsparung quantifizieren.

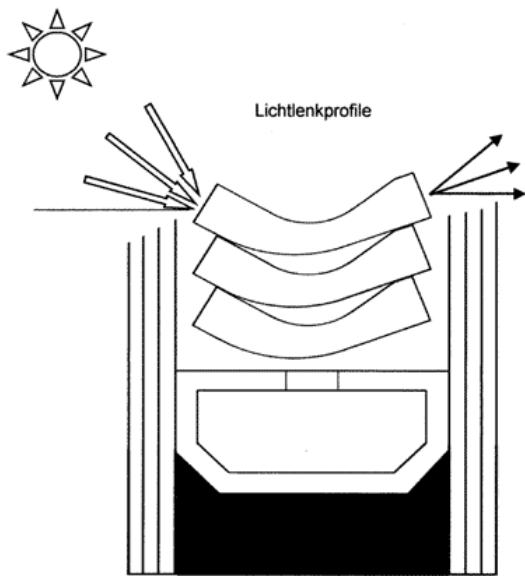


Bild 2–29: Funktionsprinzip von Lichtlenkglas



## 2.6 Vorgaben und Anforderungen durch Richtlinien und Normen (Auszug)

### 2.6.1 Energieeffizienz allgemein

	RICHTLINIE 2002/91/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden	12-2002
	Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV)	12-2004
	Leitfaden nachhaltiges Bauen Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen	01-2001
DIN 4710	Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland	01-2003
DIN EN ISO 7730	Gemäßigtes Umgebungsklima Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit	09-1995
DIN V 18599	Energetische Bewertung von Gebäuden. Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luft-	07-2005

	<p>aufbereitung</p> <p>Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung</p> <p>Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen</p> <p>Teil 6: Endenergiebedarf von Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizungsanlagen für den Wohnungsbau</p> <p>Teil 7: Endenergiebedarf von Raumluftechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau</p> <p>Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen</p> <p>Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen</p> <p>Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten</p> <p><i>Grundlage für Bilanzierung nach Energieeinsparverordnung 2007 und Ausstellung von Energiebedarfsausweisen</i></p>	
VDI 2067	<p>Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen</p> <p>Blatt 1: Grundlagen und Kostenberechnung</p> <p>Blatt 10: Energiebedarf beheizter und klimatisierter Gebäude</p> <p>Blatt 11: Rechenverfahren zum Energiebedarf beheizter und klimatisierter Gebäude</p> <p>Blatt 12: Nutzenergiebedarf für die Trinkwassererwärmung</p> <p>Blatt 20: Energieaufwand der Nutzenübergabe bei Warmwasserheizungen</p> <p>Blatt 21: Energieaufwand der Nutzenübergabe – Raumluftechnik</p> <p>Blatt 22: Energieaufwand der Nutzenübergabe bei Anlagen zur Trinkwassererwärmung</p>	<p>09-2000</p> <p>06-1998</p> <p>06-1998</p> <p>06-2000</p> <p>08-2000</p> <p>05-2003</p> <p>02-2005</p>
VDI 2067	<p>Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen</p> <p>Blatt 21: Energieaufwand der Nutzenübergabe Raumluftechnik</p>	<p>02-2002</p>

VDI 3807	Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude Blatt 1: Grundlagen Blatt 2: Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte Blatt 3: Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude und Grundstücke	02-2005 06-1998 07-2000
VDI 4710	Blatt 2(Entwurf): Meteorologische Daten in der technischen Gebäudeausrüstung – Gradtage	12-2005
VDI 6010	Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation – Gebäudesimulation	05-2001

## 2.6.2 Thermische Bauphysik

DIN 4108	Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden	
	Teil 1: Wärmeschutz im Hochbau; Größen und Einheiten	08-1981 07-2003
	Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz	07-2001
	Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung	04-2002 07-2004
	Berichtigung 1 zu DIN 4108-3:2001-07	
	Teil 4 (Vornorm): Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte	06-2006 06-2003
	Änderung A1 zu DIN V 4108-4	
	Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs	03-2004 08-2001
	Berichtigung 1 zu DIN V 4108-6:2003-06	
	Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie –beispiele	06-2004
	Teil 10 (Vornorm): Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe - Teil 10: Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe	06-2004 03-2006
	Berichtigung 1 zu DIN V 4108-10:2004-06	
	Beiblatt 2 - Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele	
DIN EN ISO 10077	Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten	11-2000
	Teil 1: Vereinfachtes Verfahren	12-2003
	Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen	
DIN EN ISO 10211	Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Detaillierte Berechnungen	

	Norm-Entwurf zu DIN EN ISO 10211 Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren Teil 2: Linienförmige Wärmebrücken	11-1995 06-2001
DIN EN 12207	Fenster und Türen - Luftdurchlässigkeit – Klassifizierung	06-2000
DIN EN 12524	Baustoffe und -produkte - Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften - Tabellierte Bemessungswerte; Deutsche Fassung EN 12524:2000	07-2000
DIN EN ISO 6946	Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren (ISO 6946:1996);	10-2003
DIN EN 13829	Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren (ISO 9972:1996, modifiziert); Deutsche Fassung EN 13829:2000	02-2001
DIN EN 410	Glas im Bauwesen - Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen; Deutsche Fassung EN 410:1998	12-1998
DIN EN 673	Glas im Bauwesen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) - Berechnungsverfahren (enthält Änderung A1:2000 + Änderung A2:2002); Deutsche Fassung EN 673:1997 + A1:2000 + A2:2002	06-2003

### 2.6.3 Heiz- und Raumluftechnik

	<p>Kriterienpapier der BG Chemie: Spürgas-Höchstwerte (SF6) für Abzüge nach DIN EN 14175</p> <p><i>DIN EN 14175 ersetzt die alte DIN 12924-1 (die Teile -2 bis -4 bleiben erhalten). In der europäischen Norm sind keine Kriterien enthalten, die dem Planer oder Anwender es ermöglichen, den notwendigen Abluft- (und Zuluft-) Volumenstrom für den Abzug zu bestimmen. Hierzu ist eine Hilfestellung des Arbeitskreises Laboratorien im Fachausschuss Chemie erschienen.</i></p>	07-2003
DIN 12924	<p>Laboreinrichtungen - Abzüge</p> <p>Teil 1: Abzüge für den allgemeinen Gebrauch abgelöst durch DIN EN 14175</p> <p>Teil 2 (Entwurf): Abrauchabzüge</p> <p>Teil 3: Durchreicheabzüge</p> <p>Teil 4: Abzüge in Apotheken</p>	<p>-</p> <p>11-2005</p> <p>04-1993</p> <p>01-1994</p>
DIN 1946	<p>Raumluftechnik</p> <p>Teil 7: Raumluftechnische Anforderungen in Laboratorien (VDI-Lüftungsregeln)</p> <p><i>Bemessen von Zuluft- und Abluftvolumenströmen; Spezielle Anforderung an die Planung und Ausstattung von Lüftungsanlagen in Laboratorien</i></p>	06-1992
DIN EN 12128	<p>Laboratorien für Forschung, Entwicklung und Analyse</p> <p>Sicherheitsstufen mikrobiologischer Laboratorien, Gefahrenbereich, Räumlichkeiten und technische Sicherheitsanforderungen</p> <p><i>Anforderungen an die Raumdruckhaltung, Abluftfiltration, Abdichtung und Alarmierung entsprechend der Sicherheitsstufen</i></p>	05-1998

DIN EN 13779	Lüftung von Nichtwohngebäuden . Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage <i>Auslegungskriterien für raumluftt. Anlagen hinsichtlich Behaglichkeit, Wirtschaftlichkeit, Funktionalität</i>	05-2005
DIN EN 14175	Abzüge Teil 1: Begriffe Teil 2: Anforderungen an Sicherheit und Leistungsvermögen Teil 3: Baumusterprüfverfahren Teil 4: Vor-Ort-Prüfverfahren Teil 6 (Entwurf): Abzüge mit variablem Luftstrom <i>Beschreibung der Verfahren für Baumusterprüfung und Vor-Ort-Prüfung.</i>	08-2003 08-2003 03-2004 12-2004 07-2004
DIN V 4701	Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen im Bestand Teil 12: Wärmeerzeuger und Trinkwassererwärmung	02-2004
TRGS 526	Techn. Regeln für Gefahrstoffe 526: Laboratorien	12-2000
TRGS 900	Techn. Regeln für Gefahrstoffe 900: Arbeitsplatzgrenzwerte	01-2006
VDI 2071	Wärmerückgewinnung in Raumluftt. Anlagen	12-1997
VDI 3802	Raumlufttechnische Anlagen für Fertigungsstätten	12-1998
VDI 3803	Raumlufttechnische Anlagen Bauliche und technische Anforderungen; Technische Anforderungen an RLT-Geräte – Energiebedarf	10-2002
VDI 4630	Thermische Nutzung des Untergrundes Blatt 1: Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte Blatt 2: Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen Blatt 3: Unterirdische thermische Energiespeicher Blatt 4: Direkte Nutzungen	12 -2000 09-2001 06-2001 09-2004

## 2.6.4 Beleuchtung

	Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirmarbeitsverordnung - BildscharbV)	12-1996
ASR 7/3	Arbeitsstättenrichtlinie Künstliche Beleuchtung	11-1993
DIN 5034	Tageslicht in Innenräumen Teil 1: Allgemeine Anforderungen Teil 2: Grundlagen Teil 3: Berechnung Teil 5: Messung Teil 6: Vereinfachte Bestimmung zweckm. Abmessungen von Oberlichtöffnungen in Dachöffnungen	10-1999 02-1985 09-1994 01-1993 06-1995
DIN 5035	Beleuchtung mit künstlichem Licht Teil 2: Richtwerte für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien Teil 3: Beleuchtung im Gesundheitswesen Teil 4: Spezielle Empfehlungen für die Beleuchtung von Unterrichtsstätten Teil 6: Messung und Bewertung Teil 7: Bel. von Räumen mit Bildschirmarbeitsplätzen Teil 8: Spezielle Anforderungen zur Einzelplatzbeleuchtung in Büroräumen und büroähnlichen Räumen Teil 8 (Entwurf): Arbeitsplatzleuchten; Anforderungen, Empfehlungen und Prüfung	09-1990 07-2004 02-1983 12-1990 08-2004 05-1994 02-2004
DIN EN 12464	Beleuchtung von Arbeitsstätten Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen;	03-2003
ISO 8995	Beleuchtung von Arbeitsplätzen in Innenräumen	05-2002
VDI 6011	Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung Blatt 1: Grundlagen Blatt 2: Dachoberlichter	08-2002 04-2006



## 2.7 Literaturverzeichnis zu Abschnitt 2

- [2-1] Vogel, Bernd / Holzkamm, Ingo: Sanierung von Chemiegebäuden an Hochschulen; HIS GmbH; Hannover 1996
- [2-2] VDI 3807: Energieverbrauchskennwerte für Gebäude; Blatt 2: Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte; Juni 1998
- [2-3] Energieeinsparung in Laboratorien durch Reduzierung der Luftströme; Schlussbericht zum Forschungsvorhaben RELAB
- [2-4] Schiller, H.: Nutzenergiebedarf für die thermische Luftaufbereitung; Forschungsbericht SANIREV 2;
- [2-5] Schiller, H.: Energetische Sanierung des Laborgebäudes 06.2 Phytosphäre – Energiebedarf der raumluftechnischen Anlagen Ist-Zustand; Teilbericht zum Demonstrationsvorhaben LABSAN; September 2002
- [2-6] DIN 277: Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau; Teil 1: Begriffe, Berechnungsgrundlagen; Juni 1987
- [2-7] DIN 1946 – 2: Raumluftechnik; Teil 2: Gesundheitstechnische Anforderungen; Januar 1994
- [2-8] DIN 1946 – 7: Raumluftechnik; Teil 7: Raumluftechnische Anforderungen in Laboratorien; Juni 1992
- [2-9] VDI 2067 Blatt 10: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Energiebedarf beheizter und klimatisierter Gebäude, Entwurf, Juni 1998
- [2-10] VDI 2067 Blatt 21: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Energieaufwand der Nutzenübergabe Raumluftechnik, Entwurf, Februar 2002
- [2-11] DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Februar 2001
- [2-12] BMFT Forschungsbericht T 86-051, Entwicklung von Testreferenzjahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland, 1986
- [2-13] VDI 6020: Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation - Gebäudesimulation, 2001

- [2-14] DIN 4710: Statistiken meteorologische Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland, Januar 2003
- [2-15] DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung von Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs; November 2000
- [2-16] VDI 2071: Wärmerückgewinnung in Raumluftechnischen Anlagen; Dezember 1997
- [2-17] Beleuchtungsplanung: Lichttechnik, Elektrotechnik; TRILUX Technische Information; 2. Auflage; 1997
- [2-18] Gierga, M.; Erhorn, H.: Bestand und Typologie beheizter Nichtwohngebäude in Westdeutschland; Bericht BMFT TP 5.14.2, Mai 1993
- [2-19] Tageslichtnutzung in Gebäuden; BINE Informationsdienst, profiinfo I/00, Fachinformationszentrum Karlsruhe, 2000
- [2-20] Köster, H.: Tageslichtdynamische Architektur. Grundlagen, Systeme, Projekte. Berlin: Birkhäuser, 2004

## 3 Praxisbeispiel: Sanierung des Phytosphären-Labors im Forschungszentrum Jülich

### 3.1 Der Planungsprozess

#### 3.1.1 Ausgangszustand des Gebäudes

##### Allgemeiner Zustand

Das Gebäude 06.20 wurde Mitte der 60er Jahre auf dem Gelände des Forschungszentrums Jülich als Chemielabor errichtet. Es ist typisch für die Bauweise aus der Gründungszeit des Forschungszentrums. Eine interessante Besonderheit stellt das parallel errichtete Gebäude 06.10, welches identisch mit dem Sanierungsprojekt 06.20 ist und zurzeit noch im Originalzustand betrieben wird.



*Bild 3–1: 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 <sup>3</sup>
Bruttogeschossfläche (BGF)	3.762	m <sup>2</sup>
Nettogeschossfläche (NGF)	3.227	m <sup>2</sup>
Hauptnutzfläche (HNF)	2.102	m <sup>2</sup>

Tabelle 3–1: Gebäudeabmessungen und –flächen

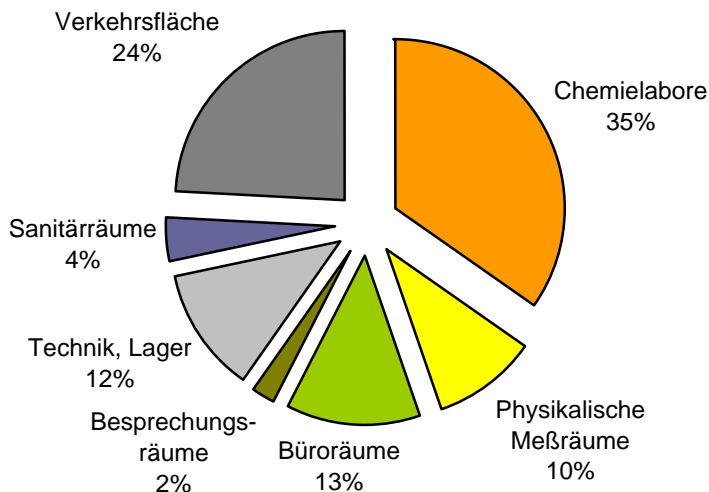


Bild 3–2 Aufteilung der Nettogeschossfläche im Geb. 06.02 vor der Sanierung

Die Grundrisse entsprechen 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.

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, die außen umlaufende Fluchtbalkone, bestehend aus Betonplatten, als zweiten Flucht- und Rettungsweg aufnahmen. Wegen der Fluchtbalkone wurden die ursprünglichen Fenster als Schiebefenster ausgeführt. Die lichte Geschosshöhe beträgt 3,50 m und wurde früher durch Abhängedecken auf 2,70 m reduziert.

Während der ca. 35-jährigen Nutzung bis zum Beginn der Grundsanierung 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 m<sup>3</sup>/h im EG. Die Abluftentnahme übernahmen insgesamt 55 dezentrale Abluft-Dachventilatoren. Zusätzlich zu der reinen Laborlüftung nach Bild 3–3 befanden sich im Gebäude 06.20 Anlagen zur Abfuhr hoher Kühllasten (Klimaschränke) und zur Luftreinigung über Schwebstofffilter. Diese Anlagen wurden mit einem Umluftanteil betrieben.

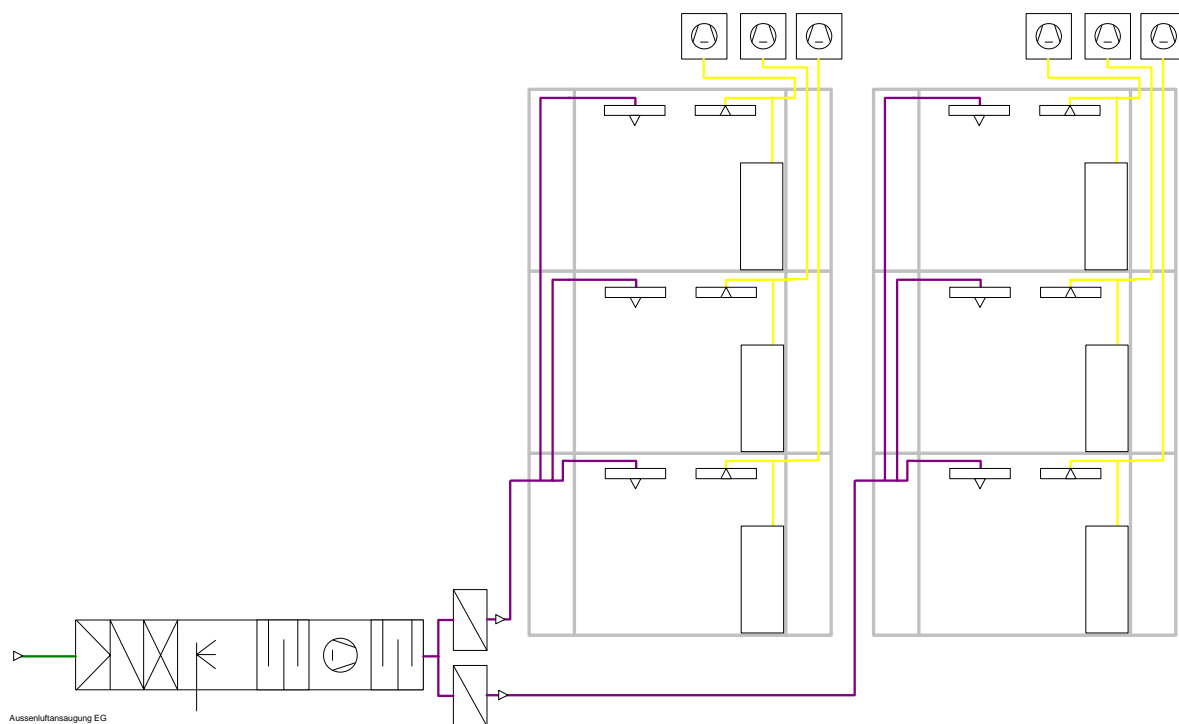


Bild 3–3: Schaltschema der Laborlüftungsanlagen vor der Sanierung

Tabelle 3–2 zeigt die Luftvolumenströme aller Anlagen. Die widersprüchlichen Zahlen ergeben sich aus dem Planungsstand, Messungen durch das Betriebspersonal (FZJ), Messungen durch den Projektpartner für die messtechnische Begleitung (SIJ) sowie den daraus resultierenden Annahmen.

Danach wird von einem Außenluftvolumenstrom von 45.382 m<sup>3</sup>/h und einem Zuluftvolumenstrom von 72.999 m<sup>3</sup>/h ausgegangen. Die Summe der Abluftvolumenströme dürfte ca. 5 – 10 % über dem Außenluftvolumenstrom gelegen haben.

Anlage	AUSSENLUFT				ZULUFT			
	Planung m <sup>3</sup> /h	Messung FZJ m <sup>3</sup> /h	Messung SIJ m <sup>3</sup> /h	Annahme IST m <sup>3</sup> /h	Planung m <sup>3</sup> /h	Messung FZJ m <sup>3</sup> /h	Messung SIJ m <sup>3</sup> /h	Annahme IST m <sup>3</sup> /h
L_01	42.000	44.712	35.557	<b>37.897</b>	42.000	44.712	35.557	<b>37.897</b>
L_02	k. A.	demontiert	-	-	k. A.	-	-	<b>0</b>
L_03	k. A.	demontiert	-	-	k. A.	-	-	<b>0</b>
L_04	-	von L_01	-	-	7.700	5.211	3.426	<b>3.426</b>
L_05	-	von L_04	-	-	16.400	16.848	-	<b>16.848</b>
L_06	-	Umluft	-	-	2.900	2.954	-	<b>2.954</b>
L_07	-	-	644	<b>686</b>	3.400	2.327	-	<b>2.327</b>
L_08	-	-	644	<b>686</b>	2.700	2.294	-	<b>2.294</b>
L_09	-	-	2.511	<b>2.676</b>	4.000	2.500	3.816	<b>3.816</b>
L_10	950	570	126	<b>134</b>	950	570	126	<b>134</b>
L_11	1.000	2.376	496	<b>529</b>	1.000	2.376	496	<b>529</b>
L_12	790	714	691	<b>736</b>	790	714	691	<b>736</b>
L_13	2.200	1.879	1.911	<b>2.037</b>	2.200	1.879	1.911	<b>2.037</b>
<b>GESAMT</b>		50.251	42.579	<b>45.382</b>	84.040	82.385	46.023	<b>72.999</b>
Messung AUL-Ansaugung			<b>45.382</b>					

Tabelle 3–2: Zusammenstellung der RLT-Anlagen

## Energetische Bewertung des Zustandes vor der Sanierung

Die Wärmedämmung des Gebäudes, die ursprünglich nur aus verputzten Holzfasertafeln bestand, wurde nachträglich bereits verstärkt. Dabei erfolgte die Aufbringung von Polystyrol-Dämmplatten mit einem neuen Außenputz. Die nachträglich aufgebraute 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 W/(m<sup>2</sup>K) geschätzt. Die erdreichberührende Bodenplatte verfügte über keinerlei Wärmedämmung.

- Verhältnisfaktor A/V: 0,30 m<sup>-1</sup>

- Spezifischer Transmissionswärmekoeffizient vor der Sanierung  $H'T = 0,96 \text{ W/K}$

Die Energieversorgung mit Wärme und Kälte erfolgte aus den Fernnetzen des Forschungszentrums. Dabei erfolgt die Fernwärmeeinspeisung aus dem RWE-Kohlekraftwerk Weisweiler. Über Kreuzstromwärmeübertrager erfolgte die Versorgung der sekundären Hausnetze, getrennt nach statischer und dynamischer Heizung, auf dem Temperaturniveau 90 / 70 °C. Strom wurde mittelspannungsseitig eingespeist.

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

Fernwärme, statische Heizung	400 kW	106 $\text{W/m}^2_{\text{BGF}}$
Fernwärme, dynamische Heizung	1.100 kW	292 $\text{W/m}^2_{\text{BGF}}$
Fernkälte	440 kW	117 $\text{W/m}^2_{\text{BGF}}$

*Tabelle 3–3: Anschlussleistungen Wärme und Kälte vor der Sanierung*

Verantwortlich für ca. 80 % des Primärenergieverbrauches waren die ineffizienten raumluftechnischen Anlagen. Durch die komplett dezentrale Abluftführung 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 unregelmäßig 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

Organisation des Gebäudes und 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. Danach betrug die installierte elektrische Beleuchtungsleistung in den Büro- und Laborflächen ca.  $13 \text{ W/m}^2$ . 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.

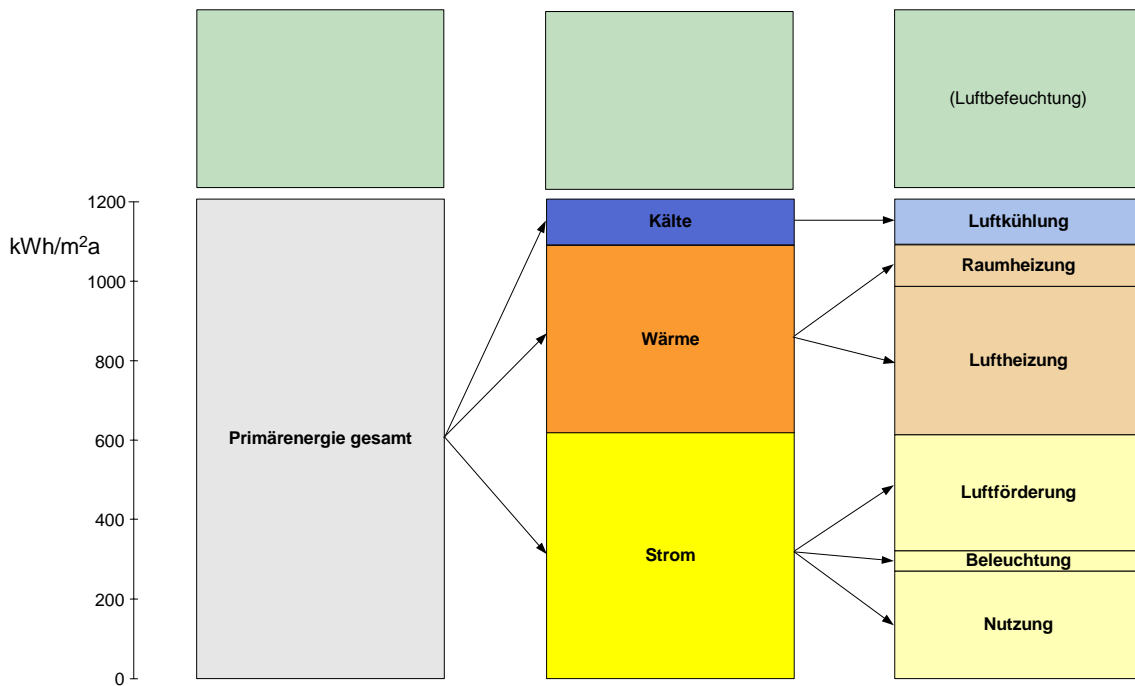


Bild 3–4: Spezifischer Primärenergiebedarf vor der Sanierung und Aufteilung auf Endenergieformen und Nutzungsarten

### 3.1.2 Standardlabor des Forschungszentrums Jülich

Für die Laborplanung hatte die Flexibilität eine hohe Bedeutung. Die reine Institutstätigkeit beinhaltet wenige 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.  $36 \text{ m}^2$ ) der Einbau von maximal vier Abzügen (je  $1,50 \text{ m}$  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 Versorgungen über Gasflaschenschränke bereitgestellt.

Als Energien werden neben Heizwärme und Allgmeinstromversorgung 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 beauftragt. 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 Fördermittelantrags und des Pflichtenheftes für die HOAI-Planung.

Als Dokumentation standen zum Planungsbeginn zur Verfügung:

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

Das Forschungszentrum Jülich bewarb sich aufgrund der günstigen Prognosen aus der energetischen Grobanalyse um die Beteiligung am ENSAN-Projekt (Energetische Sanierung des Gebäudebestandes) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit. Die Bewerbung erfolgte für das Teilkonzept 3: Demonstrationsprojekte. Demonstrationsprojekte haben das Ziel, beispielhaft für eine jeweilige Gebäudeklasse die möglichen Energiesparpotenziale aufzuzeigen, innovative Technologien zu demonstrieren und durch eine wissenschaftliche Begleitung die Ergebnisse der Anwendung durch Dritte zugänglich zu machen.

Auf Basis der energetischen Grobanalyse wurde ein Projektantrag erstellt, kurzfristig durch zwei ENSAN-Gutachter evaluiert und bewilligt. Verbunden mit einem Fördermittelzuschuss in Höhe von 50 % auf die energetisch relevanten Kosten war die wissenschaftliche Begleitung durch zwei weitere Institutionen:

- Programmgruppe STE des Forschungszentrums für die Erstellung eines Leitfadens, Kosten-Nutzen-Rechnungen, CO<sub>2</sub>-Bilanzierungen und eine sozialwissenschaftliche Begleitung
- Solar-Institut Jülich der FH Aachen für die messtechnische Begleitung des Projektes.

### 3.1.3 Dokumentation der Planungsergebnisse

#### Energetische Grobanalyse

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

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

Tabelle 3–4: 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. Im nachfolgenden Bild 3–5 wird der Vergleich mit der ausführlichen Ermittlung des Ist-Bedarfs im Jahr 2002 vorgenommen. Bild 3–6 zeigt die Ergebnisse der Grobanalyse für den Stand nach der Sanierung im Vergleich mit detaillierten Simulationsergebnissen nach der Ausführungsplanung und mit den tatsächlichen Verbrauchsdaten aus dem Jahr 2005.

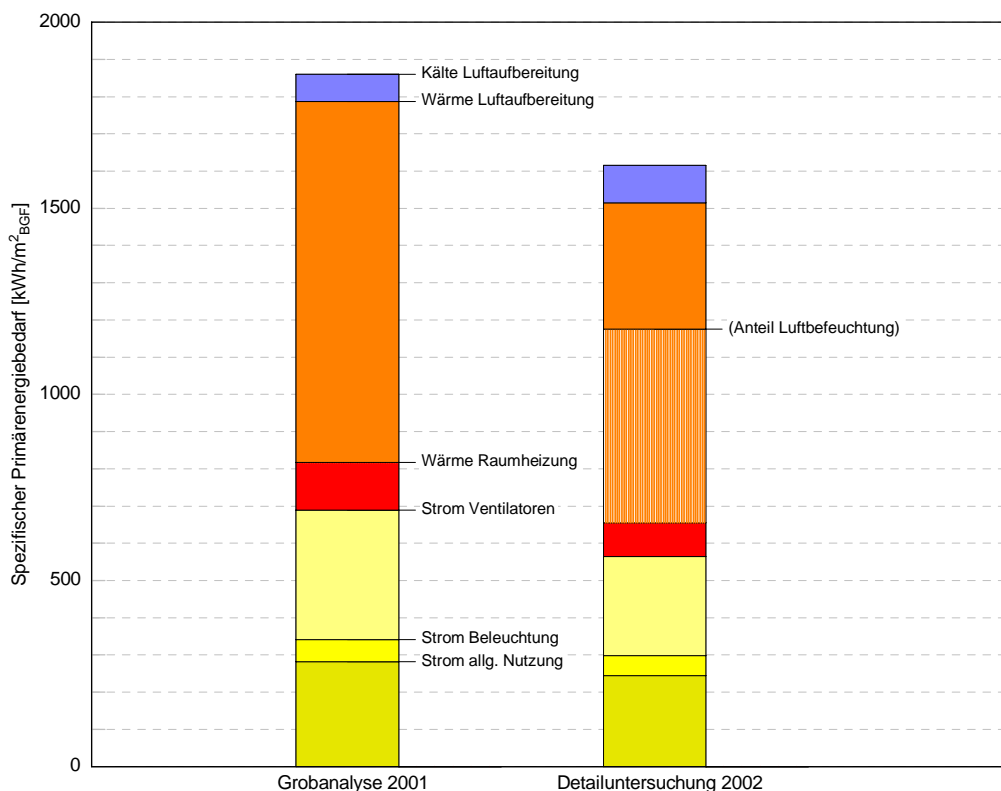


Bild 3–5: Vergleich der Ergebnisse aus Grobanalyse und Detailanalyse für den Zustand vor der Sanierung

Typisch für die Ergebnisse der Grobanalyse des vorgefundenen Zustands war, dass sich die Bewertung eher an planungsgemäß funktionierenden Systemen orientierte. So 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 verringert wurden.

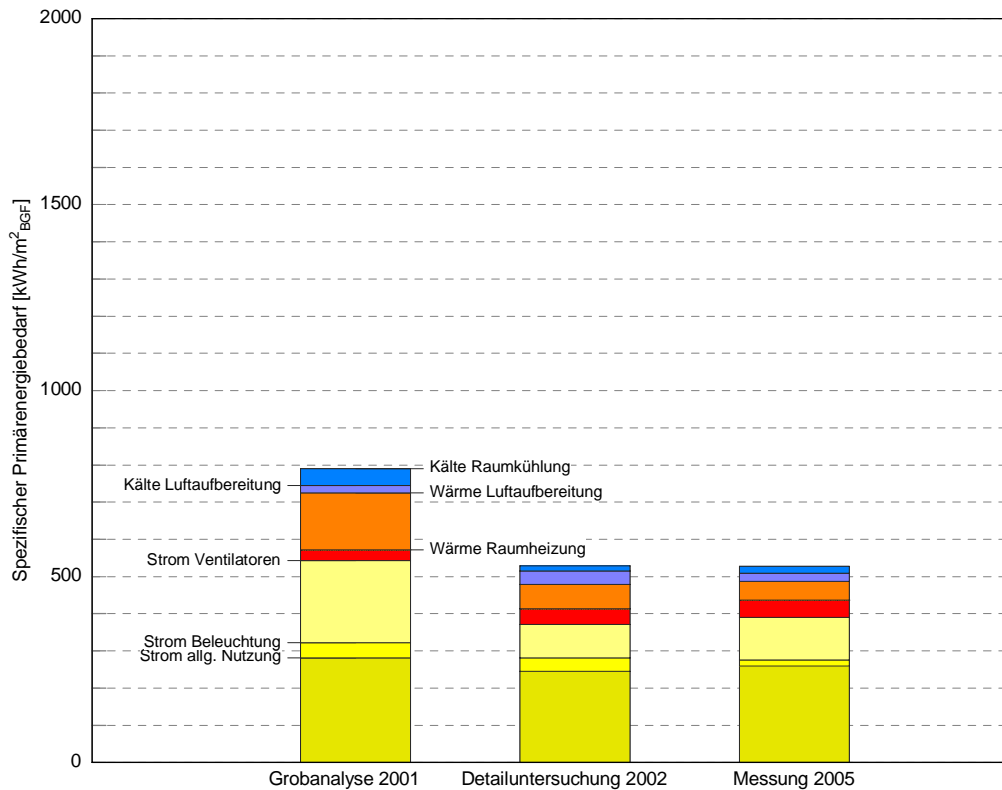


Bild 3-6: Vergleich der Ergebnisse aus Grobanalyse und Detailanalyse sowie den Verbrauchsmessungen für den Zustand nach der Sanierung

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<sup>2</sup>
- Einsparprognose der Detailuntersuchung 2002: 567 kWh/m<sup>2</sup>
- Primärenergieeinsparung im ersten Betriebsjahr 2005: 566 kWh/m<sup>2</sup>.

Eine qualifizierte energetische Grobanalyse hat sich, trotz des extrem kurzen Bearbeitungszeitrahmens für das Gebäude 06.20 als sehr zielsicher erwiesen.



## 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. Weitere Institute sind: „Stratosphäre“ (ICG I), „Troposphäre“ (ICG II), „Agrosphäre“ (ICG IV) und „Sedimentäre Systeme“ (ICG V).

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. Ergebnisse dieser Untersuchungen liefern Beiträge

- zur Aufklärung und Analyse der Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und ihrer natürlichen sowie durch den Menschen geprägten Umwelt
- zu verbesserten Abschätzungen von Risiken und zu Prognosen von Veränderungen, die durch den globalen Wandel herbeigeführt werden
- zur Entwicklung neuer Methoden für eine nachhaltige Nutzung in Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Gartenbau.

Methoden am Institut Phytosphäre :

- Transportuntersuchungen an lebenden Pflanzen: Spezielle Verfahren unter Anwendung von lang- und kurzlebigen Radioisotopen (z. B.  $^{11}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ )
- Transportuntersuchungen in pflanzlichem Gewebe: Laser-Mikrosonden-Massen-Analyse (LAMMA) und Sekundär-Ionen-Massen-Spektroskopie (SIMS) zur Lokalisierung von stabilen Isotopen in Pflanzengewebe (z. B.  $^{25}\text{Mg}$ ,  $^{26}\text{Mg}$ ,  $^{41}\text{K}$ ,  $^{42}\text{Ca}$ ,  $^{44}\text{Ca}$ )
- Charakterisierung von Transporteigenschaften über Biomembranen: Elektrophysiologische Methoden (z. B. patch clamp)
- Xylemsaftanalysen an intakten Pflanzen mittels Wurzeldruckkammern und Online-Durchflussanalytik
- Rhizotrone mit Mikroaugkerzen zur ortsauflösenden Analyse der Wechselwirkung von Pflanze und Boden

- Bildsequenzanalyse mit Spezialhardware und Algorithmenentwicklung, z. B. zur Kartierung des Wachstums in zwei und drei Dimensionen; Thermographie; spektrale Bildanalyse; Entrauschungsverfahren
- Chemische Analytik von Kleinstmengen: Mikromanipulationssysteme zur Probenahme in einzelnen Pflanzenzellen und Analyse mittels Kapillarelektrophorese (CE)
- Analytik organischer und anorganischer Inhaltsstoffe von Pflanzen: HPLC, CE, Massenspektroskopie, ICP-MS, AAS
- Proteinidentifizierung und Massenbestimmung von Makromolekülen: Matrix-unterstützte Laserdesorptions/Ionisations-Massenspektrometrie (MALDI-MS)
- Bestimmung von flüchtigen organischen Substanzen: GC, MS, Pflanzenemissionskammern
- Gaswechsellmessanlagen und Chlorophyll-Fluoreszenz-Messgeräte
- Molekularbiologische und protein-biochemische Untersuchungsmethoden, z. B. zur Analyse der Regulation verschiedener Stoffwechselwege (z. B. des Shikimatwegs).

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 waren 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 zugrundezulegen 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. Da es sich um ein Demonstrationsforschungsprojekt handelte, war keine europaweite Ausschreibung der Planungsleistungen notwendig. Die Bauherrenfunktion und Projektleitung wurde durch die Betriebsdirektion des Forschungszentrums Jülich, vertreten durch den Projektleiter und Bauleiter, Vertreter der Fachabteilungen Hochbau, Elektrotechnik und die mechanischen TGA-Gewerke. Der Bauherr wurde zu energetischen Fragestellungen weiter von dem Projekt beraten, dass bereits die erste energetische Grobanalyse durchgeführt hatte.

Bei der Vergabe der 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.

06 / 2001	Vergabe der Planungsleistungen
07 / 2001	Neuberufung Institutsleitung
08 / 2001	Fertigstellung Entwurfsplanung / HU-Bau
02 / 2002	Erteilung Baugenehmigung
02 - 06 / 2002	Demontagen und Gefahrstoffentsanierung
04 / 2002	Fertigstellung Ausführungsplanung, Vergaben
07 / 2002	Baubeginn

*Tabelle 3–5: Meilensteine der HOAI-Planung*

Zu Beginn der Bauphase wurde über die Gesellschaft des Generalplaners eingeleitet. Die Konsequenz war, dass die Planungsbeteiligten während der Bauphase nicht mehr zur Verfügung standen. Daher wurde die Bauleitungsfunktion komplett durch die Betriebsdirektion 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:

<p>Dynamische Gebäudesimulation:</p>	<p>Berechnung von dynamischen Heiz- und Kühllasten, des Jahresenergiebedarfsingender Rau für das Heizen / Kühlen von Raumzonen sowie frei schwingenden Raumtemperaturen</p> <p>Berücksichtigt werden:</p> <p>äußere Einflüsse wie Sonnenstrahlung, Außentemperatur, langwellige Strahlung</p> <p>bauphysikalische Eigenschaften der innerer und äußerer Gebäudeteile (Transmission, Wärmespeicherung, Strahlungsdurchgang und –austausch)</p> <p>Nutzungsbedingte Einflüsse: Wärmequellen infolge Personen, Beleuchtung und elektrischer Geräte, mechanische und natürliche Lüftung, Nutzungszeiten</p> <p>anlagentechnische Einflüsse: Leistungsbegrenzungen, Nachtabenkungen, unregelmäßige Energieeinträge</p> <p>Software: LACASA (Eigenentwicklung Solar-Institut Jülich); TAS; GEBSIMU (TU München)</p>
<p>RLT-Anlagensimulation</p>	<p>Berechnung des Energiebedarfs für die thermische Luftaufbereitung und Luftförderung zentraler raumluftechnischer Anlagen.</p> <p>Berücksichtigt werden:</p> <p>Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten von Luft in unterschiedlichsten Kombinationen</p> <p>Mischung von Luftzuständen und Wärmerückgewinnung</p> <p>Energiebedarf von Ventilatoren bei konstanten und variable Zu- und Abluftvolumenströme</p> <p>Regelstrategien (h,x-Strategien, Enthalpiesteuerung, Taupunktregelung)</p> <p>Heiz- und Kühllasten aus der Gebäudesimulation.</p> <p>Software: SIMHX (schiller engineering)</p>
<p>Temperaturfeldberechnung</p>	<p>Berechnung von Oberflächentemperaturen dreidimensionaler Bauteile sowie Wärmeströme bzw. äquivalente Wärmedurchgangskoeffizienten. Bewertung der Wärmeverluste von Bauteilen und des Risikos</p>

	<p>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 Leuchtenantordnungen</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 Entscheidung, 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.

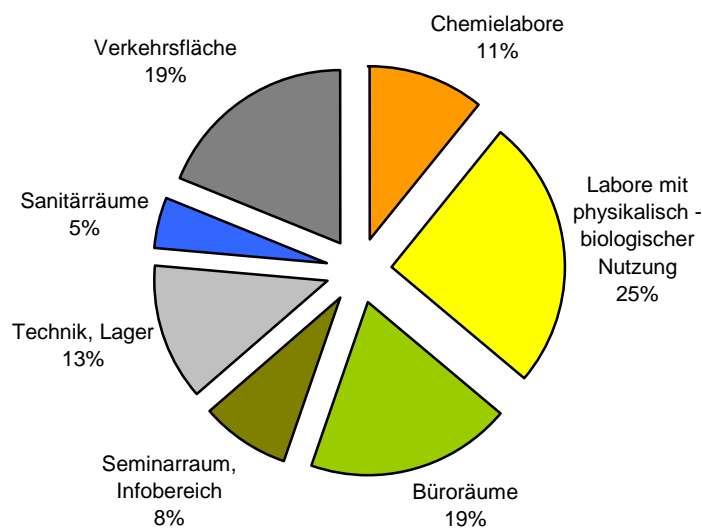


Bild 3–7: Flächenaufteilung im Laborgebäude Phytosphäre nach der Sanierung

Die Laborflächenanteile wurden im Rahmen der Sanierung von 1.495 m<sup>2</sup> auf 1.122 m<sup>2</sup> verringert.



Der Anteil der Labore mit physikalischer oder biologischer Nutzung von diesen Flächen beträgt 794 m<sup>2</sup>. Somit verblieben als reine Chemielabore nur 340 m<sup>2</sup>. 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.

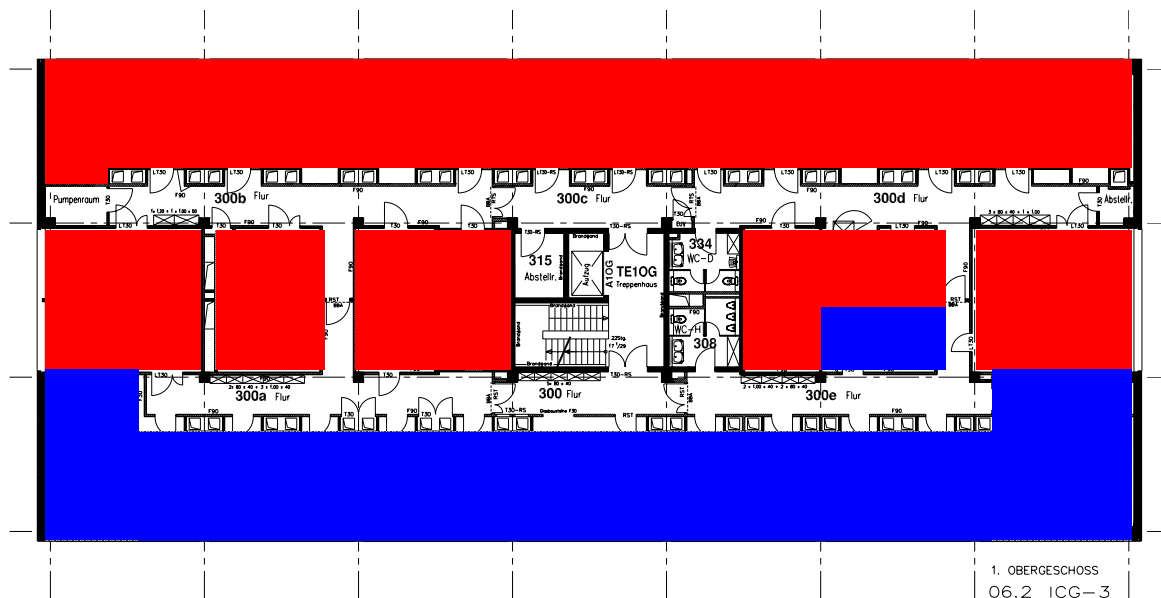


Bild 3–8: Grundriss des 1. Obergeschosses mit Anordnung von Laborräumen (rot – Nordseite) und Büroräumen (blau – Südseite)

## Entscheidungsprozesse und Ergebnisse der Hochbauplanung

Mit Ausnahme der Bodenplatte wurden sämtliche Hüllflächen 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. Die oberirdischen Bauteile 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.

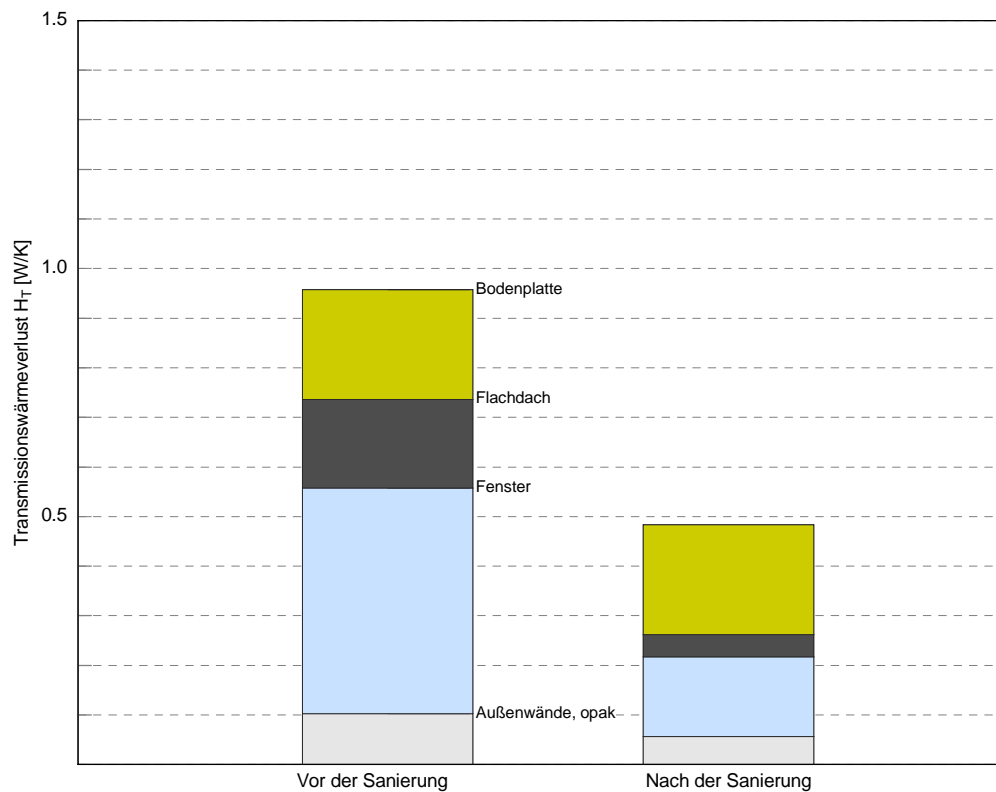


Bild 3–9: Spezifische Transmissionswärmeverlust vor und nach der Sanierung

Um das Thema Wärmebrückenbeseitigung wurde während der Planung lange ge-  
rungen. 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 dienen, wurden Probleme des Brandschutzes (2. Flucht- und Rettungsweg) berührt.

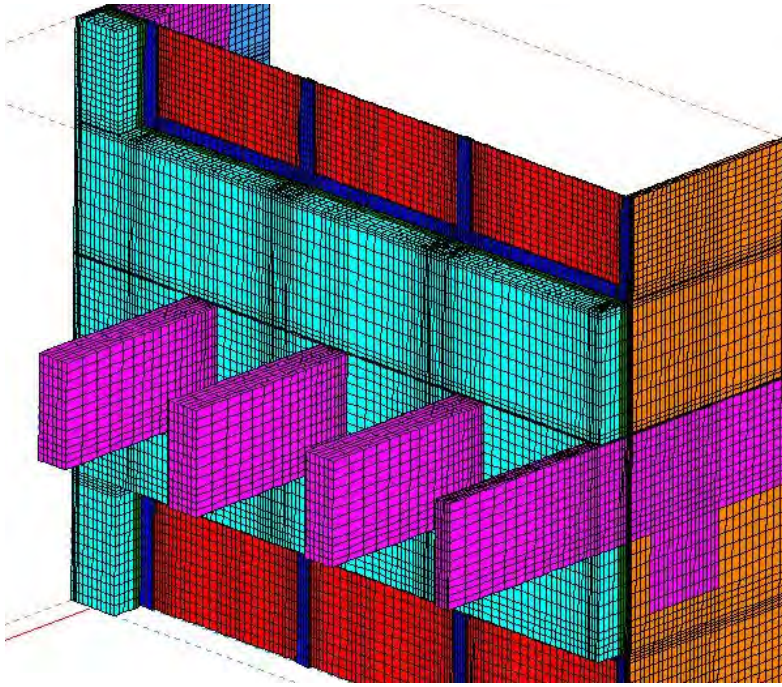


Bild 3–10: Gittermodell des nach der Finite-Elemente-Methode simulierten Fassadenausschnittes mit Kragarmen

Im Laufe intensiv geführter Untersuchungen kristallisierten sich folgende Erkenntnisse heraus:

1. 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/(m<sup>2</sup>K) verschlechtern, würde man keine energetische Verbesserung herbeiführen. Der spezifische Transmissionswärmeverlust des Gebäudes würde sich um 8 % verschlechtern.
2. 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.

3. Aus Gründen des Schimmelpilzrisikos auf den raumseitigen Oberflächen wäre eine Wärmedämmung nicht zwingend erforderlich gewesen.
4. 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 über eine eigene Betriebsfeuerwehr verfügt. Diese Lösung stellte sich als deutlich preiswerter heraus, als die ursprünglich angesetzten Kosten für neue, thermisch entkoppelte Balkonkonstruktionen
5. 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.
6. Die Folgekosten für die Bauunterhaltung für den Fall, dass die Kragarme behalten 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 3–11: 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 3–12: 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. 06.30 Pflanzenanzucht. Die eigentlichen Gebäudeheizlasten ergeben sich aus nachfolgender Tabelle.

Fernwärme, statische Heizung	100 kW	27 W/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>
Fernwärme, dynamische Heizung	271 kW	72 W/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub>

*Tabelle 3–6: Wärmeanschlussleistungen nach der Sanierung*

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 wärmegeämmten 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
- Legionellenproblematik
- 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 3 erdreichverlegte Rohrleitungen über eine kurze Distanz mit dem Lüftungszentralgerät verbunden wurde.



*Bild 3–13: 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. Die wurde möglich, durch die Ertüchtigung der jeweils 2 flurseitig angeordneten Schächte je Laborachse.

Standardkonzept:

- Die horizontale Zuluftführung erfolgt, ausgehend von der Zuluftzentrale des EG im Zwischendeckenbereich der beiden Flure im EG.
- Die Zuluftkanäle 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 Kanalenden 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 3–14: Abluftsammelkanal auf dem Dach*

Das Zuluft-Zentralgerät wurde 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 Zuluftventilator 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  $12 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$
- Lösemittelräume: 5 – 10-facher Luftwechsel
- WCs, 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 <sup>3</sup> /h	AB MIN Tagbetrieb m <sup>3</sup> /h	AB Nachtbetrieb m <sup>3</sup> /h	ZU MAX Tagbetrieb m <sup>3</sup> /h	ZU MIN Tagbetrieb m <sup>3</sup> /h	ZU Nachtbetrieb m <sup>3</sup> /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
<b>Summe:</b>	<b>36.302</b>	<b>26.806</b>	<b>13.631</b>	<b>32.606</b>	<b>24.478</b>	<b>12.114</b>

Tabelle 3–7: Luftbilanz nach der Sanierung

Der Abluftüberschuss von durchschnittlich 10 % dient der Unterdruckhaltung in den Laborräumen. Ca.  $5.300 \text{ m}^3/\text{h}$  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 Minimalluftvolumenströmen 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 3–15: 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	Putzkühldecke mit Kapillarrohrmatten
	
<p>Dimensionierung der Kühler für Vorlauftemperatur 14 °C</p> <p>Vorteil: flexible Ausstattung nach Bedarf</p>	<p>Vorlauftemperaturen von 18 °C</p> <p>Nutzung der berippten Decke zur Oberflächenvergrößerung</p> <p>Nutzung der Wärmespeicherfähigkeit, dadurch Verlagerung der Kühlung in die Nachtstunden</p> <p>kein Hilfsenergiebedarf</p> <p>Nachteil: geringe Flexibilität, dadurch Maximalausbau notwendig</p>

Für die endgültige Entscheidung war die höhere Flexibilität der Kühlkonvektoren ausschlaggebend. Beispielhaft wurden zwei Räume mit der innovativeren Bauteilaktivierung aus 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 zusammenfassen aus folgenden Bestandteilen zusammen.

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

Tabelle 3–8: 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:

1. Verbesserung der Tageslichtversorgung
2. Wirkungsgradverbesserungen bei der künstlichen Beleuchtung
3. 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 3–16: 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 3–17: 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 abgependel-

te 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**

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**

Auch hier wurde eine präsenzabhängige Beleuchtungssteuerung geplant.

Die installierte Kunstlichtleistung reduzierte sich aufgrund modernerer Leuchten und Leuchtmittel auf durchschnittlich 9,7 W/m<sup>2</sup>. 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.

### 3.1.4 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 zwar umgesetzt wurden, aber eben auch wenige Anregungen über diese Schwerpunkte hinaus realisiert wurden.

Positiv bewährt hatte sich der Einsatz des Generalplaners in Hinsicht auf die interne Schnittstellenkoordination.

## 3.2 Praktische Durchführung der Sanierung

### 3.2.1 Vorbereitungsphase

In die Vorbereitungsphase der Baudurchführung fielen die Überlegungen, wie die Institutsmitarbeiter unterzubringen sind, wo Langzeitexperimente stattfinden und Laborarbeitsplätze übergangsweise genutzt werden können und welche Aufteilung in Bauabschnitte daraus sinnvollerweise resultiert.

Untersucht wurden folgende Alternativen:

- Einteilung in etagenweise Bauabschnitte
- Einteilung in zwei horizontale Bauabschnitte
- Komplettsanierung in einem Bauabschnitt.

Die Entscheidung fiel zugunsten der Komplettsanierung aus, wofür folgende Gründe maßgebend waren:

- Kostengünstigste Lösung
- Geringste Bauzeit: In einem später durchgeführten Projekt entstanden bei ähnlichem Sanierungsumfang um ca. 12 Monate längere Bauzeiten
- Institutsneuorganisation: Das Institut ICG III wurde parallel zur Baumaßnahme neu formiert. Ein Teil neuer Mitarbeiter konnte teilweise länger an den bisherigen Arbeitsplätzen verbleiben. Einige Langzeitexperimente konnten weitergeführt werden.

Für die Bürotätigkeit wurden Arbeitsplätze in Containerbauweise als Interimsmaßnahmen zur Verfügung gestellt. Um die Labortätigkeit aufrechtzuerhalten, mussten teilweise Räume in anderen Instituten genutzt werden. In einigen Fällen waren Interimsmaßnahmen zur Gas- und Medienversorgung notwendig. Die Kosten für alle Ersatzmaßnahmen beliefen sich für 60 Mitarbeiter und eine Dauer von insgesamt 18 Monaten auf ca. 200.000 EUR.

Die Vergabe der Bauleistungen erfolgte über eine beschränkte VOB(A) – Ausschreibung. Den Hauptanteil der Vergaben nahmen 16 Einzelgewerke ein. Inklusive kleinerer Leistungen belief sich die Anzahl der Vergabeeinheiten auf über ca. 30.

Da die Baumaßnahme Bestandteil eines Demonstrationsforschungsprojektes war, konnte von den Vergaberichtlinien teilweise abgewichen werden. So wurde keine europaweite sondern lediglich eine beschränkte Ausschreibung vorgenommen.

Nach der Vergabe erfolgte die Montageplanung durch die Auftragnehmer, die aufgrund der zahlreichen Koordinierungsschnittstellen bei den TGA-Gewerken mit ca. 3 Monaten eine kritische Bearbeitungsdauer annahm. Hierunter fielen auch umfangreiche Abstimmungen mit dem messtechnischen Begleitprojekt, bei denen das Zählerkonzept, die Messdatenerfassung und –weiterverarbeitung sowie die Kompatibilität der Komponenten im Detail abgestimmt werden mussten.

### **3.2.2 Gefahrstoffbeseitigung**

Vor Beginn der Bauarbeiten wurde eine Gefahrstoffsanierung durchgeführt. Dabei wurden die folgenden kritischen Stoffe fachgerecht beseitigt und entsorgt.

Asbest	Fundorte: Brandschutzklappen, festgebundene Fasern in Platten und Vermörtelungen, Türdichtungen, Füllung von Türblättern
PCB	Fundorte: dauerelastische Gebäudefugen und Anschlüsse an den Baukörper, Fensterdichtungen
künstliche Mineralfasern (KMF)	Fundorte: Außenfassade, Dämmung von Rohrleitungen und Kanälen
Quecksilber	Eine größere Menge Quecksilber wurde in einem Abwassersiphon gefunden, gelangte aber nicht in das Abwassernetz.

Das Abluftkanalnetz wies kaum Belastungen auf und konnte normal demontiert und entsorgt werden.

Während der Gefahrstoffsanierung wurde das Gebäude durch Folien eingehaust, mit Schleusen und Filtern versehen und im Unterdruck zur Außenumgebung gehalten.

### 3.2.3 Projektmanagement, Bauablauf und Baukosten

Die Baudurchführung begann mit der Gefahrstoffsanierung im März 2002 und endete im Juli 2003. Dabei wurde die Gefahrstoffsanierung vorgezogen und überschchnitt sich zeitlich mit der Ausführungsplanung und dem Vergabeverfahren.

Die Nutzerbeteiligung wurde auch während der Ausführungsphase durch Beteiligung an den regelmäßigen Baubesprechungen aufrecht erhalten. Zu Beginn fanden diese Besprechungen wöchentlich, später 14-tägig statt.

Grob-Terminplan Bauausführung		2002												2003											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Gefahrstoffbeseitigung			■	■	■																			
2.	Demontagen				■	■	■	■	■																
3.	Fenster austausch									■	■	■	■												
4.	Fassadenarbeiten							■	■	■	■	■	■	■	■	■									
5.	Dacharbeiten								■	■	■	■													
6.	Trockenbau												■	■	■	■									
8.	Fussböden																								
9.	TGA Grobmontage							■	■	■	■	■	■												
10.	TGA Feinmontage												■	■	■	■	■	■							
11.	Laborausstattung																■	■	■	■					
12.	MSR																■	■	■	■	■				
13.	Übergabe an Nutzer																				■	■	■	■	■
14.	Optimierungen																						■	■	■

Tabelle 3–9: Grobterminplan Bauablauf

Priorität hatte die möglichst frühzeitige Übergabe des Gebäudes an die Nutzer. Der Einzug der Nutzer und die Übergabe vollzogen sich vom unmittelbaren Abschluss der Bauarbeiten bis zum August 2003. Die frühzeitige Nutzung des Gebäudes ging dabei etwas zulasten der sorgfältigen Abnahmen. Dies war ein Grund mit, warum sich die Abnahmen und Mängelbeseitigungen bis zum Jahresende 2003 hinzogen. Weitere Gründe waren, dass aufgrund der komplexen Technik die verschiedenen Lastfälle natürlich auch nur bei den entsprechenden Witterungsbedingungen überprüft und mängelfrei abgenommen werden konnten. Allgemein wird eingeschätzt, dass durch das messtechnische Begleitprojekt regelungstechnische Fehlfunktionen aufgedeckt wurden, die bei üblichen Bauprojekten unentdeckt geblieben wären und zu energetischen Verschlechterungen geführt hätten.

Die budgetierten Investitionskosten konnten bei dem Projekt LABSAN insgesamt eingehalten werden. Tabelle 3–10 zeigt einige spezifische Herstellkosten für energiesparende Maßnahmen, die bei zukünftigen Projekten eine Orientierungshilfe geben können.

Nr.	Bezeichnung	Einheit	Absolutkosten	spezifische Kosten	Bezugsgröße
1.	Energetisch relevante Gesamtkosten	[EUR/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	4.800.000	1.307	Bruttogeschossfläche
				-	
2.	Zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	[EUR/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	811.773	221	Bruttogeschossfläche
		[EUR/(m <sup>3</sup> /h)]		20	Nenn-Zuluftvolumenstrom
3.	Kältetechnik inkl. Raumkühl-einrichtungen	[EUR/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	354.200	96	Bruttogeschossfläche
				-	
4.	Beleuchtung	[EUR/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]		-	Bruttogeschossfläche
				-	
5.	Freikühler	[EUR/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	55.000	15	Bruttogeschossfläche
		[EUR/kW]		275	Leistung bei + 6°C
6.	Gebäudeautomation (ohne Messprogramm)	[EUR/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	320.437	87	Bruttogeschossfläche
				-	
7.	Fassadendämmung und -bekleidung	[EUR/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	182.043	50	Bruttogeschossfläche
		[EUR/m <sup>2</sup> <sub>AW</sub> ]		152	Fassadenfläche opak
8.	Dachdämmung und -bekleidung	[EUR/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	112.840	31	Bruttogeschossfläche
		[EUR/m <sup>2</sup> <sub>DA</sub> ]		91	Dachfläche
9.	Fenster austausch	[EUR/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	216.418	59	Bruttogeschossfläche
		[EUR/m <sup>2</sup> <sub>FE</sub> ]		385	Fensterfläche
9.	Kragarme beseitigen	[EUR/m <sup>2</sup> <sub>BGF</sub> ]	110.663	30	Bruttogeschossfläche
		[EUR/St.]		376	Anzahl

Tabelle 3–10: Spezifische Herstellkosten für energetisch relevante Maßnahmen



### 3.2.4 Unerwartete Entwicklungen

Wesentliche Umplanungen oder Konzeptänderungen fanden während der Ausführungsphase nicht statt. Lediglich zwei Funktionseinheiten (Seminarraum und Rechnerraum) wurden räumlich verändert angeordnet. Einflüsse auf das Grundkonzept des Gebäudes traten dadurch nicht ein.

Zu einer unerwarteten Erschwernis für die Projektleitung entwickelte sich, dass zum Zeitpunkt der Vergabe der Generalplaner für das Projekt insolvent wurde und damit für die Bauleitung und für technische Klärungen nicht mehr zur Verfügung stand. Teilweise konnten negative Auswirkungen dadurch begrenzt werden, dass ein ehemaliger Mitarbeiter des Generalplaners über einen befristeten Arbeitsvertrag direkt eingestellt wurde.

### 3.2.5 Bauüberwachung und Qualitätskontrolle

Die Bauüberwachung und Qualitätskontrolle erfolgte durch die Projektleitung (Betriebsdirektion Hochbau des Forschungszentrums Jülich). Für Teilgewerke wurden Einzelabnahmen durchgeführt. Falls erforderlich, erfolgten TÜV-Abnahmen. Entsprechend Baustellenverordnung wurde ein Sicherheits- und Gesundheitskoordinator eingesetzt.

Für die energetische Qualitätssicherung wurde der Projektpartner für die messtechnische Begleitung mit nachfolgenden baubegleitenden Untersuchungen einbezogen.

#### Blower-Door-Test

Mit dem Blower-Door-Test konnte die Luftdichtheit der Gebäudehülle überprüft werden. Die Messungen fanden an einem Wochenende statt. Dabei waren durch die zahlreichen technischen Durchdringungen (z. B. Luftkanäle) Abdichtungen erforderlich. Der Test konnte nach einigen Nachbesserungen mit gutem Ergebnis abgeschlossen werden.

#### Thermografie

Die Thermografieaufnahmen dienten zum Nachweis der Wärmedämmung und möglicher unerkannter Wärmebrücken. Die Ergebnisse zeigten zwar keine Auffälligkeiten, man hätte aber zu diesem Zeitpunkt noch reagieren können.

### **3.2.6 Allgemeine Erfahrungen und Hinweise für die praktische Umsetzung**

Die wesentliche Erfahrung aus der praktischen Umsetzung des Sanierungskonzeptes war die, dass gründliche Abnahmen, Inbetriebnahmen und Betriebsoptimierungen ein größerer Stellenwert einzuräumen ist. Erschwerend war:

- die sehr frühe Übergabe des Gebäudes, was aus Sicht der Nutzer natürlich verständlich ist
- ein Wechsel in den handelnden Personen, da Bauausführung und Gebäudebetrieb teilweise in verschiedene Zuständigkeitsbereich fällt
- die Komplexität der Technik, die vor allem zu den verschiedensten regelungstechnischen Mängeln geführt hat
- die zu frühe Freigabe einiger Schlussrechnungen, wodurch die Mängelbeseitigung zähflüssiger wurde
- die Entscheidung während der Vergabephase, auf Teile der Gebäudeleittechnik zu verzichten.

Die genannte Entscheidung, auf Teile der Gebäudeleittechnik zu verzichten, betraf die LON-Vernetzung der raumweisen Controller des Laborlüftungssystems. Eine Fernüberwachung und -parametrierung war dadurch nicht möglich. Die Mängelbeseitigung bei der variablen Luftmengenregelung nahm außerordentlich viel Zeit in Anspruch, zumal die Mängel die Nacht- und Wochenendstunden betrafen. Erst nach mehreren Monaten aufwendiger Fehlersuche war es möglich, die geplante Luftvolumenstromabsenkung in der Nebenbetriebszeit auch praktisch zu erreichen. Es stellte sich heraus, dass die Fehlerquellen vielfältig und unsystematisch auftraten. Beispiele: defekte Controller, vertauschte Tag- und Nachtsollwerte, offene Laborabzüge.

Aufgrund dieser Probleme wurde nachträglich beschlossen, die Vernetzung der Lüftungscontroller doch noch über ein LON-System durchzuführen. Die Ausführung erfolgte im ersten Halbjahr 2004. Grundlage der Entscheidung war, dass ohne Fernüberwachung der Laborlüftungscontroller zukünftige Fehler oder falsche Parametrierungen, die zu erheblichen Energiemehraufwand führen würden, dauerhaft unerkant blieben.

### 3.2.7 Fotodokumentation

Nachfolgend wird der Verlauf der Sanierung des Laborgebäudes 6.2 im Forschungszentrum Jülich anhand von Fotografien dargestellt.



Bild 3-18: Gebäude 6.2 vor der Sanierung



Bild 3-19: Dachaufsicht vor der Sanierung



Bild 3-20: Verkehrswege vor der Sanierung



Bild 3-21: Seminarraum vor der Sanierung



Bild 3-22: Schadstoffsanierung;Luftschleuse



Bild 3-23: Schadstoffsanierung; Absaugung



Bild 3-24: Schadstoffsanierung



Bild 3-25: Betonabplatzungen vor der Sanierung:



Bild 3-26: Abschneiden der Betonrippen



Bild 3-27: Abschneiden der Betonrippen



Bild 3-28: Außenfassade nach dem Entfernen der Betonrippen



Bild 3-29: Entkernen des Gebäudes für eine neue Raumeinteilung



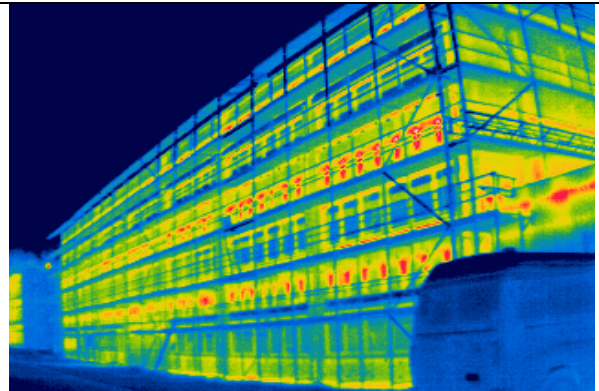
*Bild 3–30: Aufbau neuer Wände zur Raumeinteilung*



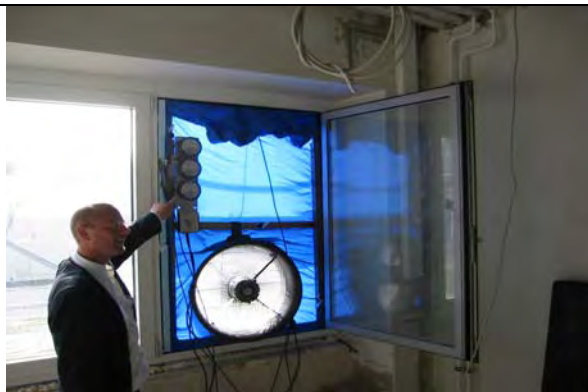
*Bild 3–31: Aufbau neuer Wände zur Raumeinteilung*



*Bild 3–32: Aufbau neuer Wände zur Raumeinteilung*



*Bild 3–33: Thermographie vor dem Aufbringen der Außendämmung und Fassade*



*Bild 3–34: Blower-Door Untersuchung vor dem Aufbringen der Außendämmung und Fassade*



*Bild 3–35: Aufbringen der Außendämmung*



*Bild 3–36: Gebäude 6.2 nach der Sanierung*



*Bild 3–37: Eingangsbereich nach der Sanierung*



*Bild 3–38: Cateringbereich des Seminarraumes*



*Bild 3–39: Büro mit Lichtlenkjalousie*



*Bild 3–40: Regalwand mit Schwerkraftkühlung*



*Bild 3–41: Kapillarrohrmatten zur Deckenkühlung vor dem Verputzen*



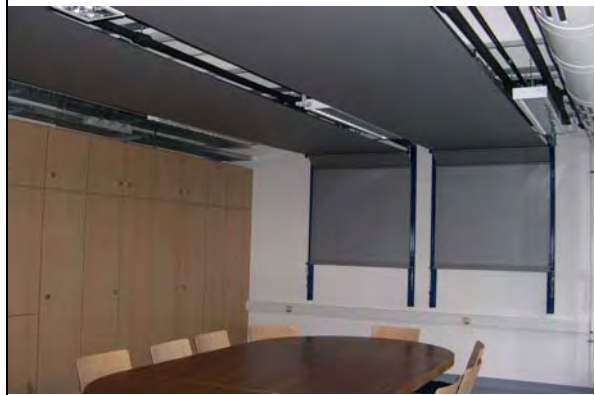
*Bild 3–42: Kapillarrohrmatten zur Deckenkühlung nach dem Verputzen*



*Bild 3–43: Dachaufsicht mit Sammelkanälen zur Wärmerückgewinnung*



*Bild 3–44: Seminarraum nach der Sanierung*



*Bild 3–45: Kleiner Tagungsraum*



*Bild 3–46: Anwesenheitssensor zur Steuerung der Beleuchtung*



*Bild 3–47: Luftvolumenstromregler zur Bedarfsabhängigen Regelung der Ab- und Zuluft*

## **3.3 Mess- und Optimierungsprogramm**

### **3.3.1 Messprogramm**

#### **Zielsetzung des Messprogramms**

Ein umfangreiches Messprogramm wurde vor, während und nach der Sanierung des Gebäudes mit den folgenden Zielsetzungen durchgeführt:

1. Erfassung der Energieverbräuche des unsanierten Gebäudes zur Definition des energetischen Ausgangszustandes.
2. Kontrolle der Bauausführung durch die Sanierung begleitende Messungen, z. B. Thermografien, Blower-Door Messungen.
3. Messungen der Energieströme des sanierten Gebäudes mit fest installierten Sensoren zur Langzeitbilanzierung und energetischen Bewertung der durchgeführten Sanierungsmaßnahmen.
4. Mobile kurzfristige Messungen an verschiedenen Gewerken zur Untersuchung der Funktionsweise der Gebäudetechnik, z. B. Regelungsverhalten.

#### **Messtechnik**

Die Planung des Messprogramms umfasste folgende Einzelaufgaben:

1. die Festlegung von Umfang und Art der Messfühler, basierend auf dem endgültigen Sanierungskonzept,
2. die Festlegung der Art der Datenübertragung in Abstimmung mit den Verbundprojekt-Partnern,
3. die Planung der mobilen Messungen zur Analyse der Gebäudetechnik.

Durch das Vermessungskonzept bedingte Vorgaben zur Umsetzung der Sanierungsmaßnahmen wie beispielsweise das Strang-Schema der Wärme-, Kälte- und Elektrotechnik, der Einbau ausreichender Beruhigungsstrecken zur genauen Erfassung der Luftvolumenströme oder die Art der Datenübertragung wurden nach Festlegung der Sanierungsplanung dem FZJ umgehend zur Abstimmung mitgeteilt.



Bereits während der Sanierungsmaßnahmen wurde mit der Installation einzelner Messfühler begonnen (so frühzeitig wie nötig, so spät wie möglich). Wo nötig, wurden Messkabel in die Gebäudetechnik-Installation integriert.

Soweit möglich, sollte die Installation der Messtechnik zusammen mit den jeweiligen Sanierungsmaßnahmen von der verantwortlichen Firma ausgeführt werden. Dies war z. T. aus Gründen der Gewährleistung notwendig und bei Ausschreibung und Auftragsvergabe zu berücksichtigen. Hierbei war es u.a. zur Funktionskontrolle notwendig, dass Mitarbeiter des SIJ bereits während der Sanierung Zutritt zum Gebäude hatten.

### **Erfassung des unsanierten Zustandes**

Der unsanierte Zustand des Gebäudes wurde durch eine genaue Bestandsanalyse und, soweit möglich, durch Messungen von Volumenströmen, Wärmemengen und elektrischen Energieverbräuchen erfasst. Wo keine genauen Daten zu erhalten waren, wurde der ursprüngliche Planungszustand rekonstruiert.

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

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

Der Aspekt der RLT-Anlagen wurde in den o. g. Arbeitspunkten als Auftrag von Schiller Engineering bearbeitet.

Aus der Vergangenheit lagen lediglich für den Strombezug Verbrauchsdaten vor, nicht aber für den Verbrauch an Fernwärme und Fernkälte.

Die Messungen des beteiligten Solar-Instituts Jülich (SIJ) mussten sich auf Spotmessungen von Leistungen und Volumenströmen sowie Kurzzeitmessungen von Verbräuchen beschränken.

Auf Basis dieser Daten wurde das Ziel verfolgt, den Energieverbrauch der Vergangenheit mittels Simulationen nachzuvollziehen und verursachungsgerecht auf die einzelnen Nutzungsarten umzulegen.

Die umfangreichen Sanierungsmaßnahmen erforderten die komplette Räumung des Gebäudes einschließlich des gesamten Inventars. Aufgrund der insgesamt sehr engen Termsituation und der Tatsache, dass zum Projektbeginn das Gebäude bereits teilweise geräumt wurde, konnte der Energieverbrauch im unsanierten Zustand des Gebäudes über eine längere Messperiode erfasst werden.

### **Messungen zur Kontrolle der Bauausführung**

Die EnEV schreibt vor, dass man zur Vermeidung von Energieverlusten die Gebäudehülle möglichst luftdicht zu gestalten hat. Dies betrifft nicht nur die Planung, sondern auch die Bauausführung. Zur Erkennung von Mängeln und zur Schaffung der Möglichkeit einer Mängelbeseitigung wurde beim vorliegenden Bauvorhaben der Blower-Door Test zu einem Zeitpunkt geplant, wo die Gebäudehülle geschlossen, die Außenverkleidung (Wärmedämmverbundsystem) jedoch noch nicht aufgebracht war. Ergänzend zur Blower-Door Messung wurden Thermographien der Gebäudehülle vor dem Aufbringen der Außenverkleidung durchgeführt. Durch die Kombination der beiden Verfahren war es möglich, Leckagen in der Gebäudehülle, die zu Wärmeverlusten führen können, rechtzeitig aufzuspüren. Ein Termin zur Durchführung der Blower-Door Untersuchung und Thermographien wurde fest in den Terminplan für den Ablauf der Sanierungsarbeiten durch das Forschungszentrum Jülich aufgenommen. Dies war erforderlich, um die Zeit, die zur Vorbereitung der Blower-Door Messung erforderlich ist (Abdichtung von im Rahmen der Sanierung noch nicht verschlossenen Öffnungen z. B. Lüftungsanlage) den ausführenden Firmen anzuzeigen.

## **Erfassung des energetischen Zustandes des sanierten Gebäudes**

Die Bestimmung der einzusetzenden Sensoren war nur in iterativen Schritten und in enger Absprache mit der Planung der Haustechnik des FZJ zu realisieren. Um den Aufwand für Installation, Wartung sowie Plausibilitätskontrollen und Pflege der Daten so gering wie möglich zu halten, wurde die Anzahl der Sensoren im Hinblick auf die konkreten Auswerteziele und begrenzten Geldmittel auf das Nötigste beschränkt.

Die Daten der Sensoren wurden als 5 Minuten-Mittelwerte kontinuierlich über den Zeitraum von 2 Jahren erfasst und aufgezeichnet.

Hierzu wurden die Sensoren an das Netz der im Gebäude verlegten Datenleitungen der DDC angeschlossen und lieferten ihre Messwerte an das Intouch-System der Abteilung BD-EP. Dort wurden die Daten in einer Datenbank gesammelt und dem SIJ über tägliche E-Mails zur Verfügung gestellt. Ein direkter Zugriff auf das Intouch-System vom Internet aus war aus Gründen der Datensicherheit nicht möglich.

Um die Messergebnisse mit parallel durchgeführten Simulationsrechnungen vergleichbar zu machen, musste das Gebäude in verschiedene Nutzungszonen unterteilt werden. Diese Nutzungszonen beinhalten mehrere Räume der gleichen Verwendungsart, bzw. bestehen aus nur einem Raum, wenn dieser detailliert vermessen werden sollte. Durch die Aufteilung des Gebäudes in die verschiedenen Zonen war es im Rahmen der wissenschaftlichen Begleituntersuchung nicht nur möglich, die zu- und abgeführten Energiemengen an der Bilanzgrenze Gebäudehülle zu erfassen, die sich aus der benötigten Heiz- und Kühlenergie, dem Strom zum Betrieb der Anlagentechnik und dem Strom der betriebenen Geräte in den Laboren und Büros als Teil der inneren Wärmelast zusammensetzen. Es war ebenso möglich, Detailbetrachtungen zu den angewandten Regelungsstrategien oder dem Verhalten der in diesen Räumen vorhandenen HLK- Technik durchzuführen. Um die beschriebenen Zonenmessungen realisieren zu können, war es teilweise notwendig Einfluss auf die Planung der Verrohrung für Heizung Kältetechnik zu nehmen. Ebenso mussten die elektrischen Verteilungen im Gebäude mit einem bestimmten Schema zur Versorgung der Räume gleicher Zone geplant werden.

Nur durch eine enge Zusammenarbeit mit den Planungsabteilungen des FZJ war es möglich den Kostenaufwand für Sensoren und Datenpunkte möglichst gering zu halten.

### Anzahl und Typ der verwendeten Sensoren

Die gesamte Anzahl der erforderlichen Sensoren und Datenpunkte wird in nachfolgender Tabelle 3–11 dargestellt. Ein Teil der in Tabelle 5–1 aufgeführten Sensoren war aufgrund der Gebäudeleittechnik bereits vom Forschungszentrum Jülich zur Installation geplant. Im Rahmen des Messprogramms wurde, soweit möglich, auf die Messwerte dieser Sensoren zurückgegriffen.

Messgröße	Detail	Anzahl
Strom	Elektr. Energie Licht	17
	Elektr. Energie Räume	30
	Elektr. Leistung Raum	19
Heizung	Energie	30
Kühlung	Energie	16
Temperatur	Wasser	19
	Luft	17
	Raum	22
	Umwelt	1
	Vorgabe Raumtemperatur	9
Druck	Lüftungskanal	2
Status	Tag/Nacht Raum	10
	Präsenz	7
Volumenstrom	Wasser	5
	Hauptzuluft	1
	Hauptabluft	2
	Abluft Digestorium	21
	Abluft Raum	11
	Zuluft Raum	1
Luftqualität	Raum	1
Solare Globalstrahlung	auf Fassade	2
Summe		243

Tabelle 3–11: Typ und Anzahl der zur Gebäudevermessung benutzten Sensoren





Bild 3-49: Zoneneinteilung 1. Etage

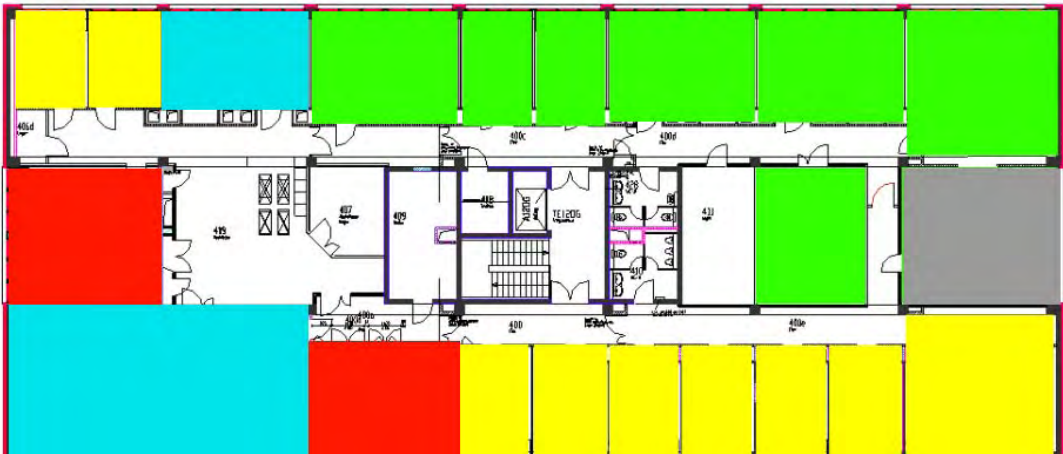


Bild 3-50: Zoneneinteilung 2. Etage

## **Messverfahren zur Erfassung der Verbrauchswerte**

### **Lüftung**

An den Lüftungsanlagen wurden die Volumenströme mittels eines Differenzdruckmessverfahrens zur Bilanzierung erfasst. Um die Konditionierung des Zuluftvolumenstromes vermessen zu können, wurden die Temperaturen der Luft vor und nach vorhandenen Wärmetauschern zur Wärmerückgewinnung, zur Kühlung, bzw. zur Erwärmung erfasst. Zusätzlich wurden Wärmemengenzähler für die Wärmerückgewinnung, Kühlung und Heizung in den Wasserkreisen montiert. In der Abluft wurden ebenfalls Lufttemperatursensoren in den Lüftungskanälen montiert. Hier wurden die Temperaturen in den Sammelkanälen auf dem Dach, nach den Abluftventilatoren und nach den Wärmetauschern der Wärmerückgewinnung gemessen.

Die Abluftmengen und Ablufttemperaturen der exemplarisch detailliert betrachteten Räume (Musterräume) und Digestorien wurden durch das Auslesen der Volumenstromregler, die der DDC ein entsprechendes Signal zur Verfügung stellen, ermittelt.

### **Heizung**

Zur Bewertung der Energieströme wurden Wärmemengenzähler auf der Basis der Ultraschallvolumenstrommessung und Temperaturdifferenz in Vor- und Rücklauf installiert. Die Einzelstränge der Heizung wurden so konzipiert, dass eine Differenzierung der Energieströme nach oben beschriebenen Gruppierungen in Zonen mit möglichst wenigen Sensoren möglich war.

Zusätzlich wurden einzelne Räume, in denen Komponenten zum Einsatz kommen, die einer besonderen messtechnischen Untersuchung unterzogen werden sollten (Musterräume), ebenfalls durch Wärmemengenzähler erfasst.

In der ersten Etage wurden zwei Labore mit dem Clina Deckenkühlsystem und ein Labor mit besonders hohen inneren Wärmelasten detailliert vermessen.

In der zweiten Etage wurden der Seminarraum, zwei Büros mit stillen Kühlsystemen von Clina und zwei Labore mit dem Clina Deckenkühlsystemen detailliert vermessen.

## **Kälte**

Die Bewertung der Energieströme zur Kühlung, die durch das Kältenetz des FZJ, den Freikühler und das Flusswassernetz gewährleistet werden sollten, erforderte auf der Seite der Kälteverbraucher analog zur Messung der Heizungs-Wärmeströme auch eine Berücksichtigung der Einteilung des Gebäudes in Zonen.

## **Stromverbrauch**

Zur Erfassung des Stromverbrauches musste in der Planungsphase der elektrischen Unterverteilungen im Gebäude berücksichtigt werden, dass eine Differenzierung der Verbräuche nach der oben beschriebenen Einteilung des Gebäudes in Zonen möglich ist. Darüber hinaus musste zwischen der zur Beleuchtung bereitgestellten, der zum Betrieb von Pumpen, Lüftungsanlagen und Regelorganen, und der sonstigen Energie (innere Wärmelasten) unterschieden werden können. Falls die Anforderungen im Konflikt mit den gängigen Regeln der Elektroinstallation standen, wurden akzeptable Kompromisse gefunden.

## **Umweltbedingungen**

Die lokalen Wetterdaten wie Lufttemperatur, Niederschlag, Windgeschwindigkeit, Solarstrahlung etc. wurden vom Wettermast des Solar-Instituts Jülich und direkt von den Außenlufttemperatursensoren des Gebäudes bezogen. An den Haupt-Fassaden des Gebäudes wurden zusätzlich Werte für die globale Solarstrahlung auf die Fassaden erfasst.

## **Luftqualität**

Im Seminarraum des Gebäudes wurde die Qualität der Raumluft mittels Luftqualitätssensor gemessen und basierend auf den Messwerten der Zuluftvolumenstrom in den Raum geregelt.



### 3.3.2 Simulationen

#### Zielsetzung der Simulationen und eingesetzte Simulationstools

Die Simulationen der Energieverbräuche des unsanierten und sanierten Gebäudes wurden mit zwei verschiedenen Tools durchgeführt.

Für die Simulation der raumluftechnischen Anlagen wurde eine eigens entwickelte Software zur Simulation von Luftaufbereitungsprozessen eingesetzt (SIMHX) [3-1].

Die Software ermittelt in Stundenschritten den Energiebedarf der thermischen Luftaufbereitung (Heizung, Kühlung, Be- und Entfeuchtung) sowie der Luftförderung. Aus den stündlichen Einzelwerten können per Summenbildung die Jahresenergiebedarfswerte errechnet werden. Basis der Berechnung bilden frei definierbare Datensätze, die den Außenluftzustand (Temperatur, Feuchte) sowie Raumzustände (Temperatur, Heizlast, Kühllast, Feuchtelast) beschreiben. Letzteres wird Idealerweise durch eine vorangestellte dynamische Gebäudesimulation ermittelt.

Für die stündlichen Bedarfswerte wird ein eingeschwungener Anlagenzustand vorausgesetzt, der durch eine dynamische Simulation der Regelungstechnik je Stunde ermittelt wird.

Dies hat den Vorteil, dass sämtliche Regelstrategien grundsätzlich darstellbar und modellierbar sind – gleichzeitig aber die Eindeutigkeit und Transparenz eines Summenverfahrens beibehalten wird.

Anlagenschaltungen können aus frei wählbaren Konfigurationen einzelner Wärme- und Stoffübertrager- Module zusammengestellt werden. Die physikalische Modellierungstiefe der einzelnen Module kann dem geforderten Genauigkeitsgrad bzw. der Qualität der Eingangsdaten angepasst werden.

In den Grundsätzen entspricht das Berechnungsverfahren den Genauigkeitsansprüchen der VDI 2067 Blatt 21. Aufgrund der feineren Auflösung in Stundenschritten und der Möglichkeit zur freien Konfiguration von Schaltungen ergibt sich allerdings eine deutlich größere Zahl anlagentechnischer und regelungstechnischer Varianten. Ein weiterer Vorteil besteht darin, die heute immer stärkere Zeitabhängigkeit von Lastverläufen differenzierter abzubilden.

Die durch die Temperatur, Heizlast, Kühllast, Feuchtelast beschriebenen Raumzustände wurden durch eine dynamische Gebäudesimulation mittels der Software MATLAB-Simulink Lacasa ermittelt. Lacasa sattelt als so genannte „Toolbox“ auf die Entwicklungsplattform MATLAB-Simulink auf. In Lacasa werden die Gebäudekomponenten wegen der thermischen Speicherkapazitäten mit Differentialgleichungen und Kennlinien modelliert. Die Anlagenbausteine werden weitgehend nur als Kennlinienmodelle abgebildet.

### **Durchführung der Simulationen**

Im Rahmen der Untersuchung des unsanierten Gebäudes wurde die fragmentarisch vorhandene Planungsdokumentation des Gewerkes Raumluftechnik analysiert. Die Unterlagen ließen mehrere Erweiterungen und Umbauten erkennen, die notwendig wurden, weil im Laufe der Jahre zahlreiche Räume unterschiedlich genutzt wurden.

Aus den gesichteten Unterlagen entstand ein realistisches Gesamtbild der Anlagen, das in Form von neu erstellten Schemata und anlagenbezogenen Raumbüchern festgehalten werden konnte. Die technischen Daten der einzelnen Anlagen und Komponenten wiesen erhebliche Lücken auf. Es wurde zudem davon ausgegangen, dass sich die Betriebspunkte im Laufe der Jahre erheblich verschoben haben.

Auf der Basis von Messergebnissen, die durch das Solar-Institut Jülich bei Spot- und Kurzzeitmessungen gewonnen werden konnten, waren Ergänzungen auf der Basis qualifizierter Schätzungen notwendig. Somit entstanden nach dem derzeitigen Kenntnisstand vollständige Randbedingungen für die rechnerische Simulation des Energiebedarfs der raumluftechnischen Anlagen, die mit der vorliegenden Dokumentation für spätere Auswertungen fixiert wurden.

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

Die Ergebnisse wurden mit Aufwandszahlen für Medien- / Energieverteilung und Energieübergabe bewertet. Als Primärenergiefaktoren wurden bewusst Standardwerte angesetzt, die die spezielle Energieversorgungssituation des FZ Jülich nicht berücksichtigten (Fernwärme mit KWK-Anteil).

Für die Bewertung des Gebäudeenergiebedarfs waren die Ergebnisse noch um den Anteil für Beleuchtung, Warmwasserbereitung und Raumheizung zu ergänzen.

Für den vorgefundenen Zustand ergaben die Berechnungsergebnisse eine sehr gute Übereinstimmung mit dem gemessenen und extrapolierten Heizenergiebedarf.

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

Die Simulation des Gebäudes wurde aufgrund der unterschiedlichen inneren Wärmelasten und Luftwechselraten der Büro- und Laborräume in zwei Zonen aufgeteilt (siehe Bild 3–51). Die Zone der Büroräume verfügt nur über natürliche Lüftung durch geöffnete Fenster und Infiltrationslüftung durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle und geschlossenen Fenstern. In der Laborzone sind durch die chemischen Experimente hohe Luftwechselraten durch mechanische Systeme vorgeschrieben.

Zur Regelung der Kühlung und Heizung in den zwei Zonen wurden jeweils 2 Punkt Regler eingesetzt.

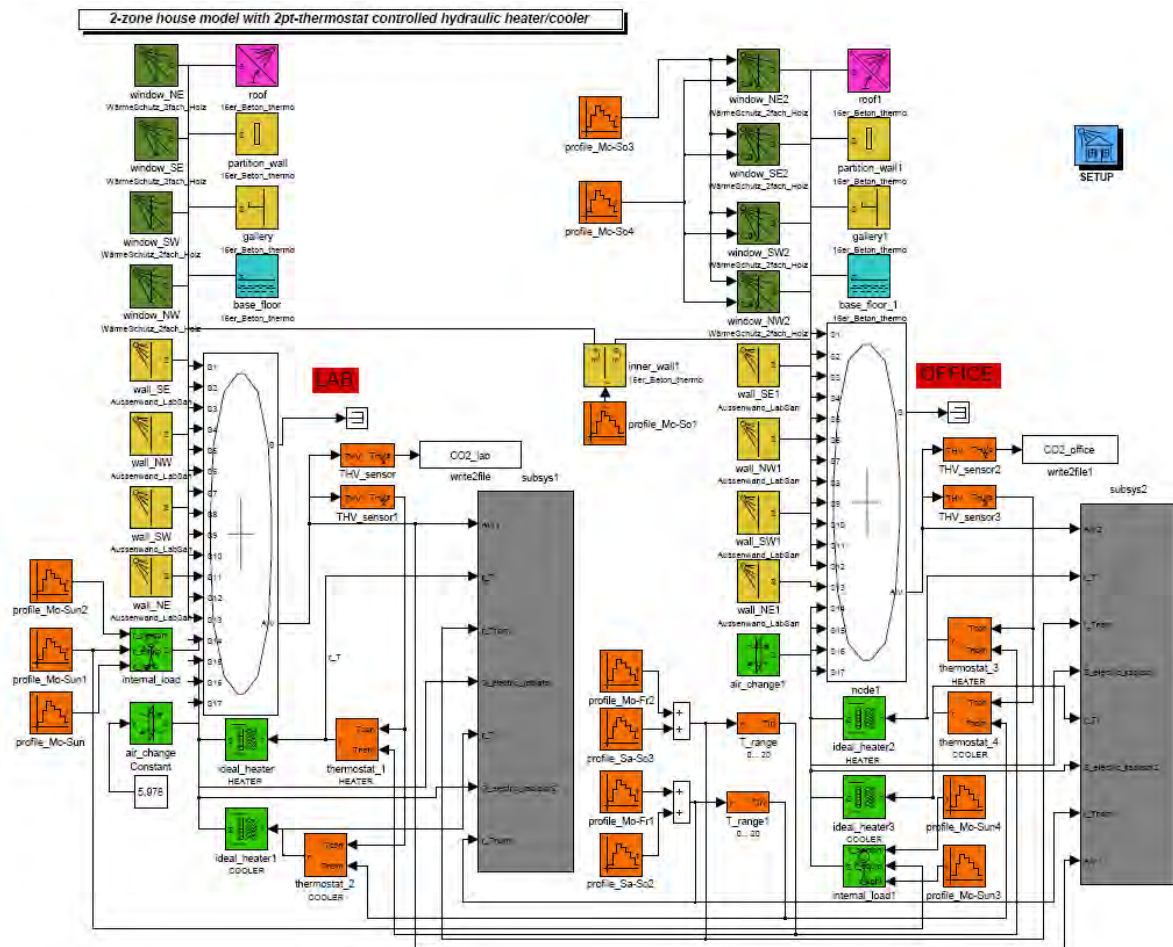


Bild 3–51: Zweizonenmodell mit den zugehörigen Blöcken für die verschiedenen Bestandteile des Gebäudes und der Anlagentechnik

In Bild 3–51 sind 6 verschiedene Blockarten zu erkennen:

1. die dunkelgrünen Blöcke repräsentieren die Fenster des Gebäudes in alle 4 Richtungen für 2 Zonen;
2. die gelben Blöcke repräsentieren die Wände des Gebäudes in alle 4 Richtungen für 2 Zonen und innere Wände zwischen den Räumen und Zonen;
3. 2 violette Blöcke beschreiben das Dach des Gebäudes;
4. 2 blaue Blöcke entsprechen den Fußböden;
5. die grünen Blöcke beinhalten die Heiz- und Kühlsysteme, die inneren Wärmelasten und die entsprechenden Luftwechselraten, zusätzlich werden hier die Regelungsparameter und Nutzungsprofile hinterlegt;
6. die weißen Blöcke sind für die Verarbeitung der Daten und die grauen für die Datenausgabe zuständig.

7. die orange eingefärbten Blöcke sind für Profile der Nutzung und Regelung zuständig

## Ergebnisse der Simulationen

### Unsanieretes Gebäude

Für beide Zonen des Gebäudes wurden jährliche Energiebilanzen aus zu- und abgeführten Energien berechnet. Die zugeführte Energie beinhaltet solare Gewinne, interne Lasten (Geräte, Licht und Personen), vom Heizsystem zugeführte Energie und Energiegewinne durch Infiltration und Transmission im Sommer. Die abgeführte Energie setzt sich zusammen aus der vom Kühlsystem abgeführten Energie und Energieverlusten durch Infiltration und Transmission und Lüftung im Winter.

Die Simulationsergebnisse des Jahresverbrauches an Kühl- und Heizenergie entsprechen nahezu den vom Ingenieurbüro Schiller auf Basis von Messdaten mittels SIMHX berechneten Werten (siehe Tabelle 3–12).

Vergleich zwischen Simulation Lacasa und SIMHX unsaniertes Gebäude					
	SIMHX (Schiller engineering)	Lacasa-Modell			Differenz
		Ergebnis Simulation	Primärenerg. Faktor	Primärenergie	
Heizung	1231 MWh/a Primärenergie	1077 MWh/a	1.1	1185 MWh/a	-3.80%
Kühlung	363 MWh/a Primärenergie	215 MWh/a	1.1	237 MWh/a	-34.80%

*Tabelle 3–12: Ergebnisvergleich zwischen der Simulation mit Lacasa auf Basis von Matlab Simulink und der Berechnung mittels SIMHX auf Basis von Messdaten nach Szenario 2 (Schiller Engineering)*

Die auftretenden Unterschiede sind auf die verschiedenen Simulationskonditionen zurückzuführen. Der größere Unterschied der beiden Simulationsergebnisse bei dem Primärenergieverbrauch für die Gebäudekühlung entsteht durch das Profil in dem Lacasamodell für die gewünschte Zuluft- bzw. Raumtemperatur. Hier werden in der Nacht und am Wochenende höhere Temperaturen zugelassen.

Unterschiede in den Parametern der Simulationen		
	Simulation Schiller (Szenario 2) SIMHX	Lacasa-Modell
Simulationsverfahren	2 Zonen für 13 Lüftungssysteme	2 Zonen für 1 Lüftungssystem
Zieleinblastemperatur Luft (°C)	18	16–28 (Profilabhängig)
Interne Last (Elektr. Geräte und Licht)	668 MWh/a (auf Basis von Kurzzeitmessungen)	Mit Hochrechnung identisch, aber über Nutzungsprofile angepasst
Interne Last (Personen)		20 Personen in Laboren, 30 in Büros

Tabelle 3–13: Unterschiede in den Modellen und Parametern der Simulationen

## Saniertes Gebäude

Vergleich zwischen Simulation Lacasa und SIMHX saniertes Gebäude					
	SIMHX (Schiller engineering)	Lacasa-Modell			Differenz
		Ergebnis Simulation	Primärenerg. Faktor	Primärenergie	
Heizung	390 MWh/a Primärenergie	301 MWh/a	1.1	331 MWh/a	-15,1 %
Kühlung	180 MWh/a Primärenergie	23 MWh/a	1.1	25 MWh/a	-86 %

Tabelle 3–14: Ergebnisvergleich zwischen der Simulation mit Lacasa auf Basis von Matlab Simulink und der Berechnung mittels SIMHX auf Basis von Planungsdaten

	Simulationsergebnisse		Messdaten Jan 05 bis Dez 05	
<b>Summe</b>	<b>324 MWh/a</b>		<b>389 MWh/a</b>	
	Luftheizung	208 MWh/a	Luftheizung	137 MWh/a
	Raumheizung	93 MWh/a	Raumheizung	119 MWh/a
	Luftkühlung	23 MWh/a	Luftkühlung	24 MWh/a
	Raumkühlung	0 MWh/a	Raumkühlung	109 MWh/a
	Primärenergie (kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGFa</sub> ):	86	Primärenergie (kWh/m <sup>2</sup> <sub>BGFa</sub> ):	103

Tabelle 3–15: Vergleich der Ergebnisse der Simulation mit den Messdaten des sanierten Gebäudes

Der in Tabelle 3–15 ersichtliche große Unterschied zwischen den Simulations- und Messergebnissen für die Raumkühlung hat die folgende Ursache: Die internen Lasten innerhalb der einzelnen Labore durch die Nutzung verschiedener Geräte werden durch die Zusammenfassung in einer Zone gemittelt. Tatsächlich haben aber einige Labore sehr hohe innere Lasten und andere Labore sehr niedrige. Die sich daraus ergebende Spreizung im Raumkühlbedarf kann durch das verwendete Simulationsmodell nicht abgebildet werden.

### 3.3.3 Messtechnische Analyse des unsanierten und sanierten Gebäudes

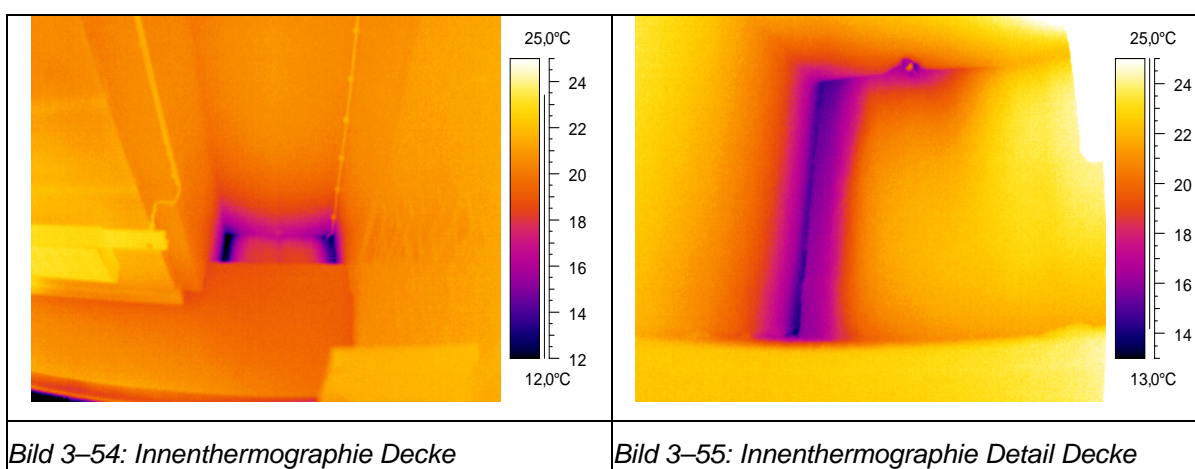
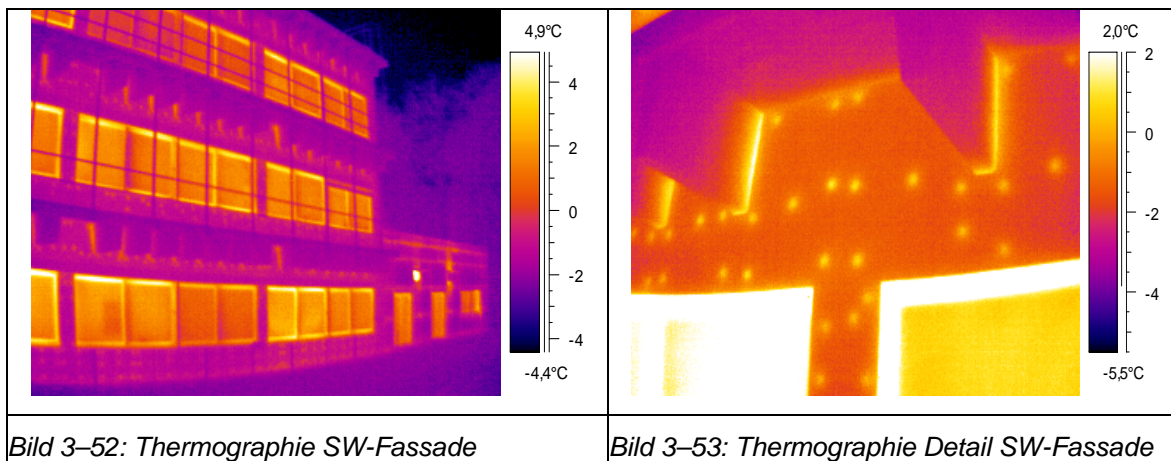
#### Analyse der Fassade des unsanierten Gebäudes

Um die Außenhülle des Gebäudes 06.20 in Bezug auf Wärmebrücken zu untersuchen wurden Thermographie-Aufnahmen der Außenfassade und der Innenwände durchgeführt.

Als Untersuchungsmethode wurde die Infrarot-Thermografie eingesetzt, weil sie die Temperaturen von Oberflächen mit hoher Auflösung messen und mit einem Bild darstellen kann. Die Temperaturlösung ist dabei so gut, dass auch geringfügige Unterschiede im wärmetechnischen Verhalten eines Gebäudes aufgedeckt werden können.

Aus prinzipiellen Gründen ist die direkte Bestimmung der absoluten Wärmedämmeigenschaften (U-Werte) aus den Thermografie-Aufnahmen mit großen Ungenauigkeiten verbunden. Hierfür sind unter anderem die verschiedenen Mechanismen des Wärmeabtransports von der Oberfläche (Strahlung, Konvektion) verantwortlich, die für verschiedene Stellen der Fassade sehr unterschiedlich sein können. Es können allerdings sehr gut Vergleiche gleichartiger Konstruktionen durchgeführt werden, wenn sie sich in etwa gleicher Einbausituation in dem Gebäude befinden.

Die nachfolgenden Abbildungen *Bild 3–52* und *Bild 3–53* zeigen qualitativ Außenthermographien, auf denen die Wärmebrücken im Bereich der undichten und schlecht isolierten Fenster gut zu erkennen sind. *Bild 3–53* verdeutlicht die Kühlrippenwirkung der Betonrippen in der Süd- und Nordfassade des Gebäudes. Abbildungen *Bild 3–54* und *Bild 3–55* zeigen deutlich die Temperatursenken an der Innenwand der Fassade im Bereich der Decke und der Betonrippen.



### **Energieverbräuche des unsanierten Gebäudes**

Für das Szenario II ergab sich ein Primärenergiebedarf von 4.600 MWh/a, bzw. 1.235 kWh/m<sup>2</sup> (BGF). Lässt man den nutzungsbedingten Stromverbrauch unberücksichtigt, wurden ca. 83 % des Energiebedarfs durch die raumluftechnischen Anlagen verursacht (siehe Bild 3–56).

Insofern nimmt die Raumluftechnik verständlicherweise einen besonderen Schwerpunkt innerhalb des Projektes sein.



Energie	KWh/m <sup>2</sup> a <sub>BGF</sub>	Art	KWh/m <sup>2</sup> a <sub>BGF</sub>	Detail	KWh/m <sup>2</sup> a <sub>BGF</sub>
Primärenergie gesamt	1235	Kälte	113	Luftkühlung	113
		Wärme	486	Raumheizung	103
				Luftheizung	383
				Luftförderung	300
		Strom	636	Beleuchtung	60
				Nutzung	276

Tabelle 3–16: Energieverbrauch des unsanierten Gebäudes (Werte bezogen auf BGF von 3716 m<sup>2</sup>)

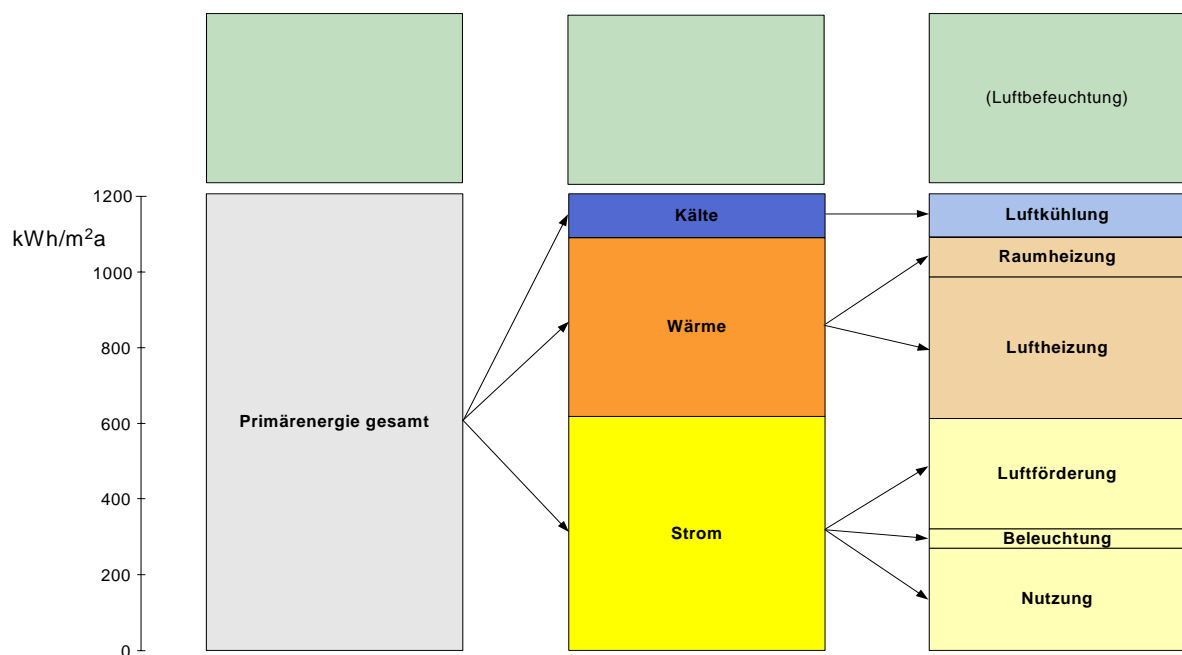


Bild 3–56: Energieverbrauch des unsanierten Gebäudes

### Analyse der Fassade des sanierten Gebäudes

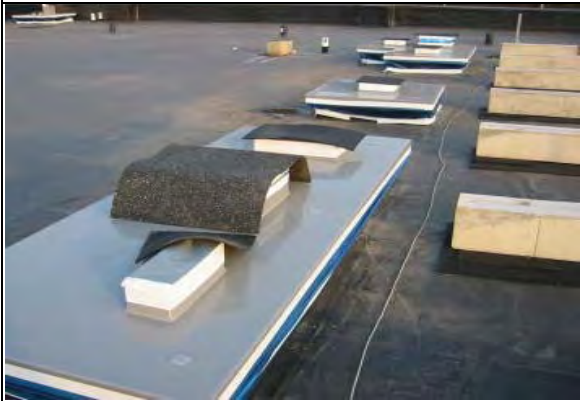
Das Gebäude verfügt über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Gemäß DIN 4108 gilt somit ein  $n_{50}$ -Wert von 1,5 /h als oberer Grenzwert für die Luftdichtheit. Mit dem gemessenen Wert von 0,98 /h wurde der geforderte Wert um 50 % unterschritten. Eine Nachbesserung der Fassade war daher nicht erforderlich.



*Bild 3-57: Zuluftöffnung an der Giebelseite*



*Bild 3-58: Abwasser-Anschlüsse, Bodenabläufe*



*Bild 3-59 und Bild 3-60 : Abluftöffnungen der Lüftungskanäle auf dem Dach*

Die Blower-Door wurde im Rahmen eines Fensters im EG eingebaut (siehe Bild 3-61).

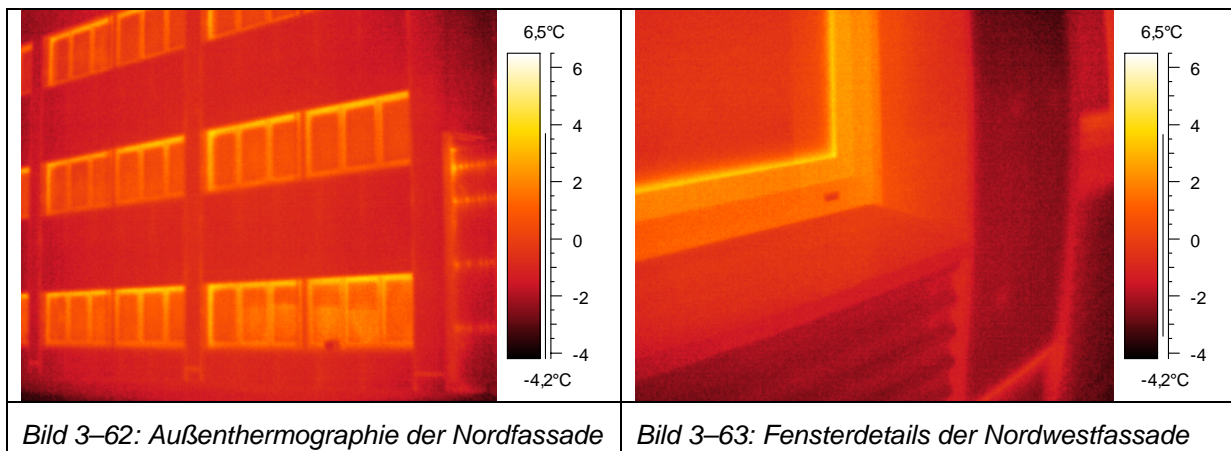


*Bild 3-61: Blower-Door im Fensterrahmen*

Im Wesentlichen fanden sich Undichtigkeiten an Kabeldurchführungen für die Jalousieantriebe und in einigen Fällen an den Innenfensterbänken der Südwesträume, im Bereich von Wandecken und an den darunter liegenden Kabelkanälen. Die Fenster selber (Fensteranschlüsse und Flügeldichtungen) erwiesen sich als luftdicht. Im Haustechnikraum waren einige Rohrdurchführungen unzureichend abgedichtet. Bei der Außentüre von Raum 229 fehlte eine ausreichende Abdichtung.

Aus den mit der Blower-Door gemessenen Volumenströmen lässt sich ein Anhaltswert für die äquivalente Leckagefläche der Gebäudehülle abschätzen. Sie beträgt 2966 cm<sup>2</sup>.

Die nach der Aufbringung des Wärmedämmverbundsystems durchgeführten Thermographien zeigten keine Wärmebrücken im Bereich der Fassade und der Fenster (siehe Bild 3–62 und Bild 3–63). Der helle Bereich am Rand der Fensterscheibe in Bild 3–63 wird durch Reflektionen der Innenraumtemperatur verursacht. Der Fassadenübergang von der Aluwelle zu dem verputzten Bereich ist in Bild 3–63 gut zu erkennen, stellt aber keine nennenswerte Wärmebrücke dar.



### Energieverbräuche des sanierten Gebäudes

Die Monats- und Jahresbilanzen des Energieverbrauches werden für das gesamte Gebäude und die Labor- und Bürozone aufgeführt. Die Tabellen und Diagramme stellen den Primärenergieverbrauch pro m<sup>2</sup> Bruttogeschossfläche (BGF) oder die Nutzenergie absolut dar. Die Bruttogeschossfläche des gesamten Gebäudes beträgt 3761 m<sup>2</sup>; die BGF der Laborzone 2110 m<sup>2</sup> und der Bürozone 1649 m<sup>2</sup>.

## Monatsbilanzen

### Gesamtes Gebäude

Nachfolgend sind in Bild 3–64 die monatlichen zu- und abgeführten Primärenergien des Gesamtgebäudes bezogen auf die Bruttogeschossfläche aufgetragen. Als Bezugsgröße wurde die monatliche Gradtagzahl hinzugezogen. Die Werte für Oktober 06 bis Dezember 06 wurden auf Basis des Vorjahresverbrauches hochgerechnet.

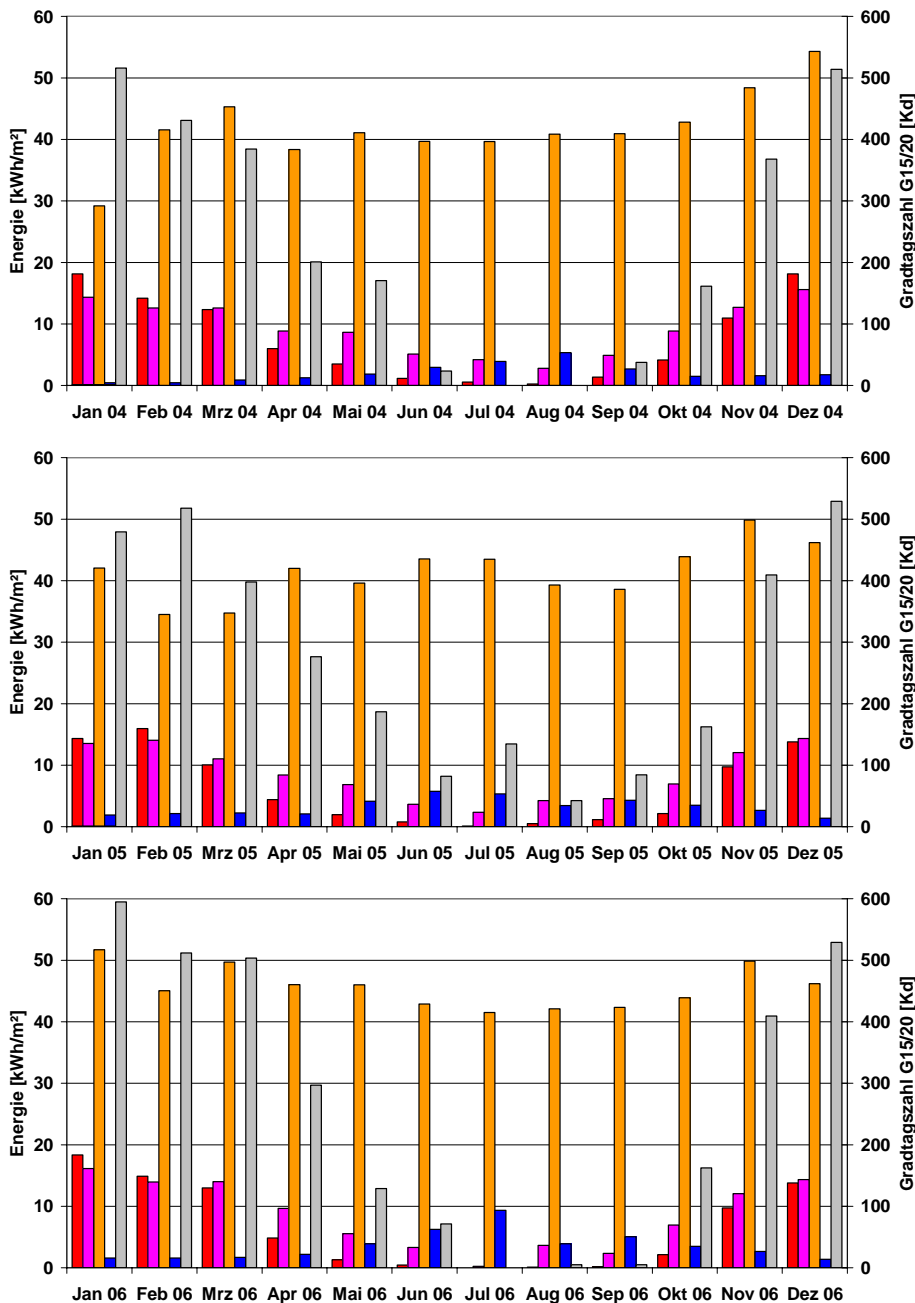


Bild 3–64: Zu- und abgeführte Primär-Energien des gesamten Gebäudes, bezogen auf BGF

## Details Stromverbrauch

Nachfolgend sind in Bild 3–65 die monatlichen Stromverbräuche des Gesamtgebäudes für die Gebäudenutzung, die Raumluftechnik, diverse Gebäudetechnik und die Beleuchtung bezogen auf die Bruttogeschossfläche aufgetragen. Die Werte für Oktober 06 bis Dezember 06 wurden auf Basis des Vorjahresverbrauches hochgerechnet.

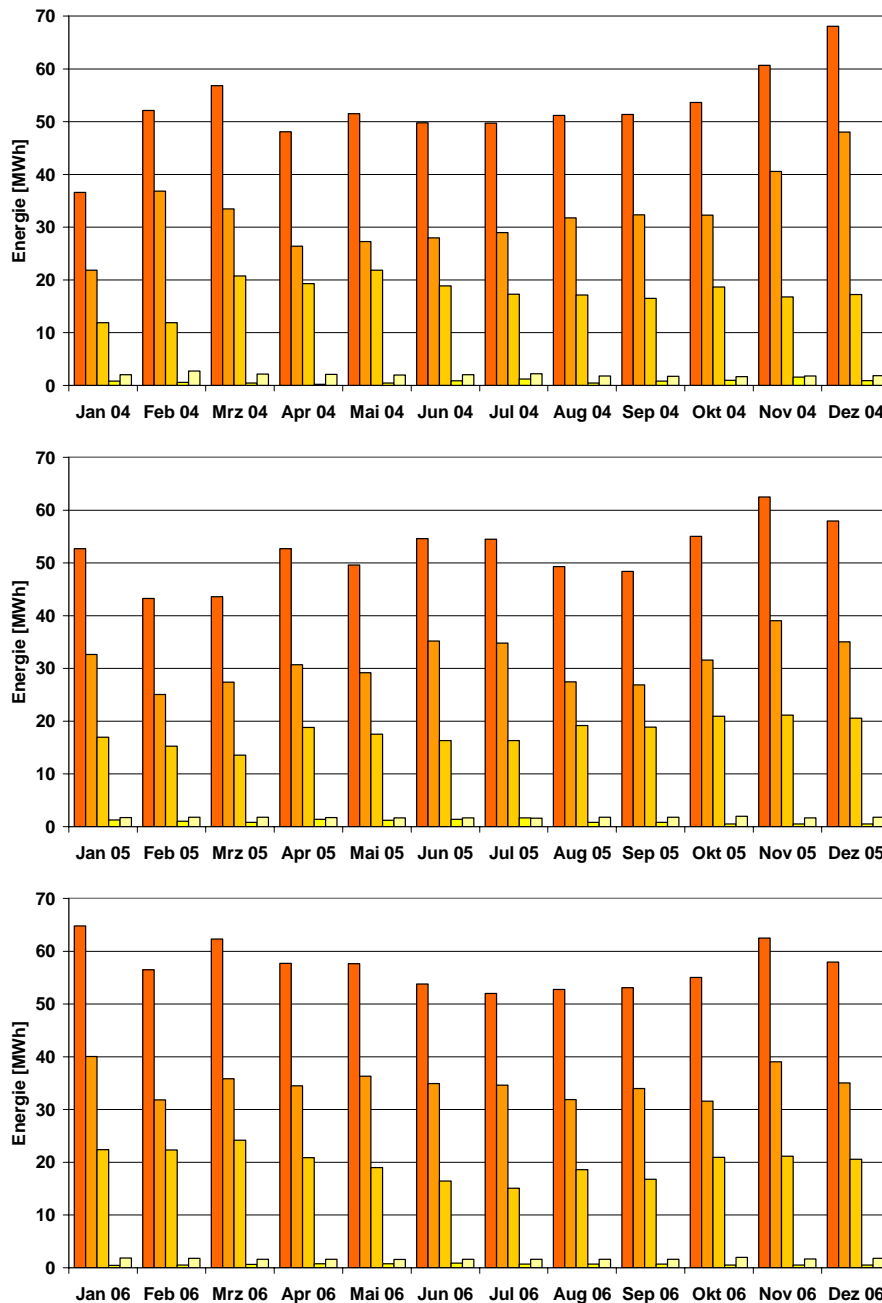


Bild 3–65: Strom Primär-Energieverbrauch des gesamten Gebäudes, bezogen auf BGF

## Laborzone

Nachfolgend sind in Bild 3–66 die monatlichen zu- und abgeführten Primärenergien der Laborzone bezogen auf die Bruttogeschossfläche der Laborzone aufgetragen. Als Bezugsgröße wurde die monatliche Gradtagzahl hinzugezogen. Die Werte für Oktober 06 bis Dezember 06 wurden auf Basis des Vorjahresverbrauches hochgerechnet.

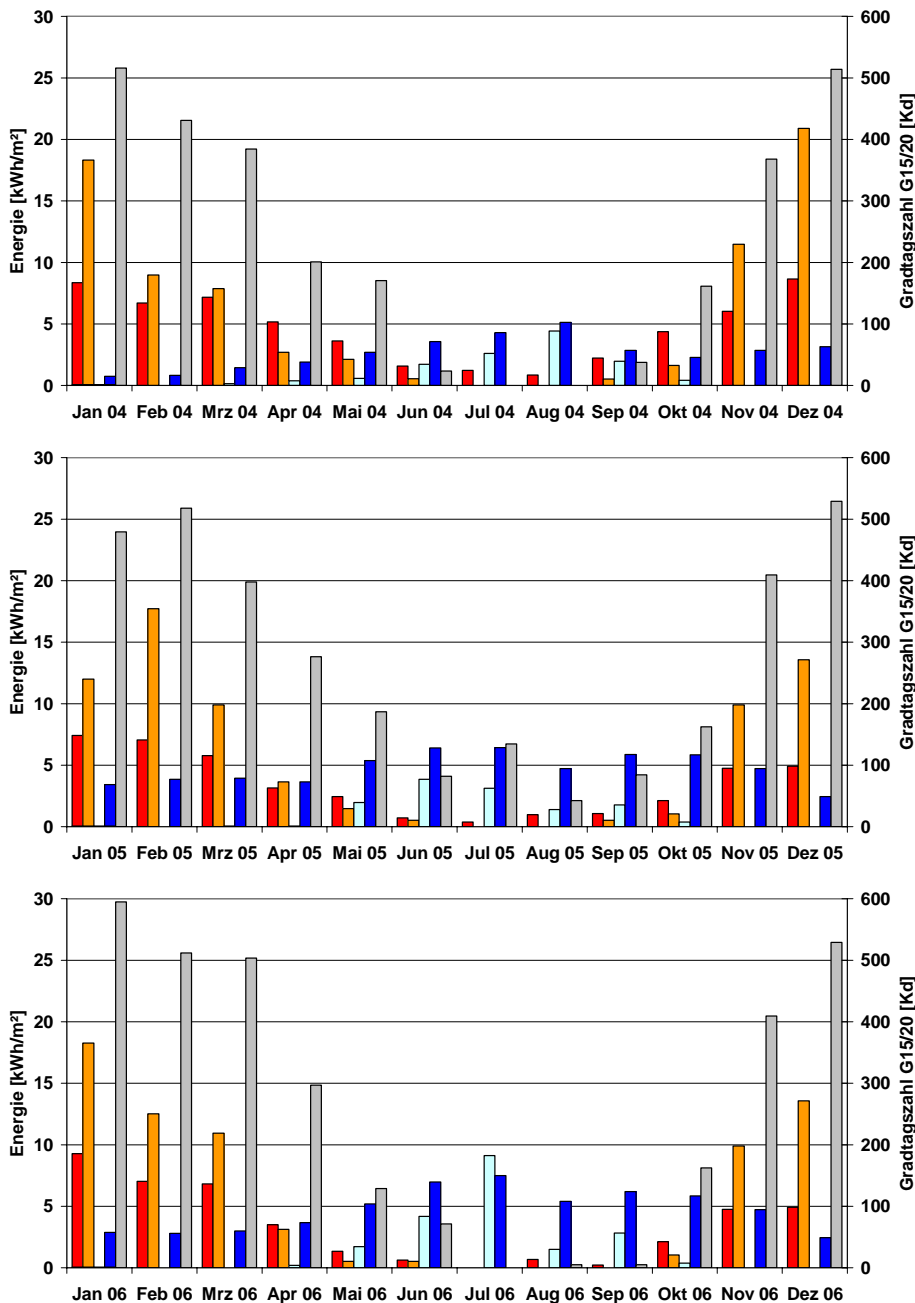


Bild 3–66: Zu- und abgeführte Primär-Energien der Laborzone des Gebäudes, bezogen auf BGF Laborzone

## Details Stromverbrauch Laborzone

Nachfolgend sind in Bild 3–67 die monatlichen Stromverbräuche der Laborzone bezogen auf die Bruttogeschossfläche der Laborzone aufgetragen. Die Werte für Oktober 06 bis Dezember 06 wurden auf Basis des Vorjahresverbrauches hochgerechnet.

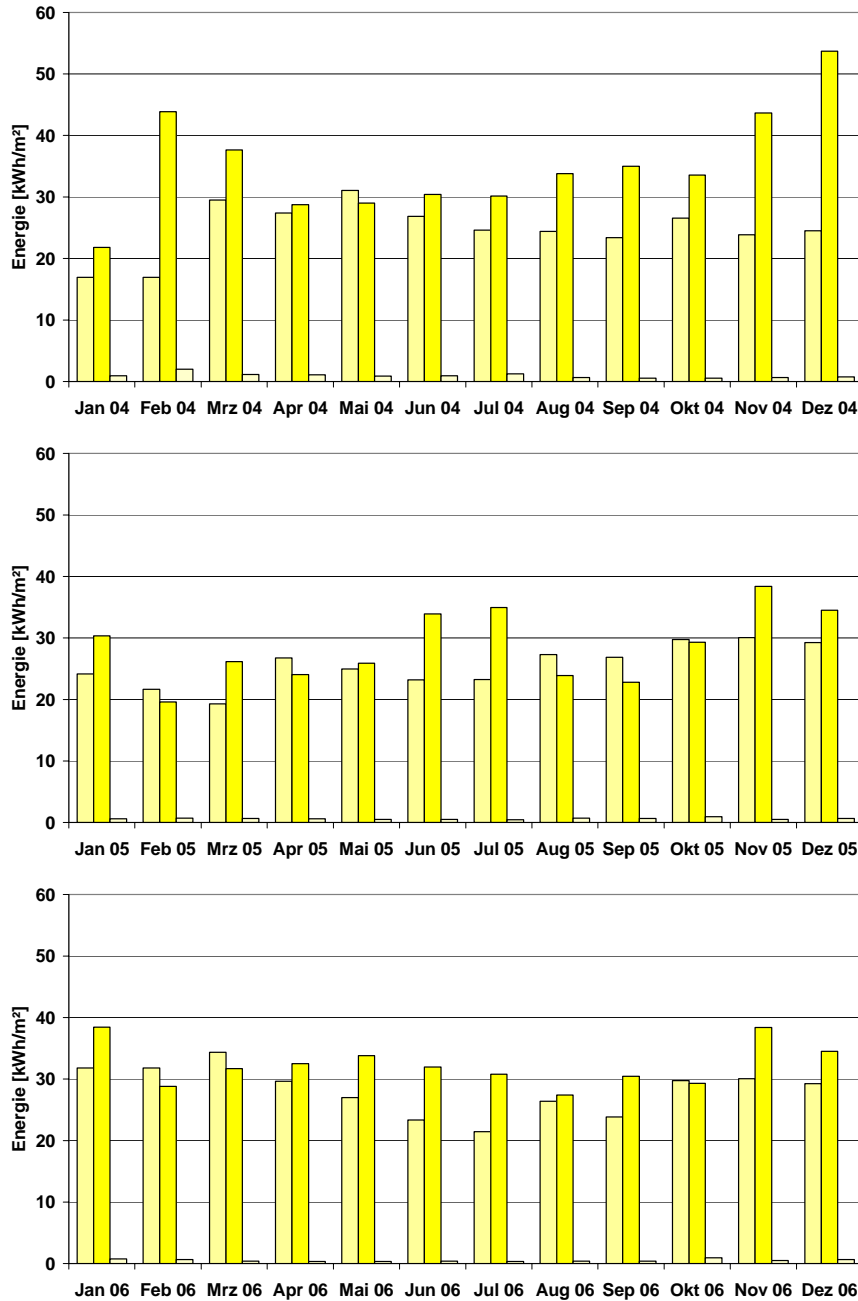


Bild 3–67: Strom Primär-Energie Verbrauch der Laborzone des Gebäudes, bezogen auf BGF Laborzone

## Bürozone

Nachfolgend sind in Bild 3–68 die monatlichen zu- und abgeführten Primärenergien der Bürozone bezogen auf die Bruttogeschossfläche der Bürozone aufgetragen. Als Bezugsgröße wurde die monatliche Gradtagzahl hinzugezogen. Die Werte für Oktober 06 bis Dezember 06 wurden auf Basis des Vorjahresverbrauches hochgerechnet.

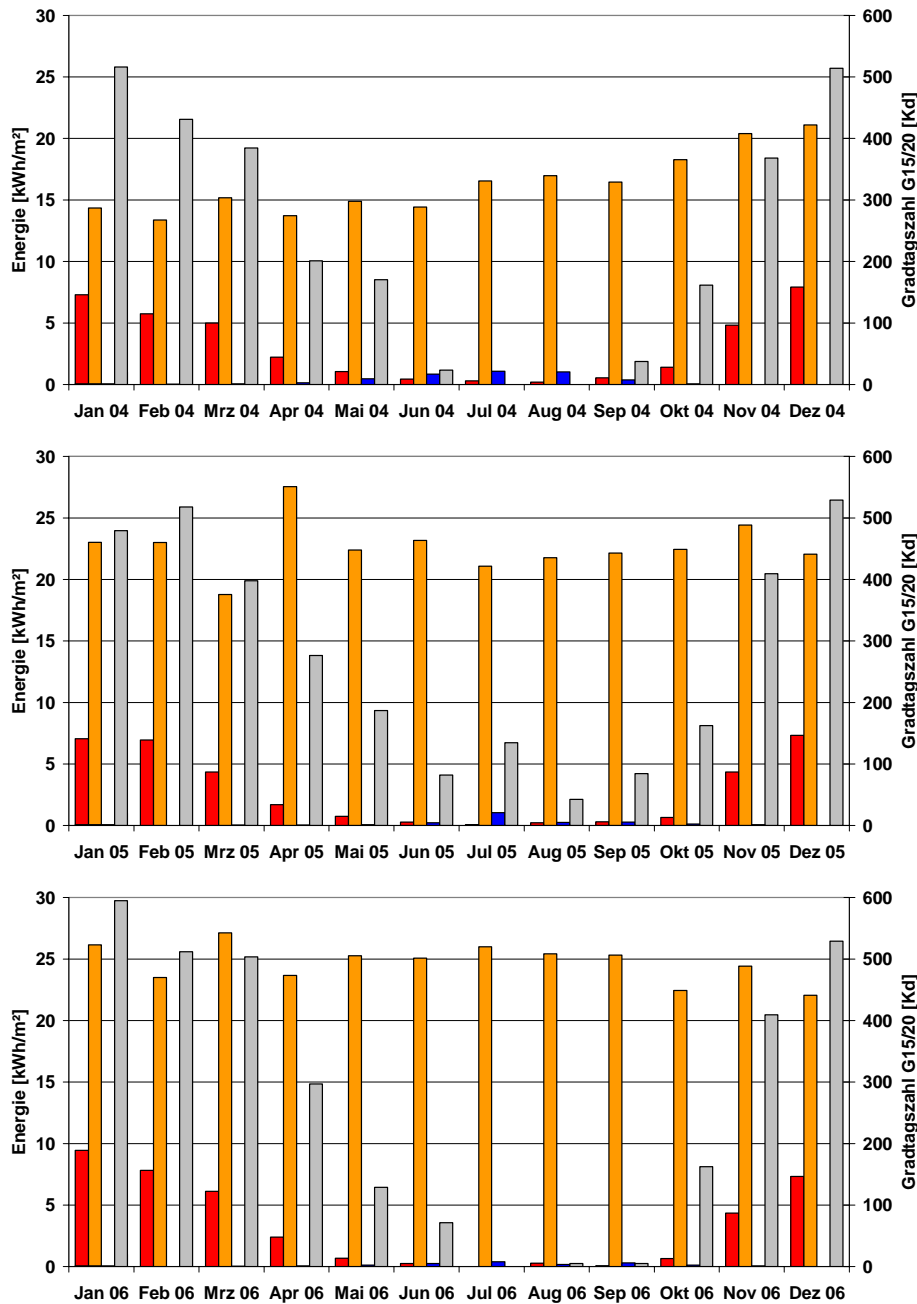


Bild 3–68: Zu- und abgeführte Primär-Energien (BGF) der Bürozone des Gebäudes



## Lüftung

Da der Energieverbrauch der Zuluftheizung und -kühlung direkt von der Höhe des Zuluftvolumenstromes abhängig ist, war es wichtig die Einhaltung der Planungswerte zu kontrollieren. In der nachfolgenden Tabelle 3–17 sind die Planungswerte und die in den Jahren 2004 bis 2006 gemessenen Jahresvolumina und Volumenstrom Mittelwerte im nicht abgesenkten Tag- und abgesenkten Nacht- und Wochenendbetrieb dargestellt.

	Betriebszeit	Zuluftvolumenstrom	Mittelwerte	Jahresvolumen
		m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	Mio. m <sup>3</sup> /a
Unsanieretes Gebäude	Tag	50.300	50.300	440,6
	Nacht/ Wochenende	50.300		
Sanieretes Gebäude (Planung)	Tag	28.800 – 36.600	17.440	170,2
	Nacht/ Wochenende	13.000		
Sanieretes Gebäude (Messwerte 2004)	Tag	23.500 - 25.300	23.650	184
	Nacht/ Wochenende	16.600 – 20.800		
Sanieretes Gebäude (Messwerte 2005)	Tag	21.700 – 23.600	22.650	166,8
	Nacht/ Wochenende	15.700 – 18.000		
Sanieretes Gebäude (Messwerte 2006)	Tag	22.100 – 23.900 (§)	22.900 (§)	166,9 (§)
	Nacht/ Wochenende	16.200 – 17.400 (§)		

(§) Jahreshochrechnung auf der Basis von Messwerten: 01.01.2006 bis 01.10.2006

Tabelle 3–17: Jahresvolumina und Volumenstrom Mittelwerte im Tag- und abgesenkten Betrieb

Die Höhe des Zuluftvolumenstromes der Jahre 2004 bis 2006 (siehe Tabelle 3–17) wurde über den Zeitraum der Vermessung durch folgende Ereignisse beeinflusst:

1. Die Zuluftversorgung des Seminarraumes wurde in der ersten Hälfte des Jahres 2004 zur Nachtzeit nicht abgesenkt.
2. Die Zuluftversorgung des Seminarraumes wurde bis Ende des Jahres 2004 am Samstag nicht abgesenkt
3. Die Luftwechselrate von Laboren, die als physikalische Messräume genutzt werden, wurde reduziert. Die Räume wurden entsprechend umklassifiziert, so dass dort keine chemischen Versuche mehr durchgeführt werden dürfen.

4. Der Wirksinn für die Tag/Nacht und Wochenendbetriebsweise war in den Jahren 2004 und 2005 in einigen Laborräumen und Verkehrsbereichen vertauscht.
5. Die Absenkung in der Nacht und am Wochenende wurde im Jahr 2006 in einigen Laboren aufgehoben, da dort durch Laborgeräte eine sehr hohe innere Wärmelast verursacht wird und die Kühlung laufender Experimente nicht gewährleistet wäre. Die dort verwendeten Geräte geben ihre Abwärme an die Raumluft ab und sind leider nicht an die Kaltwasserleitungen zur Kühlung anschließbar.
6. Reparatur von 8 Volumenstromreglern

In nachfolgendem Bild 3–69 ist die Entwicklung des Zuluftvolumenstromes über die Jahre 2004 bis 2006 dargestellt.

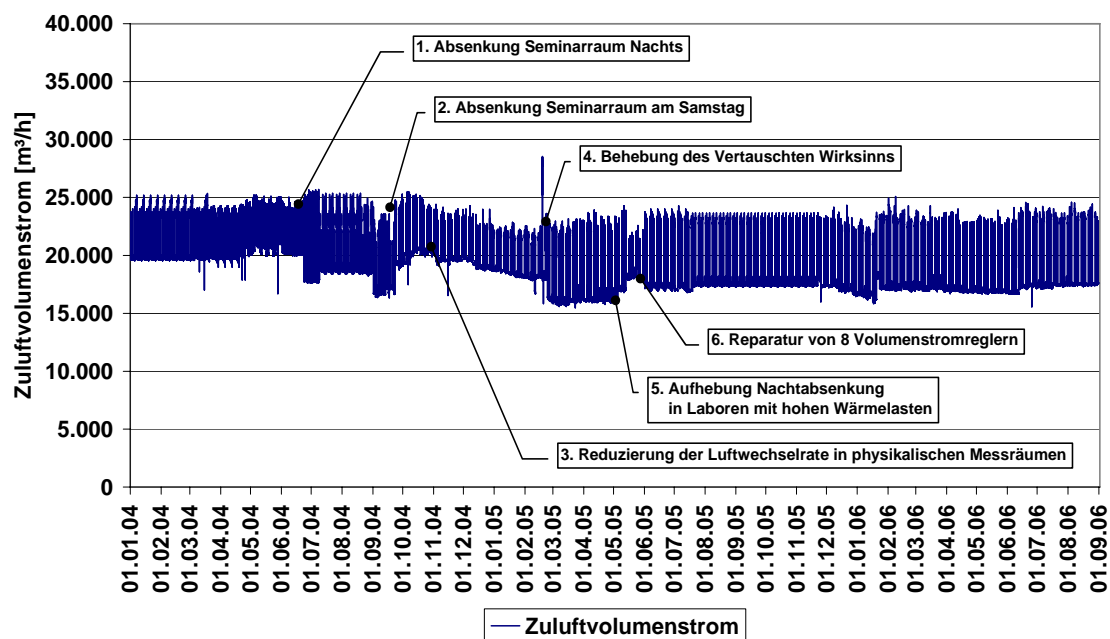


Bild 3–69: Entwicklung des Zuluftvolumenstromes von 2004 bis 2006

Der Hauptzuluftvolumenstrom hängt nicht nur von den in der Regelung der Einzelräume programmierten Vorgaben für den Tag-, Nacht- und Wochenendvolumenstrom ab, sondern auch stark von der Nutzung der Räume und der vorhandenen Digestorien. In der nachfolgenden Grafik Bild 3–70 ist zur Verdeutlichung des Nutzereinflusses eine nach der Höhe des Hauptzuluftvolumenstromes sortierte Häufigkeitsverteilung (5-Minuten-Intervalle) dargestellt. In Bild 3–70 sind auf der linken Achse der geplante und der gemessene Hauptzuluftvolumenstrom aufgetragen. Auf der rechten Achse sind beispielhaft die zur Hauptzuluft zeitsynchronen Volumenströme einiger Digestorien aufgetragen. Der gemessene Zuluftvolumenstrom liegt zur nicht abgesenkten Zeit weit unter dem geplanten Maximalwert. Zur abgesenkten Zeit liegt der gemessene Zuluftvolumenstrom über dem geplanten. An der Häufigkeitsverteilung der Digestorien ist zu erkennen, dass tagsüber die einzelnen Digestorien sehr unterschiedlich intensiv genutzt werden und zur abgesenkten Betriebszeit des Gebäudes z. B. das Digestorium in Raum 207 nicht geschlossen wurde.

Hohe Einsparungen im Energieverbrauch für die Temperierung der Zuluft lassen sich nur durch einen gewissenhaften Umgang der Nutzer durch das Schließen aller Digestorien bei Nichtbenutzung und zur Nacht- und Wochenendzeit erreichen.

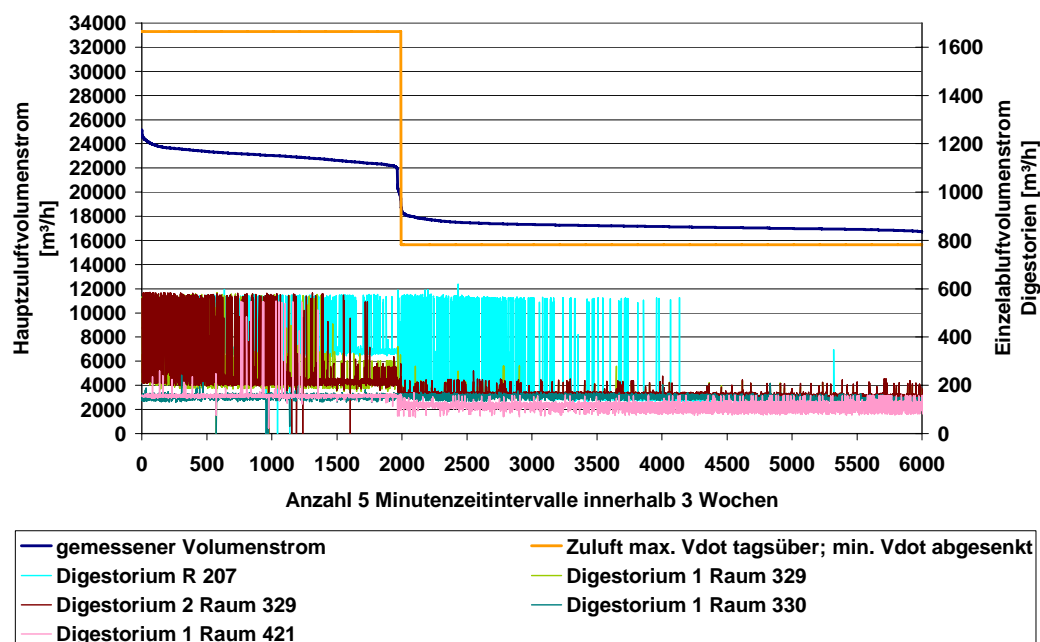


Bild 3–70: Häufigkeitsverteilung des Hauptzuluftvolumenstromes und beispielhaft einiger Digestorien

## Effizienz der Lüftungsanlage (spezifische Ventilatorleistung)

In der nachfolgenden Abbildung Bild 3–71 sind die spezifischen Ventilatorleistungen  $P_{SFP}$  nach DIN 13779 zum Tag- und Wochenend-/Nachtbetrieb dargestellt.

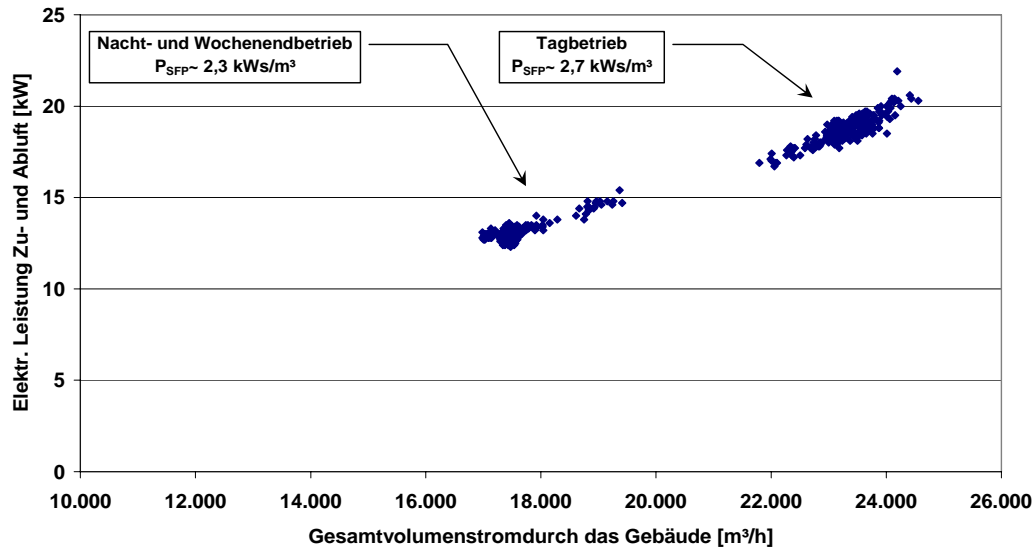


Bild 3–71: Effizienz der Lüftungsanlage (spezifische Ventilatorleistung  $P_{SFP}$ );  
(Datenbasis: 18.8.06 – 18.09.06) als Stunden-Mittelwerte

## Effizienz der Wärmerückgewinnung

Die Funktion der Wärmerückgewinnungsanlagen beeinflusst die Gesamtenergiebilanz des Gebäudes erheblich. Im Jahr 2004 konnte durch die Wärmerückgewinnungsanlage ein Nutzungsgrad von ca. 68 % (rückgewonnene Energie im Verhältnis zur Gesamtenergie für die Lufterwärmung) erzielt werden. Damit trägt die Wärmerückgewinnung mit einem Anteil von ca. 20 % zur Gesamtprimärenergieeinsparung bei. Die Auswertung der stündlichen Temperaturmessungen im Lüftungszentralgerät belegt, dass die geplante Rückwärmzahl von 0,50 im Mittel annähernd erreicht wird. Es wird erkennbar, dass die Rückwärmzahl mit zunehmenden Außenlufttemperaturen gleitend abgeregelt wird. Gegenläufiges Kühlen wird dadurch vermieden.

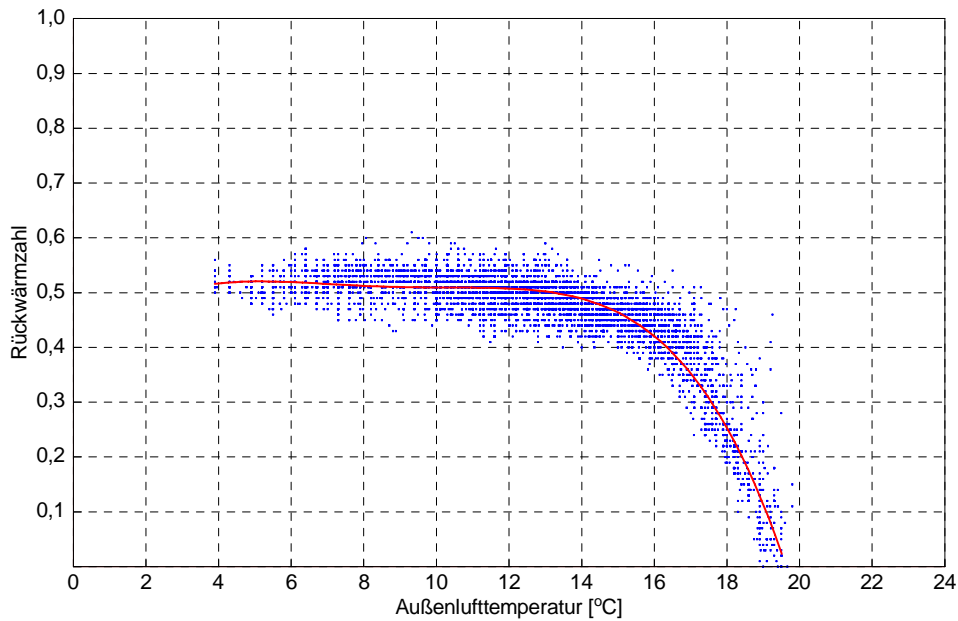


Bild 3–72: Rückwärmzahl mit zunehmenden Außenlufttemperatur

Die Abhängigkeit vom Luftvolumenstrom ist mit ca. 10 % innerhalb des Regelbereiches verhältnismäßig gering. In der Nebenbetriebszeit wird eine Rückwärmzahl von ca. 0,52 und in der Hauptbetriebszeit von ca. 0,48 erzielt.

Die Steigerungsmöglichkeiten der Rückwärmzahl durch z. B. Massestromoptimierung im Solekreis wurden theoretisch untersucht, bieten aber aufgrund der Wärmeübertragungsverhältnisse nur ein äußerst geringes Verbesserungspotenzial.

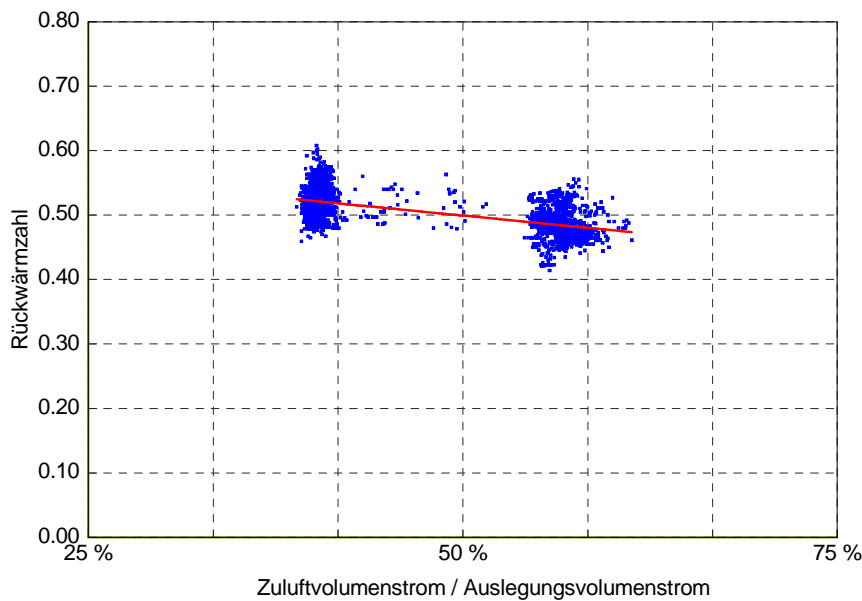


Bild 3–73: Abhängigkeit der Rückwärmzahl vom Luftvolumenstrom

## Jahresbilanzen

### Gesamtes Gebäude

Nachfolgend sind in Bild 3–74 die jährlichen Primärenergieverbräuche des Gesamtgebäudes bezogen auf die Bruttogeschossfläche des Gesamtgebäudes aufgetragen. Die Werte für Oktober 06 bis Dezember 06 wurden auf Basis des Vorjahresverbrauches hochgerechnet. Die durch die Wärmerückgewinnung erzielte Energieeinsparung für die Zuluftheizung wurde in Bild 3–74 als negativer Energieverbrauch aufgetragen. Für das Jahr 2006 ist eine Zunahme des Primärenergieverbrauches für die Luftförderung und Nutzung zu erkennen. In den Jahresbilanzen für die Labor- und Bürozone (Bild 3–75 und Bild 3–76 ist die Ursache für Anstieg des Primärenergieverbrauches (Luftförderung und Nutzung) zu erkennen.

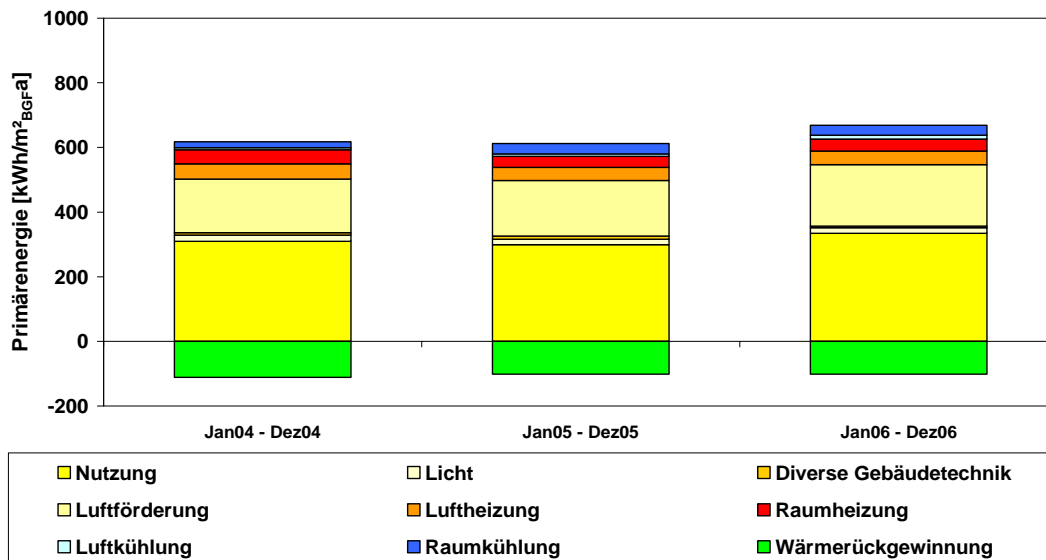


Bild 3–74: Primärenergie Verbrauch als Jahresbilanzen 2004, 2005, 2006 bezogen auf die Bruttogeschossfläche des Gesamtgebäudes (3761 m<sup>2</sup>).

## Laborzone

Nachfolgend sind in Bild 3–75 die jährlichen Primärenergieverbräuche der Laborzone bezogen auf die Bruttogeschossfläche der Laborzone aufgetragen. Die Werte für Oktober 06 bis Dezember 06 wurden auf Basis des Vorjahresverbrauches hochgerechnet. Seit Anfang 2006 wurde die Absenkung des Zuluftvolumenstromes außerhalb der Tagesbetriebszeit für einige Labore aufgrund des Betriebes von Laborgeräten mit hoher Kühllast deaktiviert. In den von der Aufhebung der Absenkung betroffenen Laboren war eine Anbindung der Laborgeräte mit hoher Kühllast an die Kühlkreise auf Wasserbasis nicht möglich. Der resultierende erhöhte Stromverbrauch für die Luftförderung ist in Bild 3–75 für das Jahr 2006 deutlich zu erkennen. Die durch die Wärmerückgewinnung erzielte Energieeinsparung für die Zuluftheizung der Laborzone wurde in Bild 3–75 als negativer Energieverbrauch aufgetragen.

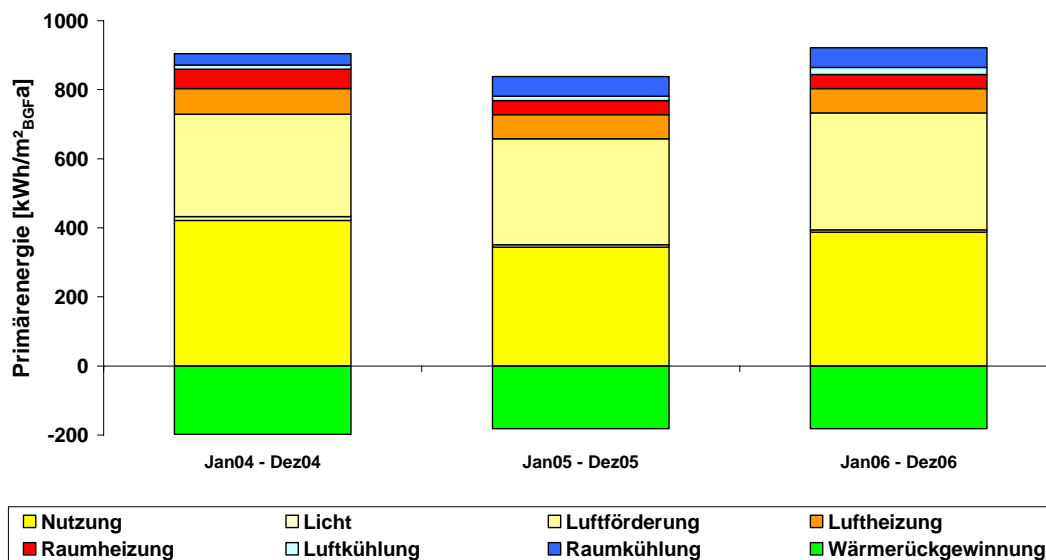


Bild 3–75: Primärenergie Verbrauch der Laborzone als Jahresbilanzen 2004, 2005, 2006 bezogen auf die Bruttogeschossfläche der Laborzone (2110 m<sup>2</sup>).

## Bürozone

Nachfolgend sind in Bild 3–76 die jährlichen Primärenergieverbräuche der Bürozone bezogen auf die Bruttogeschossfläche der Bürozone aufgetragen. Die Werte für Oktober 06 bis Dezember 06 wurden auf Basis des Vorjahresverbrauches hochgerechnet. In Bild 3–76 ist über die betrachteten Jahre 2004 bis 2006 ein deutlicher Anstieg im Stromverbrauch für die Gerätenutzung in den Büros zu erkennen. Eine Rücksprache mit dem Gebäudenutzer bestätigt nahezu eine Verdreifachung der Mitarbeiter und eine Verdoppelung der Computeranzahl. Zusätzlich wird in einigen als Büroraum deklarierten Räumen Pflanzenanzucht betrieben.

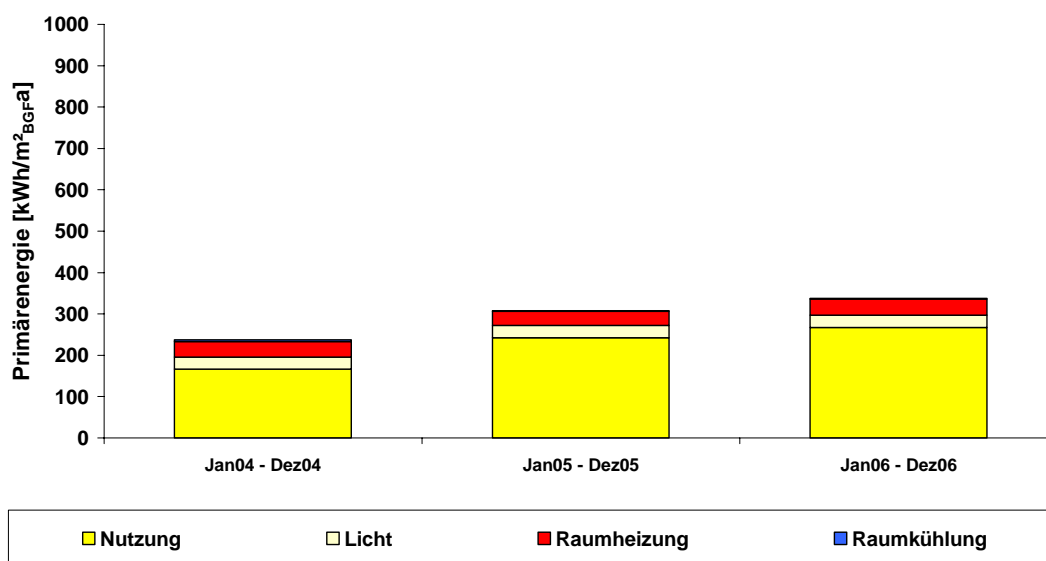


Bild 3–76: Primärenergie Verbrauch der Bürozone als Jahresbilanzen 2004, 2005, 2006 bezogen auf die Bruttogeschossfläche der Bürozone (1649 m<sup>2</sup>).

### 3.3.4 Optimierungsempfehlungen

Im Rahmen der Vermessung der Energieverbräuche des Gebäudes durchgeführte Detailuntersuchungen einzelner Komponenten der technischen Anlagen des Gebäudes zeigten erhebliche Funktionsmängel. Dies betraf viele Komponenten, die wesentlich für einen energieeffizienten und CO<sub>2</sub> einsparenden Betrieb des Gebäudes verantwortlich sind. Im nachfolgenden Kapitel werden die durch das Vermessungsprogramm festgestellten Mängel in der technischen Gebäudesausstattung und Regelung beschrieben.



## Durch das Messprogramm aufgedeckte Mängel im Gebäudebetrieb

### 1. Zu hoher Zuluftvolumenstrom zur abgesenkten Betriebszeit des Gebäudes

- a) Durch einen Vergleich des gemessenen Zuluftvolumenstromes zur Tages- und Nacht-/ Wochenendbetriebszeit mit der Summe aller Zuluftvolumenströme der einzelnen Räume des Gebäudes auf Basis der Planungsdaten wurde zur Nacht-/Wochenendzeit ein um ca. 5.000 m<sup>3</sup>/h zu hoher Volumenstrom entdeckt. Der Zuluftvolumenstrom zur Tagesbetriebszeit lag dagegen ca. 4.000 m<sup>3</sup>/h tiefer, als der minimal am Tag geplante Volumenstrom. Eine Analyse des Betriebsstatus der einzelnen lufttechnischen Einrichtungen in den Laborräumen und den Verkehrswegen ergab mehrere Volumenstromcontroller mit im Wirksinn vertauschter Ansteuerung. Eine Fehlermeldung an die GLT erfolgte nicht, da von der Regelung ein falscher Sollwert vorgegeben wurde. Die Vertauschung des Wirksinns hätte sich auf die Betriebssicherheit von betroffenen Laboren auswirken können! Durch die gerade zur Nachtzeit zu hohen Zuluftvolumenströme wurde ein höherer Energieverbrauch der Zuluftheizung verursacht.
- b) Im vermessenen Zeitraum kam es zusätzlich zu einem Ausfall von 8 Raumluftcontrollern. Dies wirkte sich ebenfalls auf die Luftbilanz und die Betriebssicherheit aus.

### 2. Einregelung der technischen Anlagen durch ausführende Fachfirmen unzureichend

Die Regelung der Zuluft in den Seminarraum mittels Luftqualitätssensor wurde durch die verantwortliche Fachfirma nicht parametrierung. Sie funktioniert erst nach ausführlichem Abgleich und Parametrierung durch das Solar-Institut Jülich.

### 3. Potenziale der natürlichen Kältequellen wurden nicht ausgeschöpft

- a) Zu niedrige Wassertemperaturen im Rücklauf der Verbraucher aufgrund von zu weit geöffneten Bypassventilen in den Kühlkreisen der einzelnen Etagen wurde der Rücklauf von den Kälteverbrauchern nahezu auf Vorlauftemperatur heruntergemischt. Dadurch wurde die Temperaturschwelle für die Aktivierung der natürlichen Kältequellen „Freikühler“ und „Rurwasserkälte“ nur gelegentlich überschritten. Der

Fehler wurde durch einen Vergleich möglicher Betriebszeiten auf Basis der Außenlufttemperatur und Rurwassertemperatur und der von den Kältequellen gelieferten Leistung entdeckt. Eine Analyse der Vor- und Rücklauftemperaturen der Kälteverbraucherkreise ermöglichte die Eingrenzung der Fehlerursache.

- b) Die Nutzung des Freikühlers war aufgrund von Regelungsproblemen nicht gewährleistet. Die Vor- und Rücklauftemperaturenfühler im Primärkreis (Glykolkreis) des Freikühlers waren vertauscht. Zusätzlich erfolgte die Regelung der Austrittstemperatur des Wassers im Sekundärkreis aus dem Wärmetauscher durch Messung der Vorlauftemperatur zum Wärmetauscher auf der Primärseite des Freikühlers. Eine konstante Wassertemperatur zur Versorgung der Kälteverbraucher war nicht gewährleistet. Unter ungünstigen Umständen hätte ein Zufrieren des Wärmetauschers stattgefunden.
- c) Die Pumpe im Primärkreis des Freikühlers lief auch ohne Kälteanforderung. Dadurch verursachte der Freikühler eine Erwärmung des Kühlkreises bei Außenlufttemperaturen  $> 15^{\circ}\text{C}$ .
- d) Die Ventilatoren des Tischkühlers gingen bei Kälteanforderung nicht in Betrieb, da der Temperaturenfühler für die Rücklauftemperatur aus dem Tischkühler verkehrt an dem Anschlussterminal der Freikühlerregelung angeschlossen war.
- e) Der Wärmetauscher des Freikühlerkreises war nicht gegen die Umgebungstemperatur isoliert. Dadurch erfolgt eine Erwärmung des sekundären Kühlkreises im Sommer. Der Effekt wird noch durch die Platzierung des Wärmetauschers auf dem Dach des Gebäudes in einem Container vergrößert.
- f) Die Nutzung der Flusswasserkühlung war wegen Regelungsproblemen nicht gewährleistet. Dies wurde durch ein zu schmales Temperaturband für die Nutzung des Rurwasserkälte verursacht. Die Rurwasserkälte wurde abgeschaltet, sobald das Rurwasser wärmer als  $15^{\circ}\text{C}$  war. Eine Nutzung der Kältequelle Rurwasser wäre aber bis zu einer Wassertemperatur von ca.  $17^{\circ}\text{C}$  möglich gewesen. Die maximal mögliche Ab-

schalttemperatur der Kältequelle Rurwasser hängt eng mit der Rücklauf-temperatur aus den Kälteverbraucherkreisen zusammen.

- g) Durch die Fehlauslegung des Primärkreisventils der Rurwasserkälte konnte dieses über einen längeren Zeitraum nicht mehr automatisch schließen. Der Rurwasserkühlkreis ist als einseitig offener Kreis realisiert. Dadurch herrscht vor und nach dem Ventil ein stark unterschiedlicher Wasserdruck. Das für geschlossene Kreise geeignete Ventil konnte durch den zu hohen Druckunterschied nicht mehr schließen. Der Fehler trat in einem Zeitraum des Jahres auf, in dem die Temperatur des Rurwassers niedrig genug war, um Kühlenergie zu liefern. In einem Zeitraum mit höherer Rurwassertemperatur hätte der Fehler zusätzlich den Kühlenergiebedarf aus der zentralen Kälteversorgung des FZJ erheblich erhöht.

4. Störungsfreier Betrieb der „Stillen Kühlung“ war wegen Regelungsproblemen nicht möglich

Zur Verhinderung von Kondensat wurde die „Stille Kühlung“ mit Taupunktwächtern ausgestattet. Die für die Regelung der „Stillen Kühlung“ verantwortliche Fachfirma konnte das Problem der nur zeitweise funktionierenden Kühlung auch nach mehrmaligem Vor-Ort Termin nicht beheben. Eine später mit dem Problem beauftragte Firma stellte folgendes fest: Die Taupunktwächter waren vom Wirksinn so angeschlossen, dass die Kühlung nur in Betrieb ging, wenn eine Betauung erfolgte.

5. Parametrierung der GLT und TGA-Regelung durch ausführende Fachfirmen nachlässig und fehlerhaft

Dem Betreiber der regelungstechnischen Anlagen im Gebäude wurde ein Eingriff in die TGA-Regelung zur Fehlerbehebung, Anpassung von Regelstrategien und Analyse des Regelverhaltens erschwert und teilweise unmöglich gemacht. Von der ausführenden Fachfirma wurden keine Unterlagen mit Ablaufplänen übergeben. Die zur Verfügung gestellten Unterlagen waren teilweise fehlerhaft. Dadurch wurde eine Zuordnung von für die Regelung verwendeten Sensoren und Aktoren zu programmierten Datenpunkten und somit die Fehlerbehebung erschwert.

## 6. Ungünstige Platzierung des Außenlufttemperatursensors

Alle Komponenten der TGA, die die Außenlufttemperatur als Eingangsgröße für die Regelung benutzen, waren zeitweise im Betrieb beeinflusst. Dazu gehört z. B. die Wärmerückgewinnung, die außenluftgeführte Heizung und Kühlung (Sommerkompensation). Der Sensor zur Außenlufttemperaturmessung wurde auf dem Dach des Gebäudes montiert. Je nach Sonnenstand ist die angebrachte Verschattung am Sensor unwirksam. Zusätzlich wird der Sensor auch durch von der schwarzen Dachhaut aufsteigende heiße Luft beeinflusst.

## **Behebung der aufgedeckten Mängel und Optimierungen im Gebäudebetrieb**

Folgende Maßnahmen wurden zur Fehlerbehebung der im vorherigen Kapitel aufgezeigten Probleme durchgeführt:

### 1. Zu hoher Zuluftvolumenstrom zur abgesenkten Betriebszeit des Gebäudes

- a) Durch einen Vergleich der Betriebszustände der Räume in der GLT vor Ort und der in den Räumen vorliegenden Luftvolumenströme über den LON-Anschluss der Lüftungskomponenten wurden die im Wirksinn vertauschten Komponenten identifiziert und die Regelung entsprechend korrigiert.
- b) Die acht ausgefallenen Volumenstromcontroller wurden ersetzt.
- c) Zukünftig werden die Volumenströme aller Lüftungstechnischen Komponenten per LON an die GLT-Zentrale weitergeleitet und dort angezeigt. Dadurch ist eine zeitnahe Fehleranalyse gewährleistet.

### 2. Einregelung der technischen Anlagen durch ausführende Fachfirmen unzureichend

Eine Korrelation zwischen der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Raum und dem Luftqualitätsmesssignal wurde während einer Veranstaltung mit hoher Personenzahl im Raum bestimmt. Auf Basis der Korrelation zwischen der CO<sub>2</sub>-Konzentration und dem Luftqualitätsmesssignal wurden neue Parameter für die Regelung der Zuluft bestimmt und programmiert. Die Funktion der Zuluftregelung über die Luftqualität wurde durch eine Messung während einer Veranstaltung im Raum kontrolliert.

3. Potenziale der natürlichen Kältequellen wurden nicht ausgeschöpft

- a) Die Bypassventile am Ende der Kälteversorgungsstränge wurden eingedrosselt. Anschließend wurden die Rücklauftemperaturen aus den einzelnen Verbrauchersträngen kontrolliert. Diese stiegen von im Mittel 16 °C auf 18 °C. Durch die Anhebung der Rücklauftemperatur aus den Verbraucherkreisen ist es möglich mehr Leistung aus dem Freikühler und der Rurwasserkühlung zu beziehen. Zusätzlich wurde der mögliche Nutzungszeitraum im Jahr vergrößert.
- b) Die Positionen der Temperaturfühler im Primär- und Sekundärkreis wurden überprüft und korrigiert. Die Regelung der Freikühlernutzung wurde komplett geändert.
- c) Die Pumpe im Primärkreis des Freikühlers wird 20 Minuten nach Ende einer Kälteanforderung automatisch abgeschaltet.
- d) Die Ventilatoren des Tischkühlers (3 Lüfterpaare) werden in Abhängigkeit der Bypassventilstellung im Primärkreis des Freikühlers geschaltet.
- e) Die Isolation des Freikühler-Wärmetauschers wurde beauftragt.
- f) Die Regelung der Rurwasserkühlung wurde überarbeitet: Die Rurwasserkühlung ist freigegeben, wenn die Rurwasservorlauftemperatur < 15 °C beträgt und der Freikühler nicht freigegeben ist oder länger als 3 Minuten über 90 % ausgelastet ist.
- g) Das vorhandene Ventil wurde durch ein Ventil für die vor Ort herrschenden Betriebsparameter ersetzt.

4. Störungsfreier Betrieb der „Stillen Kühlung“ war wegen Regelungsproblemen nicht möglich

Die Taupunktwärter wurden vom Wirksinn her korrekt angeschlossen und die zuständige Regelung überprüft.

5. Parametrierung der GLT und TGA-Regelung durch ausführende Fachfirmen nachlässig und fehlerhaft

Von der Betriebsdirektion des FZJ wurde eine Kontrolle aller Datenpunkte der regelungstechnischen Anlagen beauftragt. Alle Betriebsmittelkennzeichnungen der TGA-Komponenten werden aktualisiert.

6. Ungünstige Platzierung des Außenlufttemperatursensors

Alle Komponenten der TGA, die die Außenlufttemperatur als Eingangsgröße für die Regelung benutzen, nutzen nun die im Ansaugschacht der Lüftung gemessene Temperatur, da der dortige Temperaturfühler ständig verschattet ist.

Zusätzlich wurde in Laborräumen, die nur als physikalische Messräume genutzt werden, die Luftwechselrate reduziert. In diesen Räumen ist es nicht mehr erlaubt chemische Versuche durchzuführen. Die Änderung der Luftwechselrate wurde mit dem Sicherheitsbeauftragten des Gebäudes abgestimmt und entsprechende Hinweise zur Nutzung der betroffenen Räume wurden in den Räumen ausgehängt.

### **Offene Fragen, ungelöste Probleme**

Die im vorigen Kapitel genannten Funktionsmängel stellen aller Wahrscheinlichkeit nach nur einen Teil der tatsächlich vorhandenen und bislang noch nicht festgestellten Mängel in der komplexen Technik eines hoch installierten Gebäudes dar. Es war in dem vorliegenden Fall dem die Sanierung begleitenden Messprogramm zu verdanken, dass Mängel, die durch eine vorhandene Gebäudeleittechnik nicht erfasst wurden, aufgedeckt werden konnten. Da es aus finanzieller Sicht nicht möglich ist, in jedem sanierten oder neu errichteten Gebäude eine große Anzahl von Sensoren dauerhaft zur Vermessung der Energieströme und der Funktion einzelner TGA-Komponenten zu platzieren, stellt die Entwicklung einer mobilen Lösung zur schnellen und Kosten sparenden Vermessung und Anlagenanalyse von Laborgebäuden eine interessante Alternative dar. Diese mobile Lösung soll auch eine spätere Kontrolle des Gebäudebetriebes nach mehreren Jahren einfach ermöglichen.

Im Rahmen der Inbetriebnahme eines Gebäudes wird die Funktion von Anlagenkomponenten und deren Zusammenspiel anhand der Planungsunterlagen überprüft. Im laufenden Betrieb wird ein von der Planung abweichender Betrieb nicht auffallen, solange keine Komponenten der Anlagentechnik einen Defekt melden.

Um einen energieeffizienten und CO<sub>2</sub> einsparenden Betrieb eines Gebäudes gewährleisten zu können, erscheint die bisherige Verfahrensweise, den Betriebszustand von Anlagenteilen mittels der Gebäudeleittechnik (GLT) nur zu überwachen, nicht ausreichend zu sein. Eine GLT, die nur Betriebszustände und Störungen meldet, wenn Anlagenkomponenten in oder außer Betrieb gehen oder ausfallen, liefert keine Informationen über den tatsächlich erforderlichen Betriebszustand von Komponenten in Hinsicht auf Energieeffizienz.

Es wird im Rahmen der Gebäudeleittechnik zusätzlich eine Methode erforderlich, die den Betriebszustand von Anlagenkomponenten in Abhängigkeit von den Eingangsgrößen der zugehörigen Regelung analysiert und bewertet. Es muss eine Störung ausgegeben werden, wenn z. B. zum energieeffizienten Betrieb eines Freikühlersystems ausreichende Außenlufttemperaturen vorliegen, dieses aber bei Kühlbedarf nicht frei geschaltet wird (Energiewarntmeldung). Dies wäre eine weitere Methode zur schnellen und Kosten sparenden Vermessung und Anlagenanalyse von Laborgebäuden.

## **3.4 Wirtschaftliche Bewertung der Sanierung**

### **3.4.1 Methodisches Vorgehen bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse**

#### **Zielsetzung**

Ziel der vorliegenden Untersuchung 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.

#### **Definition der Ausgaben und Einnahmen**

Üblicherweise ist der Gegenstand von Wirtschaftlichkeitsanalysen immer der Vergleich von erwarteten Einnahmen mit den erwarteten Ausgaben [3-15]. Kommerzielle Einnahmen sind durch die Laborsanierung nicht zu erwarten, da nichts verkauft wird. Aus diesem Grund werden hier die jährlichen Geldeinsparungen durch den verringerten Energieverbrauch als Einnahmen definiert.



Diesen Einnahmen stehen als Ausgaben die Jahreskosten gegenüber, die sich üblicherweise aus den mit einer Verzinsung auf die Abschreibungsdauer umgelegten Investitionen (Kapitalkosten) und den jährlichen Betriebskosten ergeben. Die jährlichen Betriebskosten haben in der Regel einen fixen und einen variablen Teil. Variable Betriebskosten sind die Energiekosten, die mit dem Verbrauch variieren. Fixe Betriebskosten sind unabhängig vom Energieverbrauch. Dazu gehören z. B. Personalkosten für Hausmeister oder Reinigungskräfte, Versicherungskosten und Wartungskosten.

### **Nur energierelevante Investitionen werden berücksichtigt**

In der hier durchgeführten Wirtschaftlichkeitsrechnung werden nur energierelevante Investitionen berücksichtigt. Dazu gehören die Ausgaben für Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle und für alle Anlagen zur Versorgung der Räume mit Licht, Frischluft, Wärme und Kälte. Nicht berücksichtigt werden Kosten für Umbauten aufgrund von Nutzungsänderungen, Reparaturen an der Bausubstanz, Asbestentfernung, Laboreinrichtungen sowie für sonstige Anlagen und für die Einrichtungen wissenschaftlicher Experimente.

### **Innovative Komponenten werden nicht berücksichtigt**

Die innovativen Komponenten der Raumluftechnischen Anlagen (RLT) sind in Tabelle 3–19 zusammengestellt. Sie wurden aus F+E Gründen zusätzlich installiert und werden nicht in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einbezogen. Im Rahmen dieses Vorhabens sollen lediglich ihre Einsatzmöglichkeiten demonstriert werden.

Bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit wird vereinfachend unterstellt, dass die existierenden, konventionellen Systeme die Leistung der beispielhaft eingesetzten innovativen Systeme mit übernehmen können und dass es dadurch zu keiner nennenswerten Veränderung der Energieeinsparung kommt, da die innovativen Systeme nur punktuell und in begrenztem Umfang installiert wurden.

### **Eine finanzielle Förderung wird nicht berücksichtigt**

Die Rechnungen sind ohne die Berücksichtigung der finanziellen Forschungsförderung des Vorhabens durchgeführt worden.

### **Nur die Wirtschaftlichkeit der energetischen Gesamtsanierung wird untersucht, ohne Berechnung der Einzelkomponenten**

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung wird für die energetische Gesamtsanierung durchgeführt, d.h. für Gebäudehülle und Anlagentechnik zusammen. Wegen der Pauschalabrechnung der RLT Anlage fehlt eine detaillierte Aufstellung der Komponentenkosten. Darüber hinaus sind die Energieeinsparungen der einzelnen Komponenten der RLT und der Gebäudehülle entweder gar nicht bekannt oder nicht ausreichend genau bekannt, da sie nicht einzeln thermisch vermessen werden. Deshalb ist es nicht möglich, die Wirtschaftlichkeit einzelner Maßnahmen oder Komponenten zu berechnen.

## **3.4.2 Methodik der Analyse**

### **Vorbemerkung zur Annuitätenmethode**

In der hier durchgeführten Untersuchung der Wirtschaftlichkeit werden die Aufwendungen für die Investition in energiesparende Maßnahmen und für eventuelle Betriebsmehrkosten zu den vermiedenen Energiekosten in Relation gesetzt. Wegen des längeren Betrachtungszeitraumes wird ein dynamisches Verfahren verwendet, bei dem die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Kosten auf einen gemeinsamen Vergleichszeitpunkt ab- bzw. aufgezinst werden. Dazu wird die Annuitätenmethode genutzt.

Sie liefert eine Aussage über das zu erwartende durchschnittliche Wirtschaftlichkeitsergebnis pro Jahr. Wesentliches Merkmal der Methode ist die Umwandlung einer zum Zeitpunkt Null<sup>1</sup> gezahlten Investition in gleiche Jahresbeträge (Kapitalkosten). Dies erfolgt durch Multiplikation der Investition mit dem von der Abschreibungsdauer und dem Zinssatz abhängenden Annuitätenfaktor, auch nur Annuität genannt.

Die aufgrund der Energieeinsparungen vermiedenen Kosten, die als Erlöse aufgefasst werden können, müssen bei diesem Vorgehen ebenfalls auf annuitätische Werte umgerechnet werden, wobei zukünftige Energiepreissteigerungen mit zu berücksichtigen sind.

Es gilt für jedes Jahr:

$$\text{Gewinn} = \text{vermiedene Energiekosten} - \text{Kapitalkosten} - \text{Betriebsmehrkosten}$$

Die Wirtschaftlichkeit ist gegeben, wenn der jährliche Gewinn > Null ist.

### Berechnungsweg

Unterstellt man, dass das unsanierte Labor abgeschrieben war, dann sind bei seinem Betrieb vor der Sanierung nur variable Betriebskosten (Energiekosten) sowie fixe Betriebskosten angefallen und keine Kapitalkosten. Damit lauten die jährlichen Kosten  $K_o$  für den Zustand vor der Sanierung (Index o):

$$K_o = \sum_{i=1}^3 p_i * E_{o,i} + B_o \quad (1)$$

$K_o$  jährliche Kosten des Laborgebäudes vor der Sanierung (EUR)

$p_i$  mittlerer Preis des Energieträgers i (EUR/MWh)

$i = 1$  Strom

$i = 2$  Fernwärme

$i = 3$  Kälte

$E_{o,i}$  jährlich verbrauchte Menge des Energieträgers i vor der Sanierung ( MWh)

$B_o$  fixe Betriebskosten pro Jahr vor der Sanierung (EUR)

---

<sup>1</sup> Zeitpunkt der Inbetriebnahme des sanierten Labors

Für den Zeitpunkt nach der Sanierung (Index  $m$ ) müssen die jährlichen Ausgaben um Kapitalkosten  $A$  erweitert werden. Es gilt dann:

$$K_m = A + \sum_{i=1}^3 p_i * E_{m,i} + B_m \quad (2)$$

$K_m$  jährliche Kosten des Laborgebäudes nach der Sanierung (EUR)

$E_{m,i}$  verbrauchte Menge des Energieträgers  $i$  pro Jahr nach der Sanierung (EUR)

$B_m$  fixe, jährliche Betriebskosten nach der Sanierung (EUR)

$A$  Kapitalkosten, annuitätisch aus den energierelevanten Investitionen und der Lebensdauer nach den Formeln (3) und (4) berechnet. (EUR)

$$A = a * I \quad (3)$$

$I$  Investition für energiesparende Maßnahmen (EUR)

$a$  Annuität

Für die Annuität gilt folgende Beziehung in Abhängigkeit von Zinssatz und Abschreibungsdauer:

$$a = \frac{z * (1+z)^n}{(1+z)^n - 1} \quad (4)$$

$z$  Zinssatz (%/a)

$n$  Abschreibungsdauer (a)

Der zukünftige Energiepreis wird vereinfacht als Mittelwert aus den Preisen zu Beginn und am Ende der Abschreibungsdauer gebildet:

$$p_i = 0,5 * p_i * (1_i + (1 + j)^n) \quad (5)$$

$j$  Inflationsrate für den Energiepreis (%/a)

Der durch die Sanierung erzielte jährliche Gewinn oder Verlust  $G$  ergibt sich aus der Differenz der jährlichen Ausgaben vor und nach der Sanierung (Gleichung 1 minus Gleichung 2).

$$G = \sum_{i=1}^3 p_i * (E_{o,i} - E_{m,i}) + B_o - B_m - A \quad (6)$$

Mit den Differenzen ergibt sich:

$$E_i = E_{o,i} - E_{m,i} \quad (7)$$

und

$$B = B_o - B_m \quad (8)$$

E<sub>i</sub>      Energieeinsparung des Energieträgers i

B        Betriebsmehrkosten für das sanierte Labor

Aus den Gleichungen (6), (7) und (8) ergibt sich für die Ermittlung des Gewinns die endgültige Beziehung:

$$G = \sum_{i=1}^3 p_i * E_i - B - A \quad (9)$$

Der Gewinn (oder Verlust) der Sanierung ergibt sich aus Energiepreis multipliziert mit Energieeinsparung, jeweils für die drei Energieträger, minus Kapitalkosten und minus Betriebsmehrkosten. Die Wirtschaftlichkeitsgrenze liegt bei  $G = 0$ . Für  $G > 0$  entsteht ein Gewinn und für den Fall  $G < 0$  ergibt sich ein Verlust durch die Sanierung.

### 3.4.3 Zusammenstellung der Daten für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen

#### Konzept zur Festlegung der energiebedingten Zusatzkosten

*Anmerkungen zur eingeschränkten Datenlage bei den Kosten*

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 in [3-9] und [3-5] auf die Einzelkosten der Komponenten herunter gebrochen. Leider ist das wegen der zum Teil pauschalisierten Abrechnungen nur eingeschränkt möglich. Bei Komponenten, deren Einzelkosten nicht verfügbar waren, wurden Kostenangaben der Vorkalkulation verwendet. Bei diesem Verfahren werden also nur die Planungskosten 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 (sowieso) 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

Bild 3–77 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.

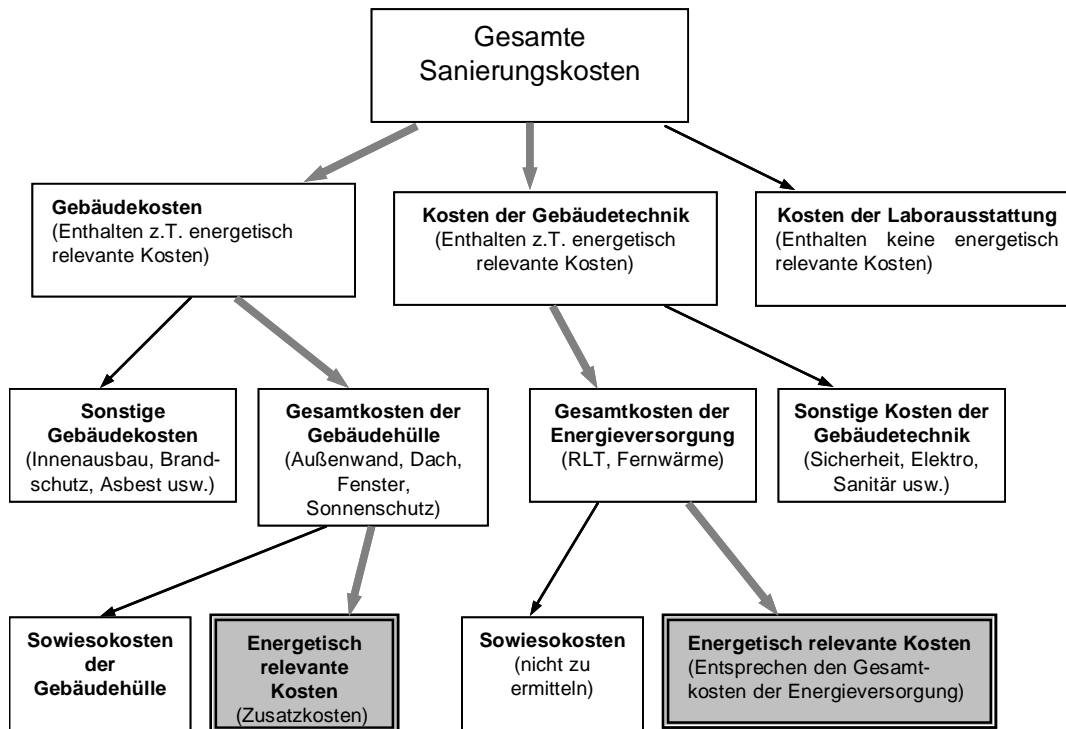


Bild 3–77: Schema der Kostendefinition und Kostenzuweisung

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.

## **Schätzung der energetisch relevanten Kosten der Einzelmaßnahmen**

Die für die Berechnungen relevanten Kosten sowie Unterteilungen werden nachfolgend im Einzelnen diskutiert.

### *Entfernung der Kragarme*

Die Entfernung der Kragarme diene der Beseitigung von Wärmebrücken und ist als Maßnahme zur Reduzierung des Energiebedarfs zu sehen. Mit Ausnahme der Gerüstkosten werden alle damit in Zusammenhang stehenden Kosten als energierelevant eingeordnet. Da das Gerüst für die ohnehin anstehende Fassadenreparatur eingesetzt worden wäre, gelten die entsprechenden Kosten als Sowiesokosten.

### *Dach und Fassade*

Nach dem vorgenannten Kostenkonzept werden bei Dach- und Fassadensanierungen nur die Aufwendungen für die Wärmedämmung als energiebedingte Mehrkosten eingestuft, d.h. die Materialkosten und die Arbeitskosten für das Anbringen.

### *Fenstererneuerung*

Schwieriger wird die Anwendung des Kostenkonzeptes bei der Erneuerung der Fenster, die vor der Sanierung eine Isolierverglasung besaßen. Die Mehrkosten einer Wärmeschutzverglasung lassen sich nicht bestimmen, da die älteren Fensterbauweisen nicht mehr angeboten werden. Außerdem ist zu beachten, dass eine Fenstererneuerung gleichzeitig bauliche und energetische Zwecke erfüllt, die nicht eindeutig zu trennen sind.

Nach [3-9] sind die in das Laborgebäude eingesetzten Fenster, die in ihrer wärmetechnischen Qualität besser sind als es die EnEV verlangt, rund 30 % teurer als Standardfenster. Es macht aber keinen Sinn nur die Mehrkosten in Ansatz zu bringen, die durch Überschreitung der Verordnung entstanden sind. Denn dann müsste bei den anderen Komponenten aus Konsistenzgründen ebenfalls so verfahren werden. Eine solche Betrachtung geht jedoch an der Fragestellung in dieser Kostenanalyse vorbei. Deshalb werden in den folgenden Rechnungen die gesamten Erneuerungskosten für die Fenster als energierelevante Zusatzkosten ausgewiesen.

### *Sonnenschutz, Lichtlenkung*



Eine Lichtlenkung war vor der Sanierung nicht vorhanden. Sie trägt mit zur Energieeinsparung bei, weil das elektrische Licht nach dem Hinunterfahren der Jalousien und dem Kippen der lichtleitenden Lamellen seltener eingeschaltet wird als bei Fehlen dieser Komponente. Deshalb werden die Kosten als energierelevant eingestuft.

#### *Erneuerung der RLT Anlagen*

Wird bei der Sanierung eine Anlage eingebaut, die eine Energieeinsparung erzielt, die es vorher nicht gegeben hat, dann sind deren gesamte Kosten als energierelevante Zusatzkosten anzusehen. Ein Beispiel ist die Wärmerückgewinnungsanlage, bei der die Zuordnung eindeutig ist.

Schwieriger wird es beim Ersatz der RLT-Anlagen. Wenn solche Anlagen veraltet und defekt sind und z. B. aufgrund gesetzlicher Vorgaben oder aus Sicherheitsgründen erneuert werden müssen, dann können die dabei entstehenden Kosten im Sinne der obigen Definition z.T. auch als Sowiesokosten aufgefasst werden und teils als Mehrkosten.

Da aber eine methodisch saubere Trennung in Sowieso- und Mehrkosten in diesem Fall kaum möglich ist, werden alle Kosten für die Erneuerung der RLT als energiebedingte Zusatzkosten behandelt. Der pauschal abgerechnete Betrag beträgt 1.592.037 EUR. In dieser Summe sind auch die Kosten für die innovativen Techniken enthalten.

#### *Fernwärmeanschluss*

Die gesamten Kosten für den Fernwärmeanschluss von 190.085 EUR werden als energiebedingt eingestuft.

Entsprechend Tabelle 3–18 addieren sich die energetisch relevanten Zusatzkosten zu 2.323.075 EUR. Davon entfällt der größte Anteil von 1.592.037 EUR oder 68 % auf die RLT. In diesen Kosten sind konventionelle und innovative Anlagenkomponenten enthalten, die nachfolgend aufgeschlüsselt sind.

Aufteilung in Sowieso- und Zusatzkosten				
	Gesamte Sanierungskosten	Sowiesokosten	energierelevante Zusatzkosten	Anmerkungen
	EUR	EUR	EUR	
Kragarme				
Demontage Betonrippen	62.540		62.540	
Korrosionsschutz Schnittflächen	12.424		12.424	
Demontage Geländer	5.336		5.336	
Demontage, Entsorgung Betonplatten	22.966		22.966	
Fugenabdichtung	7.397		7.397	
Gerüstkosten	24.377	24.377		Gerüst wird sowieso benötigt
Planung, Ausführung zu Brandschutz	74.992		74.992	
Zwischensumme Kragarme	210.032	24.377	185.655	Alles außer Gerüst relevant
Außenwandbekleidung				
Demontage der alten Vorhangfassade	25.100	25.100		
Wärmedämmung	36.741		36.741	Wärmedämmung relevant
Aluminium-Verkleidung	45.938	45.938		
Armierung und Putz	74.264	74.264		
Zwischensumme Außenwand	182.043	145.302	36.741	
Dachsanierung				
Demontagarbeiten	3.323	3.323		
Dach mit RWA, Lichtkuppel etc	87.362	87.362		
Wärmedämmung PS 30 SE	22.155		22.155	Wärmedämmung relevant
Zwischensumme Dach	112.840	90.685	22.155	
Fenstersanierung				
Erneuerungskosten	216.418		216.418	Anteil der Sowiesokosten unklar
Zwischensumme Fenster	216.418		216.418	als energierelevant eingestuft
Sonnenschutz, Lichtlenkung				
Beleuchtung, Lichtlenkung	69.066		69.066	
Montagearbeiten für Lichtlenkung	10.918		10.918	Anteil der Sowiesokosten unklar
Zwischensumme Beleuchtung	79.984		79.984	alle Kosten energetisch
Raumlufttechnische Anlage (RLT)				
Pauschalpreis	1.592.037		1.592.037	Anteil der Sowiesokosten unklar
Zwischensumme RLT	1.592.037		1.592.037	alle Kosten energetisch
Fernwärmeversorgung				
Fernwärmeübergabestation PN 26	190.085		190.085	Anteil der Sowiesokosten unklar
Zwischensumme Fernwärmeanschluss	190.085		190.085	als energierelevant eingestuft
Gesamtsumme	2.583.439	260.364	2.323.075	

Tabelle 3–18: Übersicht der energetisch bedingten Sanierungskosten (ohne finanzielle Förderung)

## Aufteilung der RLT-Kosten auf konventionelle und innovative Einzelkomponenten

### *Ermittlung der Komponentenkosten*

Die tatsächlichen Kosten der Einzelkomponenten der RLT lassen sich aus der pauschalen Endabrechnung nicht ermitteln. Um zumindest Anhaltswerte zu bekommen, werden die Planungsunterlagen mit heran gezogen [3-9]. Daraus werden die in Spalte zwei in Tabelle 3–19 ausgewiesenen Kostenanteile nach Planung ermittelt. Der Pauschalpreis von 1.592.037 EUR wird dann nach diesem Schlüssel umgelegt (Spalte drei in Tabelle 3–19).

### *Kosten der konventionellen und der innovativen Anlagenteile*

In den beiden letzten Spalten der Tabelle 3–19 werden die Kosten der RLT schließlich noch nach innovativen und konservativen Komponenten unterteilt. Danach beträgt der Anteil der herkömmlichen Anlagenteile 1.068.123 EUR oder 67 %. Auf die innovativen Anlagenteile entfallen 523.914 EUR, die einem relativen Anteil von 33 % entsprechen.

Die innovativen Anteile sind forschungsbedingt in das Vorhaben aufgenommen worden. Es handelt sich um zusätzliche Techniken, die im praktischen Betrieb erprobt werden sollen. Eine Standardsanierung könnte auf diese Anlagenteile verzichten.

	Kostenanteil nach Planung	Umlage des Pauschalpreises	Anteil innovative Anlagenteile	Anteil konventionelle Anlagenteile
RLT-Anlagen	%	EUR	EUR	EUR
Flächenkühlsysteme Clina	11	176.240	176.240	
Luftqualitätssensor	6	93.461	93.461	
Stille Kühlung in ausgew. Räumen, Gravivent	4	68.360	68.360	
Innovative Lüftung Besprechungsräume	4	64.087	64.087	
DDC-Regelung	20	320.437		320.437
Innovative Kältetechnik	8	121.766	121.766	
Lüftung	40	633.397		633.397
Wärmerückgewinnung	7	114.289		114.289
Summe	100	1.592.037	523.914	1.068.123

*Tabelle 3–19: Übersicht der energetisch bedingten Sanierungskosten der RLT-Anlagen*

### *Gesamtkosten der energetischen Sanierung*

Nach Tabelle 3–19 betragen die Kosten für eine konventionelle RLT Anlage 1.068.123 EUR. Für die energierelevanten Investitionskosten der Gesamtsanierung ergibt sich ohne die innovativen Techniken ein Betrag von 1.799.161 EUR. [Berechnung: 2.323.075 EUR (Tabelle 3–18) minus 1.592.037 EUR (Tabelle 3–19) plus 1.068.123 EUR (Tabelle 3–19)].

## **Festlegung von Abschreibungsdauer und Zinssatz**

### *Bedeutung der Abschreibungsdauer*

Die Festlegung der Abschreibungsdauer und des Zinssatzes hat einen spürbaren Einfluss auf das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsrechnung. Je länger die Abschreibungsdauer und je niedriger die Verzinsung sind, umso geringer sind die investitionsbedingten Jahreskosten. Bei einer kurzen Abschreibungsdauer und einer hohen Verzinsung steigen die Jahreskosten an. Das ist zu berücksichtigen, da für die Festlegung dieser beiden Parameter ein gewisser Spielraum besteht.

Unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten macht es grundsätzlich Sinn, die Abschreibungsdauer entsprechend der erwarteten technisch-wirtschaftlichen Nutzungsdauer festzulegen. Die wirtschaftliche Nutzungs- bzw. Lebensdauer ist dann erreicht, wenn die Kosten für Wartung und Reparaturen der gealterten Anlage ein wirtschaftlich zulässiges Maß überschreiten. Bei kommerziellen Anlagen ist dieser Punkt spätestens dann erreicht, wenn die Kosten für Wartung und Reparatur so groß werden, dass sie die Einnahmen zu einem erheblichen Teil kompensieren.

### **Festlegung eines Rechenwertes für die Abschreibungsdauer**

Tabelle 3–20 gibt eine Übersicht über gängige Abschreibungszeiten in der Praxis. In Anlehnung an diese Zahlen wird für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Laborgebäudesanierung ein mittlerer Referenzwert von 20 Jahren für die Abschreibungsdauer zugrunde gelegt. Zusätzlich werden Sensitivitätsrechnungen mit 15 und 25 Jahren durchgeführt.

	Jahre
Umbauten und Sanierungen von Gebäuden	3 – 30
Technische Anlagen und Maschinen	15
Anlagen der Energiewirtschaft	15 – 25

*Tabelle 3–20: Orientierungswerte für übliche Abschreibungszeiten von Gebäuden und Anlagen*

### *Ermittlung des Zinssatzes*

Die Wahl des Zinssatzes sollte sich entweder an der banküblichen Verzinsung eines in der Investitionshöhe äquivalenten Kredits orientieren oder an festgelegten internen Verzinsungsforderungen oder z. B. an der langfristigen Verzinsung von US-Bonds [3-14]. Letztere liegen derzeit (2005) auf einem Niveau von etwa 5 %.

Nach [3-12] sind in 2005 Baugeldkredite bei einer Dauer von 20 Jahren zu Zinssätzen von bis zu 4,5 % zu bekommen. Die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) weist 2005 für langfristige Kredite (20 und 30 Jahre) für infrastrukturelle und kommunale Investitionen Zinssätze von 2 % bis 4 % aus [3-10]. In den Wirtschaftlichkeitsrechnungen wird deshalb ein Sensitivitätsbereich von 2% bis 6 % untersucht.

### **Betriebsmehrkosten**

#### *Annahme für den Referenzfall: Gleiche Betriebskosten vor und nach der Sanierung*

Man kann davon ausgehen, dass im vorliegenden Fall die fixen Betriebskosten  $B_m$  für das sanierte Laborgebäude wegen der komplizierteren Technik relativ hoch sind. Dem stehen aber die relativ hohen fixen Betriebskosten des unsanierten Laborgebäudes  $B_o$  gegenüber, die durch den schlechten Zustand des Gebäudes und der Anlagen verursacht wurden.

Die fixen Betriebskosten vor und nach der Sanierung sind wegen fehlender Daten im vorliegenden Projekt nur rudimentär zu ermitteln. Für den Referenzfall der hier durchgeführten Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde deshalb die vereinfachende Annahme getroffen, dass die Betriebskosten  $B_m$  und  $B_o$  gleich sind, d.h. die Betriebsmehrkosten  $B$  sind Null.

### *Variable Betriebsmehrkosten für die Sensitivitätsanalyse*

In der Regel wird man jedoch nicht von obiger Annahme ausgehen können. Deshalb werden in der vorliegenden Untersuchung Sensitivitäten für verschiedene Betriebsmehrkosten gerechnet, um deren Einfluss auf das Wirtschaftlichkeitsergebnis zu zeigen.

Die jährlichen Betriebsmehrkosten werden hier als Prozentsatz der Investition angegeben. Die Rechnungen werden für den Bereich von  $-1\%$  bis  $+1\%$  durchgeführt. Dieser Prozentsatz entspricht jährlichen Betriebsmehrkosten von  $\pm 17.991$  EUR.

### **Energieeinsparungen durch die Sanierung**

#### *Anmerkungen zur Datenlage*

Tabelle 3–21 weist die mittleren jährlichen Energiebedarfswerte in Form von Wärme, Kälte und Strom für die verschiedenen Anwendungen vor und nach der Sanierung des Gebäudes aus. Die Werte sind nach [3-13] und [3-6] teils gemessen und teils hochgerechnet worden und müssen daher als Näherungswerte betrachtet werden. Der Energiebedarf nach der Sanierung kann sich nach der Betriebsoptimierung noch verringern. Insgesamt wird die Genauigkeit der vorliegenden Werte für diese Rechnungen aber als ausreichend angesehen. Die Bedarfswerte nach Tabelle 3–21 sind in Primärenergie umgerechnet. Es wurden folgende Faktoren verwendet [3-13]:

Wärme=  $f_{p,W}=1,1$ , Kälte:  $f_{p,K}=1,1$ , Strom:  $f_{p,S}=3,0$

Energieverbrauch vor Sanierung in MWh/a (Primärenergie)						
	Licht	Luft-	Luft- aufberei-	Raum-	Luftauf-	Raum-
Strom, Wärme, Kälte	216	1.119	1.428	385	421	0
Strom	1.335					
Wärme			1.813			
Kälte					421	
Primärenergie	3.569					
Energieverbrauch nach Sanierung in MWh/a (Primärenergie)						
	Licht	Luft-	Luft- aufberei-	Raum-	Luftauf-	Raum-
Strom, Wärme, Kälte	130	336	242	154	50	131
Strom	466					
Wärme			396			
Kälte					181	
Primärenergie	1.043					

Tabelle 3–21: Jährlicher Primärenergie-Bedarf vor und nach der Sanierung [3-6]

### Ermittlung der Energieeinsparung durch die Sanierung

Aus der Differenz der Energiebedarfswerte vor und nach der Sanierung ergeben sich die Einsparungen. Diese jährlichen Einsparungen sind in der untersten Zeile der nachfolgenden Tabelle 3–22 zusammengestellt. Die Stromeinsparung beträgt 869 MWh/a, was einer Einsparrate von 65 % entspricht. In Bezug auf Wärme reduziert sich der Bedarf um 1.417 MWh pro Jahr, entsprechend 78 %. Bei der Kälte beträgt die Einsparung 240 MWh pro Jahr oder 57 %. Der Primärenergiebedarf reduziert sich um insgesamt 2.526 MWh pro Jahr bzw. um 71 %.

Strom		Wärme		Kälte		Primärenergie	
MWh/a	%	MWh/a	%	MWh/a	%	MWh/a	%
869	65	1.417	78	240	57	2.526	71

Tabelle 3–22: Primärenergie-Einsparung (Differenz vor und nach der Sanierung)

Aus den Primärenergie-Einsparungen der Tabelle 3–22 werden mit Hilfe der obigen Primärenergiefaktoren die entsprechenden Endenergie-Einsparungen ermittelt (vgl. Tabelle 3–23). Sie werden in den Wirtschaftlichkeitsrechnungen verwendet.

Energieträger	Strom	Wärme	Kälte
MWh/a	290	1288	218

Tabelle 3–23: Endenergie-Einsparung

## **Energiekosten**

Da die Energiepreise von diversen Faktoren beeinflusst werden und stark schwanken können, werden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, bei denen die Preise um einen Mittelwert (Referenzwert) im Bereich von  $\pm 50\%$  variiert werden.

Die in den folgenden Abschnitten angegebenen Preise beziehen sich auf Endenergie und gelten für das Jahr 2005.

### *Bandbreite der Fernwärmepreise, Kältepreise und Strompreise*

Die Fernwärmepreise für private Haushalte liegen im Bereich von etwa 40 bis 70 EUR/MWh. Der Bundesdurchschnitt für private Haushalte wird von [3-4] mit rund 58 EUR/MWh angegeben. In [3-7] wird der Bundesdurchschnitt mit 48 EUR/MWh beziffert. Der Preis für Grossabnehmer liegt unter 30 EUR/MWh. Die Rechnungen werden deshalb für einen Bereich von 20 bis 60 EUR/MWh durchgeführt.

Für die Versorgung mit Kälte von Einzelgebäuden und Gebäudegruppen wurden aus verschiedenen Quellen Kältepreise in der Größenordnung von 40 bis 125 EUR/MWh ermittelt.

Für gewerbliche und industrielle Stromabnehmer lagen die Strompreise in 2005 je nach Anbieter und Abnahmemenge etwa zwischen 45 und 135 EUR/MWh.

### *Zusammenfassung der Preisdaten*

Die für die Rechnungen zugrunde gelegten Preisdaten sind in Tabelle 3–24 zusammengestellt. Die Mittelwerte der jeweiligen Bandbreiten dienen als Referenzwerte. Das Verhältnis der Preise zueinander wird bei den Sensitivitätsanalysen konstant gehalten:

$$\text{Wärmepreis} / \text{Kältepreis} / \text{Strompreis} = 1,00 / 2,10 / 2,25.$$

Eine solche Vereinfachung ist im Rahmen der hier durchgeführten Sensitivitätsanalysen als zulässig anzusehen, um die Anzahl der Rechenfälle nicht unübersichtlich stark anwachsen zu lassen.



		Minimum	Mittelwert	Maximum
Fernwärme	EUR/MWh	20	40	60
Kälte	EUR/MWh	40	85	125
Strom	EUR/MWh	45	90	135

Tabelle 3–24: Zusammenfassung der aktuellen Preisdaten für die Rechnungen

### Preissteigerungsraten

Alle Preise werden mit einer mittleren jährlichen Steigerungsrate über die Abschreibungsdauer fortgeschrieben. Für die Energiepreisentwicklung ergibt sich nach Bild 3–78 ein mittlerer Anstieg seit 1990 von rund 1 % pro Jahr.

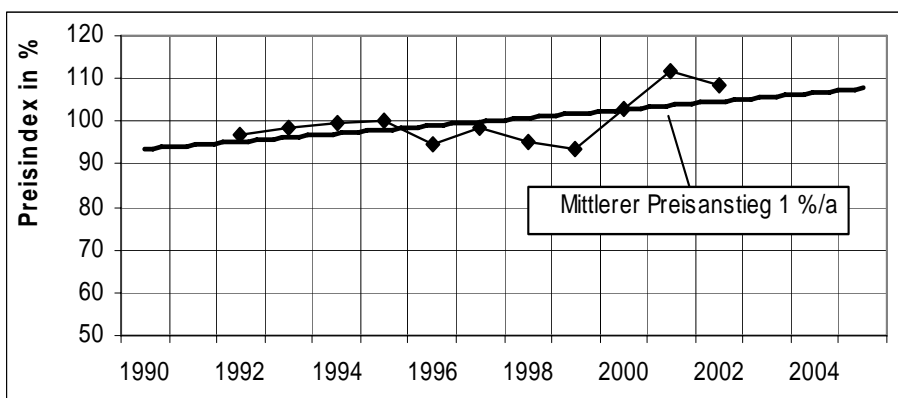


Bild 3–78: Preisindizes für Energiepreise [3-3]

Angesichts des starken Preisanstiegs ab dem Jahr 2005 und dem langfristig vorausgesagten Preisniveau wird in diesem Fall mit mittleren Steigerungsraten von 1 % bis 5 % pro Jahr gerechnet. Was das für den langfristigen, relativen Anstieg des Preises bedeutet zeigt Bild 3–79. Bei einem mittleren Anstieg von z. B. 3% pro Jahr verdoppelt sich der Preis in 23 Jahren und bei 5% pro Jahr schon in 14 Jahren.

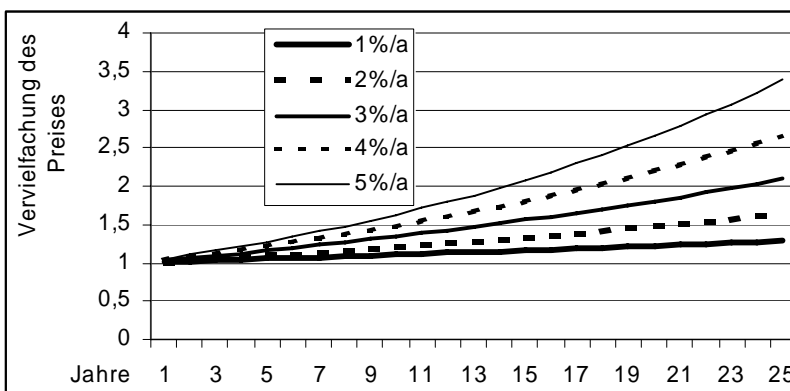


Bild 3–79: Relativer Anstieg des Preises mit der Anstiegsrate

### *Rechenvereinbarung: Gleiche Steigerungsraten für alle Preise*

Für alle drei Energieträger (Wärme, Kälte und Strom) und für alle aktuellen Preisniveaus werden die gleichen Preissteigerungsraten unterstellt. Dies trifft in der Realität sicher nicht immer zu, denn trotz der Anhängigkeiten der Energiepreise untereinander ist die Koppelung nicht strikt linear. Es macht aber im Rahmen dieser Untersuchung, in der nur Trends aufgezeigt werden sollen, keinen Sinn, für jeden der drei Energieträger separate Steigerungsraten anzunehmen.

### **Zusammenstellung der konstanten und variablen Rechenparameter**

Die zugrundeliegenden unveränderlichen Parameter der Rechnung sind in Tabelle 3–25 aufgelistet.

<b>Feste Parameter</b>		
Investition (energetisch relevant,	1.799.161	Mio. EUR
Stromeinsparung	290	MWh/a
Wärmeeinsparung	1288	MWh/a
Kälteeinsparung	218	MWh/a

*Tabelle 3–25: Unveränderliche Rechenparameter*

In den Sensitivitätsanalysen werden die in Tabelle 3–26 zusammengestellten Parameter variiert. Die Mittelwerte dienen als Referenzwerte.

Parameter	Dimension	Minimum	Mittel	Maximum
Abschreibungsdauer	a	15	20	25
Zinssatz	%/a	2,0	4	6,0
Betriebsmehrkosten	%	-1	0	1
Wärmepreis	EUR/MWh	20	40	60
Kältepreis	EUR/MWh	40	85	125
Strompreis	EUR/MWh	45	90	135
Preissteigerungsrate	%/a	1	3	5

*Tabelle 3–26: Zusammenfassung der variablen Parameter*

### 3.4.4 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsrechnungen

#### Der Einfluss von Abschreibungsdauer und Zinssatz auf die Wirtschaftlichkeit

Bild 3–80 zeigt, dass mit steigendem Zinssatz die Wirtschaftlichkeit abnimmt. Ursache dafür ist der Anstieg des jährlichen Kapitaldienstes. Dagegen nimmt mit steigender Abschreibungsdauer die Wirtschaftlichkeit zu, weil der Kapitaldienst sinkt. Der Sanierer sollte also grundsätzlich eine Finanzierung mit niedrigen Kreditzinsen und langen Abschreibungszeiten anstreben.

Für die Referenzdaten mit 20 Jahren Abschreibungsdauer und mit 4 % Verzinsung liegt das Wirtschaftlichkeitsergebnis nahe Null, d.h. hier ist die Wirtschaftlichkeitsgrenze erreicht (mittlere Linie in Bild 3–80). Bei Zinssätzen  $< 4\%$  führt der Graph in den positiven Bereich. Hier werden dann mit der Sanierung Gewinne erwirtschaftet, die umso höher sind, je geringer der Zinssatz ist. Allerdings sind die jährlichen Gewinne, bezogen auf die Investition, relativ niedrig. So werden z. B. bei einem Zinssatz von 2 % pro Jahr zwar 25.000 EUR pro Jahr an Gewinn erzielt, aber bezogen auf die Investition von rund 1,8 Mio. EUR entspricht das nur einem Anteil von 1,4 %.

Bei Zinssätzen über 4 % pro Jahr kehrt sich das Wirtschaftlichkeitsergebnis für eine Abschreibungsdauer von 20 Jahren um. Die Sanierung verursacht dann Verluste, die umso größer werden, je höher der Zinssatz wird. Bei 6 %/a belaufen sich die Verluste auf rund 22.000 EUR pro Jahr.

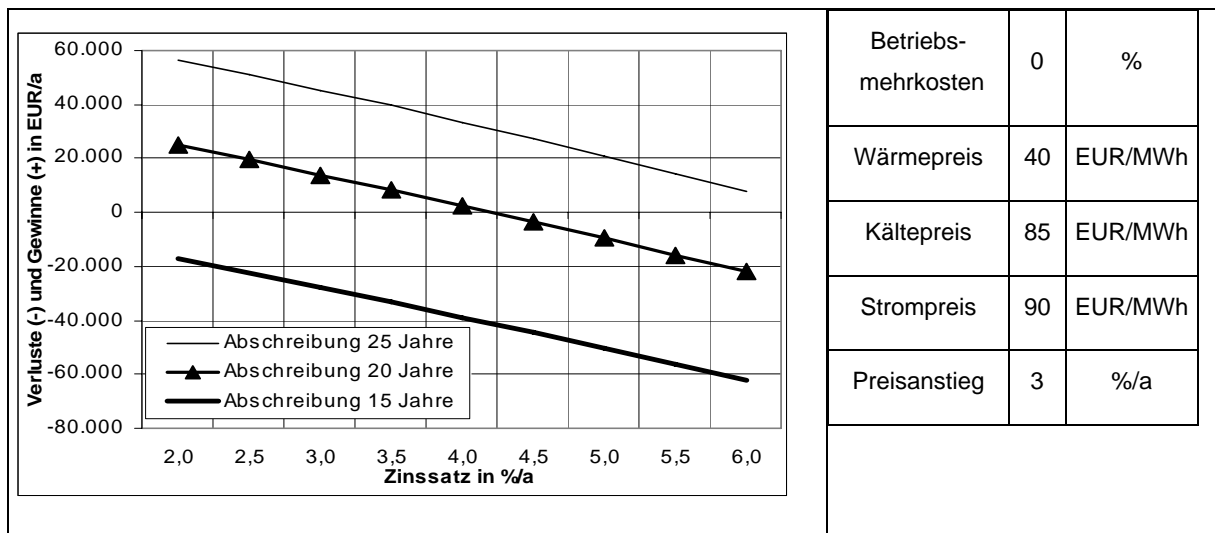


Bild 3–80: Der Einfluss von Zinssatz und Abschreibungsdauer auf die Wirtschaftlichkeit (ohne Förderung und ohne innovative Technologien)

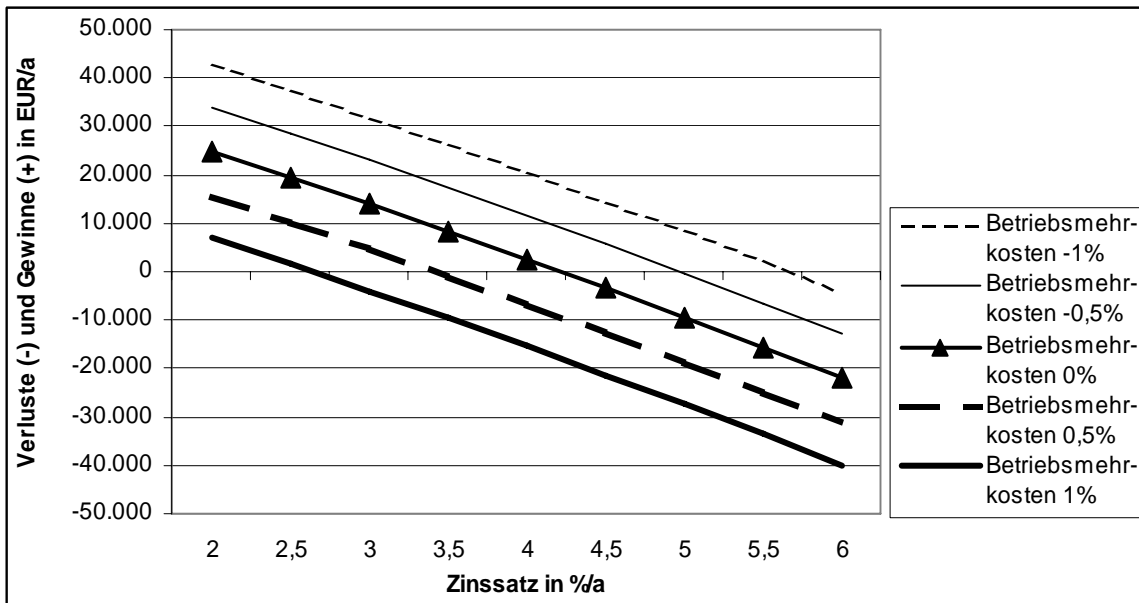
Gänzlich im Gewinnbereich befindet sich die Kurve für eine Abschreibungsdauer von 25 Jahren. Dagegen führt eine Abschreibungsdauer von nur 15 Jahren zu Verlusten über den gesamten Zinsbereich von 2% bis 6%.

Bei den hier durchgeführten Parametervariationen kann das Wirtschaftlichkeitsergebnis je nach Wahl der Abschreibungsdauer und der Verzinsung in einem Bereich von plus 60.000 EUR bis minus 60.000 EUR schwanken. Das zeigt den großen Einfluss der beiden finanzmathematischen Parameter Abschreibungsdauer und Zinssatz.

### Der Einfluss von Betriebsmehrkosten auf die Wirtschaftlichkeit

Nach vorheriger Definition sind die Betriebsmehrkosten die Differenz aus den fixen Betriebskosten des sanierten minus der fixen Betriebskosten des unsanierten Laborgebäudes. Sind die Betriebsmehrkosten positiv, dann verschlechtert sich das Wirtschaftlichkeitsergebnis. Im Falle negativer Betriebsmehrkosten verbessert sich dagegen die Wirtschaftlichkeit. Die jährlichen Betriebsmehrkosten werden als Prozentsatz der Investition angegeben. Eine Veränderung um 1 % bedeutet eine Verschiebung des Wirtschaftlichkeitsergebnisses um rund 18.000 EUR.

Sollten in einem sanierten Laborgebäude aufgrund der komplexen und umfangreicheren Technik die Betriebskosten höher sein als in dem alten, schlecht gewarteten und unsanierten Gebäude, dann kann das Wirtschaftlichkeitsergebnis in den Verlustbereich rutschen, wie das nachfolgende Bild 3–81 zeigt.



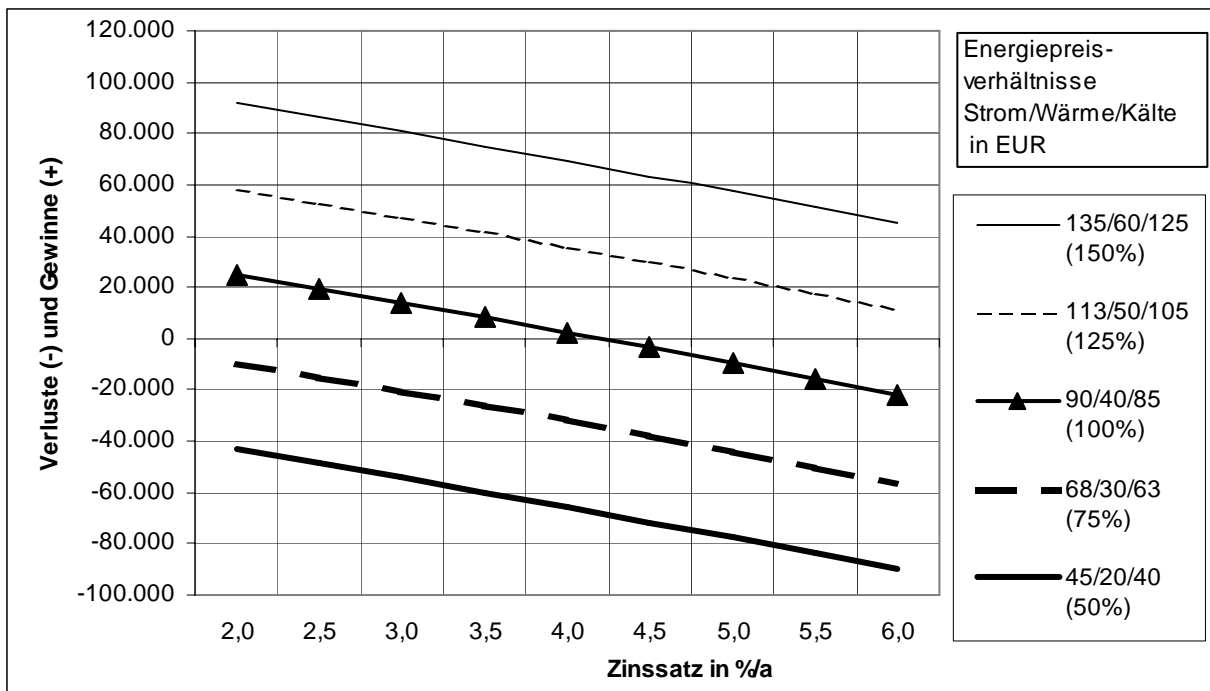
Abschreibung	Jahre	20
Wärmepreis	EUR/MWh	40
Kältepreis	EUR/MWh	85

Strompreis	EUR/MWh	90
Preisanstieg	%/a	3

Bild 3–81: Der Einfluss von Betriebsmehrkosten auf die Wirtschaftlichkeit (ohne Förderung und ohne innovative Technologien)

### Einfluss des aktuellen Energiepreises auf die Wirtschaftlichkeit

Der Zusammenhang zwischen Energiepreis und Wirtschaftlichkeit ist in Bild 3–82 aufgezeigt. Erwartungsgemäß verbessert sich die Wirtschaftlichkeit mit steigendem Energiepreis, weil die monetären Einsparungen größer werden. Im Referenzfall, d.h. bei einer Verzinsung von 4 %/a, wird die Wirtschaftlichkeitsgrenze erreicht. Bei einer Veränderung des aktuellen Energiepreises um  $\pm 10\%$  verändert sich das Wirtschaftlichkeitsergebnis um  $\pm 13.500$  EUR pro Jahr. Der Energiepreis ist also ein sehr sensibler Parameter mit einem starken Einfluss auf das Ergebnis.



Abschreibungsdauer 20 Jahre, Betriebsmehrkosten 0 % und Preissteigerungsrate 3%/a

Bild 3-82: Der Einfluss des aktuellen Energiepreises auf die Wirtschaftlichkeit (ohne Förderung und ohne innovative Technologien)

Bei den hier durchgeführten Parametervariationen mit einer Veränderung des Referenzpreises von  $\pm 50$  % kann das Wirtschaftlichkeitsergebnis zwischen +90.000 EUR und - 90.000 EUR schwanken.

### Der Einfluss des langfristigen Energiepreisanstiegs auf die Wirtschaftlichkeit

Von 1990 bis 2002 ist der Energiepreis im Mittel um etwa 1 % pro Jahr angestiegen, wie mit Bild 3-78 gezeigt. Das entspricht einem Gesamtanstieg in 12 Jahren von gut 12 %. Der Ölpreis ist von 2002 bis 2005 tatsächlich aber um rund 225 % angestiegen. Das entspricht einem mittleren Anstieg von immerhin 31 % pro Jahr. Kurzfristig scheint die Preisspitze nicht zu halten, so dass die Steigerungsrate zurückgeht, aber trotzdem nehmen viele Analysten an, dass die zukünftige, mittlere Preissteigerungsrate höher sein wird als in der Vergangenheit. Deshalb wurden für die vorliegenden Rechnungen Steigerungsraten von 1 %/a bis 5 %/a in Ansatz gebracht.

Bild 3–83 zeigt, dass der Gewinn aus der Sanierung umso größer wird, je schneller der Energiepreis in Zukunft ansteigt. Im Referenzfall wird bei einer Verzinsung von 4 %/a und einem Preisanstieg von 3 %/a gerade die Wirtschaftlichkeit erreicht (mittlere Linie in Bild 3–83). Deutlich größere Gewinne werden erwartungsgemäß im Falle eines Preisanstiegs von 5 %/a erzielt.

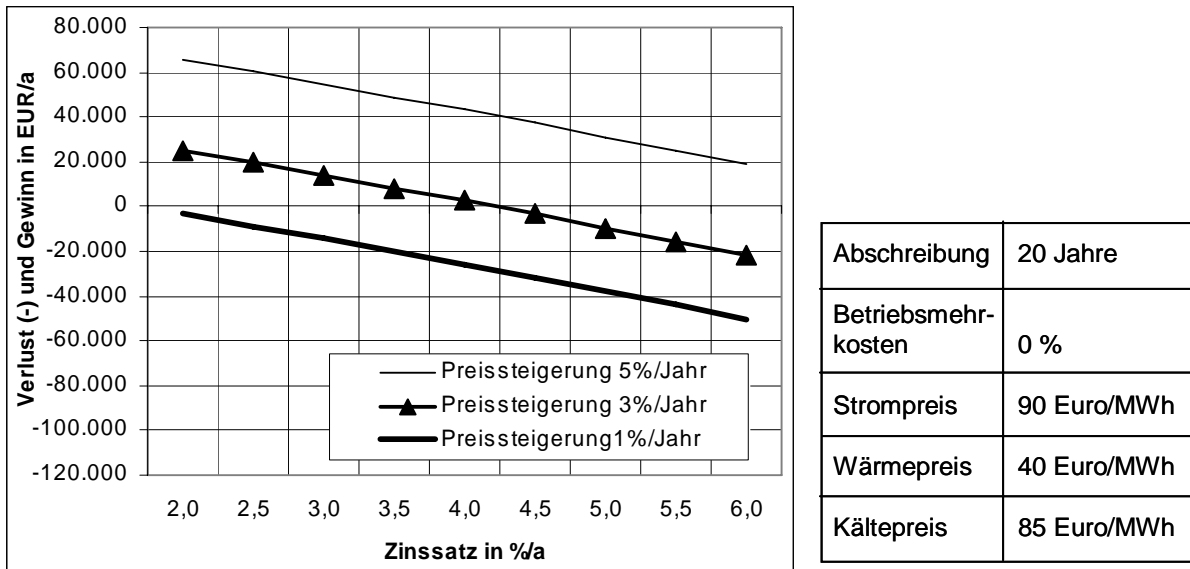


Bild 3–83: *Der Einfluss der zukünftigen Energiepreisentwicklung auf die Wirtschaftlichkeit (ohne Förderung und ohne innovative Technologien)*

### Zusammenfassende Bewertung der Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Wirtschaftlichkeit der energetischen Laborgebäudesanierung ist dann gegeben, wenn die jährlichen, energiebedingten monetären Einsparungen infolge der Sanierung die Ausgaben für den jährlichen Kapitaldienst übertreffen. Die Grenze der Wirtschaftlichkeit liegt vor, wenn Einsparungen und Ausgaben gleich sind. Übertreffen die Ausgaben die Einsparungen, dann war die Sanierung unwirtschaftlich.

Die Analysen haben gezeigt, dass aufgrund der üblichen Bandbreite der Einflussparameter die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen erheblich schwanken können. Für die Referenzparameter ergibt sich nach Bild 3–80 der Grenzfall der Wirtschaftlichkeit. Ein Sanierer, der keine Gewinne mit der Sanierung erzielen will und der auch keine Verluste haben möchte, kann dieses Ergebnis akzeptieren.

Extremwerte der Wirtschaftlichkeitsrechnungen treten in den Fällen auf, in denen alle günstigen oder alle ungünstigen Parameter zusammentreffen. Mit den hier verwendeten Bandbreiten der variablen Parameter lässt sich im günstigsten Fall ein jährlicher Gewinn von bis zu 90.000 EUR erzielen, während im ungünstigsten Fall Verluste von bis zu 90.000 EUR auftreten können. Viel hängt von der Wahl der finanzmathematischen Parameter ab und von der besonderen Situation der Sanierung sowie der Energieversorgung. Die vorliegenden Wirtschaftlichkeitsergebnisse lassen sich deshalb nicht auf jeden anderen Sanierungsfall übertragen.

Allerdings kann aus den Erfahrungen dieses Vorhabens und den hier durchgeführten Analysen abgeleitet werden, dass Laborgebäudesanierungen mit konventionellen Techniken und mit erreichbaren Primärenergieeinsparungen von bis zu 70 % bei guter Planung und Ausführung sowie günstiger Finanzierung wirtschaftlich sind.

Die Wirtschaftlichkeit der Energieeinsparungsmaßnahme ist aber nicht immer das entscheidende Kriterium für die Durchführung einer Laborgebäudesanierung. Weitere wichtige Gründe können veränderte Sicherheitsanforderungen, Umnutzungen, Erhalt der Bausubstanz usw. sein.

### **3.4.5 Kostenvergleich mit anderen Sanierungen und mit einem Neubau**

#### **Vergleich mit anderen Sanierungsfällen**

##### *Vergleichsdatenbasis*

Verlässliche Daten für einen Kosten-Vergleich mit anderen Sanierungsfällen stehen praktisch nicht zur Verfügung. Für eine grobe Orientierung werden deshalb drei Chemielaborsanierungen aus der Literatur [3-16] herangezogen. Die Sanierungskosten wurden mit dem Preisindex für Bau und Instandhaltung von Nichtwohngebäuden auf das Jahr 2003 hochgerechnet und in Euro ausgedrückt. In allen drei Vergleichsfällen handelt es sich um Grundsanierungen der Gebäude mit komplettem Austausch der Gebäudetechnik und einer Erneuerung der Laborausstattung.

##### *Preisindizes für Baupreise*



Für die Entwicklung der Baupreise werden die Preisindizes für Neubau und Instandhaltung von gewerblichen Betriebsgebäuden entsprechend [3-3] zugrunde gelegt. Dieser Subsektor kommt von allen im Statistischen Jahrbuch vorhandenen Sektoren der Laborgebäudesanierung am nächsten. Die Entwicklung der Preisindizes ist in Bild 3–84 von 1991 bis 2003 gezeigt. Als langfristiger Mittelwert ergibt sich ein Preisanstieg von 0,86 % pro Jahr. Diese Zahl wird in den Hochrechnungen verwendet.

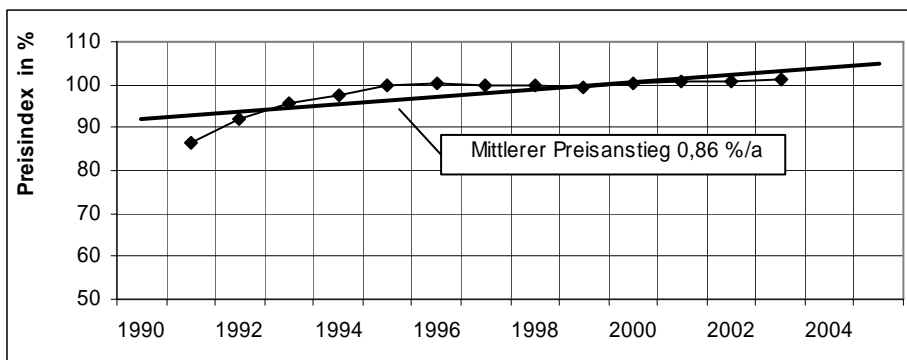


Bild 3–84: Preisindizes für gewerbliche Betriebsgebäude, [3-3]

#### *Flächenbezug der Kosten*

Die Investition wird in dem Vergleich auf die Nettogrundfläche (NGF) des Gebäudes bezogen, um eine Vergleichbarkeit mit der Sanierung im Forschungszentrum Jülich zu ermöglichen. In der Literatur werden die Kosten oft auf die Hauptnutzfläche (HNF) bezogen. Für die vier Vergleichsbeispiele in Tabelle 3–27 liegt das Verhältnis HNF/NGF im Bereich von 0,51 bis 0,6 (im Mittel 0,56). Die Differenz zwischen NGF und HNF sind die sogenannten Funktionsflächen.

#### *Schwankungsbreite der externen Kostenangaben*

Wie Tabelle 3–27 zeigt, schwanken die spezifischen, auf die Nettogrundfläche bezogenen Investitionen zwischen 2.170 EUR/m<sup>2</sup> und 3.410 EUR/m<sup>2</sup>, mit einem gewichteten Mittelwert von 2.680 EUR/m<sup>2</sup>. Diese Schwankungsbreite ist nicht überraschend, da die Sanierungskosten von Parametern beeinflusst werden, die für jedes Laborgebäude und für jeden Standort erheblich variieren können.

	Labortyp	Sanierungsumfang	Sanierungs- fläche	Gesamt- investition	Spez. Investi- tion
			10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup> NGF	Mio. EUR	EUR/m <sup>2</sup> NGF
RWTH Aachen	Organische Chemie	Gebäude, Technik, Laborausstattung	3,9	8,4	<b>2.170</b>
TU Berlin	Organ./anorgan. Chemie		14,5	49,5	<b>3.410</b>
Uni Freiburg	Makromolekulare Chemie		5,3	12,9	<b>2.450</b>
Mittelwert					<b>2.680</b>
FZJ* (gesamt)	Chemie- in Botaniklabor	Gebäude, Technik, , Laborausstattung, Extras	3,3	8,2	<b>2.485</b>

\* FZJ = Forschungszentrum Jülich

Tabelle 3–27: Kostenvergleich mit anderen Sanierungsfällen (2003)

### Kostenbasis der Sanierung in Jülich

Die letzte Zeile in Tabelle 3–27 zeigt die Parameter der Laborsanierung im Forschungszentrum Jülich (FZJ). Der Investitionsbetrag von 8,2 Mio. EUR enthält alle Einzelmaßnahmen der Sanierung, einschließlich der forschungsbedingten Mittelaufwendungen. Dies führt nach Tabelle 3–27 zu spezifischen Investitionen von 2.485 EUR/m<sup>2</sup>. Dieser Betrag liegt knapp unterm dem Mittelwert für die anderen Sanierungen (vgl. auch Bild 3–85).

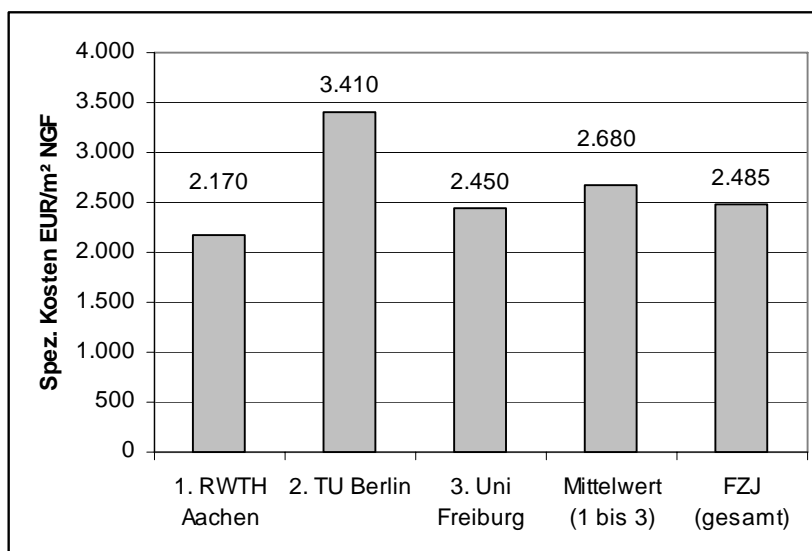


Bild 3–85: Spezifische Investitionskosten von Laborsanierungen im Vergleich

## Kostenvergleich mit einem Neubau

### Vergleichsdatenbasis

Als eine grobe Orientierung für Neubaukosten können die Kostenrichtwerte des Rahmenplans für den Hochschulausbau [3-1] herangezogen werden. Tabelle 3–28 zeigt die Werte für Chemie-, Pharmazie- und Biologie-Institutsbauten. Die Zahlen wurden mit dem Preisindex für Nichtwohnbauten auf 2003 hochgerechnet. Die Umrechnung von HNF auf NGF erfolgte mit einem angenommenen mittleren Verhältnis von 0,56 (s. oben).

Die Gebäudekosten in Tabelle 3–28 enthalten das Bauwerk und die technischen Anlagen. Bei den Gesamtkosten kommen noch folgende Posten dazu: Herrichten und Erschließen, Außenanlagen, Ausstattung und Kunstwerke sowie Baunebenkosten.

	Gebäudekosten	Gesamtbaukosten
	EUR/m <sup>2</sup>	EUR/m <sup>2</sup>
Kostenrichtwert für Neubau**, Bezug HNF	4.500	5.600
Kostenrichtwert für Neubau, umgerechnet auf NGF*	2.520	3.140
Sanierung FZJ Phytosphäre	2.485	-

HNF/NGF = 0,56; \*\* Chemie Pharmazie und Biologie Institutsbauten

Quelle: [3-1]

*Tabelle 3–28: Kostenrichtwerte für den Neubau von Chemie-, Pharmazie, und Biologie-Institutsbauten*

Ein Vergleichsbeispiel für einen ausgeführten universitären Neubau ist das 2003 fertig gestellte Institut für Genetik der Universität zu Köln mit einer Hauptnutzfläche (HNF) von 4.470 m<sup>2</sup> und spezifischen Kosten von 4.480 EUR/m<sup>2</sup> (ohne Erstausrüstung) [3-8]. Dieser Wert liegt im Bereich der Orientierungsgrößen des Rahmenplans für den Hochschulbau [3-1].

### Sanierung nicht teurer als Neubau

Die spezifischen Kosten für die Sanierung des Laborgebäudes im Forschungszentrum Jülich (FZJ) stimmen recht gut mit dem Kostenrichtwert für Institutsneubauten überein. Die Sanierung ist danach nicht teurer als ein Neubau.

Die Frage, ob ein Abriss mit anschließendem Neubau im Falle des Forschungszentrums Jülich günstiger gewesen wäre, lässt sich anhand der vorliegenden Daten nicht eindeutig beantworten. Hierzu wäre eine detaillierte Neubau-Kalkulation notwendig gewesen. Darüber hinaus kann die Entscheidung, ob ein Laborgebäude saniert oder neu errichtet werden soll, nicht allein von den Kosten abhängig gemacht werden. Andere wichtige Kriterien müssen in den Entscheidungsprozess mit einbezogen werden.

### **3.4.6 Potenziale zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit**

Die Wirtschaftlichkeit einer Laborsanierung kann grundsätzlich durch eine Erhöhung der Energieeinsparung und eine Reduzierung der energierelevanten Investitionskosten verbessert werden. Beide Parameter sind jedoch in der Regel nicht voneinander unabhängig. So ist eine höhere Energieeinsparung oft - aber nicht notwendigerweise immer - durch höhere Investitionen zu erreichen. Dabei verbessert sich die Wirtschaftlichkeit nur, wenn die relative Änderung der Energieeinsparung höher ist als die relative Änderung der Investition.

In den folgenden Ausführungen werden einige Ansätze zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit betrachtet. Die Überlegungen beziehen sich auf das hier untersuchte Laborgebäude, sind aber grundsätzlich auch für andere Sanierungsfälle interessant.

#### **Kostenreduzierung durch integrale Planung**

Es wurde in Kapitel 2.4 dieses Berichtes ausführlich dargelegt, dass und warum der integrale Planungsansatz geeignet ist, erhebliche Einsparpotenziale bei Investitionen und dem Energiebedarf zu identifizieren und zu erschließen.

## **Änderung des Anlagenkonzeptes zur Kostenminderung**

### *Vorgehen bei der Planung der hier untersuchten Laborgebäudesanierung*

Für die meisten energetischen Sanierungsmaßnahmen wurden in der Planung jeweils drei oder mehr Varianten untersucht [3-9]. In der Regel wurde diejenige mit den geringsten Investitionskosten ausgewählt, eine ausführliche Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde nicht vorgenommen. Eine ökonomische Optimierung im Rahmen einer integralen Planung, hätte möglicherweise zu weiteren Kostenreduktionen geführt.

Für die RLT Anlage wurde ein System mit einem variablen Volumenstrom zugrunde gelegt. Eine Alternative auf der Basis eines Konstant-Volumenstrom-Systems wurde in den Planungsunterlagen nicht dokumentiert und offensichtlich auch nicht detailliert betrachtet.

### *Ein Konstant-Volumenstrom-System als Alternative*

Nach [3-11] ergeben sich bei einem Konstant-Volumenstrom-System gegenüber einem System mit einem variablen Volumenstrom folgende Kostenveränderungen:

- Ein Konstant-Volumenstrom-System hat gegenüber einem entsprechenden Variabel-Volumenstrom-System um 35 % geringere Kapitalkosten. Ursache ist der einfachere und damit preiswertere Aufbau der Anlage (Luftführung, Ventilatoren, Regelung). Außerdem sollten die fixen Betriebskosten der Anlage niedriger sein.
- Das Konstant-Volumenstrom-System hat im Vergleich zum Variabel-Volumenstrom-System einen deutlich erhöhten Energieverbrauch. Der Wärmebedarf ist um 48 % höher und der Stromverbrauch für die Lüftung sogar um 68 %.

Diese Veränderungen durch eine Konstant-Volumenstrom-Anlage können insbesondere im Falle niedriger Energiekosten zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit führen. Hierzu ist aber eine genauere Analyse erforderlich, die im Rahmen dieser Untersuchung wegen fehlender Daten nicht geleistet werden konnte.

Einsatz regenerativer Energien zur Kostenreduzierung

Grundsätzlich sind regenerative Energieträger in der Lage, einen Beitrag zur Strom- und Wärmeversorgung eines Laborgebäudes zu leisten. Angesichts der steigenden Preise fossiler Energieträger und der zum Teil erheblichen Förderung erneuerbarer Energien wird die Nutzung von regenerativen Energien (Fotovoltaik, Solarthermie, Biomasse u. a.) zunehmend interessanter.

Bei dem hier betrachteten Gebäude steht jedoch keine freie Dachfläche für Solarmodule zur Verfügung. Das Dach ist zu einem erheblichen Teil mit RLT Komponenten belegt. Darüber hinaus ist es durch den benachbarten Wald zum Teil verschattet, so dass diese Art der Solarenergienutzung nicht zweckmäßig war.

Als weitere Möglichkeit bleibt noch die Biomassennutzung zur Wärmeerzeugung, z. B. Hackschnitzel oder Pelletheizung. Diese Optionen können zwar wirtschaftlich sein, machen aber in diesem Fall keinen Sinn, da über eine Fernwärmeleitung Kraftwerksabwärme genutzt wird.

## **Energiekostenminderung durch nachträgliche Betriebsoptimierung**

### *Messprogramm und Simulation zur Optimierung*

Die Betriebsoptimierung des sanierten Laborgebäudes durch das Solarinstitut der Fachhochschule Jülich (SIJ) beinhaltet ein sehr umfangreiches und intensives Messprogramm, das die relevanten thermischen Parameter und Energieströme zeitabhängig erfasst. Zusätzlich wird eine dynamische Gebäudesimulation durchgeführt. Durch diese Gebäudesimulation soll insbesondere das ganzheitliche Zusammenwirken aller Komponenten und Einflüsse analysiert werden. Ziele der Arbeiten sind eine energetische Qualitätskontrolle, eine Diagnose des Betriebsverhaltens und die Erarbeitung von Vorschlägen zur Feinoptimierung nach der Inbetriebnahme. Bei der Optimierung geht es nicht nur darum, die Planungsziele umzusetzen, sondern noch darüber hinaus gehende Einsparpotenziale zu identifizieren und zu erschließen.

*Zielvorgaben der Planung wurden zunächst nicht erreicht*

Die bisherigen messtechnischen Untersuchungen (Stand Ende 2005), die noch nicht beendet sind, haben gravierende Mängel bei einigen Anlagenkomponenten und insbesondere bei der Regelung aufgedeckt. Die in der Planung von der RLT geforderten Zielvorgaben konnten deshalb zunächst nicht erreicht werden. Es ist ungewiss, dass die Mängel und Ursachen ohne die Nachkontrolle entdeckt worden wären. Da Folgesanierungen in der Regel nicht mit einem zusätzlichen, wissenschaftlichen Messprogramm ausgestattet sein werden, muss der Laborbetreiber ganz besonders sorgfältig auf einem detaillierten und protokollierten Qualitätsnachweis bei der Abnahme der Anlagen bestehen, und er muss den Betrieb laufend kontrollieren, um das angestrebte Ergebnis zu erreichen.

### **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.

## 3.5 Ökologische Bewertung der Sanierung

### 3.5.1 CO<sub>2</sub>-Emissionen der Sanierung und Methoden der Ermittlung

Die wissenschaftliche Begleitung der energetischen Laborgebäudesanierung beinhaltete auch die ökologische Bewertung der Sanierung des Laborgebäudes. Es wurde vereinbart, dass sie auf der Grundlage eines Vergleichs der durch die Sanierungsmaßnahmen freigesetzten CO<sub>2</sub>-Menge mit der infolge der Sanierung jährlich eingesparten CO<sub>2</sub>-Menge erfolgt.

Die Sanierung wurde als ein Produkt betrachtet, das sich aus mehreren Komponenten zusammensetzt, aus den verschiedenen Baumaterialien bzw. technischen Einbauten und natürlich aus den baulichen Maßnahmen, wie Demontage und Einbau. Im Prinzip müssen die Herstellungswege jeder Komponente, wie Fenster, Fassadenbauteile oder technische Anlagen, analysiert werden, um detaillierte Teilergebnisse zu erhalten, die dann in ein Gesamtergebnis einfließen. Als Bewertungsmethoden wurden in diesem Projekt die Materialbilanzen-Methode sowie die Input-Output-Analyse ausgewählt.

#### **Materialbilanzen-Methode**

Die Materialbilanzen-Methode ist ein vereinfachtes Verfahren zur Bestimmung des kumulierten Energieaufwandes (KEA), der für den gesamten primärenergetisch bewerteten Aufwand steht, der mit der Herstellung, Nutzung und Beseitigung eines Produktes oder einer Dienstleistung verbunden ist. Die Analyse der Gesamtheit der Prozessketten ist wegen des hohen Detaillierungsgrades sehr aufwendig. Bei dieser Methode werden material- und energieträgerspezifische Daten aus bekannten Prozesskettenanalysen mit den in die "Sanierung" einfließenden Materialmengen, Komponenten und Maßnahmen verknüpft, so dass sich mit ihnen verbundene Energieaufwendungen ermitteln lassen.

*Von den Materialbilanzen zur CO<sub>2</sub>-Bilanz*



Nach der Ermittlung der Materialbilanzen der Produkte, in denen die Komponenten hinsichtlich ihrer Menge, ihres Gewichts und natürlich ihres Materials beschrieben werden, können die Emissionen der Basismaterialien durch spezifische Koeffizienten ermittelt werden. Diese Werte werden Studien und Prozesskettenanalysen oder Datenbanken entnommen.

Dabei ergeben sich die Emissionen der Materialien und Fertigungsprozesse entweder durch die Festlegung der primärenergetischen Versorgung vor der Untersuchung oder anhand der Abschätzung der vorhandenen Energieversorgung. Das bedeutet, dass sich die Emissionen aus dem Energieträgermix ergeben, der in den verwendeten Quellen für die dortigen Berechnungen angenommen wurde [3-1].

Sind die Emissionen der Rohstoffe bekannt, müssen sie noch mit Fertigungszuschlagssätzen beaufschlagt werden. Diese werden entsprechend der Energieintensität des Fertigungsprozesses abgeschätzt.

Stehen abgesicherte Materialkennwerte und Emissionswerte für Fertigprodukte aus Prozesskettenanalysen zur Verfügung, bietet es sich an, diese Werte zu übernehmen, zumal das Abschätzen der Fertigungszuschläge als Unsicherheitsfaktor der Materialbilanzmethode zu sehen ist [3-21].

Die ermittelten CO<sub>2</sub>-Mengen der Basismaterialien können rekursiv verdichtet und zu einem Ergebnis zusammengefasst werden.

### **Die Input-Output-Analyse**

Ein wirtschaftswissenschaftlich ausgerichtetes Verfahren stellt die Input-/Output-Analyse dar, die Bestandteil volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen ist. Ihre Grundlagen sind nach Wirtschaftszweigen unterteilte Input-/Output-Tabellen, die auf der Inputseite die zur Produktion benötigten Güter sowie deren Herkunft (Aufkommenstabelle) und auf der Outputseite die produzierten Güter mitsamt deren Verbleib (Verwendungstabelle) ausweisen.

In der Aufkommenstabelle werden die Werte der produzierten Güter aufgeführt, gegliedert nach den einzelnen Wirtschaftsbereichen. Sie bilden das Gesamtergebnis der Wirtschaftsektoren und den Übergang von Herstellungs- zu Anschaffungspreisen ab.

Die Verwendungstabelle stellt den Zusammenhang zwischen den bewerteten Güterströmen eines Wirtschaftsbereichs und der Verwendung der Güter her. Dabei berücksichtigt sie die Verflechtung der einzelnen Wirtschaftsbereiche sowie die letzte Verwendung der Güter als Konsumgut, Export oder Bruttoinvestition.

Insgesamt ermöglicht die Input-/Output-Analyse detaillierte Einblicke in die Güterströme und Produktionsverflechtungen einer Volkswirtschaft.

#### *Von der Input-Output-Tabelle zur CO<sub>2</sub>-Bilanz*

Neben der Betrachtung der Produktions- und Dienstleistungsverflechtung untersucht das Statistische Bundesamt mit seinen Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR) auch die Wechselwirkungen zwischen Ökonomie und Umwelt. Es werden der Ressourceneinsatz, -verbrauch und die damit verbundenen Umweltauswirkungen analysiert, wobei es nicht nur um die Entnahme von Material und Energie aus der Natur geht, sondern auch um die Abgabe von Abfällen, Abwasser oder Luftemissionen in die Natur.

Die von wirtschaftlicher Tätigkeit auf die Natur ausgehenden Belastungen, wie Emissionen durch Materialflüsse, werden wie Ströme behandelt. Durch eine Erweiterung der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen um eine Klassifikation genau solch einer Materialart, können Flüsse zwischen Wirtschaft und Natur erstellt werden.

Grundlage der Berechnungen für Kohlendioxid nach Produktions- und Wirtschaftsbe-  
reichen und privaten Haushalten gemessen in 1.000 Tonnen sind in den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen die Daten zum Energieträgerverbrauch, die wiederum im Wesentlichen auf den Energiebilanzen der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) und den Input-Output-Tabellen (Statistisches Bundesamt) beruhen. Unter Verwendung der spezifischen Emissionsfaktoren auf der Datenbasis des Umweltbundesamtes können die Emissionen der Wirtschaftssektoren entsprechend ihres Energieverbrauchs ermittelt werden.

Dabei wird zwischen direkten, indirekten und kumulierten Emissionen unterschieden. Direkte Emissionen sind Emissionen, die unmittelbar durch den Prozess der Güterherstellung eines Wirtschaftsektors entstehen. Während indirekte Emissionen bei der Produktion von Vorleistungen für den jeweiligen Wirtschaftssektor erzeugt werden. Die kumulierten Emissionen eines Wirtschaftsektors sind somit die Summe der direkten und indirekten Emissionen. Das bedeutet, sie beinhalten sämtliche durch die Aktivität eines Sektors ausgelösten Emissionen mitsamt seinen Vorstufen [3-20].

Für eine Schätzung von CO<sub>2</sub>-Emissionen müssen die direkten Emissionen mit den ökonomischen Input-Output-Tabellen verknüpft werden [3-19], da sie durch ihren Aufbau sämtliche Wirtschaftssektoren und deren Vorstufen berücksichtigen. Als Ergebnis der getätigten Investition, in diesem Fall der monetäre Wert der Sanierung, wird der Produktionseffekt für sämtliche verknüpfte Wirtschaftssektoren ausgewiesen. Dieser Produktionseffekt kann anhand der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen der betroffenen Sektoren bewertet werden.

Die Verknüpfung der umweltökonomischen mit der wirtschaftlichen Betrachtungsweise erfolgt für jeden Wirtschaftssektor durch die Bildung einer Kennziffer, die sich durch die Division der gesamten direkten CO<sub>2</sub>-Menge (in Tonnen) und der wirtschaftlichen Leistung (in €) des jeweiligen Sektors ergibt. Aus der Addition der Produkte aus Kennziffern und Produktionseffekte der einzelnen Sektoren resultiert die insgesamt durch die Investition entstandene CO<sub>2</sub>-Emissionsmenge.

### **CO<sub>2</sub>-Mengen und Bilanzierungseinschränkungen**

Entsprechend der Aufgabenstellung sind nicht die Umweltwirkungen des Systems "Gebäude" von Interesse, sondern die Umweltwirkungen der Sanierung an sich. Bei den eingesetzten Produkten ist zwischen Herstellung, Nutzung und Entsorgung zu unterscheiden.

Als Besonderheit des Produktes "Sanierung" sind die Demontage und Entsorgung alter Komponenten zu sehen. Die Bauphase muss deshalb in Demontage sowie Entsorgung alter Komponenten und in Herstellung/Installation neuer Komponenten gegliedert werden.

Vereinfachend gilt bei der Materialbilanz-Methode, dass nur die Herstellung und die Nutzungsphase der neuen Komponenten zu untersuchen ist.

Betrachtet man die neuen Komponenten über den gesamten Lebensweg, dann gehört auch die Entsorgung dazu. Bei der Ermittlung der Umweltwirkung der einzelnen Lebensphasen der neuen Komponenten, kann die Entsorgungsphase der alten Komponenten mit den neuen Komponenten gleichgesetzt werden.

Weiterhin ist als Kennwert der Umweltwirkung die für den Gebäudesektor typische CO<sub>2</sub>-Menge gewählt worden. Eine Angabe des kumulierten Energieaufwandes (KEA) ist somit nicht notwendig, da der festgelegte Kennwert die Wechselwirkung mit der Umwelt ausreichend charakterisiert.

#### *CO<sub>2</sub>-Emission nach der Materialbilanz*

Ziel war die Bilanzierung aller für die Fertigstellung der energetischen Sanierung des Gebäudes notwendigen Prozesse und Produkte sowie der damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Dabei wurde zwischen der Herstellung der Bauteile und der eigentlichen Bauphase unterschieden. Die Analyse der Herstellung der Bauteile konnte mit der Materialbilanz-Methode durchgeführt werden. Da zur Bauausführung keine Energieverbrauchsdaten vorlagen, wurden Literaturdaten verwendet, die den Aufwand der Bauausführung auf verschiedene Faktoren verteilt (Stromverbrauch, Kraftstoffverbrauch etc.) und zur Herstellung der Baumaterialien ins Verhältnis setzt. Die sich ergebenden Faktoren wurden auch auf die CO<sub>2</sub>-Emissionsberechnung angewendet. [3-18].

	CO <sub>2</sub> -Menge der Herstellung	Summe der Errichtung (17,39%)	Gesamtmenge (Summe)	Proz. Verteilung der CO <sub>2</sub> -Menge der Einzelmaßnahmen	Prozentuale CO <sub>2</sub> -Menge der gesamten Maßnahme
	(in kg)	(in kg)	(in kg)	(in %)	(in %)
<b>Gebäudehülle</b>					
Alu-Fassade	49.456,6	8.601,5	58.058,1	19,1	
Aussenputz-Fassade	15.735,8	2.736,8	18.472,6	6,1	
Dachaufbau	8.902,5	1.548,3	10.450,9	3,4	
Fenster und Türen	157.593,7	27.408,7	185.002,4	60,8	
Tageslicht-Lenkelemente	27.445,9	4.773,4	32.219,3	10,6	
<b>Summe Gebäudehülle</b>	<b>259.134</b>	<b>45.069</b>	<b>304.203</b>	<b>100</b>	<b>58,91</b>
<b>Lüftung</b>					
Brandschutz-Zuluft & Abluft (Gebäude)	3.715	646,1	4.361,2	3,7	
Volumenstromregler-Zuluft & Abluft (Gebäude)	2.616	455,0	3.071,0	2,6	
Schalldämpfer-Zuluft & Abluft (Gebäude)	2.376	413,3	2.789,5	2,4	
Sonstige Komponenten - Zuluft/Abluft	1.607,6	279,6	1.887,2	1,6	
Rohrleitungen	24.399	4.243,5	28.642,5	24,3	
Sonstige Abluftelemente	639	111,1	750,2	0,6	
zentrale Abluftanlage	29.408,7	5.114,8	34.523,5	29,3	
zentrale Zuluftanlage	16.879,4	2.935,7	19.815,1	16,8	
Wärmerückgewinnung	140,4	24,4	164,8	0,1	
Dämmung Zu- und Abluftrohre	18.568,3	3.229,4	21.797,7	18,5	
<b>Summe Lüftung</b>	<b>100.349</b>	<b>17.452</b>	<b>117.803</b>	<b>100</b>	<b>22,81</b>
<b>Heizungssystem</b>					
Heizkörper	11.538,8	2.006,8	13.545,7	27,6	
Rohrleitungen von Sammler/Verteiler	15.190,2	2.641,9	17.832,1	36,4	
Heizkörperleitungen	4.075,8	708,9	4.784,7	9,8	
Übergabestation-Fernwärme	2.352,7	409,2	2.761,9	5,6	
Sammler/Verteiler	510,9	88,9	599,8	1,2	
Rohrdämmung	897,1	156,0	1.053,1	2,1	
Sonstige Systemkomponenten	7.193,0	1.251,0	8.444,0	17,2	
<b>Summe Heizungssystem</b>	<b>41.758</b>	<b>7.262</b>	<b>49.021</b>	<b>100</b>	<b>9,49</b>
<b>Kältesystem</b>					
Sonstige Systemkomponenten	15.231,9	2.649,1	17.881,1	42,1	
Rohrleitungen-gesamt	18.542,9	3.225,0	21.767,9	51,3	
Rohrisolierungen-gesamt	406,8	70,8	477,6	1,1	
Durchgangsventil, Antriebe & Umwälzpumpen	1.965,4	341,8	2.307,3	5,4	
<b>Summe Kältesystem</b>	<b>36.147</b>	<b>6.286</b>	<b>42.433</b>	<b>100</b>	<b>8,22</b>
<b>Summe MSR-Station</b>	<b>2.499</b>	<b>434</b>	<b>2.934</b>	<b>100</b>	<b>0,57</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Menge der gesamten Sanierung</b>	<b>439.890</b>	<b>76.505</b>	<b>516.395</b>		<b>100</b>

Tabelle 3–29: Die CO<sub>2</sub>-Mengen aller Sanierungsmaßnahmen

Fasst man nun die Ergebnisse dieses Verfahrens zusammen (siehe Tabelle 3–29), dann ergibt sich eine Gesamtemission von 516.395 kg CO<sub>2</sub>. Sie unterteilt sich in 439.889 kg CO<sub>2</sub> für die Herstellung der eingesetzten Produkte und in 76.505 kg CO<sub>2</sub> für Baumassnahmen/Errichtung.

In Tabelle 3–30 sind die Emissionen entsprechend den verschiedenen Einzelkomponenten und Hauptgruppen ausgewiesen, so dass man die Hauptquellen identifizieren kann.

Material/ Werkstoff	Beschreibung	Gewicht/ Werkstoff	Anteil/ Ges. Gew.	CO <sub>2</sub> -Menge/ Werkstoff	Anteil/ ges. CO <sub>2</sub>
		(in kg)	(In %)	(in kg)	(In %)
Aluminium	Profile	7.562	2,9	150.335	34,2
	Bleche	2.256	0,9	53.569	12,2
Summe Aluminium		9.818	3,8	203.904	46,4
Stahl	Rohre	18.641	7,3	42.322	9,6
	Bleche	31.419	12,2	80.602	18,3
	Sonstige	9.041	3,5	24.670	5,6
Kupfer+Messing		2.557	1,0	10.258	2,3
Guss	Gusseisen, Grauguss, Rotguss	6.805	2,7	7.921	1,8
Summe Metall		68.462	26,7	165.773	37,7
Baustoffe					
Dämmstoffe	Glaswolle, Steinwolle	16.139	6,3	20.605	4,7
sonstige Baustoffe	Putz, Kies, Glasfaser (Armierung)	150.872	58,7	15.972	3,6
Summe Baustoffe		167.011	65	36.578	8,3
Kunststoff					
	EPS	5.301	2,06	20.357	4,6
	LDPE-Folie + sonstiges	2.751	1,07	5.310	1,21
	ABS-Spritzgußteil	23	0,01	143	0,03
	PP	377	0,15	1.039	0,24
	synthetischer Kautschuk	105	0,04	407	0,09
	PPS	3.052	1,2	6.380	1,5
Summe Kunststoff		11.609	4,5	33.636	7,7
Gesamtsumme		256.901	100	439.890	100

Tabelle 3–30: CO<sub>2</sub>-Emissionen der Produkteherstellung

Da mit einer Materialbilanzierung materialspezifische Daten erhoben werden, ist es auch möglich, ihre Bedeutung in der Emissionsbilanz aufzuzeigen. So zeigt Tabelle 3–30, dass das Baumaterial Aluminium mit 46% zur Gesamtemission der Materialien beiträgt.

Frühzeitige Analysen eröffnen so die Möglichkeit, auch durch die Wahl bestimmter Werkstoffe auf die Nachhaltigkeit von Sanierungsmassnahmen Einfluss zu nehmen.

#### *CO<sub>2</sub>-Emission nach der I-O-Analyse*

Bei der Input-Output Analyse muss nicht wie bei der Materialbilanzen-Methode zwischen der Produktherstellung und der Bauausführung unterschieden werden. Die Gesamtinvestition beinhaltet alle Komponenten der Sanierung und symbolisiert in diesem Fall das zu analysierende Produkt.

Bei der Analyse ist darauf zu achten, dass die monetären Aufwendungen auf den Preisindex des Bezugsjahres auf- bzw. abgezinst werden. Außerdem müssen die Investitionen (= Anschaffungspreise) in Herstellungspreise umgerechnet werden, da die I-O Tabellen auf dem Konzept der Herstellungspreise beruhen. Die Konvertierung erfolgt unter Benutzung der Aufkommenstabelle, die die Beziehungen zwischen Herstellungs- und Anschaffungspreisen ausweist.

Wenn man die in der Aufkommenstabelle angehenden Herstellungskosten zu den Anschaffungskosten ins Verhältnis setzt, errechnet sich der Prozentsatz mit dem die Investition der Laborgebäudesanierung zu bewerten ist. Mit den so bestimmten Herstellungskosten können anschließend die zugehörigen Produktionseffekte in den verschiedenen Wirtschaftsbereichen untersucht werden. Die Produktionseffekte werden mit spezifischen, sektor-typischen CO<sub>2</sub>-Emissionswerten verknüpft, so dass sich aus den verschiedenen Teilemissionen die gesamte CO<sub>2</sub>-Emission der energetischen Sanierung ergibt. Als Resultat errechnet sich für die Sanierung des Laborgebäudes eine Gesamtemission von 501.142 kg CO<sub>2</sub>.

## Gegenüberstellung der Ergebnisse

Es ergibt sich zwischen den beiden Verfahren im Ergebnis einen Unterschied von 15.000 kg CO<sub>2</sub>. Um Hinweise auf die Ursachen bzw. auf verfahrenbedingte Unterschiede zu erhalten, ist es erforderlich, die Daten nach der I-O Methode entsprechend der Struktur des Materialbilanzen-Verfahrens aufzuarbeiten und den Kategorien Gebäudehülle, Lüftung/Kälte, Heizsystem sowie Mess-/Steuer-/Regelstation zu weisen.

Die Zusammenstellung der Ergebnisse aus den verschiedenen Kategorien, Tabelle 3–31, zeigt dann zum Teil deutliche Unterschiede.

Die CO<sub>2</sub>-Emission der Gebäudehülle fällt bei der Materialbilanzen-Methode um etwa 60% höher aus als bei der I-O-Analyse. Ursache ist die Aluminiumfasade, die in der Materialbilanz der Gebäudehülle einen hohen Stellenwert einnimmt, während beim I-O-Verfahren nur der gesamtwirtschaftliche Anteil von Aluminium innerhalb des Bereichs Baugewerbe verrechnet wird.

	Materialbilanzen-Methode			I-O-Analyse
	CO <sub>2</sub> -Menge der Herstellung	Summe der Errichtung	Gesamtmenge CO <sub>2</sub>	Gesamtmenge CO <sub>2</sub>
	(in kg)	(in kg)	(in kg)	(in kg)
		17,39%	<b>(Summe)</b>	
Gebäudehülle	259.134,6	45.068,7	<b>304.203,3</b>	<b>184.224,1</b>
Lüftung inklusive Kältesystem	136.496,9	23.739,5	<b>160.236,5</b>	<b>283.115,2</b>
Heizsystem	41.758,6	7.262,7	<b>49.021,3</b>	<b>33.803,2</b>
MSR-Station	2.499,6	434,7	<b>2.934,3</b>	
CO <sub>2</sub> -Menge gesamte Sanierung	439.889,8	76.505,6	<b>516.395,4</b>	<b>501.142,5</b>

Tabelle 3–31: Gegenüberstellung der Emissionen nach Kategorien



Da die Kosten der MSR-Station (MSR = Messen Steuern Regeln) für die I-O Analyse nicht ermittelt werden konnten, liefert sie auch kein Ergebnis.

### **3.5.2 CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Energieversorgung des Gebäudes**

Die Energieversorgung des Laborgebäudes lässt sich in die Bereiche Strom-, Kälte- und Wärmeversorgung unterteilen.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Nutzung basieren auf dem jährlichen Energiebedarf des Gebäudes, wobei der Bedarf des unsanierten Gebäudes nur teilweise messtechnisch erfasst werden konnte und deshalb durch Simulationen vervollständigt wurde. Da der Energiebedarf des sanierten Gebäudes durch Messungen des Solarinstituts Jülich ermittelt und die Optimierung der Verknüpfung der verschiedenen Anlagen noch nicht abgeschlossen ist, wurde für diese Ausarbeitung auf Erwartungen und auf ersten Kontrollmessungen aufbauende Erkenntnisse zurückgegriffen.

Es ist zu beachten, dass der Energiebedarf, der durch die Versuche und Nutzung der Laboranlagen entsteht, nicht in die Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Menge mit einbezogen wird, da er von der Sanierung nicht betroffen ist. Unter dieser Bedingung ergibt sich der Energiebedarf, der für die Bewertung des Laborgebäudes herangezogen werden. Er ist in Tabelle 3–32 zusammengestellt.

Im unsanierten Zustand betrug der Bedarf 3.569 MWh/a und war ganz wesentlich vom Strombedarf für die Luftförderung und dem Wärmebedarf für die Luftaufbereitung beeinflusst. Den Erwartungen entsprechend wird gerade bei diesen beiden Positionen ein großes Reduktionspotential ausgeschöpft, so dass der Gesamtbedarf nach der Sanierung nicht mehr als 1.043 MWh/a betragen sollte.

		unsanierter Zustand	Sanierter Zustand
		Energetisch relevanter Bedarf	Energetisch relevanter Bedarf
		(in MWh/a)	(in MWh/a)
Strom	Beleuchtung	216,00	129,60
	Luftförderung	1.118,60	336,00
	Summe Strom	1.334,60	465,60
Wärme	Luftaufbereitung	1.428,31	242,44
	Raumheizung	385,12	154,05
	Summe Wärme	1.813,43	396,49
Kälte	Luftaufbereitung	421,08	49,88
	Raumkühlung	0,00	131,08
	Summe Kälte	421,08	180,96
	Gesamtenergiebedarf	<b>3.569</b>	<b>1.043</b>

Tabelle 3–32: Beeinflussung des Energiebedarf durch die Sanierung

Durch Kombination des Energiebedarfs mit den spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Strom, Wärme und Kälte lassen sich die zugehörigen Emissionsmengen ermitteln. Für das unsanierte Gebäude ergeben sich danach jährliche CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 1.477.578 kg CO<sub>2</sub>/a, für den sanierten Zustand nur noch 478.751 kg CO<sub>2</sub>/a. Im Einzelnen sind die Daten in Tabelle 3–33 zusammengestellt.

		Unsaniertes Gebäude	Saniertes Gebäude
		CO <sub>2</sub> -Emissionen	CO <sub>2</sub> -Emissionen
		(in kg CO <sub>2</sub> /a)	(in kg CO <sub>2</sub> /a)
Strom	Beleuchtung	128.017	76.810
	Luftförderung	662.963	199.138
	Summe Strom	790.980	275.948
Wärme	Luftaufbereitung	344.222	58.428
	Raumheizung	92.814	37.126
	Summe Wärme	437.036	95.554
Kälte	Luftaufbereitung	249.562	29.562
	Raumkühlung	0	77.687
	Summe Kälte	249.562	107.250
	Gesamte CO <sub>2</sub> -Menge/Jahr	1.477.579	478.752

Tabelle 3–33: Zusammenstellung der jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen, unsaniertes, saniertes Gebäude

### 3.5.3 Berechnung der CO<sub>2</sub>-Armortisationszeiten

Für die Bewertung der energetischen Sanierungsmaßnahme wurde die mit den Maßnahmen in Verbindung stehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen zu der durch die energetische Sanierung vermiedene CO<sub>2</sub>-Emission ins Verhältnis gesetzt. Diese Berechnung wurde sowohl für das Ergebnis der Materialbilanzen-Methode als auch für das Ergebnis der Input-Output Analyse vorgenommen.

Mit der Gegenüberstellung der vermiedenen und der durch die Sanierung verursachten CO<sub>2</sub>-Mengen kann dargestellt werden, nach welchem Zeitraum sich der Aufwand, hier die zusätzliche entstandene CO<sub>2</sub>-Menge, amortisiert. Bei diesem Vorgehen fließen sowohl die Bauausführung, die bei der Sanierung eingesetzten Produkte als auch die Nutzungsphase des Gebäudes in die Bewertung der Sanierungsmaßnahme ein. Von Interesse ist, wann sich der erreichte Nutzen durch die Aufwendungen amortisiert.

In Tabelle 3–34 wird das Ergebnis zusammengefasst. Im ersten Zeilenblock sind die infolge der Sanierungsmaßnahmen freigesetzten Kohlendioxidemissionen ausgewiesen. Im zweiten Block sind die Kohlendioxidemissionsmengen zusammengestellt, die durch die geringere Wärmenachfrage vermieden werden. Im Forschungszentrum Jülich GmbH wird Fernwärme aus einem KWK-Kraftwerk genutzt. Nach der Sanierung werden infolge des geringeren Bedarfs jährlich nahezu 1 Millionen kg CO<sub>2</sub> weniger emittiert.

Um das Ergebnis gegebenenfalls auch auf andere Objekte übertragen zu können, wurden außer KWK-Fernwärme auch andere Wärmebereitstellungswege in die Betrachtung einbezogen, Heizöl, Erdgas sowie Fernwärme ohne KWK.

Im dritten Zeilenblock sind die Amortisationszeiten in Monaten ausgewiesen, nicht nur für den Fall der Fernwärmeversorgung, sondern auch für die drei anderen Beispiele.

Zwar zeigen sich Unterschiede in den Amortisationszeiten nach den beiden Analyseverfahren, sie sind aber nur marginal. Auch bei den anderen drei Beispielen sind keine signifikanten Unterschiede erkennbar, so dass man insgesamt von einer sehr kurzen Amortisationszeit ausgehen kann. Sie kann als Beleg dafür gelten, dass sich die Sanierung des Gebäudes mit Blick auf eine CO<sub>2</sub>-Emissionsvermeidung und dem daraus resultierenden Beitrag zum Klimaschutz gelohnt hat.

<b>Sanierungsbedingte CO<sub>2</sub>-Mengen</b>	Materialbilanzmethode (kg)	516.395			
	Input-Output-Analyse (kg)	501.142			
<b>Durch geringeren Energiebedarf vermiedene CO<sub>2</sub>-Mengen pro Jahr</b>					
	Fernwärme – 70% KWK	<i>Erdgas</i>	<i>Heizöl</i>	<i>Fernwärme-0% KWK</i>	
Vermiedene CO <sub>2</sub> -Menge kg/a	998.827	1.007.329	1.098.013	1.232.622	
CO <sub>2</sub> -Einsparung/a	68 %	68 %	68 %	69 %	
<b>Amortisationsdauer in Monaten</b>					
Materialbilanzmethode	6,2 <sup>*)</sup>	6,2	5,6	5,0	
Input-Output-Analyse	6,0	6,0	5,5	4,9	

<sup>\*)</sup> Rechengang: vermiedene CO<sub>2</sub> Menge/a / sanierungsbedingte CO<sub>2</sub> Menge = Jahre \* 12 = Monate

*Tabelle 3–34: Amortisationsdauer der vermiedenen und aufgewendeten CO<sub>2</sub>-Emissionen*

### 3.5.4 Fazit

#### Kritische Betrachtung der Methoden

Ziel der Input-Output-Analyse und die Materialbilanzen-Methode ist es, eine schnelle und vereinfachende Aussage bezüglich der Zielsetzung zu ermöglichen, um nicht die wesentlich aufwendigeren Verfahren der Prozesskettenanalyse oder der gesamte Ökobilanzierung durchführen zu müssen.

## **Die Input-Output-Analyse**

Für gesamtwirtschaftliche Fragestellungen ist die Input-Output-Analyse eine etablierte und bewährte Methode, um komplexe Prognosen zu ermöglichen und um die Auswirkungen einer investiven Maßnahme zu untersuchen. Ihre Stärke ist die gesamtwirtschaftliche Betrachtungsweise, die die Verflechtung der Wirtschaftsbereiche und deren Beziehung zueinander berücksichtigt. Diese Stärke ist jedoch zugleich auch eine Schwäche des Modells, da eine Klassifikation von Teilbereichen stets Verallgemeinerungen zur Folge hat. So werden immer Wirtschaftsbereiche oder Produktionsstrukturen miteinbezogen, die auf den vorliegenden Untersuchungsgegenstand nur zum Teil oder gar nicht zutreffen. Zudem ist es nicht möglich, den Einfluss zu bestimmen, den die zu berücksichtigenden Wirtschaftsbereiche haben. Aufgrund ihrer gesamtwirtschaftlichen Ausrichtung ist somit, egal welche Vorgehensweise bei der Zuordnung der Kosten auf die einzelnen Wirtschaftsbereiche gewählt wird, ihr Unsicherheitsfaktor nicht zu beseitigen. Je detaillierter das Ziel der Aufgabenstellung ist, umso weniger sind die groben Verallgemeinerungen des Modells geeignet, eine wirklichkeitsgetreue Aussage zu ermöglichen.

Die Qualität einer Input-Output-Analyse steht und fällt mit den zur Verfügung stehenden Kostendaten. Die Methode verspricht eine Vereinfachung, wenn die Datenbasis so geschaffen ist, dass die Kosten verursachungsgerecht und transparent erfasst werden können.

## **Die Materialbilanz-Methode**

Die Materialbilanzmethode stellt die komplexere und zeitaufwendigere Methode dar. Es ist zu empfehlen und sogar notwendig, die für die Anwendung dieser Methode benötigten Daten projektbegleitend zu erfassen, also schon während der Planungs- und Durchführungsphase. Des Weiteren sollten alle am Projekt beteiligten Personen darauf achten, dass die erforderlichen Daten (verbaute Materialien, Mengen- und Gewichtsangaben, Personal- und Stundeneinsatz usw.) ständig kontrolliert und aktualisiert werden. So können Annahmen und Abschätzungen vermieden werden, die aufgrund fehlender Daten getroffen werden müssen und das Endergebnis im erheblichen Maße beeinflussen können.

Das größte Problem für alle Materialbilanzen sind die unzureichenden Herstellerangaben bezüglich der im Produkt enthaltenen Materialien und deren Gewichte sowie die Ermittlung dieser notwendigen Daten.

Eine weitere mögliche Fehlerquelle sind die Zuschlagsätze, über die Fertigungsprozesse berücksichtigt werden. Andererseits ist dieses Vorgehen aber als Vereinfachung gegenüber der Prozesskettenanalyse zu sehen. Weiterhin wird eine Vielzahl von Produkten eingesetzt, wobei selbst die Produkte einer Baureihe einen enormen Größen- und Gewichtsunterschied aufweisen können. Dieses Problem impliziert die Schwierigkeiten einer Abschätzung bzw. deren Folgen.

Generell sollte versucht werden, die Verwendung von prozentualen Zuschlägen so gering wie möglich zu halten und stattdessen auf anerkannte Studien, eigene Messungen oder auch auf bewährte Modellinstrumentarien zurückzugreifen.

Die Materialbilanz-Methode ist ein Handwerkszeug, das es gestattet, die CO<sub>2</sub>-Emissionen von Energiesparmaßnahmen abzuschätzen. Die Genauigkeit hängt von der Vollständigkeit und dem Detaillierungsgrad der vorhandenen Daten ab.

Ein Vorteil gegenüber der Input-Output-Analyse ist darin zu sehen, dass die Materialbilanz-Methode die in die Untersuchung eingehenden Produkte und deren Materialien als Ausgangsbasis nutzt und somit einen direkteren Bezug herstellt. Des Weiteren ist der hohe Detaillierungsgrad ein Pluspunkt, so dass von einer guten Genauigkeit des Ergebnisses ausgegangen werden kann.

### **3.5.5 Zusammenfassende Bewertung**

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die ökologische Zweckmäßigkeit der energetischen Laborsanierung im Hinblick auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu überprüfen. Dabei wurden die von der Sanierung verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen mit den durch die Sanierung bewirkten CO<sub>2</sub>-Einsparungen verglichen und eine CO<sub>2</sub>-Amortisationszeit ermittelt.

Die bei der Sanierung freigesetzten Emissionen wurden nach zwei unterschiedlichen Methoden ermittelt, der Materialbilanzierung (Methode 1) und der Input-Output Analyse (Methode 2). Während Methode 1 mit den eingesetzten Materialmassen in Kilogramm und den zugehörigen CO<sub>2</sub>-Koeffizienten arbeitet, basiert die Methode 2 auf den getätigten Investitionen in Euro, die mit Hilfe der gesamtwirtschaftlichen Input-Output-Tabelle in entsprechende CO<sub>2</sub>-Emissionen umgerechnet wurden. Beide Methoden berücksichtigen die Emissionen der Vorleistungen und führen so für CO<sub>2</sub> eine ganzheitliche Bilanzierung durch.

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 Eigenarten geeignet sind, die CO<sub>2</sub>-Emissionen einer Laborgebäudesanierung hinreichend genau abzuschätzen. So haben sich nach Methode 1 für die Durchführung der Sanierung CO<sub>2</sub>-Emissionen von 516 Tonnen ergeben und nach Methode 2 rund 501 Tonnen. Die Abweichung der beiden Zahlen liegt bei etwa 3 %. Dies ist angesichts der vielen Unsicherheiten ein zufriedenstellendes Ergebnis.

Die durch die Sanierung vermiedene CO<sub>2</sub>-Emission bei der späteren Energieversorgung des Gebäudes liegt im Bereich von 1.000 bis 1.200 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr. Der höhere Wert errechnet sich, wenn die Wärmeversorgung auf der Basis von Heizöl erfolgt und der niedrigere Wert bei Fernwärmeversorgung mit KWK-Nutzung, so wie es im Forschungszentrum der Fall ist. Der Energiebedarf aufgrund der wissenschaftlichen Experimente im Labor ist nicht berücksichtigt.

Aus den Zahlen ergibt sich eine CO<sub>2</sub>-Amortisationszeit der Sanierung von 5 bis 6 Monaten. In diesem Zeitraum wird wegen der besseren Wärmedämmung und besseren Techniken genau die Menge an CO<sub>2</sub> vermieden, die bei der Sanierung freigesetzt 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 CO<sub>2</sub>.

## 3.6 Sozialwissenschaftliche Bewertung einer Sanierung

### 3.6.1 Methoden

Dass die Sanierung des Laborgebäudes zu wesentlichen Energieeinsparungen führt, haben erste Analysen gezeigt. Ziel einer Sanierung ist aber auch, das Arbeitsumfeld zu verbessern, indem etwa der Bedienkomfort gesteigert wird oder die Belüftung und Lichtverhältnisse optimiert werden. Diese Maßnahmen wirken stark auf die Nutzer des Gebäudes ein. Um ihm Eingriffsmöglichkeiten zu bieten, wurden bei dieser Sanierung seitens der technischen Gebäudeausstattung im Rahmen der vorbestimmten Sollwerte Spielräume eingeräumt. Das bedeutet, dass der Nutzer durch sein Verhalten den Energiebedarf zumindest innerhalb bestimmter Grenzen mitbestimmen kann bzw. mitbestimmt. Aus diesem Grund ist es wichtig, sein Verhalten, seine Reaktionen zu erfragen, um gegebenenfalls technische Korrekturen vornehmen zu können bzw. sie bei zukünftigen Vorhaben direkt zu berücksichtigen.

Die Benutzer des sanierten Gebäudes sollten daher nach ihrer Zufriedenheit mit dem Gebäude insgesamt und mit der technischen Gebäudeinstallation im Speziellen befragt werden. Von zentraler Bedeutung ist es, ob die technischen Einrichtungen akzeptiert und genutzt werden und welche Probleme bei den Nutzern auftreten. Es gilt herauszufinden, ob sich die Nutzer entsprechend den vorgesehenen Nutzungskonzepten verhalten oder nicht, so dass ihr Verhalten bzw. ihr Eingreifen gegebenenfalls bestimmte Maßnahmen unwirksam macht.

Um dem angegebenen Erkenntnisinteresse gerecht zu werden, kommen sowohl quantitative (standardisierte Befragung) als auch qualitative Erhebungsinstrumente (Fokusgruppengespräche, Tiefeninterviews) zum Einsatz (Methodenmix). Die qualitativen Erhebungsinstrumente übernehmen hierbei sowohl eine validierende und ergänzende als auch vertiefende Funktion.



### 3.6.2 Die standardisierte Befragung

Generell sollte das Erhebungsinstrument (Fragebogen) sowohl auf die Zielsetzungen der Erhebung als auch auf die Bedürfnisse der Nutzer abgestimmt werden. Es ist darauf zu achten, dass sich der Aufwand für die Befragten im Rahmen hält. Daher bietet sich eine standardisierte Befragung an. Gegenüber der persönlichen und der telefonischen Befragung hat die schriftliche Befragung den Vorteil, dass die Befragungsteilnehmer selbst darüber entscheiden können, wann sie sich mit der Beantwortung der Fragen beschäftigen wollen.

Der Fragebogen ist so zu gestalten, dass das technische Know-how der Nutzer berücksichtigt wird. So ist insbesondere bei Fragen zu der technischen Gebäudeausstattung auf den Kenntnisse und Erfahrungen der Nutzer zu achten. Die Fragen sind möglichst einfach und lebensnah zu formulieren.

Hinsichtlich des Umfangs und Inhalts muss der Fragebogen geeignet sein,

- die Einzelheiten der technischen Gebäudeausstattung und der sonstigen baulichen Maßnahmen mit ihren (Aus-)Wirkungen für die Nutzer abzubilden,
- daraus die Akzeptanz abzuleiten, die der Nutzer unterschiedlichen Bausteinen des Modellprojektes entgegenbringt,
- eine verlässliche Einschätzung der Zufriedenheit der Nutzer mit der Situation im Gebäude insgesamt sowie detailliert zu Nutzungs-/Funktionsbereichen (gemeinschaftliche Bereiche, Büro-, Labor- und Seminarräume) und technischen Maßnahmenpaketen zu erhalten,
- mögliches Fehlverhalten – entweder aus Unkenntnis oder bewusstem Handeln, bspw. aufgrund mangelnder Akzeptanz – aufzudecken,
- Hinweise für die Verbesserung der Situation in der Betriebsphase zu liefern,
- Hinweise für die Übertragbarkeit der Maßnahmen des Modellprojektes auf ähnlich gelagerte Sanierungen zu generieren.

Die Durchführung der Befragung

Für die Durchführung der Befragung bietet sich eine schriftliche Totalerhebung bei allen Mitarbeiter/innen an, die regelmäßig und dauerhaft in dem Gebäude arbeiten. Zusätzlich empfiehlt sich, ein Anschreiben zu verfassen, das die Ziele darstellt, die mit dieser Befragung verbunden werden und welcher Nutzen dadurch für den Betrieb des Gebäudes verbunden ist. Mit solch einem Begleitschreiben werden die Akzeptanz der Befragung bei den Befragungsteilnehmern und die Rücklaufquote erhöht.

Den Befragungsteilnehmern muss darüber hinaus Anonymität zugesichert werden, d.h. dass die Gesamtergebnisse so verdichtet werden, dass Rückschlüsse auf die Antworten eines einzelnen Befragungsteilnehmers nicht möglich sind. Es jedoch zu empfehlen, die Fragebögen so zu kennzeichnen, dass der Ausführende der Befragung für die Steuerung des Rücklaufs erkennen kann, wer noch nicht geantwortet hat. So ist eine gezielte Nachfrageaktion möglich, um den Rücklauf zu erhöhen und damit auch die Aussagekraft zu verbessern.

### **3.6.3 Die Fokusgruppengespräche**

Im Anschluss an die schriftliche Totalerhebung können persönliche Gespräche mit den Nutzern vor Ort als Fokusgruppengespräche durchgeführt werden. Eine Fokusgruppe besteht aus etwa fünf bis maximal zehn Teilnehmern, die unter Anleitung eines Moderators über die verschiedenen Sanierungsaspekte diskutieren und zu diesen ihre Meinung bzw. ihre Einschätzung abgeben. Die Dauer des Gesprächs ist aufgrund der Arbeitsbelastung der Mitarbeiter auf ca. eine Stunde zu begrenzen. So erhält man in kurzer Zeit ein breites Spektrum an Meinungen, Ansichten und Ideen über den Themenbereich.

Eine Fokus-Gruppe hat den Vorteil, dass verschiedene Themenschwerpunkte auch noch während der Gruppenarbeit vom Moderator gesetzt werden können. Die Fragestellungen lehnen sich an den Fragenkatalog der schriftlichen Befragung an, werden aber zusätzlich um Eigenheiten ergänzt. Um die Informationstiefe zu erhöhen, sollen die Themen, die in der Gruppe angesprochen werden, anhand der Zwischenergebnisse der schriftlichen Befragung ausgewählt werden. Dadurch kann die Informationstiefe der Erkenntnisse aus der anonymen Befragung deutlich erhöht werden. Fokusgruppengespräche bieten die Möglichkeit, auf Einzelheiten einzugehen, die mit einem zeitlich und dem Umfang nach begrenzten Fragebogen naturgemäß nicht erhoben werden können. Die Gespräche dienen zugleich dazu, die Ergebnisse der Totalerhebung zu validieren.

Es sollte gewährleistet sein, dass eine ruhige Gesprächsatmosphäre herrscht und die Gesprächspartner nicht durch Störungen abgelenkt werden. Die Gespräche sollten aufgezeichnet und transkribiert werden. Auch hier ist den Gesprächspartnern Anonymität zuzusichern. Meinungen und Einstellungen, die von einzelnen Teilnehmern geäußert werden, können auf ihre Konsensfähigkeit hin überprüft werden. Die Grupsituation führt dazu, dass erstens unbewusste Sachverhalte aufgedeckt und spontane Reaktionen gefördert werden und zweitens eine erhöhte Auskunftsbereitschaft durch Gruppendynamik (psychologische Kleingruppeneffekte - Schneeballeffekt) erreicht wird.

Anschließend werden die Ergebnisse ausgewertet und dokumentiert. Sie lassen sich sowohl für die weitere Optimierung der Betriebsphase als auch auf ähnliche Fallsituationen übertragen.

#### **3.6.4 Erkenntnisse aus der Nutzerbefragung im aktuellen Projekt**

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Teilnahme an der schriftlichen Befragung gering ausfiel, während die Teilnahme an den Fokusgruppengesprächen dagegen als sehr gut bezeichnet werden kann. Um den Rücklauf für zukünftige Befragungen zu erhöhen, erachten wir eine intensivere Aufklärung über die Motive der Studie als wichtig. Zudem könnte ein Online-Fragebogen den Rücklauf zusätzlich leicht erhöhen.

Die Fragebögen wurden von den Mitarbeitern sorgfältig ausgefüllt, so dass alle Fragebögen verwendet werden konnten. Auch die Teilnahme innerhalb der Gruppendiskussionen kann als sehr aktiv bewertet werden und lieferte wichtige Aspekte, die durch die Befragung nicht so klar zu Tage getreten waren.

Ohne weiter in die Tiefe zu gehen, zeigen sich jetzt schon einige Bereiche, die wichtige Aufschlüsse über die Nutzerzufriedenheit zulassen:

- Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind insgesamt mit dem neuen Gebäude zufrieden. Die Behaglichkeit ist gut, und die Bedingungen am Arbeitsplatz sind besser, als in den meisten anderen vergleichbaren Einrichtungen.
- Die Beleuchtung der Verkehrsflächen und der Büros wird als sehr gut bewertet. Vor allem überzeugen die Tageslichteinlenkungen und die Bewegungssensoren zur Lichtsteuerung. Mängel bestehen in der Ausrichtung der Leuchten in den Laboren.
- Die Kühlung des Gebäudes wird tendenziell ebenfalls als gut eingeschätzt, allerdings bestehen teils erhebliche Mängel in der individuellen Regelung der Lüftung in den Laborbereichen. Hier erscheint eine raumindividuelle Optimierung der Lüftungsströme notwendig.
- Das Empfinden bezüglich der Raumtemperatur wird sehr differenziert eingestuft. Generell zeigt sich, dass eine Regulierung der Raumtemperatur Schwierigkeiten bereitet und daher die Zufriedenheit negativ beeinflusst.

Die Auswertung aller Fragebögen und vor allem der Fokusgruppengespräche erlaubt eine äußerst detaillierte Einschätzung bezüglich der meisten Parameter der Nutzerzufriedenheit. In vielen Fällen wird durch eine geringe Anpassung der technischen Gebäudeausstattung eine Optimierung sowohl aus energetischer Sicht als auch aus Behaglichkeitsgründen erfolgen können.

Insgesamt fühlen sich die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Gebäudes nicht ausreichend über die Möglichkeiten der Einregulierung der technischen Anlagen informiert. Daher erscheint eine Erarbeitung eines Nutzerhandbuchs und eine Einweisung von Mitarbeitern in zentralen Funktionen – bspw. Laborleiter – äußerst hilfreich, um die Zufriedenheit im Umgang mit den Regeleinrichtungen zu erhöhen.

### 3.7 Literaturverzeichnis zu Abschnitt 3

- [3-1] Schiller, H.: Energieverbrauch raumluftechnischer Anlagen – Vorschlag für ein Berechnungsverfahren, HLH November 1994
- [3-2] 34. Rahmenplan für den Hochschulbau nach dem Hochschulbauförderungsgesetz 2005-2008, Vom Planungsausschuss für den Hochschulbau mit Wirkung vom 27. Januar 2005 beschlossen, [www.bmbf.de/pub/rplan\\_34.pdf](http://www.bmbf.de/pub/rplan_34.pdf)
- [3-3] Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 1995 und 2003
- [3-4] Bund der Energieverbraucher, [www.energienetz.de](http://www.energienetz.de)
- [3-5] Mitteilungen der Baudirektion des Forschungszentrums Jülich, 2005.
- [3-6] Mitteilungen von K. Gabrysch, Solar Institut Jülich, 2005.
- [3-7] Hille M., Strategieoptionen für Energieversorgungsunternehmen als Reaktion auf einen rückläufigen Absatz im Wärmemarkt, Dissertation, Bremer Energie Institut, Bremen 2002.
- [3-8] Architekten Allnoch und Hütt, [www.hmp-architekten.de/referenzen/html](http://www.hmp-architekten.de/referenzen/html)
- [3-9] Ingenieurgesellschaft Höpfner, Energetische Sanierung des Laborgebäudes 06.2, Dokumentation zu den Planungsentscheidungen, 14.07.2002, Köln.
- [3-10] Kreditanstalt für Wiederaufbau, [http://www.kfw-formularsammlung.de/Konditionen/Ausgabe\\_Programmgruppe\\_7.html](http://www.kfw-formularsammlung.de/Konditionen/Ausgabe_Programmgruppe_7.html)
- [3-11] Studie zum Energiebedarf - Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation, Projektbericht, 20.04.2002, <http://www.fz-juelich.de/ste/datapool/pdf/DynamischeGebaeude-undAnlagensimulation.pdf>
- [3-12] Manager Magazin, [www.manager-magazin.de/geld/geldanlage.....](http://www.manager-magazin.de/geld/geldanlage.....)
- [3-13] Mitteilungen von H. Schiller, schiller engineering, Hamburg 2005.
- [3-14] Persönliche Mitteilungen von H. Schlör, Programmgruppe STE, Forschungszentrum Jülich, 2005.
- [3-15] Schüller K.H., Methodisches Vorgehen bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Kraftwerken, Verlag TÜV Rheinland, Köln 1985.

- [3-16] B. Vogel, I. Holzkamm: Sanierung von Chemiegebäuden an Hochschulen, Hochschulplanung Band 1009, Hochschul-Informations-System GmbH, (HIS)Hannover 1995.
- [3-17] Corradini, R., Hutter, C., Köhler, D.; Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen-Teil I Allgemeiner Teil, Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München 1999
- [3-18] Schlüchtermann, F., Wagner, H.-J.: Ermittlung des kumulierten Energieaufwandes für Bau und Nutzung eines Einfamilienhauses, Fachbereich Ökologisch verträgliche Energiewirtschaft, Universität GH Essen 1996
- [3-19] Schoer, K., Flachmann, C., Heinze, A., Schäfer, D., Waldmüller, B.: Bericht des Statistischen Bundesamtes zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR), Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2001
- [3-20] Statistisches Bundesamt, Umweltökonomische Gesamtrechnungen - Material- und Energieflussrechnungen, Fachserie 19 / Reihe 5, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2003
- [3-21] Wagner, H.-J., Mense, B., Wenzel, P, Gürzenich, D., Pick, E., Urosevic, E.: Systemuntersuchung Photovoltaik-Ökologische Bewertung, Fachbereich Ökologisch verträgliche Energiewirtschaft, Universität GH Essen 1996

## 4 Empfehlungen für die Laborgebäudesanierungspraxis

Aus der wissenschaftlichen Begleitung der Sanierung des Laborgebäudes im FZJ ergab sich, dass trotz Umsetzung eines gesamtheitlichen Sanierungskonzeptes mit herkömmlichen und innovativen Komponenten nicht zwangsläufig die geplante maximale Energieeinsparung erreicht wird.

Die Ursachen sind vielschichtig. Sie reichen von technischen Mängeln in der Ausführung über die nicht optimale Abstimmung der Einzelkomponenten, den komplexen Regelmechanismen bis hin zum nicht immer energiegerechten Verhalten des Nutzers.

Dieses Bauvorhaben wurde wissenschaftlich begleitet, d.h. der Aufwand an Simulationen, Überprüfung der Planung, Ausführung und des Betriebes durch Messtechnik und Auswertung, Einsatz von innovativen Komponenten und Einbeziehung der sozialen Faktoren sollten Hinweise auf häufige Fehlerquellen geben. Erst durch Kenntnis der häufigsten oder gravierendsten Ursachen kann man Strategien oder Empfehlungen für zukünftige Sanierung entwickeln.

Jedes Bauprojekt, ob Neubau oder Sanierung, kann man in mehrere Projektphasen aufteilen. Im Verlauf dieser Phasen sind einzelne Aufgaben abzuarbeiten und weiterführende Planungsentscheidungen zu treffen.

Die einzelnen Phasen eines Bauprojektes:

- Projektentwicklung (Entwurfsphase)
- Bedarfsplanung
- Planung und Ausführung
- Betrieb und Nutzung

## 4.1 Entwurfsphase

In der Entwurfsphase werden die Weichen für die spätere Planung und Nutzung gestellt. Bereits in dieser frühen Phase ist eine enge Zusammenarbeit mit dem späteren Nutzer dringend anzuraten, damit nicht am Bedarf vorbeigeplant wird. Spätere Planungs-Änderungen evt. Umbau oder Umnutzung kosten Zeit und Geld und gefährden das Ergebnis.

Ein gesamtheitlicher Planungsansatz, auch als **integrale Planung** bezeichnet bietet in Hinsicht auf die Kommunikation und Zusammenarbeit aller am Projekt beteiligter Gruppen, wie z. B. Planerteams für unterschiedliche Gewerke, Nutzer und Betreiber die besten Erfolgsaussichten.

Jedes Laborgebäude ist eine Einzelfertigung, welches speziell für die spätere Nutzung geplant wird. In der Forschung ändern sich die Forschungsschwerpunkte erfahrungsgemäß in einem Zyklus von 5-15 Jahren. Dies ist bei einem Laborgebäude für die Lehre (Universität – Fachhochschule) anders.

Nur der zukünftige Nutzer kann seine speziellen Anforderungen konkretisieren. Er weiß in welchen „Forschungsschwerpunkten“ er nach der Sanierung arbeiten wird, wie hoch der Personalbestand geplant ist, welche Geräte er benötigt und welche Vorbereitungsräume dafür notwendig sind z.B. NMR Geräte, Anzuchträume, Kühlräume, Sonderräume für Umgang mit transgenen Pflanzen oder Gefahrstoffen. Eine enge Zusammenarbeit mit dem Entscheidungsträger, hier dem Institutsleiter oder speziell abgestellten Koordinatoren hat sich bewährt. Die intensive Teilnahme an dieser Phase des Planungsprozesses ist „Chefsache“, welche nicht delegiert oder nebenbei betrieben werden kann.

## 4.2 Bedarfsplanung

Der Sanierungsbedarf eines Gebäudes ergibt sich primär aus dem Zustand des Gebäudes und der technischen Ausstattung, bzw. aufgrund einer Änderung von gesetzlichen und technischen Bestimmungen.




Eine Sanierung eines Gebäudes kann ebenfalls sinnvoll werden, wenn größere Um-  
baumaßnahmen z. B. aufgrund von Nutzungsänderungen oder zukünftigen geänder-  
ten Arbeitmethoden erforderlich werden.

Zur Feststellung des Sanierungsbedarfs sollte eine Zustandsbewertung erfolgen.  
Diese kann man gliedern in eine technische Bewertung:

Feststellen des Sanierungsbedarfes			
An der Gebäudehülle, Gebäudetechnik, Laborausstattung, Infrastruktur, Neustrukturierung des Gebäudes/Nutzungsänderung			
Klassifizierung der einzelnen Sanierungsmaßnahmen			
Notwendige Maßnahmen	Einzel- instandsetzungen	Renovierungs- maßnahmen	Umfassende Instandsetzungen
Sofortmaßnahmen Gefahrenabwehr Schadensminderung	Ersatzbeschaffung Koppelmaßnahmen	Schutz- und Pflegetmaßnahmen Verschönerungen	Erneuerung am Ende der Lebensdauer Grundsanierung

*Tabelle 4-1: Sanierungsablauf – technische Bewertung*

und eine wirtschaftliche Bewertung:

Klassifizierung der einzelnen Sanierungsmaßnahmen
Bewertung der Sanierungsmaßnahmen mit Kosten
Identifizierung der notwendigen Maßnahmen (Berechnung – Simulation)
Welche Maßnahmen sind am wirtschaftlichsten (höchstes Einsparpotential - Folgekosten – Ausfallsicherheit – Lebensdauer)

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

*Tabelle 4-2: Sanierungsablauf – wirtschaftliche Bewertung*

Der nächste Schritt im Rahmen der Sanierungsplanung ist die Identifizierung der Hochenergieverbraucher.

Zunächst muss man sich bewusst sein, dass ein Laborgebäude aus mehreren Nut-  
zungseinheiten besteht. Dies sind z. B. chemische Labore, physikalische Labore,  
Labore nach GenTVo, Büros, Lager, Technik Räume, EDV Räume, Seminarräume,  
Verkehrswege, Sanitäre Einrichtungen etc. Eine einheitliche Empfehlung, die für alle  
Nutzungseinheiten gleichermaßen zutrifft wird es nicht geben.

Aus energetischer Sicht unterscheiden sich diese Nutzungsbereiche. Ein Labor ist ein „Hochenergieverbraucher“. Dies wird deutlich, wenn man die benötigten Installationen betrachtet: Lüftung, Heizung und Kühlung (wegen Temperaturkonstanz), Beleuchtung, elektrische Verbraucher in Form von Messgeräten, Experimenten

Ein Büro benötigt vorwiegend Energie in Form von Beleuchtung oder Wärme. Das Büro ist also im Vergleich zum Labor ein „Niedrigenergieverbraucher“.

Ein Seminarraum hat wiederum eine andere Charakteristik. Er wird oft nur punktuell für Vorträge oder Besprechungen benutzt. Im Falle der Nutzung benötigt er die bereitgestellte Infrastruktur, wie Lüftung, Beleuchtung, Heizung kurzfristig und in einem stärkeren Maße wie ein Büro. In der Projektentwicklung muss man die verschiedenen benötigten Nutzungseinheiten identifizieren und deren späteren Anteil am Gesamtenergiebedarf bewerten

Wenn die bisherige Nutzung mit der geplanten Nutzung nach der Sanierung übereinstimmt, kann man den prozentualen Anteil der einzelnen Einheiten am Gesamtenergiebedarf durch Messungen, vorliegenden Verbrauchswerten oder auf Grund von Erfahrungssätzen oder Simulationen ableiten.

Durch die Identifizierung der Hauptenergieverbraucher kann der Sanierungsumfang festgelegt werden. Bei beschränktem Mitteleinsatz ist es sinnvoll, die Sanierungsmaßnahmen so zu steuern, dass die größten Energieverbraucher optimiert bzw. ersetzt werden, damit die eingesetzten finanziellen Mittel später den optimalen Erfolg bringen.

### **4.3 Planung und Ausführung**

Bereits in der Entwurfsphase der Planung ist die kritische Frage zu stellen, welche Vorgehensweise am wirtschaftlichsten ist - eine Sanierung oder Abriss und Neubau. Dies ist eine Einzelfallentscheidung, welche von vielen Kriterien beeinflusst wird.

Man kann generell nicht davon ausgehen, dass sich die Kosten für eine Großsanierung durch die Energieeinsparung jemals amortisieren (vgl. Kapitel 2.3.1). Wenn aber sowieso eine Sanierung wegen baulicher Mängel, neuer Nutzung oder Abnutzung unumgänglich ist, muss man überlegen, ob man neben der baulichen Sanierung auch den energetischen Faktor stärker berücksichtigt. An vielen Sanierungsmaßnahmen lässt sich belegen, dass durch ein wenig mehr an finanziellem Aufwand [max. 5-10 %], eine geeignete Wahl der Sanierungsmaßnahmen und letztlich durch eine gute Planung die Betriebskosten gesenkt werden und das Befinden der Mitarbeiter und damit der Arbeitserfolg langfristig positiv beeinflusst wird.

Direkt von der Art der Nutzung des Gebäudes hängt die „**Gleichzeitigkeit**“ als ein entscheidender Planungsfaktor ab. Jeder Planer einer Sanierung oder eines Neubaus wünscht sich die entsprechenden Gleichzeitigkeitsfaktoren zur Dimensionierung der Anlagentechnik und zur Energie- und Medienversorgung basierend auf der zukünftigen Nutzung als Zahlenwert zu kennen. Verwendbare Gleichzeitigkeitsfaktoren lassen sich jedoch nur durch die genaue Kenntnis der zukünftigen Nutzungsszenarien entwickeln.

Nutzungsszenarien für Laborgebäude zur Produktion z. B. von Chemikalien oder Medikamenten lassen sich recht einfach ermitteln, da hier über einen langen Zeitraum immer die selben Tätigkeiten zu festgelegten Zeiten ausgeübt werden.

Nutzungsszenarien für Laborgebäude mit Forschungsbetrieb lassen sich dagegen aus den folgenden Gründen kaum ermitteln:

1. die zeitlichen Anteile der Labor- und Bürotätigkeit sind nicht vorhersehbar
2. der Energieverbrauch, die Abwärme, der Medienbedarf und die Anzahl der im Rahmen der Forschungstätigkeit zum Einsatz kommenden Laborgeräte ist nicht vorhersehbar
3. es können jederzeit Umnutzungen der Laborräume basierend auf sich ändernden Forschungsprogrammen stattfinden

Die hier aufgeführten Punkte konnten im Rahmen des Monitorings des Laborgebäudes im FZJ bestätigt werden. Zeitweise wurde in einigen Laboren über einen längeren Zeitrahmen sehr intensiv gearbeitet. Zwischendurch existierten aber auch Zeiträume in denen Labore nicht genutzt wurden. Zusätzlich wurde beobachtet, dass die Anzahl der Nutzer zwischendurch variierte und gegen Ende des Monitorings stark zugenommen hat.

Somit besitzt ein für die Planung einer Sanierung oder eines Neubaus erstelltes Raumbuch nur eine zeitlich begrenzte Gültigkeit.

Um spätere aufwändige Umbaumaßnahmen bei Änderung der Nutzung einzelner Räume oder des gesamten Gebäudes zu vermeiden, ist es sinnvoll die Lüftungs-, Heiz-, Kühl-, und Medienversorgung variabel zu gestalten. Im sanierten Laborgebäude des FZJ wurde dies wie folgt umgesetzt:

1. Die Zu- und Abluftanlage wurde mit Raumluftcontrollern ausgestattet. Dies erlaubt die Anpassung des Luftwechsels in jedem einzelnen Raum auf Basis der vorliegenden Nutzung (chemisches Labor, physikalischer Messraum, etc.).
2. In allen Laborräumen ist es möglich Umluftkühltruhen nachzurüsten oder rückzubauen. Die dazu notwendigen Kaltwasseranschlüsse wurden entsprechend vorgerüstet.
3. Die Versorgung mit Medien (spezielle Gase, Reinstwasser, Druckluft, etc.) wurde so gestaltet, dass in jedem Labor ein nachträglicher Anschluss einfach möglich ist.

#### **4.4 Empfehlungen zur Überprüfung der Sanierungsmaßnahmen**

Die Qualität der Ausführung der Gewerke unter einem energetischen Gesichtspunkt lässt sich im bautechnischen Bereich durch eine Blower-Door-Untersuchung und Thermographien in einem überschaubaren Zeitrahmen gut überprüfen. Der Zeitpunkt für die Blower-Door Untersuchung sollte so gewählt werden, dass die Fassade so weit wie möglich geschlossen, aber die Wärmedämmung noch nicht aufgebracht ist. So lassen sich Undichtigkeiten noch einfach beseitigen.

Im anlagentechnischen Bereich ist eine Überprüfung der Gewerke nur zusammen mit einer Kontrolle der Betriebsweise möglich. Dies ist bei hoch installierten Gebäuden mit komplexer Anlagentechnik innerhalb der für eine Abnahme der Gewerke vorgesehenen Zeit kaum realisierbar. Um den effizienten Betrieb der Anlagentechnik zu überprüfen und Mängel innerhalb der Gewährleistungsfrist anzeigen zu können, bleibt nur die Möglichkeit eines Monitorings der Betriebsweise nach Inbetriebnahme des Gebäudes.

Da es aus finanzieller Sicht nicht möglich ist, in jedem sanierten oder neu errichteten Gebäude eine große Anzahl von Sensoren dauerhaft zur Vermessung der Energieströme und der Funktion einzelner TGA-Komponenten zu platzieren, stellt der Einsatz einer mobilen Lösung zur schnellen und Kosten sparenden Vermessung und Anlagenanalyse von Gebäuden eine interessante Alternative dar. Durch mobile Sensorik ist auch eine spätere Kontrolle des Gebäudebetriebes nach mehreren Jahren einfach möglich.

Um einen energieeffizienten und CO<sub>2</sub> einsparenden Betrieb eines Gebäudes gewährleisten zu können, ist die bisherige Verfahrensweise, den Betriebszustand von Anlageanteilen mittels der Gebäudeleittechnik (GLT) nur zu überwachen, nicht ausreichend. Eine GLT, die nur Betriebszustände und Störungen meldet, wenn Anlagenkomponenten in oder außer Betrieb gehen oder ausfallen, liefert keine Informationen über den tatsächlich erforderlichen Betriebszustand von Komponenten in Hinsicht auf Energieeffizienz.

Es wird im Rahmen der Gebäudeleittechnik zusätzlich eine Methode erforderlich, die den Betriebszustand von Anlagenkomponenten in Abhängigkeit von den Eingangsgrößen der zugehörigen Regelung analysiert und bewertet. Es muss eine Störung ausgegeben werden, wenn z. B. zum energieeffizienten Betrieb eines Freikühlersystems ausreichende Außenlufttemperaturen vorliegen, dieses aber bei Kühlbedarf nicht frei geschaltet wird (Energiewarmmeldung). Dies wäre eine weitere Methode zur schnellen und Kosten sparenden Vermessung und Anlagenanalyse von Gebäuden.

Durch das Monitoring des Laborgebäudes im FZJ mit mobiler Messtechnik und fest installierten Sensoren konnten eine Reihe von Mängeln zum energieeffizienten Betrieb aufgedeckt werden, die ohne messtechnische Begleitung nicht bemerkt worden wären (siehe Kapitel 3.3.4).

Das Nutzerverhalten hat ebenfalls einen entscheidenden Einfluss auf den energieeffizienten Betrieb eines Gebäudes. Im Rahmen der Sanierung des Laborgebäudes im FZJ hat es sich bewährt, in regelmäßigen Abständen den Nutzern mittels Kurzvorträgen den Stand des Energieverbrauches des Gebäudes darzulegen. Im Rahmen dieser Vorträge konnte der Nutzer Fragen äußern und auf Fehlfunktionen der Gebäudetechnik im Bereich seines Tätigkeitsfeldes hinweisen. Zusätzlich wurde der Nutzer mit einer energiesparenden Handhabung der von ihm genutzten Gebäudetechnik vertraut gemacht.

#### **4.5 Empfehlungen für den laufenden Betrieb**

Gerade die Ausrüstung der Labore mit Raumlufthandhabungssystemen bietet zusätzlich zu der Energieeinsparung, die durch eine Nachtabenkung der Luftvolumenströme erreicht wird, weiteres Einsparungspotential. Falls in einem Laborraum nur physikalische Versuche durchgeführt werden, kann der Luftwechsel gegenüber einem chemischen Laborbetrieb weiter herabgesetzt werden. Dazu muss der entsprechende Raum vom zuständigen Sicherheitsbeauftragten umklassifiziert werden. Zusätzlich sind die Nutzer dieses Raumes entsprechend anzuweisen, dass dort keine chemischen Versuche mehr durchgeführt werden dürfen. Diese und vergleichbare auf der Nutzung basierende Maßnahmen zur Energieeinsparung sollten von dem zuständigen Institutsleiter angeregt werden. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass der Nutzer vom Planer der Sanierung über die Möglichkeiten der Gebäudetechnik und deren Nutzung intensiv aufgeklärt wird.

Grundsätzlich ist zu empfehlen, dass auch nach einer längeren Betriebszeit eines Gebäudes mit den ursprünglichen Planern Rücksprache gehalten werden sollte, ob die dann vorliegenden Energieverbräuche des Gebäudes und die Betriebsweise noch dem entsprechen, was geplant war.

## 4.6 Zusammenfassende Bewertung der Sanierungsmaßnahmen

Im 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).

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 oder nach der tatsächlich erzielten energetischen Einsparung.
- **Wirtschaftlichkeit**
- 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/erhebliche positive Auswirkung
- ++** starker positiver Einfluss/ starke positive Auswirkung
- +** positiver Einfluss/ positive Auswirkung
- O** keine positiven oder negativen Auswirkungen
- negativer Einfluss/negative Auswirkung
- starker negativer Einfluss/starke negative Auswirkung
- erheblicher negativer Einfluss/erhebliche negative Auswirkung

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



#### 4.6.1 Integrale Planung

<b>Energetischer Nutzen</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>Komfortgewinn</b>
<b>++</b>	<b>++</b>	<b>+</b>

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.

#### 4.6.2 Simulationen

<b>Energetischer Nutzen</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>Komfortgewinn</b>
<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>

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.

#### 4.6.3 Gebäudehülle

<b>Energetischer Nutzen</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>Komfortgewinn</b>
+	+	+

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.

#### 4.6.4 Zonierung

<b>Energetischer Nutzen</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>Komfortgewinn</b>
++	++	+

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

#### 4.6.5 Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

##### Variable Volumenstromregler (VVR)

<b>Energetischer Nutzen</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>Komfortgewinn</b>
++	+	+

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 Geräuschentwicklung 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**

<b>Energetischer Nutzen</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>Komfortgewinn</b>
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**

<b>Energetischer Nutzen</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>Komfortgewinn</b>
+	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.

#### **4.6.6 Gebäudeleittechnik (GLT)**

<b>Energetischer Nutzen</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>Komfortgewinn</b>
+++	+++	+

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 verantwort-

lich. Da die Kosten der GLT als Sowieso - Kosten angesehen werden, ist eine entsprechend gute Wirtschaftlichkeit gegeben.

#### 4.6.7 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.

#### 4.6.8 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.

#### 4.6.9 Inbetriebnahme

Energetischer Nutzen	Wirtschaftlichkeit	Komfortgewinn
++	+++	o

Gerade im Kontext hoch-installierte 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.

#### 4.6.10 Monitoring

<b>Energetischer Nutzen</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>Komfortgewinn</b>
<b>++</b>	<b>++</b>	<b>+</b>

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.

#### 4.6.11 Nutzerverhalten

<b>Energetischer Nutzen</b>	<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>Komfortgewinn</b>
<b>- - - bis +++</b>	<b>- - bis ++</b>	<b>?</b>

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 unterschiedli-

cher Nutzereigenschaften und Nutzerverhalten sollte in die Konzeption der GLT einfließen.



## Intention des Leitfadens

Ein großer Teil der Labore von Forschungseinrichtungen wird seit 20 oder 30 Jahren betrieben. Dabei entsprechen die Gebäude und deren Anlagentechnik in ihrer Ausrüstung und in ihrem betriebsbedingten Energieverbrauch bei weitem nicht mehr dem Stand der Technik.

In diesem Leitfaden werden Informationen, Planungshilfen, Anforderungen und Bewertungskriterien für die energetische Laborsanierung zusammengestellt. Im ersten Teil werden die Grundlagen für eine energieeffiziente Laborsanierung behandelt, im zweiten Teil werden die an einem konkreten Sanierungsbeispiel gewonnenen Erfahrungen in einer nutzbaren Weise aufbereitet.

Hauptzielgruppe für diesen Leitfaden sind Entscheidungsträger in den Baubehörden und Baudirektionen von Forschungszentren, Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen, die über die Durchführung von Sanierungen zu entscheiden haben und die in der Regel selbst keine energietechnischen Spezialisten sind.

**gefördert durch:**



**im Rahmen von:**

