



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3635
Fax: 0531 / 391 - 3636

EVA – Evaluierung von Energiekonzepten für Bürogebäude

Abschlussbericht

Gesamtleitung

Institut für Gebäude- und Solartechnik - IGS
Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch (Institutsleiter)
Dipl.-Ing. Stefan Plessner (Projektleiter)
Dipl.-Ing. Carsten Bremer

Kooperationspartner

Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Gebäude- und
Solartechnik, Stuttgart
fbta, Universität Karlsruhe
m+p consulting GmbH, Braunschweig
hbr architekten, Hamburg
DEZEM GmbH, Berlin

Förderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Förderkennzeichen

0327346A

EVA wurde unterstützt durch die beteiligten Unternehmen
sowie



Berliner Energie-Fond

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen 0327346A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

„Der Kluge lernt aus seinen Fehlern, der Weise aus den Fehlern anderer.“

Vorwort

Die Evaluierung von Bürogebäuden, die herausragende Beispiele innovativer Architektur darstellen, ist eine Aufgabe, die der Quadratur des Kreises gleichkommt. Auf der einen Seite ist es wichtig, die Erfahrungen aus Gebäuden, mit denen neue Wege beschritten worden sind, für zukünftige Bauherrn, Planer und Nutzer aufzubereiten. Nur so können wir aus erfolgreichen Konzepten lernen und die Wiederholung von Fehlern in der Zukunft vermeiden. Auf der anderen Seite sollten gerade die Bauherren, die das Risiko eingehen, ein innovatives Gebäude zu bauen und den Erfolg des Konzepts überprüfen zu lassen, nicht für mögliche Misserfolge an den Pranger gestellt werden.

Das IGS dankt deshalb allen Unternehmen, die das Projekt EVA unterstützen, für die Möglichkeit, ihre Gebäude im Betrieb zu untersuchen. Ihr Engagement, sowohl durch die finanzielle Unterstützung des Projekts, aber auch durch die offene, konstruktive und engagierte Mitarbeit bei den Untersuchungen, bildete die Grundlage dieses Projekts.

Für den Erfolg von EVA ist die Möglichkeit der Publikation von Untersuchungsergebnissen zu einzelnen Gebäuden besonders wichtig. Wir danken den Unternehmen deshalb insbesondere für die Bereitschaft, eine Vielzahl von Informationen, Messergebnissen und Betriebserfahrungen einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen.

Wir hoffen, den Gebäuden und dem großen Engagement mit einer fachlich angemessenen und objektiven wissenschaftlichen Arbeit gerecht zu werden.

Braunschweig, den 15.12.2007

.....
Univ.- Prof. Dr.- Ing. M. Norbert Fisch
 Institutsleiter

.....
Dipl.-Ing. Architekt Stefan Plesser
 Projektleiter EVA

Institut für Gebäude- und Solartechnik
 Fakultät Architektur, Bauen und Umwelt
 TU Braunschweig

EVA

Evaluierung von Energie- Konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

INHALTSVERZEICHNIS

1 Zusammenfassung / Kurzdarstellung5

2 Das Projekt EVA8

2.1 Motivation und Ziel8

2.2 Ablauf und Methodik10

2.3 Projektdaten und Fördergeber11

2.4 Wissenschaftliche Projektpartner11

3 Stand des Wissens und der Technik12

3.1 Energieeffizienz13

3.2 Nutzerkomfort22

3.3 Gebäudeplanung28

3.4 Energiemanagement29

3.5 Zusammenfassung31

4 Evaluierung32

4.1 Gebäude und Standorte33

4.2 Flächeneffizienz33

4.3 Baukosten38

4.4 Energiemanagement44

4.5 Energieeffizienz46

4.6 Nutzerkomfort (Monitoring)73

4.7 Nutzerbefragungen96

5 Betriebsoptimierung127

5.1 Betriebsanalysen127

5.2 Optimierungspotenziale141

6 Fazit und Ausblick154

7 Anhang157

7.1 Begriffe und Abkürzungen157

7.2 Messtechnik158

7.3 Software160

7.4 Dokumentationsunterlagen161

7.5 Fragebogen Kurzzeit-Monitoring162

7.6 Quellen und Literatur zum Projekt164

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

Als Anhang zu diesem Bericht werden 13 Objektberichte zu einzelnen Gebäuden vorgelegt.

EVA Bericht	Objekt	Kennung
Projektbericht	Zusammenfassung	
Objektbericht 1	Allianz (Riegel)	ALR
Objektbericht 2	Atrium Forum Autovision	ATR
Objektbericht 3	Braun GmbH	BRA
Objektbericht 4	bs.energy	EBS
Objektbericht 5	EnergieForum Berlin	EFB
Objektbericht 6	Innovationscampus Wolfsburg	ICW
Objektbericht 7	LBS Nord	LBN
Objektbericht 8	LBS Ost	LBO
Objektbericht 9	Bürogebäude Lise-Meitner-Straße	LMS
Objektbericht 10	Neubau Informatikzentrum	NIZ
Objektbericht 11	Neumühlen 4 (Rickmers Reederei)	RIC
Objektbericht 12	Simultaneous Engineering Zentrum	SEZ
Objektbericht 13	Siedlungswerk	SWS

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

1 ZUSAMMENFASSUNG / KURZDARSTELLUNG

Das EVA- Projekt hat im Rahmen des Forschungsprogramms Energieoptimiertes Bauen (EnOB) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie in den Jahren 2004 bis 2006 insgesamt 19 Bürogebäude – überwiegend errichtet in den letzten 10 Jahren – hinsichtlich ihrer Energieeffizienz und ihres Nutzerkomforts untersucht. Die Ergebnisse sind in diesem Bericht als Querschnittsanalysen dargestellt. Die Bearbeitung einzelner Gebäude ist in separaten Objektberichten dokumentiert. Im Folgenden werden die Zielsetzungen und das Vorgehen im Projekt sowie die Ergebnisse der Bearbeitung zusammengefasst.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

Zielsetzung und Vorgehen

Das Projekt verfolgte das Ziel, die Energieeffizienz und den Nutzerkomfort in den Gebäuden im Betrieb zu evaluieren. Dazu wurden für alle Gebäude Bestandsaufnahmen durchgeführt und Energiekennwerte gebildet. Anschließend wurden in rund der Hälfte der Gebäude vertiefende Analysen durchgeführt. In Bezug auf die Energieeffizienz standen dabei die Beleuchtung und die mechanische Luftförderung im Mittelpunkt. Der Nutzerkomfort wurde durch Langzeit- und Kurz-Messungen sowie Nutzerbefragungen untersucht. Auf Basis des Monitorings und mit zusätzlichen Analysen der Gebäudeautomation wurden Optimierungspotenziale zur Verbesserung des Betriebs aufgezeigt. Die verschiedenen Methoden wurden anschließend hinsichtlich ihrer Effektivität qualitativ bewertet.

Evaluierung der Energieeffizienz

Die Analyse der Energieeffizienz zeigte, dass die untersuchten Gebäude – in der Regel nicht länger als 10 Jahre im Betrieb – im Mittel um den Faktor 2 effizienter sind als vergleichbare Gebäude aus den 60er- und 70er Jahren, so dass für diesen Entwicklungszeitraum trotz einer zunehmend energieintensiven Büroausstattung und zentraler informationstechnischer Anlagen eine deutliche Verbesserung der Energieeffizienz erreicht werden konnte.

Gleichzeitig sind die Gebäude im Vergleich zu anderen aktuellen Studien mit einem mittleren Jahres-Primärenergieverbrauch von $284 \text{ kWh}_{\text{PE}}/(\text{m}^2_{\text{NGFA}})$ effizienter, liegen jedoch um rund 70 % über den Kennwerten des EnBau-Programms und damit deutlich über den heutigen technisch-wirtschaftlichen Möglichkeiten.

Die Gebäude-Stichprobe – mit Ausnahme eines Gebäudes mit Labornutzung, das für die Kennwertbildung nicht einbezogen wurde, alle vom gleichen Nutzungstyp – weist eine große Streuung der Jahres-Primärenergieverbrauchswerte zwischen 135 und $454 \text{ kWh}_{\text{PE}}/(\text{m}^2_{\text{NGFA}})$ auf.

Die Differenzierung in natürlich und mechanisch belüftete Gebäude zeigte, dass erstere mit $228 \text{ kWh}_{\text{PE}}/(\text{m}^2_{\text{NGFA}})$ einen um rund 30 % niedrigeren Primärenergieverbrauch ausweisen, als die mechanisch belüfteten Gebäude mit $339 \text{ kWh}_{\text{PE}}/(\text{m}^2_{\text{NGFA}})$.

Erheblich ist die Abweichung zwischen den nach DIN V 18599 ermittelten Kennwerten für den Primärenergiebedarf und den Primärenergieverbrauchswerten. Die Verbrauchswerte liegen im Mittel um rund 70 % über den Bedarfswerten.

Evaluierung des Nutzerkomforts

Die Analyse des Nutzerkomforts zeigte, dass auch hier gegenüber typischen Schwachstellen aus den 60er und 70er Jahren eine erhebliche Verbesserung erreicht



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

wurde. So konnten nach den normierten Bewertungsmaßstäben keine Komforteinbußen in Bezug auf Strahlungsasymmetrie, Temperaturschichtung und Zugluft festgestellt werden.

Im Winter wurden bei 30 % der Messungen Überschreitungen des gegenüber der DIN 1946-2 verschärften Grenzwerts von 1.000 ppm nach DIN EN 13779 festgestellt. Auffallend war, dass die Werte sich für mechanisch und über Fenster gelüftete Räume nur geringfügig unterschieden. Von den Nutzern gaben hierzu 45 bzw. 55 % an, im Winter immer oder oft über die Fenster zu lüften. Während der Messungen im Winter (Außentemperaturen unter 10°C) waren im Mittel 5 % der Fenster während der Nutzungszeit geöffnet, in den mechanisch belüfteten Räumen geringfügig weniger als in den über Fenster belüfteten Räumen.

Die sommerliche Überhitzung der Büros war das signifikanteste Problem, dass sowohl messtechnisch als auch in den Nutzerbefragungen in fast allen Gebäuden deutlich wurde. Im Mittel wurden in 66 Büroräumen 182 Überhitzungsstunden pro Jahr mit einer Raumtemperatur über 26°C während der Nutzungszeit, dies entspricht rund 7 %, gemessen. Die insgesamt sehr gleichmäßig verteilten Werte lagen im Höchstfall bei über 400 h/a (ca. 15 %). Eine signifikante Abhängigkeit zu baulichen Qualitäten der Räume wie dem Verglasungsanteil oder der Ausrichtung konnte nicht festgestellt werden. Lediglich zwischen den Kühlsystemen wurden Unterschiede deutlich. Das Nutzerverhalten, dass im Rahmen des Kurzzeit-Monitorings untersucht wurde, gab Hinweise auf mögliche Ursachen für die Überhitzung: rund 70 % der Nutzer in nicht oder mit geringer Leistung gekühlten Räumen, gaben an, die Fenster im Sommer immer oder häufig zur Regulierung der Raumtemperatur zu öffnen.

Die Nutzerbefragungen in sieben Gebäuden, durchgeführt in sieben Gebäuden durch das Fachgebiet Bauphysik und Technischer Ausbau der Universität Karlsruhe, zeigten, dass die Bewertungen „zu kalt“ oder „zu warm“ je nach Jahreszeit einen signifikant unterschiedlichen Einfluss auf die Zufriedenheit mit dem Raumklima haben. Größter Einflussfaktor auf die Zufriedenheit mit dem Raumklima war nicht die Temperatur selbst, sondern die wahrgenommene Einflussmöglichkeit auf die Raumtemperatur. Zusätzliche Einflussfaktoren sind die empfundene Luftqualität und die empfundene Luftfeuchte. Darüber hinaus wurde durch Korrelation der individuellen Zufriedenheitsparameter mit der allgemeinen Zufriedenheit mit dem Arbeitsplatz ein Bewertungssystem entwickelt, welches das Facility Management bei der Optimierung des Gebäudebetriebs unterstützen kann

Betriebsoptimierung

Der zum Teil hohe Aufwand zur praktischen Umsetzung eines energieeffizienten Konzepts fand bei den meisten Gebäuden keine Entsprechung im Energiemanagement. In der Regel lagen nur Abrechnungen der Energieversorger und monatliche Ablesungen einzelner Zähler vor. Ein Vergleich zwischen Planungszielen und Betrieb lag zumeist nicht vor. Eine Verallgemeinerung dieser Feststellung muss jedoch berücksichtigen, dass die EVA-Stichprobe nicht repräsentativ ist und einige Unternehmen aus eben diesem Grund am Projekt teilgenommen haben.

Es wurden verschiedene Methoden zur Analyse des Gebäudebetriebs angewendet. Es zeigte sich, dass eine ingenieurtechnische Bestandsaufnahme der Gebäude einschließlich durch Sichtprüfung feststellbarer Aspekte der Betriebsführung bereits Aufschluss über Optimierungspotenziale geben kann. Nur bedingt aussagekräftig sind Verfahren zur Energiekennwertbildung, da aus der Höhe des Energieverbrauchs nicht direkt auf Einsparpotenziale geschlossen werden konnte. Auch aus Verbrauchskennlinien konnten kaum Maßnahmen abgeleitet werden. Hinzu kam hier, dass nur bei wenigen Gebäuden die entsprechenden Messeinrichtungen in geeigneter Weise vorhanden waren. Energie- und Leistungsdaten wurden rückwirkend nur von einigen Energieversorgern verfügbar gemacht.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

Als sehr effektiv, jedoch zum Zeitpunkt der Bearbeitung noch nicht methodisch unterlegt, erwies sich die Analyse von Daten der Gebäudeautomation. Zwar war auch hierfür neben der in fast allen Gebäuden vorhandenen Leittechnik die Möglichkeit eines aussagekräftigen Datenexports sowie eine entsprechende Zeitspanne zur Datenerfassung notwendig, doch konnten auf dieser Basis diverse Optimierungspotenziale und zum Teil signifikante Verbesserungen hinsichtlich Energieeffizienz und Nutzerkomfort festgestellt werden.

Es wurden in den Gebäuden 55 Einzelmaßnahmen zur Optimierung identifiziert, die zum Teil auf die Planung zurückzuführen waren. 30 Maßnahmen wurden als nicht- bzw. gering-investiv mit Amortisationszeiten unter 3 Jahren bewertet. Besonders effektiv sind dabei naturgemäß Maßnahmen, die lediglich Anpassungen von Soll-Werten oder Betriebszeiten von Anlagen betrafen.

Anmerkungen zur Projektbearbeitung und Ausblick

Die Bearbeitung der Gebäude erwies sich als sehr umfangreich und komplex. Die Gebäude, mit Standorten in verschiedenen Städten, verschiedenen Eigentümern und Nutzern unterschieden sich erheblich hinsichtlich der Dokumentation, der Ausstattung mit Messtechnik und den Untersuchungsmöglichkeiten vor Ort. Die Bearbeitung der Gebäude musste deshalb in der Feinanalyse sehr individuell gestaltet werden, was eine homogene Querschnittsanalyse erschwerte. Insbesondere die zeitlichen Abstände zwischen einzelnen Bearbeitungsschritten, die auch auf die Kapazitäten vor Ort und die Witterungsbedingungen abgestimmt werden mussten, stellten die Bearbeitung vor Probleme. So war der Sommer 2005 für Kurzzeit-Messungen an heißen Sommertagen kaum geeignet.

Inhaltlich haben die Ergebnisse die Hypothese bestätigt, dass Gebäude im Betrieb in der Regel optimiert werden können und die Analyse Schlussfolgerungen für zukünftige Projekte ermöglicht. Die hier angewendeten Methoden sind für die Optimierung nur bedingt geeignet. Parallel zu EVA sind jedoch verschiedene Methoden und Werkzeuge entwickelt worden, die zum einen Vorgaben für die Bestandsaufnahme bzw. Auditierung von Gebäuden machen, zum anderen die effektive Analyse von Gebäudeautomationsdaten unterstützen.

Forschungsbedarf wird insbesondere in der Weiterentwicklung, Anwendung und wirtschaftlichen Bewertung der Betriebsoptimierung gesehen. Mit diesem Ziel hat das IGS vorgeschlagen, anstatt des eigentlich geplanten Folgeprojekts, in dem konkrete Optimierungsmaßnahmen umgesetzt und bewertet werden sollten, das neue Forschungsfeld EnBop – Energetische Betriebsoptimierung zu schaffen. In EnBop sollen Fallstudien und empirische Untersuchungen zur Betriebsführung und -optimierung durchgeführt sowie entsprechende Methoden, Werkzeuge und Dienstleistungen entwickelt und erprobt werden.

Nachdem in den 90er Jahren die integrale Planung eingeführt und mit der ENEV 2007 und der DIN V 18599 auch eine entsprechende normative Grundlage geschaffen wurde, kann in Verbindung mit der Energetische Betriebsoptimierung der gesamte Lebenszyklus von Gebäuden energieoptimiert gestaltet werden.

Dieser Bericht fasst die Querschnittsanalysen des Projekts EVA zusammen. Die Objektberichte und ergänzende Dokumentationen der Gebäude werden soweit möglich separat und auf der Website des IGS unter www.igs.bau.tu-bs.de veröffentlicht.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3635
Fax: 0531 / 391 - 3636

2 DAS PROJEKT EVA

Für Produkte ist es üblich, nach einer Entwicklungsphase Prototypen zu bauen und diese unter Praxisbedingungen zu testen. Was bei Autos und Haushaltsgeräten Realität ist und eine vergleichsweise hohe Betriebssicherheit gewährleistet, ist bei Gebäuden unmöglich. Die Kosten für Prototypen wären zu hoch und eine realitätsnahe Erprobung einschließlich Betreiber und „echter“ Nutzung ist gar nicht darstellbar.

Der Ausfall dieser die Qualität sichernden Phase ist umso bedeutsamer, als jedes Gebäude in weiten Teilen ein Einzelstück ist, an einem einmaligen Standort, mit einem Planungsteam, das oft nur für dieses eine Projekt zusammenarbeitet, und das mit einer individuellen Konzeption entwickelt wird.

Berichterstattung und Dokumentation zu innovativen Bürogebäuden enden meist mit der Fertigstellung, so dass anschließend kaum gesicherte Kenntnisse über die tatsächliche Performance der Gebäude im Vollbetrieb und damit während des größten Teils des Lebenszyklus vorliegen.

Das Forschungsprojekt „**EVA – Evaluierung von Energiekonzepten**“ soll dazu beitragen, dieses Defizit zu beheben. Die Bearbeitung des Projekts wurde Anfang 2004 mit Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie begonnen.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

2.1 Motivation und Ziel

In der Öffentlichkeit gibt es richtiger Weise eine anhaltende Diskussion über die Energieeffizienz und den Nutzerkomfort von Bürogebäuden. Sie wird jedoch oft auf ebenso knapper Datengrundlage wie mit zum Teil vernichtenden Urteilen geführt. Angesichts erheblicher Anstrengungen des Gesetzgebers, einer hochwertigen Planungskultur und eines starken öffentlichen Bewusstseins für Energieeffizienz, erscheinen diese Aussagen eine fachliche Überprüfung wert zu sein.

Erstmals mit diesem Ziel umfassend und detailliert ausgerichtet ist das Programm EnOB – Energieoptimiertes Bauen, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. Im Rahmen von EnOB bzw. dem Teilprogramm EnBau (früher solarbau:MONITOR) werden seit rund 10 Jahren Demonstrationsgebäude mit hohen Anforderungen an energetische Standards in Planung und Betrieb wissenschaftlich untersucht. Das IGS hat zwei dieser Gebäude analysiert und bearbeitet zurzeit ein drittes. Die hohen Anforderungen, die diese Gebäude in Planung und Betrieb stellen, verstärken die Frage, wie Gebäude ohne Förderung funktionieren, und unterstützen die Motivation zur Durchführung von EVA.

Zur Qualität des Betriebs von „normalen“ Bürogebäuden, die aktuelle Konzepte in Bezug auf Energieeffizienz und Nutzerkomfort umsetzen, liegen nur in begrenztem Maße Erkenntnisse vor. Die meisten Studien beschränken sich auf statistische Erhebungen zu Energiekennwerten und stellen die Gebäude nicht konkret genug dar, um einen nachvollziehbaren Zusammenhang erkennbar werden zu lassen.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

Ziel von EVA war deshalb die Überprüfung, ob Bürogebäude der letzten 10 Jahre energieeffizienter und komfortabler sind als Gebäude aus den 60er oder 70er Jahren, ob sie den Standard der EnBau-Gebäude erreichen, die als technisch-wirtschaftliche Best-Practice angesehen werden können, oder ob sie im Gegenteil womöglich gescheiterte Experimente sind.

Deshalb wurde eine Stichprobe von 19 Gebäuden durch messtechnische Analysen des Energieverbrauchs, der thermischen Nutzerkomforts und durch Nutzerbefragungen untersucht. Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

- Wie energieeffizient sind heutige Bürogebäude?
- Wird ein guter thermischer Nutzerkomfort gewährleistet?
- Besteht im Betrieb Optimierungspotenzial hinsichtlich der Energieeffizienz und des Nutzerkomforts und wie kann dieses bei Bürogebäuden identifiziert werden?
- Welche Erfahrungen können für zukünftige Planungen genutzt werden?

Den Fragenstellungen liegt die Hypothese zu Grunde, dass die Gebäude nicht optimal betrieben werden und Optimierungspotenzial im Betrieb besteht. Die Ergebnisse der Studie sollen zu einer fachlich fundierten Diskussion zu Bürogebäuden beitragen und eine Entscheidungshilfe für zukünftige Bauvorhaben bilden.

Durch EVA wurden zum einen Erkenntnisse für die Optimierung des Betriebs von Bürogebäuden entwickelt. Zum anderen wurden Betriebserfahrungen aufbereitet, die Erkenntnisse für zukünftige Planungen liefern. EVA soll auf diese Weise einen Innovationskreislauf für neue Energiekonzepte in Gang setzen, Abbildung 1.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

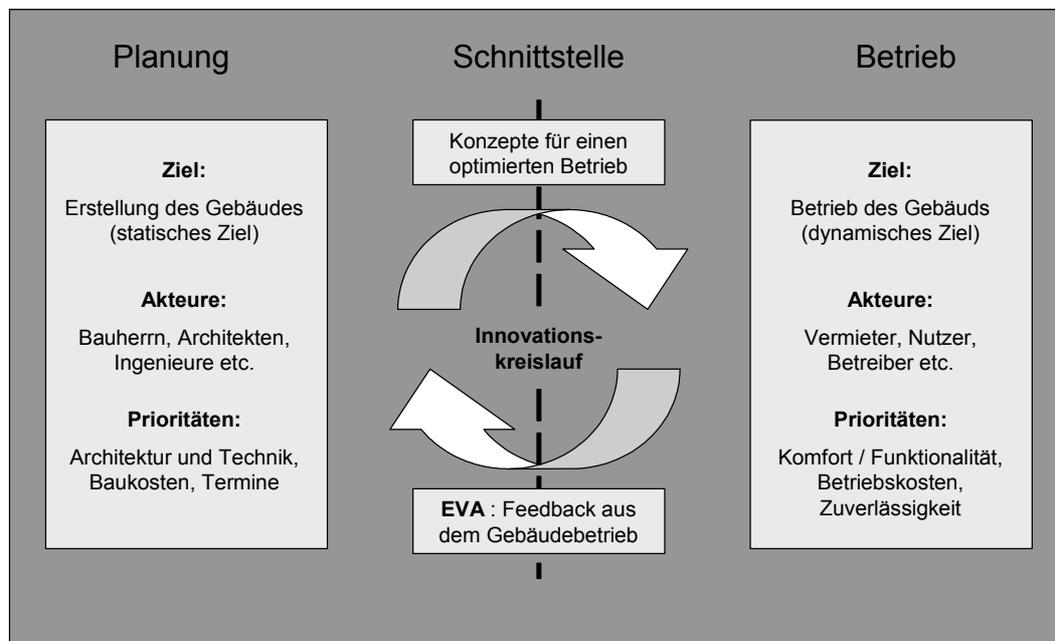


Abbildung 1 EVA als Motor des Innovationskreislaufs



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

2.2 Ablauf und Methodik

In einer fast zweijährigen Vorbereitungsphase wurde durch das IGS eine Vorstudie zu Energiekennwerten von Bürogebäuden durchgeführt. Ziel war es, den Arbeitsaufwand für das Projekt zu bemessen und das Interesse von Unternehmen kennen zu lernen, um so eine Grundlage für das Forschungsprojekt zu bilden. Parallel zur Beantragung des Projekts konnten durch intensive Gespräche zahlreiche Unternehmen als Partner für das Projekt geworben werden. Sie stellen Ihre Gebäude für Untersuchungen zur Verfügung, unterstützen die Bearbeitung vor Ort und beteiligen sich an den Kosten des Projekts.

Der Evaluierung der Energiekonzepte liegt im Projekt folgende Vorgehensweise aus Grob- und Feinanalyse zu Grunde:

1. Grobanalyse

- a. Dokumentation / Bestandsaufnahme
Mit Publikationen, Planunterlagen und Gebäudebegehungen wurden die Gebäude in ihrem Ist-Zustand dokumentiert. Auf Basis vorliegender Energieverbrauchsdaten wurden Energiekennwerte gebildet und eine erste Evaluierung der Energieeffizienz durchgeführt.

2. Feinanalyse

- a. Energieeffizienz
Die Energieeffizienz wurde für einzelne Anlagen und Komponenten ermittelt. Neben den Gesamtmessungen des Verbrauchs wurden Kurzzeitmessungen und Berechnungen auf Basis der DIN V 18599 durchgeführt.
- b. Nutzerkomfort
Im Schwerpunkt wird der thermische Komfort, insbesondere die sommerliche Überhitzung messtechnisch untersucht. Darüber hinaus werden Befragungen bei einer möglichst großen Zahl von Nutzern durchgeführt.
- c. Betriebsanalyse
Für die Betriebsoptimierung wurden entsprechend der Gegebenheiten in den Gebäuden verschiedene methodische Ansätze eingesetzt und bewertet.

Die Bearbeitung des Projekts erfolgt durch das IGS – Institut für Gebäude- und Solartechnik im Fachbereich Architektur der TU Braunschweig in Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Kooperationspartnern.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

2.3 Projektdaten und Fördergeber

Projekttitle	EVA – Evaluierung von Energiekonzepten für Bürogebäude
Kurztitel	EVA
Projektnummer	0327346A
Projektförderung	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
Projektträger	PTJ- Forschungszentrum Jülich GmbH Herr LeMarié, Hr. Kratz, Hr. Dr. Bertram
Projektlaufzeit	01.01.2004 – 31.12.2006 (Verlängerung: 30.06.2007)
Ausführende Stelle	Technische Universität Braunschweig Institut für Gebäude- und Solartechnik Univ.- Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch
Projektleitung	Dipl.-Ing. Architekt Stefan Plesser
Mitarbeiter	Dipl.-Ing. Architekt Carsten Bremer Dipl.-Ing. Mani Zargari Dipl.-Ing. Ernesto Kuchen Dipl.-Ing. Architekt Volker Huckemann Dipl.-Ing. Architekt Thomas Wilken Dipl.-Ing. Markus Peter Dipl.-Ing. Henrik Langehein Dipl.-Ing. Dörte Blenke
Wiss. Hilfskräfte	Sohail Ahmed, Astrid Blankenhagen, Tilmann Greiner, Anatoli Hein, Peggy Kleidon, Julia Charlotte Lieske, Julia Mildenberger, Nils Ohrmann, Nico Pluntke, Johannes Rosemeyer, Gunnar Schulz, Tina Stahnke, Julia Vahldiek

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

2.4 Wissenschaftliche Projektpartner

Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Gebäude- und Solartechnik, Stuttgart	Dr.-Ing. Boris Mahler Dipl.-Ing. Uwe Hemminger
Universität Karlsruhe (TH), Fachbereich Bauphysik und Technischer Ausbau, Karlsruhe	Prof. Andreas Wagner Dipl.-Ing. Elke Gossauer
Prof. K. Müller + Partner Consulting GmbH, Braunschweig	Dipl.-Ing. Holger Hammel Dipl.-Ing. Kai Gramberg
hbr Architekten, Hamburg	Dr.-Ing. Arch. Matthias Rozynski, Dipl.-Ing. Arch. Sylvia Baumann
DEZEM GmbH	Dr. Georg Riegel



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

3 STAND DES WISSENS UND DER TECHNIK

Als Arbeitsumgebung für Menschen wie auch als Energieverbraucher sind Bürogebäude seit den 70er Jahren Teil öffentlicher Diskussion und intensiver wissenschaftlicher Untersuchungen. Herausragende Themen sind die Gesundheit am Arbeitsplatz, die Förderung von Produktivität und Leistungsfähigkeit, die ökologischen Qualitäten mit dem deutlichen Schwerpunkt der Energieeffizienz sowie die Veränderung der Arbeitswelt durch Informationstechnologie und zunehmende Mobilität.

EVA fokussiert in diesem Kontext auf die Energieeffizienz und den thermischen Komfort von Bürogebäuden im Betrieb. Aspekte der Bau- und Betriebskosten, der Flächeneffizienz, des akustischen und visuellen Komforts werden teilweise mit betrachtet.

Exemplarisch für die Dringlichkeit der Untersuchung von Energieeffizienz und Nutzerkomfort ist die Diskussion einer der auffälligsten Entwicklungen bei Bürogebäuden in den letzten 15 Jahren: die Transparenz weitgehend verglaste Fassaden wurde geradezu zum Markenzeichen von Bürogebäuden.

Über Gebäude wie das RWE-Hochhaus, Essen 1997, des Architekten Christoph Ingenhoven oder die Nord LB, Hannover 2002, von Günther Behnisch wurde sowohl in der Architektur-Fachpresse als auch in allgemeinen Publikationen berichtet. Sie wurden unter anderem mit Kommentaren wie „ökologisches Hochhaus“ [1] gelobt, als das „Maximum dessen, was derzeit im Büro- und Verwaltungsbau realisiert werden kann“ [2] bezeichnet und in Anlehnung an Meisterwerke andere Kunstformen als „Wohltemperierte Architektur“ [3] gefeiert.

Parallel entstand eine kritische Gegenströmung, die argumentierte, dass so genannte solare Bürogebäude weder energieeffizienter noch komfortabler seien als Gebäude mit einem geringeren Glasanteil. Gertis [4] hat diese Diskussion mit dem speziellen Fokus auf Glas-Doppelfassaden bereits 1999 zusammengefasst und festgestellt, dass statt einer „erdrückenden Fülle qualitativ- beschreibender Arbeiten“ die Notwendigkeit von „Messungen unter praktischen Bedingungen“ bestehe. Dieser Forderung kommt in Teilen bisher nur eine messtechnische Untersuchung an 4 Bürogebäuden von Müller et al [5] sowie die oben genannten EnBau- Demonstrationsgebäude nach.

Die Diskussion erreichte einen neuen, fachlich fragwürdigen Höhepunkt, als sie 2004 die Seiten von Deutschlands wichtigstem Nachrichten-Magazin erreichte. Unter dem Titel „Leben im Schwitzkasten“ [6] wurde der vermeintlich gescheiterte „Großversuch“ verglaste Bürogebäuden festgestellt, ohne sich dabei auf eine fundierte und umfassende Grundlage zu beziehen. Der Autor räumt sogar ein, man sei auf der Suche nach Informationen auf eine „Mauer des Schweigens“ gestoßen, und beklagt das Fehlen von aussagekräftigen Daten zum Betrieb dieser Gebäude.

Der Artikel war typisch für die öffentliche Diskussion über aktuelle Bürogebäude, indem er zahlreiche „Erfahrungen“ und „Meinungen“ zitierte: genau das hatte Gertis zuvor kritisiert. Die pauschale Architekturkritik erstaunt umso mehr, als Deutschland im internationalen Vergleich hinsichtlich der Energieeffizienz von Gebäuden eine führende Rolle einnimmt.

Das offensichtliche Fehlen fundierter Erkenntnisse über die Betriebsrealität zu den anfangs genannten Aspekten führt offensichtlich zu Unsicherheit über die Möglichkeiten und Risiken neuer Gebäude. Diese kann zum signifikanten Hemmnis für zielgerichtete Innovationen werden und die Erschließung möglicher Optimierungspotenziale verhindern.

Im Folgenden werden bestehende Grundlagen zum Stand des Wissens und der Technik als Ausgangspunkt für EVA zusammengefasst.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531/391-3635
Fax: 0531/391-3636

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

3.1 Energieeffizienz

Als Folge der Ölkrise der 70er Jahre stieg in Deutschland das Bewusstsein für Energieeffizienz in allen Bereichen von Gesellschaft und Wirtschaft. Seitdem stehen Bestrebungen zur Reduzierung des Energieverbrauchs verstärkt im Mittelpunkt politischer, wirtschaftlicher und wissenschaftlicher Aktivitäten. Da rund 40 % des gesamten Energieverbrauchs in Deutschland von den Bereichen *Haushalte* sowie *Handel, Gewerbe und Dienstleistungen* verursacht werden [7], ist der Gebäudebestand für eine Reduzierung von zentraler Bedeutung. Die reine Bürofläche wird für Deutschland auf rund 110 Mio. m²_{NGF} geschätzt [8]. Eine präzise und umfassende Flächenstatistik existiert für Deutschland nicht.

3.1.1 Rechtliche und normative Vorgaben zur Energieeffizienz von Bürogebäuden

In den letzten 30 Jahren wurden in Deutschland erhebliche Anstrengungen unternommen, um die Energieeffizienz von Gebäuden zu verbessern. Diese Entwicklung wurde auf der gesetzlichen und normativen Seite wesentlich durch die Einführung zuerst der Wärmeschutzverordnungen '82/'84 und '95 [9] und dann der Energieeinsparverordnung – EnEV – in 2002 [10] gefördert. Unter dem Stichwort „Integrale Planung“ wurde u.a. der Wärmeschutz verbessert, passive Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz und - fast immer - die Möglichkeit zur natürlichen Lüftung über die Fenster geschaffen.

Die Energieeinsparverordnung basiert auf normierten Berechnungsmethoden, mit denen der Jahres-Primärenergiebedarf von Gebäuden für Heizwärme einschließlich Trinkwarmwasser und Anlagenaufwand ermittelt werden kann. Dies sind insbesondere DIN EN 832:1998-12 [11], DIN V 4108-6:2000-11 [12] sowie DIN 4701-10:2001-02 [13]. Randbedingungen hinsichtlich Wetter und Nutzerverhalten werden dabei vorgegeben. Dies ermöglicht die Definition von Mindest-Standards für die Gebäude-„Hardware“ durch einzuhaltende Grenzwerte, z.B. für den Wärmeschutz der Gebäudehülle, bietet jedoch nicht unbedingt eine Gewähr für die entsprechende Effizienz im praktischen Betrieb.

Seit der Einführung der Wärmeschutzverordnung '95 ist der Primärenergiebedarf die wesentliche Zielgröße zur Begrenzung des Energiebedarfs. Berücksichtigt wurde jedoch zunächst nur die Beheizung von Gebäuden einschließlich der Warmwassererzeugung und entsprechender Hilfsenergien.

Zurzeit wird in den Staaten der Europäischen Union an der Umsetzung der EU-Richtlinie „über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ [15] gearbeitet, nach der der Gesamtenergiebedarf von Gebäuden bewertet und begrenzt werden muss. Die Umsetzung der Richtlinie erfolgte in Deutschland durch die EnEV 2007 [16] zum 01.10.2007 nach Abschluss der inhaltlichen Arbeiten an diesem Projekt. Die Berechnungsgrundlage bildet die DIN V 18599 [17], die die Bilanzgrenze zur Bewertung der Energieeffizienz auf die Beleuchtung, Kühlung und Lüftung ausgedehnt. Es steht nun eine umfassende Methodik zur Bewertung der Gesamteffizienz von Gebäuden in Bezug auf die zum Betrieb eines Gebäudes notwendige Energie zur Verfügung. Die DIN V 18599 konnte für die Bearbeitung des Projekts bereits genutzt werden, es standen jedoch noch keine marktreifen Software-Produkte zur Verfügung.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

Im Gegensatz zum Energiebedarf eines Gebäudes, der mit Hilfe exakt definierter Rechenverfahren und vorgegebenen Randbedingungen für Nutzung, Betriebsweise und Wetter eine theoretische, aber eindeutige Größe abbildet, bezeichnet der Energieverbrauch die tatsächlich im Betrieb eines Gebäudes „verbrauchte“ Energiemenge.

Die gesetzlichen und normativen Rahmenbedingungen des Bauens regeln zurzeit fast ausschließlich die Energiebedarfsseite von Gebäuden, sprich die Planung, Errichtung und – in Bezug auf die Energieeffizienz schon wesentlich unpräziser – die Inbetriebnahme. Entsprechend liegen zum Energieverbrauch nur vergleichsweise wenige und teilweise schwer zu vergleichende Daten vor. Da in den meisten Studien die Ergebnisse wie z.B. Energiekennwerte nicht im Zusammenhang mit den jeweiligen Gebäuden genannt werden, fehlen insbesondere nachvollziehbare Daten zu einzelnen Objekten.

Seit den 90er Jahren hat sich in Anlehnung an die Methoden der Wirtschaftswissenschaften das Benchmarking zur Bewertung des Energieverbrauchs etabliert. Eine wichtige Grundlage legt die VDI 3807 [18], die ein Verfahren zur Berechnung von Energiekennwerten für den Verbrauch von Strom und Wärme beschreibt. U.a. wird auf Basis von Heizgradtagen eine Methode zur Witterungsbereinigung von Wärmeverbrauchswerten vorgegeben.

Darüber hinaus haben u.a. Banken und Versicherungen [19]-[23] sowie die IFMA [24] als Vereinigung der Gebäudemanagement-Branche interne Benchmark-Pools ähnlich der OSCAR Büroebenenkostenanalyse [25] gebildet bzw. Umweltberichte mit Energie- oder Energiekosten-Kennwerten zu Ihren Unternehmen erstellt. Auf Ebene der Länder, Städte und Gemeinden liegen ebenfalls Statistiken zu Energiekennwerten vor.

Durch die nach der EnEV 2007-Abschnitt 5 (§§ 16 - 22) geforderten Energieausweise für den Energieverbrauch wird neben dem Bedarf auch für den Energieverbrauch ein standardisiertes Nachweisverfahren eingeführt. Die Energieausweise beschränken sich auf die Bewertung des gesamten Jahres-Primärenergieverbrauchs, der aus den verbrauchten Energiemengen ermittelt wird. Eine differenzierte Bewertung einzelner Verbrauchsgruppen ist nicht gefordert.

3.1.2 Studien zur Energieeffizienz von Bürogebäuden

Die Datenlage zur Energieeffizienz von Bürogebäude ist angesichts der Bedeutung des Themas und den modernen technischen Möglichkeiten zur Erfassung von Daten schlecht. Besonders wenige Informationen liegen vor zu gemessenen Teilverbräuchen für einzelne Gebäudebereiche oder Verbraucherguppen. Außerdem fehlen Daten, die in nicht-anonymer Form den entsprechenden Gebäuden direkt zugeordnet werden können. So können nur statistische Zusammenhänge, aber keine kausalen Analysen durchgeführt werden. Im Folgenden werden zunächst Studien und Forschungsprojekte dargestellt, anschließend in einer Übersicht die dort festgestellten Energiekennwerte. Die Untersuchungen stimmen in Teilen mit den Zielen und Inhalten von EVA überein. Jede Untersuchung hat jedoch auch eigene Schwerpunkte und spezifische Besonderheiten.

3.1.2.1 Siegel, Wonneberg + Partner 1979 [26]

Die Studie untersuchte 110 Büro- und Verwaltungsgebäude hinsichtlich der Bau- und Betriebskosten. Die Objekte wurden zwischen 1965 und 1975 errichtet. Zu rund 65 Gebäuden werden Angaben zu Strom und Wärmeverbrauch gemacht. Die Gebäude werden nach Nutzungseinheiten bzw. Raumtypen und Klimatisierung in fünf Kategorien unterschieden. Eine Besonderheit der Studie ist, dass die einzelnen Gebäudekonzepte in Kurzform beschrieben und mit den jeweiligen Energieverbrauchswerten dargestellt wurden.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

3.1.2.2 BMFT Bericht 1983 [27]

In der Studie wurden u.a. die Daten der Gebäude aus der Studie von Siegel, Wonneberg + Partner ausgewertet. Die insgesamt 130 Gebäude wurden in zwei Klassen unterteilt und bewertet:

Typ 1: beheizt

Typ 2: belüftet/klimatisiert

Die Gebäude sind in der vorliegenden Zusammenfassung des Berichts nicht im Einzelnen aufgeführt. Als Primärenergiefaktoren sind vergleichbare Werte wie in EVA angesetzt (Strom für Kraft und Beleuchtung: 3,0; Wärme: 0,9-1,2). Die Ergebnisse liegen sowohl im zusammenfassenden Kurzbericht des BMFT vor als auch zitiert im Bericht von Seibel, Finke, Fitzner [28]. Die beiden Quellen weisen jedoch Unterschiede auf: Zum einen differenziert der Kurzbericht in zwei Gebäudetypen (beheizte Gebäude und belüftete/klimatisierte Gebäude), der zitierende Bericht differenziert jedoch Typ 2 zusätzlich in Einzel- und Großraumbüros. Die zusammengefassten Energiekennzahlen stimmen nicht exakt überein. Die Ursache kann in der jeweiligen Zusammenfassung liegen, bei der die Werte möglicherweise auf unterschiedliche Art zusammengeführt wurden. Abweichungen können zum Beispiel durch die Mittelwertbildung (arithmetisch oder flächengewichtet) entstanden sein. Da die Methodik nicht nachvollzogen werden kann, werden in diesem Bericht die Werte aus dem Kurzbericht angenommen, die Werte aus der Zweitquelle in Klammern angegeben.

3.1.2.3 EG-Audit 1996 [28]

Im Rahmen eines EG-Forschungsprojekts zur Optimierung der Luftqualität im Innenraum und des Energieverbrauchs von Bürogebäuden wurden 6 Objekte untersucht, die zwischen 1955 und 1990 errichtet und, mit Ausnahme eines Gebäudes, überwiegend mit Lüftungsanlagen ausgestattet worden waren. Die Brutto-Grundflächen lagen zwischen rund 7.000 m² und mehr als 100.000 m². Als Energieverbrauchswerte für Wärme und Strom wurden vorliegende Messdaten verwendet. Die Veröffentlichung zitiert den oben genannten BMFT-Bericht.

3.1.2.4 Ages-Studie 1999 [30]

Die Ages-Studie 1999 enthält in insgesamt ca. 11.000 betrachteten Gebäuden auch eine Vielzahl von Verwaltungsgebäuden der öffentlichen Hand mit einer zumeist einfachen technischen Ausstattung. Ages unterteilt die Stichprobe nach Gebäudearten entsprechend der Bauwerkzuordnungs (BWZ)-nummern, u.a. auch Krankenhäuser, Turnhallen etc. In EVA werden als Referenz folgende Gruppen berücksichtigt:

BWZ 1300	Verwaltungsgebäude
BWZ 1310	Verwaltungsgebäude normal
BWZ 1313	Rathäuser
BWZ 1315	Finanzämter
BWZ 1320	Verwaltungsgebäude mit technischer Zusatzausstattung

Die betrachteten Verwaltungsgebäude (1300, 1310) und Rathäuser haben einen BGF-Mittelwert von 2.000 – 3.500 m²_{BGF}. Finanzämter mit ca. 6.500 m²_{BGF} und Verwaltungsgebäude mit technischer Zusatzausstattung mit ca. 9.000 m²_{BGF} sind im Mittel deutlich größer. Zu beachten ist, dass die Mittelwerte hier nicht das Mittel der Kennwerte, sondern aus den Summen jeweils aller Verbräuche und Flächen berechnet und somit kleine Gebäude weniger gewichtet wurden.

3.1.2.5 Schweiz 100 „Energieverbrauch in Bürogebäuden“ [31]

Die Studie entstand in der zweiten Hälfte der 90er Jahre und bildet den Bestand an Bürogebäuden in der Schweiz mittels einer Stichprobe von 100 Gebäuden ab. Erfasst wurden unter anderem die installierte Wärmeleistung und die Jahres-Endenergieverbrauchswerte für Strom- und Wärme. Die Energiebezugsfläche war die



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

beheizte Netto-Grundfläche. Auch diese Studie teilt die Gebäude in drei Kategorien ein, die jedoch nicht unmittelbar mit der Einteilung des BMFT-Berichts vergleichbar sind.

Typ 1: weder klimatisiert noch (mechanisch) belüftet

Typ 2: teilweise klimatisiert und/oder belüftet

Typ 3: mehrheitlich klimatisiert und belüftet

Zu beachten ist, dass nur 34 der Gebäude nach 1975 errichtet wurden, der Gebäudebestand im Vergleich zu EVA also einen großen Anteil an Altbauten enthält. Rund 50% der Gebäude hatten eine BGF von weniger als 5.000 m² und waren somit verhältnismäßig klein. Die Kennwerte sind nicht flächengewichtet, bevorzugen also kleine Gebäude.

3.1.2.6 Enerkenn [32]

Im Rahmen des Projekts Enerkenn wurden 9 Gebäude der DB Netz AG untersucht und Energiekennwerte ermittelt. Die Gebäude wurden mit Ausnahme eines teilsanierten Gebäudes zwischen 1995 und 2000 mit Größen zwischen 22.000 m²_{BGF} und 32.000 m²_{BGF} errichtet. Nach Größe und Alter entsprechen die Gebäude damit in etwa den EVA-Gebäuden. Die Gebäude sind in der Regel mit einer mechanischen Be- und Entlüftung mit Spitzenlastkühlung ohne Entfeuchtung sowie mit statischen Heizkörpern geplant und ausgeführt worden. Eine Besonderheit in 7 der 9 Gebäude stellen so genannte Betriebszentralen dar. Diese sind intensiv mit EDV ausgerüstet und vollklimatisiert. Als Referenzwerte wurden in EVA die in Enerkenn mit „Mittel 1“ bezeichneten Werte verwendet, die das arithmetische Mittel der jeweiligen Kennwerte darstellen. Die Energiebezugsfläche war die beheizte NGF.

3.1.2.7 EnBau / SolarBau:MONITOR [33] [34]

Im Rahmen des Forschungsprojekts EnBau / SolarBau:MONITOR – gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie – wurden bis heute in Deutschland mehr als 20 Bürogebäude als Demonstrationsprojekte geplant, errichtet und durch ein messtechnisches Monitoring wissenschaftlich untersucht. Ziele für die Energieeffizienz waren unter anderem ein Grenzwert von 100 kWh/(m²a) Jahres-Primärenergiebedarf sowie der weitgehende Verzicht auf eine mechanische Kühlung. Die Energiebezugsfläche ist die beheizte NGF.

Zu beachten ist, dass die Planung mit Fördermitteln zur Optimierung der Energieeffizienz und des Nutzerkomforts sowie zur Integration innovativer Technologien unterstützt wurde und im Rahmen des wissenschaftlichen Monitorings auch Maßnahmen zur Betriebsoptimierung durchgeführt wurden. Die im Zusammenhang mit dem Projekt genannten Energiekennwerte beziehen sich in der Regel nur auf die Energie zum Betrieb des Gebäudes, die Ausstattung mit Geräten oder Sondernutzungen sind nicht enthalten.

Die beiden Gebäude Neubau Informatikzentrum TU Braunschweig und das EnergieForum Berlin nahmen sowohl an SolarBau:MONITOR wie auch im Rahmen eines Langzeit-Monitorings an EVA teil. Die Daten erlauben einen direkten Vergleich zwischen geförderten SolarBau:MONITOR- und „normalen“ EVA-Gebäuden.

Das Projekt ist umfassend dokumentiert und wird unter dem Titel EnBau weitergeführt. Berichte zu den einzelnen Gebäuden können im Internet unter den im Anhang genannten links eingesehen und herunter geladen werden.

3.1.2.8 Vergleich „Haus der Wirtschaftsförderung“, Duisburg, und „LOW - Low Energy Office“, Köln [35]

Der Bericht des Impuls-Programms Hessen vergleicht die Energieeffizienz und den Nutzerkomfort der beiden Gebäude. Die Energiekennwerte zum Haus der Wirtschaftsförderung, das 1994 in Duisburg errichtet wurde, sind aus der Veröffentlichung übernommen. Der Wärmeverbrauch zur Kälteerzeugung ist nur im Primärenergiekennwert berücksichtigt. Die Energiekennwerte für das 1993 errichtete Low Energy Office in Köln wurden aus der Veröffentlichung zum solarbau:MONITOR übernommen.

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3635
Fax: 0531 / 391 - 3636

3.1.2.9 Stadt Frankfurt [36]

Das Energiereferat der Stadt Frankfurt am Main hat in den Jahren 2001 und 2002 eine Untersuchung der Energieeffizienz von 13 Bürogebäuden in Frankfurt durchgeführt. Zu beachten ist, dass die Stichprobe sich anders zusammensetzt als die des EVA-Projekts. Die Gebäude sind je zur Hälfte vor 1990 errichtet worden bzw. haben eine beheizte BGF von mehr als 50.000 m². Außerdem sind die Gebäude überwiegend klimatisiert, vier sind Hochhäuser mit mehr als 60 m Höhe.

3.1.2.10 Öffentlichen Liegenschaften [37]-[39] und Unternehmensberichte [19]-[23]

Eine Vielzahl von Unternehmen erstellt seit den 90er Jahren Umweltberichte, Ökobilanzen oder ähnliches. In diesen sind neben Kennwerten z.B. für den Papierverbrauch, die von Mitarbeitern gefahrenen Strecken oder dem Wasserverbrauch auch Energiekennwerte dargestellt. Als Bezugsgrößen werden überwiegend die Mitarbeiterzahl, teilweise auch Gebäudeflächen verwendet. Da der Energieverbrauch nur ein Teilaspekt der Studien ist und die vermutlich heterogene Zusammensetzung der Objekte zumeist nicht näher beschrieben wird, ist ein Vergleich mit anderen Studien nur bedingt möglich.

Länder und Kommunen haben ebenfalls Daten zur Energieeffizienz Ihres Gebäudebestands zusammengestellt. Zu beachten ist hier, dass die öffentlichen Gebäude – ähnlich wie bei der Ages-Studie angemerkt - in Bezug auf technische Ausstattung und Nutzungszeiten oft nur bedingt mit privatwirtschaftlichen Mietobjekten vergleichbar sind. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Projekte und Studien.

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

Tabelle 1 Übersicht über Studien zur Energieeffizienz von Gebäuden

¹ Anzahl der Gebäude mit Angaben zum Heizenergieverbrauch / Stromverbrauch

	Anzahl der Gebäude	Baujahr der Gebäude	Art der Gebäude	Inhaltliche Schwerpunkte
Siegel Wonneberg 1979	110	-1979	Bürogebäude	Bau- und Betriebskosten Energiekennwerte
BMFT Bericht 1982	130	-1982	Bürogebäude	Energiekennwerte
EG-Audit 1996	6	1955-1990	Bürogebäude	Nutzerkomfort Energieeffizienz
ages 1999 (1300)	190	-1998	Verwaltung	Energie- und Wasserkennwerte
ages 1999 (1310)	410 / 426 ¹	-1998	Verwalt. Normal	Energie- und Wasserkennwerte
ages 1999 (1313)	281 / 324 ¹	-1998	Rathäuser	Energie- und Wasserkennwerte
ages 1999 (1313)	175	-1998	Finanzämter	Energie- und Wasserkennwerte
ages 1999 (1320)	65 / 70 ¹	-1998	Verw. mit zus. Nutz.	Energie- und Wasserkennwerte
Bürogeb. Schweiz (Typ1)	~ 20	-1995	Bürogebäude	Energiekennwerte
Bürogeb. Schweiz (Typ2)	~ 50	-1995	Bürogebäude	Energiekennwerte
Bürogeb. Schweiz (Typ3)	~ 30	-1995	Bürogebäude	Energiekennwerte
Enerkenn	9	1995-2000	Bürogebäude mit Betriebszentralen	Energiekennwerte Nutzerkomfort
SolarBau:MONITOR / EnBau	23	1995-2004	Nicht-Wohngebäude	Energiekennwerte Nutzerkomfort Detailanalysen
HdW und Leo 97	2	1994 und 1993	Bürogebäude	Energiekennwerte
Stadt Frankfurt	13	7 vor 1990 6 nach 1990	Bürogebäude	Energiekennwerte
Öffentliche Liegenschaften und Unternehmensberichte	diverse	-	Öffentliche Verwaltungsgebäude, Banken, Filialen	Diverse Kennwerte



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energie- Konzepten

Die hier dargestellte Übersicht über Quellen zu Energiekennwerten und entsprechende Studien kann keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Sie zeigt aber bereits die Heterogenität der Untersuchungen in Bezug auf Alter, Größe und technischen Standard der Gebäude.

Da die meisten Studien die einzelnen Kennwerte oft nicht im Kontext mit den Gebäuden nennen bzw. auf eine detaillierte Beschreibung der Energiekonzepte verzichten, ist eine einheitliche Nutzung als Referenz nur schwer möglich. Dieses Problem bedeutet in der Regel vermutlich auch, dass die an der Planung beteiligten Architekten und Ingenieure nicht wissen, ob ihre Gebäude tatsächlich so funktionieren, wie sie es in der Planung beabsichtigt hatten.

Aus den Ergebnissen der Studien, die sowohl unterschiedliche Bezugsgrößen als auch verschiedene Energiemengen verwenden, wurden soweit möglich, aber ohne genaue Kenntnisse der einzelnen Gebäude, einheitliche Kennwerte gebildet.

Als einheitliche Bezugsfläche wurde zunächst die beheizte NGF verwendet, die bei den meisten Studien zu Grunde gelegt worden war. Da die im Projektverlauf eingeführte DIN V 18599 die gesamte konditionierte NGF als Bezugsfläche verwendet (also auch unbeheizte, aber z.B. beleuchtete oder belüftete Tiefgaragen einbezieht), sind die Kennwerte im Folgenden mit Bezug auf die gesamte NGF nach DIN 277 dargestellt.

In der umfangreichen und repräsentativen Schweizer Studie wird die gesamte Bruttogrundfläche mit 750.000 m² und die entsprechende Energiebezugsfläche, die der NGF_{beheizt} entspricht, mit 500.000 m², also einem Faktor NGF_{beheizt}/BGF von 0,67 angegeben. Die VDI 3807 gibt den Anteil der NGF an der BGF mit einem Faktor von 0,87 an. Die Flächenanteile der Gebäude in EVA sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 Flächenanteile in EVA

	BGF	NGF	NGF _{beheizt}	NGF	NGF _{beheizt}
	Anteil der summierten Werte			Arith. Mittel der Einzelanteile	
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
EVA	100 %	90	76	89	79

Für die Umrechnung der Kennwerte der anderen Studien wurden soweit erforderlich folgende Kennwerte verwendet:

$$\begin{aligned} \text{NGF/BGF} &= 0,87 \\ \text{NGF}_{\text{beheizt}}/\text{BGF} &= 0,76 \\ \text{NGF/BGF}_{\text{beheizt}} &= 1,00 \\ \text{NGF}_{\text{beheizt}}/\text{NGF} &= 0,88. \end{aligned}$$

Die Umrechnung von End- in Primärenergie erfolgte mit den Faktoren 3 für Strom, 1,1 für Gas und 0,7 für Fernwärme bzw. – wenn der Wärmeträger nicht bekannt war – mit dem mittleren Faktor 1,0.

In Tabelle 3 sind die mittleren Kennwerte der Studien aufgeführt. Die Verbrauchskennwerte umfassen den gesamten Energieverbrauch einschließlich Ausstattung und Sondernutzungen. Beim Vergleich der Daten ist zu berücksichtigen, dass sie aus unterschiedlichen Quellen stammen und sich somit in der Stichprobe und den jeweils angewendeten Berechnungsverfahren unterscheiden.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

Tabelle 3

Übersicht über die Referenzkennwerte (Bezug NGF_{beheizt})

¹ Zellenbüro, Mischtyp, Großraumbüro; Nicht-, Teil-, Voll-Klimatisiert: z.B. Großraumbüro Voll-Klimatisiert = GVK.

² PE-Faktoren: Strom 3,0; Wärme; 1,0, Wert in Klammern aus [28]

³ Da die Art der Wärmeversorgung der Gebäude nicht bekannt ist, wird als Primärenergiefaktor 1 als Mittelwert aus Gas (1,1) und Fernwärme (0,7) angesetzt.

⁴ Mittelwert aller Gebäude (Typen 1 – 3).

⁵ Mittelwert der Bürogebäude Informatikzentrum TU Braunschweig, EnergieForum Berlin und DB Netz AG, Hamm.

⁶ Mittelwert von 11 Bürogebäuden im SolarBau:MONITOR aus [33]

⁷ Enthält auch Wärme zur Kälteerzeugung.

	Jahres- Endenergie- verbrauch Heizwärme	Jahres- Endenergie- verbrauch Strom	Jahres- Primär- energie- verbrauch	Spez. Installierte Heizleistung
	[kWh _E /(m ² a)]	[kWh _E /(m ² a)]	[kWh _{PE} /(m ² a)]	[W/m ²]
Siegel Wonneberg 1979 – Typ ZNK ¹	176	26	254	-
Siegel Wonneberg 1979 – Typ ZTK ¹	201	45	336	-
Siegel Wonneberg 1979 – Typ ZVK ¹	285	89	551	-
Siegel Wonneberg 1979 – Typ MVK ¹	262	143	691	-
Siegel Wonneberg 1979 – Typ GVK ¹	267	184	820	-
BMFT Bericht 1982 (Typ 1) ²	179	33	279 (357)	-
BMFT Bericht 1982 (Typ 2) ²	-	-	-(713)	-
BMFT Bericht 1982 (Typ 3) ²	277	147	718 (874)	-
EG-Audit 1996	137	131	543	-
ages 1999 (1300)	164	32	261 ³	-
ages 1999 (1310)	138	29	224 ³	-
ages 1999 (1313)	162	33	262 ³	-
ages 1999 (1315)	117	25	193 ³	-
ages 1999 (1320)	132	63	322 ³	-
Bürogebäude Schweiz (Typ 1)	91	32	186 ³	-
Bürogebäude Schweiz (Typ 2)	91	54	252 ³	82 ⁴
Bürogebäude Schweiz (Typ 3)	100	117	452 ³	-
Enerkenn	102	141	558	-
SolarBau:MONITOR / EnBau	46 ⁵	40 ⁵	166 ⁵	47 ⁶
Leo 97	53	53	216	-
HdW	212 ⁷	131	725	-
Stadt Frankfurt	153	150	578	-

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

Abbildung 2 bis Abbildung 4 zeigen die Referenzkennwerte eingeteilt in die in den Studien verwendeten Kategorien nicht-, teil- und vollklimatisiert. Die Ergebnisse der Studien wurden bestmöglich zugeordnet. Die Gebäude LEO und SolarBau:MONITOR verfügen teilweise über Lüftungsanlagen und passive Kühlsysteme. Sie können daher sowohl als nicht- wie auch als teil- klimatisiert eingestuft werden.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energie-konzepten

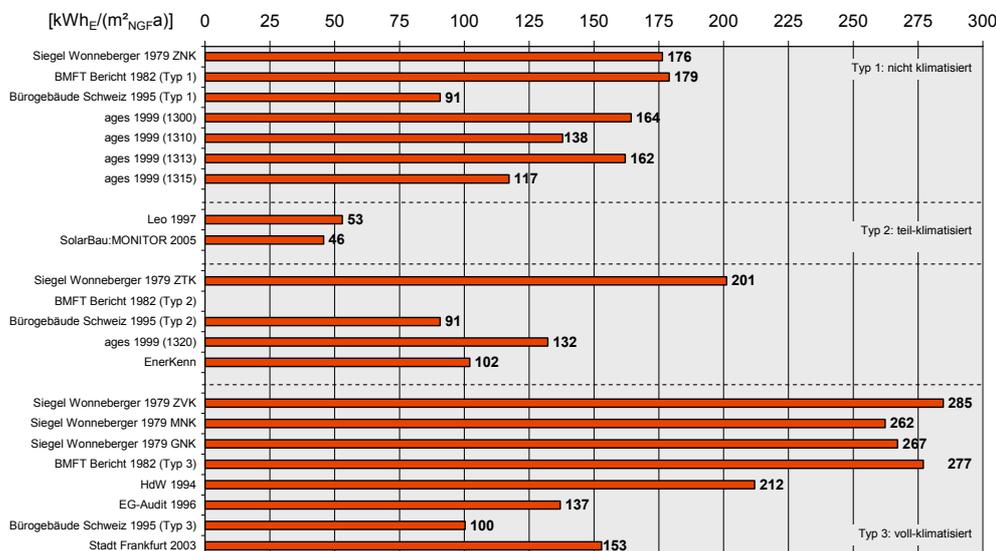


Abbildung 2 Jahres-Endenergieverbrauch Heizwärme: Ergebnisse von Referenz-Studien

Die mittleren Kennwerte für den Heizwärmeverbrauch in Abbildung 2 liegen überwiegend zwischen 90 und 215 kWh_E/(m²_{NGF}·a) unabhängig von der Klimatisierung.

Deutlich darunter liegen das LEO und die SolarBau:MONITOR-Gebäude mit ca. 50 kWh_E/(m²_{NGF}·a). Hohe Werte weisen die Gebäude aus den 60er und 70er Jahren mit Werten zwischen 200 und 300 kWh_E/(m²_{NGF}·a) auf. Das Gebäude HdW ist mit einer Absorptionskühlung ausgestattet, für die ein Teil der Heizwärme genutzt wird.

Die mittleren Kennwerte für den Stromverbrauch in Abbildung 3 zeigen ebenfalls große Unterschiede, folgen dabei aber weitgehend den drei Gebäude-Kategorien.

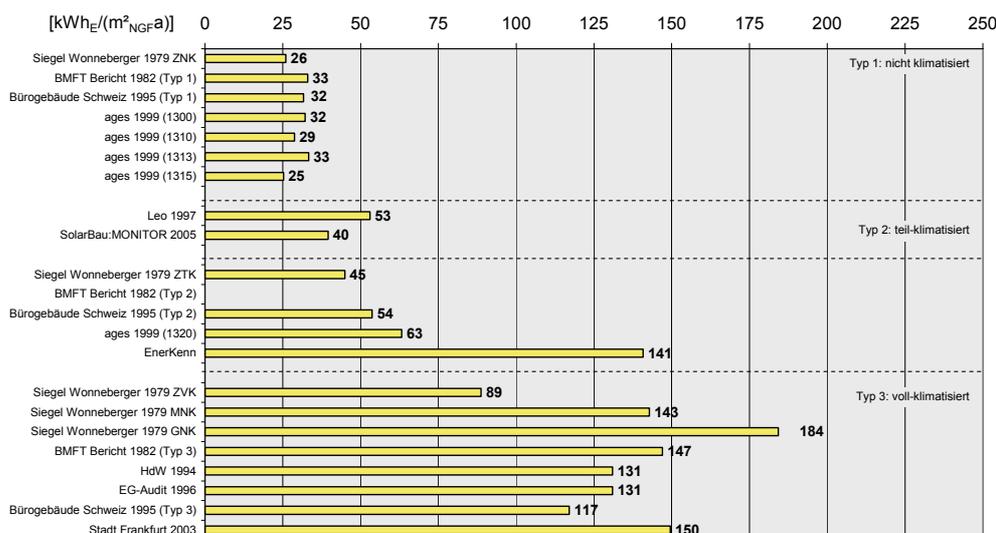


Abbildung 3 Jahres-Endenergieverbrauch Strom: Ergebnisse von Referenz-Studien



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Die Kennwerte der nicht- klimatisierten Gebäude, bei denen sich der Stromverbrauch vermutlich überwiegend aus der Beleuchtung und der Ausstattung mit elektrischen Geräten ergibt, liegen bei rund 30 kWh_E/(m²_{NGFA}).

Die teil- klimatisierten Gebäude haben Kennwerte zwischen 40 und 65 kWh_E/(m²_{NGFA}). Eine Ausnahme bilden die Gebäude des Projekts Enerkenn. Ihr Stromverbrauch umfasst die Betriebszentralen der DB Netz AG. Wenn ihr Verbrauch nicht eingerechnet wird, reduziert sich der Wert um ca. 50 kWh_E/(m²_{NGFA}) auf rund 90 kWh_E/(m²_{NGFA}).

Die Kennwerte der voll- klimatisierten Gebäude liegen zwischen 115 und 150 kWh_E/(m²_{NGFA}). Ausnahmen bilden die Gruppen Zellen- bzw. Großraumbüro der Studie Siegel Wonneberg mit 89 bzw. 184 kWh_E/(m²_{NGFA}).

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

Die Primärenergie-Kennwerte in Abbildung 4 ergeben sich aus den vorgenannten Werten und den entsprechenden Primärenergiefaktoren.

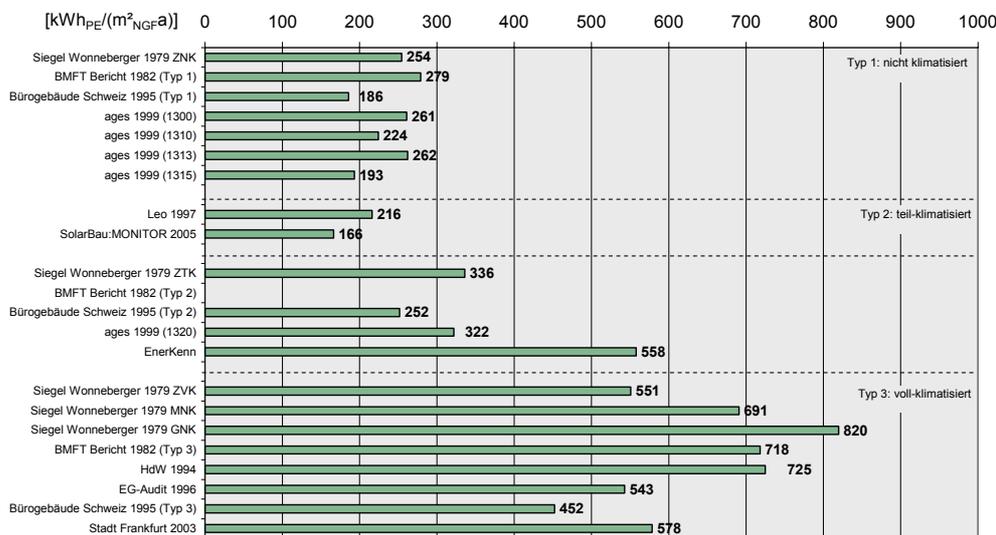


Abbildung 4 Jahres-Primärenergieverbrauch: Ergebnisse von Referenz-Studien

Bei der Einteilung der Gebäude nach den Klimatisierungsstandards ist zu berücksichtigen, dass ein aufwändigerer Standard für die Klimatisierung auch mit anderen Nutzungsprofilen einhergehen kann. So können z.B. die Betriebs- und Nutzungszeiten und auch die zentralen Anlagen wie Telefonanlagen und zentrale IT-Systeme entsprechend energieintensiver sein.

Die einzelnen Studien weisen eine sehr große Streuung innerhalb der einzelnen Stichproben auf. Die Gründe hierfür können vielfältig sein – Bausubstanz, Betriebsführung, Nutzungszeiten, Sonderfunktionen, Nutzerkomfort beeinflussen den Energieverbrauch – konnten hier aber nicht weiter berücksichtigt werden.

Im Rahmen der Einführung der EnEV 2007 und der Energieausweise für Gebäude entwickelt zurzeit die arge-benchmark [40] Referenzkennwerte auf Verbrauchsbasis. Der erste Zwischenbericht hierzu lag zum Abschluss der Bearbeitung noch nicht vor.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531/391-3635
Fax: 0531/391-3636

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

3.2 Nutzerkomfort

Das primäre Ziel eines Bürogebäudes ist es in der Regel, Arbeitsplätze zur Verfügung zu stellen, an denen produktive Arbeit möglich ist, ohne die Gesundheit zu schädigen. Hierzu ist eine Vielzahl von Aspekten der Architektur, Bauphysik, Ergonomie etc. zu berücksichtigen.

Ebenso wie die Standards für die Energieeffizienz werden auch Komfortstandards für Gebäude definiert. Das umfangreiche Normenwerk gibt bestimmte Regeln für einzuhaltende Grenzwerte vor, z.B. für die thermische Behaglichkeit, den visuellen und akustischen Komfort. Auch hier werden Mindeststandards gesetzt werden, die jedoch bei entsprechend abweichenden Bedingungen in der Praxis verfehlt werden können. Das gesamte Regel- und Normenwerk in Bezug auf den Nutzerkomfort unterliegt auf Grund neuer Erkenntnisse, technischer Innovationen und der Zusammenführung auf europäischer Ebene einer kontinuierlichen Entwicklung.

3.2.1 Rechtliche und normative Vorgaben zum Nutzerkomfort

Unter Nutzerkomfort werden im Rahmen von EVA im Wesentlichen die Qualitäten von Büroräumen betrachtet, die die Arbeit im Gebäude durch bauphysikalische und anlagentechnische Aspekte beeinflussen. Im Folgenden sind wesentliche normative und gesetzliche Standards zusammengestellt. Entsprechende Anforderungen stellen ebenfalls die Arbeitsstättenverordnung 2004 [41] sowie die dort genannten Arbeitsstätten-Richtlinien [42] und die VDI 6011 [43].

3.2.1.1 Hygiene

Die heutigen Komfortstandards haben sich im Wesentlichen aus den Anforderungen des Menschen an Arbeitsplätze in Innenräumen entwickelt. Wesentliche Forderung für den Nutzerkomfort ist die Raumluftqualität entsprechend DIN EN 13779 [44], die die DIN 1946-2 [45] ersetzt, bzw. nach DIN EN ISO 7730 [46]. Sie fordern die Einhaltung von hygienischen Höchstwerten z.B. für die CO₂-Konzentration (maximal 0,1 bzw. 0,15 %). In der Umsetzung verlangt die Einhaltung dieser Vorgaben die Gewährleistung eines hygienischen Mindestluftwechsels, der nach der (nicht mehr gültigen) DIN 1946-2 in mechanisch belüfteten Büroräumen bei 40-60 m³/(h*Person) bzw. 4-6 m³/(m²h) liegt.

Darüber hinaus sind im Zusammenhang mit Lüftungsanlagen weitere technische Regeln zu beachten, z.B. die VDI 6022 [48], die die Hygiene-Anforderungen an raumlufttechnische Anlagen regelt.

3.2.1.2 Thermischer Komfort

Die Arbeit im Büro erfolgt überwiegend im sitzen und entspricht damit der in DIN 1946-2 und DIN 33403-2 [49] definierten Aktivitätsstufe 1 mit einer niedrigen Gesamtwärmeabgabe von rund 120-130 W. Auf Grund der niedrigen Aktivitätsstufe ist thermische Behaglichkeit gegeben, „wenn der Mensch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung und Wärmestrahlung in seiner Umgebung als optimal empfindet und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere Raumluft wünscht“ [45].

Die DIN 1946-2 verlangt für die operative Raumtemperatur als Zusammenwirken von Lufttemperatur und Strahlungstemperatur die Einhaltung der Grenzen entsprechend Abbildung 5. Erlaubt sind Überschreitungen der Grenztemperatur von 25°C bei kurzzeitig auftretenden inneren Wärmelasten sowie Unterschreitungen bei bestimmten Lüftungssystemen.

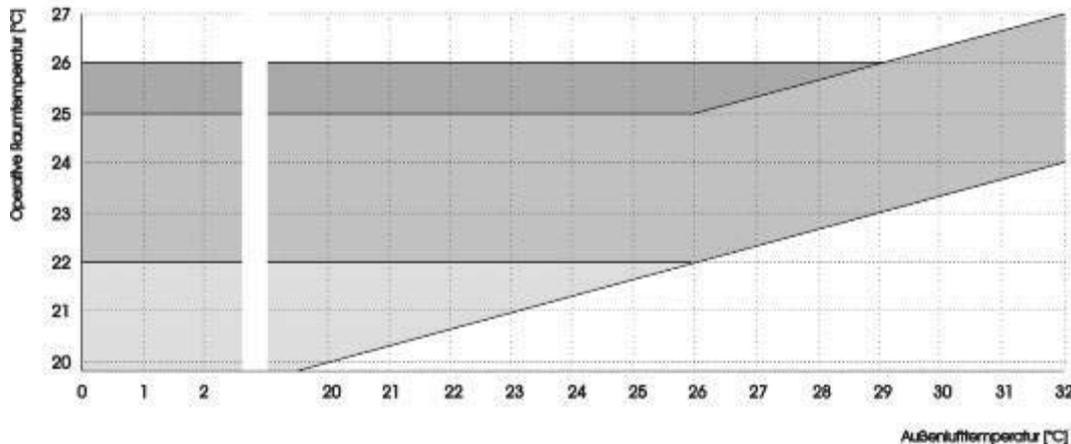


Abbildung 5 Bereiche der operativen Raumtemperatur nach DIN 1946-2

Für die Lufttemperaturschichtung wird ein Grenzwert von höchstens 2 K je Meter Raumhöhe angegeben.

Die Raumlufffeuchte wird eine obere Grenze von 11,5 g je kg trockener Luft bzw. 65 % relativer Luftfeuchte gesetzt. Als untere Behaglichkeitsgrenze, die nur gelegentlich unterschritten werden darf, werden 30 % relative Luftfeuchte vorgegeben.

Für die maximal zulässige Luftgeschwindigkeit werden in Abhängigkeit vom Turbulenzgrad ca. 0,15 bis 0,3 m/s angegeben.

Weitere Vorgaben zum thermischen Raumkomfort werden u.a. in der VDI 2078 [50], der DIN 4108:2003-07 [51] und in der DIN ISO 7033:2006-05 [46] sowie in europäischen Normen definiert, die im Entwurf vorliegenden. Weitere Regelwerke sind unter anderem die niederländische ISSO-74 [52], ASHRAE 55 [53] und die prEN 15251:2006-05 [54].

Die meisten Bewertungsansätze beziehen sich auf stündliche Werte der Raumtemperatur. Für diese werden in Abhängigkeit von der Außentemperatur Kennfelder definiert. Diese sind entweder statisch oder abhängig von der Außenlufttemperatur dynamisch begrenzt. Unterschiede werden in den betrachteten Nutzungszeiträumen gemacht.

Insbesondere zu den zulässigen Lufttemperaturen sind in der letzten Zeit diverse Urteile ergangen, die jedoch in Bezug auf die Verantwortung für die Einhaltung der Grenzwerte unter Berücksichtigung der Planung, des Nutzerverhaltens, des Gebäudebetriebs und der meteorologischen Bedingungen wenig Klarheit gebracht haben [55]-[60].

Der thermische Komfort ist ein Schwerpunkt in EVA. Ziel ist jedoch nicht die Bewertung der einzelnen Bewertungsansätze. In der Bearbeitung wurde deshalb für die Bewertung der sommerlichen Überhitzung ein möglichst einfacher und nachvollziehbarer Ansatz entsprechend der DIN 4108 gewählt, indem die jährlichen Stunden während der Nutzungszeit mit einer Raumlufftemperatur über 26°C als Überhitzungsstunden gezählt wurden.

Eine ausführliche Betrachtung zu den verschiedenen Bewertungsansätzen ist in der Veröffentlichung „Energieeinsparung contra Behaglichkeit“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Siedlungswesen dargestellt [61].

3.2.1.3 Visueller Komfort

Die VDI 6011 [62] beschreibt die Anforderungen, die an Arbeitsplätze hinsichtlich der Beleuchtung mit Tageslicht und künstlichem Licht gestellt werden.

Unter dem Stichwort visuelle Behaglichkeit werden Planungshinweise für die Erreichung einer hohen Nutzerzufriedenheit gegeben. Mangelnde visuelle Behaglichkeit führt zu Ermüdung, Fehlern und somit zu Produktivitätseinbußen. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der demografischen Entwicklung unserer Gesellschaft. Mit zunehmendem Alter

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

der Arbeitnehmer sind gute Sichtverhältnisse am Arbeitsplatz von wachsender Bedeutung.

Eine angenehme Beleuchtungssituation mit hoher visueller Behaglichkeit steigert die Produktivität und Leistungsfähigkeit. Einflussgrößen sind:

- Niveau und Verteilung der Leuchtdichte/Kontraste
- Lichtqualität
- Sichtverbindung nach außen

Die zurzeit gültigen Normen, insbesondere die DIN 5034 [63], tragen dem Potenzial des Tageslichts in Innenräumen nicht Rechnung. In ihr wird lediglich ein mittlerer Tageslichtquotient von 0,9 % (0,75 % in Randbereichen) für einen Büroarbeitsplatz gefordert, sowie Mindestgrößen für Öffnungen. Eine Besonnungsdauer wird z. B. nicht geregelt.

Dass die Beleuchtungssituation subjektiv jedoch einen hohen Stellenwert hat, zeigen die Ergebnisse des Proklima-Projekts [64]. In der Studie beurteilt die Mehrheit der Befragten die Lichtverhältnisse als „nicht positiv“.

Blendung

Entgegen der geltenden Vorschriften zur Festlegung der Beleuchtungsstärken am Arbeitsplatz in der horizontalen Ebene, ist für die visuelle Behaglichkeit die vertikale Beleuchtungsstärke ausschlaggebend. Insbesondere die Anforderungen an die Blendfreiheit am Arbeitsplatz sowohl für das einfallende Tageslicht, als auch für die künstliche Beleuchtung, müssen gewährleistet werden können.

In zunehmendem Maße haben die Entwicklungen in der Bildschirmtechnik hin zu LCD-Flachbildschirmen mit entspiegelter Oberfläche zu einer Entschärfung der Blendproblematik am Arbeitsplatz geführt. Durch die Beachtung bestimmter Raumfaktoren kann die Blendung in einem akzeptablen Maß gehalten werden. Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Einflussparameter der Blendung.

	Situation	Begrenzung	Handlungsempfehlung
Tageslicht			
Direktblendung	Lichtquelle (Sonne) im direkten Blickfeld	max. 4000 cd/m ²	Bildschirme mit Blickrichtung parallel zum Fenster Multifunktionales Tageslichtsystem für Sonnen- und Blendschutz Abgestimmte Innenraumgestaltung
Reflexblendung	Reflektierendes Licht im Gesichtsfeld (Glastrennwände, Tische, Bildschirme)	max. 1000-2000cd/m ²	
Kontrastblendung	Helles visuelles Umfeld	max. 1000-2000cd/m ²	
Künstliche Beleuchtung			
Reflexblendung (Leuchtdichten von Leuchten, die sich im Bildschirm spiegeln können)	Bildschirmklasse I (gut)	max. 1000 cd/m ²	LCD Flachbildschirme
	Bildschirmklasse II (mittel)		
	Bildschirmklasse III (schlecht)	max. 200 cd/m ²	

Tabelle 4 Einflüsse der Blendung durch Tageslicht und künstliche Beleuchtung

Für künstliche Beleuchtung gelten die Anforderungen gemäß DIN EN 12464 [65] im Hinblick auf die Beleuchtungsstärken, die Blendungsbeschränkung und die Farbwiedergabeeigenschaften (DIN 6169 [66]). Zudem wird die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung des Arbeitsfeldes zum Arbeitsumfeld geregelt.

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Für die Beleuchtung mit Tageslicht werden im Allgemeinen höhere Leuchtdichten akzeptiert als bei künstlicher Beleuchtung. Das Arbeitsfeld sollte jedoch immer heller sein als das Arbeitsumfeld und zum näheren Umfeld den Faktor 3 bzw. zum fernerem Umfeld den Faktor 10 nicht überschreiten.

Stellenwert des Tageslichtes

Am 25. August 2004 trat die neue Arbeitsstättenverordnung in Kraft. Im Gegensatz zur alten Verordnung werden nur Schutzziele genannt. Detaillierte Verhaltensvorgaben fehlen. Damit soll beim Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten mehr Spielraum, aber auch Eigenverantwortung für die Anpassung von Arbeitsschutzmaßnahmen an die jeweilige Situation ermöglicht werden. Für bereits existierende Arbeitsstätten gilt eine Übergangsvorschrift. Bis zur Bekanntmachung neuer Regelungen gelten die alten Arbeitsstättenrichtlinien.

Die Arbeitsstättenverordnung hat sich grundlegend zu Gunsten der Beleuchtung mit Tageslicht geändert. Per Definition wird nun Tageslicht als grundlegende Beleuchtung angesehen, künstliches Licht dient nur zur Ergänzung der Tageslichtbeleuchtung, dort wo Sehaufgaben und Sicherheitsaspekte dies erfordern. Nach wie vor wird die Sicherstellung von ausreichendem Tageslicht über die Anforderungen der Sichtverbindung nach Außen über die Beschaffenheit, Lage, Abmessungen und Gesamtfläche der Fenster- und Türöffnungen definiert.

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

3.4 Beleuchtung und Sichtverbindung (s. ASR § 7/1, 7/3, 7/4)
(1) Die Arbeitsstätten müssen möglichst ausreichend Tageslicht erhalten und mit Einrichtungen für eine der Sicherheit und dem Gesundheitsschutz der Beschäftigten angemessenen künstlichen Beleuchtung ausgestattet sein.
(2) Die Beleuchtungsanlagen sind so auszuwählen und anzuordnen, dass sich dadurch keine Unfall- oder Gesundheitsgefahren ergeben können.
(3) Arbeitsstätten, in denen die Beschäftigten bei Ausfall der Allgemeinbeleuchtung Unfallgefahren ausgesetzt sind, müssen eine ausreichende Sicherheitsbeleuchtung haben.

Tabelle 5 ArbStättV – Arbeitsstättenverordnung Novelle vom 25.08.2004, Auszug [41]

Tageslicht und Psychologie

Auch wenn das in unsere Häuser gelangende Tageslicht mindesten einmal durch die Verglasung gefiltert wurde, so hat es gegenüber der künstlichen Beleuchtung entscheidende Vorteile hinsichtlich:

- Spektrum und Farbwiedergabe
- Dynamik
- Leuchtdichte.

Insbesondere die chrono- biologische Erforschung der Auswirkungen der periodischen Rhythmik des Tageslichts auf die Gesundheit hat in den letzten Jahren zu einem neuen Stellenwert des Tageslichts für die Innenraumbeleuchtung geführt. Tageslicht synchronisiert die „Innere Uhr“. Die Wirkung von Tageslicht auf die Gesundheit ist auch durch den Erfolg der lichttherapeutischen Behandlung von Tagmüdigkeit, Energielosigkeit, erhöhtem Schlafbedürfnis und Stoffwechselstörungen bekannt.

Ziel der Gestaltung auch aus architektonischer Sicht sollte es daher sein, dieses Potenzial des Tageslichtes auszuschöpfen. Intelligente Tageslichtsysteme, Fassadengestaltung, Verglasungsqualitäten, Materialien etc. müssen daher sorgfältig geplant und in Abstimmung mit der künstlichen Beleuchtung eingesetzt werden.

Die für die Tageslichttechnik aufzuwendenden Mehrkosten lassen sich in der Regel nicht durch die Einsparung für den Stromverbrauch der künstlichen Beleuchtung ausgleichen. Vielmehr ist eine Gesamtbetrachtung der nicht- ökonomischen Aspekte einer tageslichtkonformen Architektur wie das Wohlbefinden der Mitarbeiter, die Identifikation



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

mit einem Licht durchfluteten Arbeitsplatz, Motivation durch ansprechende Innenraumgestaltung etc. das Ziel.

Wärmelasten und Energieeinsparung

Speziell in den Sommermonaten ist der Wärmeenergieeintrag für die Beleuchtung der Innenräume ein wesentlicher Faktor der Innenraumbefindlichkeit, siehe 3.2.1.2. In der Regel stehen die höchsten solaren Gewinne zu der Zeit an, in der sie für eine Raumbeheizung nicht nutzbar sind und können somit zur Überhitzung der Innenräume führen.

Die Beleuchtung mit Tageslicht hat gegenüber der Beleuchtung mit künstlichem Licht eine höhere Lichtausbeute (im Mittel ca. Faktor 4 gegenüber gängiger Bürobeleuchtung). Wärmeeinträge sind somit bei Tageslichtbeleuchtung geringer als dies bei Einsatz künstlicher Beleuchtung der Fall ist. Entscheidend ist zudem die Regelstrategie der künstlichen Beleuchtung. Systeme mit Präsenz- und Tageslichtsensoren minimieren den Einsatz des Strombedarfs für die künstliche Beleuchtung erheblich. Bis zu 55 % weniger Energieeinsatz können realisiert werden [67]. Weitere Variationsmöglichkeiten bestehen dabei in der Wahl der Leuchtmittel, siehe Tabelle 6.

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

Lichtquelle	Lichtausbeute [lm/W]
Glühlampe 40-60 W	10-12
Spezial Glühlampen (z.B. Halogen, Xenon)	25
LED	25-35
Leuchtstofflampen	80
Halogenmetaldampflampe	80-100
Natrium-Dampflampen	130-180
Tageslicht (nur diffuser Anteil)	80-130

Tabelle 6 Lichtausbeute verschiedener Lichtquellen [68]

Da es nicht sinnvoll ist, in der Wärmebilanz erhebliche Anteile des Wärmebedarfs moderner Gebäude durch erhöhten Einsatz künstlicher Beleuchtung zu decken, ist ein Tageslichteinsatz auch für die Wintermonate anzustreben.

Im Investitionsprogramm Energie 2000 der Schweiz wurden Richtwerte für die spezifisch installierte Leistung in Abhängigkeit der erforderlichen Beleuchtungsstärke als Grundlage einer Bundesförderung ausgegeben. Diese Zielwerte und die Zielwerte des LEE - Leitfadens Elektrische Energie [69] sind in Tabelle 7 dargestellt. In der Praxis liegen die installierten Leistungen in der Regel deutlich höher.

Beleuchtungsstärke	Spez. Leistung		Beleuchtungsstärke	Spez. Leistung	
	Energie 2000	LEE			
50 lux	2,9 W/m ²	2,5 W/m ²	300 lux	8,4 W/m ²	7,5 W/m ²
100 lux	4,0 W/m ²	3,5 W/m ²	350 lux	9,5 W/m ²	-
150 lux	5,1 W/m ²	-	400 lux	10,6 W/m ²	-
200 lux	6,2 W/m ²	-	450 lux	11,7 W/m ²	-
250 lux	7,3 W/m ²	-	500 lux	12,8 W/m ²	11 W/m ²

Tabelle 7 Spezifische Leistung in Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke nach Energie 2000 (CH) und LEE

Bei Tageslicht sieht die Bilanz wie folgt aus. Bei diffusem Himmel beträgt die Beleuchtungsstärke ca. 10.000 Lux, das entspricht 10.000 lm/m², bzw. 100 W/m². Bei einem Tageslichtquotienten von 3 % im Mittel beträgt also der Energieeintrag durch das sichtbare Tageslicht 3 W/m². Die erreichte Beleuchtungsstärke hingegen beträgt 300 Lux.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 konzepten**

In der Regel werden für die Erreichung einer Beleuchtungsstärke von 300 Lux mit künstlicher Beleuchtung in der Praxis ca. 10-12 W/m² installiert.

Nach LEE können in einem vereinfachten Rechenverfahren die Anteile des Tageslichts zur Bürobeleuchtung ermittelt werden. Der Faktor ist abhängig vom Tageslichtquotienten, der erforderlichen Beleuchtungsstärke für künstliche Beleuchtung und deren Regelung.

Die Novellierung der DIN 5035-2 durch die Einführung der DIN EN 12464 in 2003 stellt den so genannten Wartungsfaktor frei, wodurch jeder Fachplaner gezwungen ist, bei der Bestimmung der erforderlichen Beleuchtungsstärken am Arbeitsplatz bereits die Pflege der Anlage (Wartung, Reinigung Lampenwechsel) zu planen. Eine langfristige Erhöhung der installierten Leistung zur Sicherstellung der „Wartungsbeleuchtungsstärke“ kann die Folge sein. Damit würden zusätzliche innere Lasten verursacht, die den Raumkomfort weiter einschränken könnten.

Deshalb ist eine gute Tageslichtplanung umso wichtiger. Zudem ist für tageslichtorientierte Arbeitsplätze nach LEE eine Nennbeleuchtungsstärke von 300 Lux gegenüber der sonst geforderten 500 Lux als ausreichend empfohlen. Eine Einsparung von 40 % auch in den Abwärmelasten der Beleuchtungsanlage ist demnach darstellbar. Dies würde neben der Erhöhung des visuellen Komforts auch den thermischen Komfort verbessern.

3.2.1.4 Akustischer Komfort

Lärm beeinträchtigt das Wohlbefinden, und damit direkt die Konzentrations- und Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz. Aus diesem Grund sind in der DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ [70] Mindestanforderungen bezüglich der Schalldämm-Maße zwischen benachbarten Räumen, aber auch gegenüber dem von außen eindringenden Lärm festgelegt. Über die Landesbauordnungen haben diese Anforderungen gesetzlichen Charakter. Die für Fassaden geforderten Werte variieren hier je nach Lärmpegelbereich zwischen 30 und 55 dB bewertetes Schalldämm-Maß (R'_w). Die repräsentative Lage von Bürogebäuden an zentralen Ausfallstraßen oder Verkehrsknotenpunkten stellt somit zugleich hohe Anforderungen an die Baudämmmaße der Fassaden.

Zusätzlich zur Belastung durch Außenlärm wirken zahlreiche innere Faktoren auf den Büronutzer ein. Die Schalldämmung gegen die Nachbarräume ist nicht nur in Bezug auf den Störgeräuschpegel, sondern auch hinsichtlich zu gewährleistender Vertraulichkeit von Gesprächen von Bedeutung. Nachhallzeiten, Sprachverständlichkeit und Schalldämmung gegen die Nachbarräume sind wesentliche Faktoren der akustischen Behaglichkeit. Anzustrebende Werte hierfür werden in der neu gefassten DIN 18041 "Hörsamkeit in kleinen und mittelgroßen Räumen" [71] genannt. Wichtigste Größe der Raumakustik ist die Nachhallzeit, die in einem Standardbüro (wie in Wohnräumen) bei ca. 0,5 s liegen sollte. Aber auch die Verteilung der Absorberflächen im Raum, die durch den hohen Anteil an Raumbegrenzungsflächen aus Glas oftmals erheblich eingeschränkt ist, hat Einfluss auf die Sprachverständlichkeit, insbesondere in Besprechungs- und Vortragsräumen.

Der akustische Komfort wird im Projekt nur im Rahmen der Nutzerbefragungen untersucht.

3.2.1.5 Sonstige Komfortkriterien

Neben den genannten Aspekten wird der Nutzerkomfort von einer Vielzahl weiterer Faktoren beeinflusst. Hierzu gehören die Bereiche der Olfaktorik und der Ergonomie, aber auch die ästhetische Wirkung von Architektur, Raum, Farben, Materialien sowie psychologische Aspekte wie Außenbezug, Sauberkeit, Privatsphäre, Kommunikationsmöglichkeiten etc. Diese Aspekte werden im Rahmen des Forschungsprojekts bei messtechnischen Untersuchungen in der Regel nicht erfasst, jedoch zum Teil in Nutzerbefragungen berücksichtigt.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

3.2.2 Studien zum Nutzerkomfort von Nicht- Wohngebäuden

Der Erkenntnisstand zum Nutzerkomfort heutiger Bürogebäude im Betrieb ist noch geringer als zur Energieeffizienz.

Umfassende und einzelnen Gebäuden zugeordnete Daten liefern für Bürogebäude in Deutschland lediglich die Forschungsprojekte des durch das BMWi geförderte Programm EnBau bzw. solarbau:MONITOR [34]. Im Rahmen der Demonstrationsprojekte wurden umfangreiche Monitoring- Reihen durchgeführt, in denen insbesondere der thermische Komfort in Langzeit-Messungen untersucht wurde.

Die ProKlima- Studie [72] „untersuchte Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen“ in 14 Bürogebäuden. Dabei wurden neben physikalischen Messungen auch umfangreiche medizinische und psychologische Analysen vorgenommen. Die veröffentlichten Daten können technischen Typologien zugeordnet werden. Die Gebäude und Räume selbst werden jedoch nicht dargestellt. Die Messungen wurden an drei Zeitpunkten durchgeführt. Es erfolgten keine Langzeit-Messungen.

Die ProKlima-Studie zeigte bei den Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen für die meisten Luftbelastungen geringere Werte als die natürlich belüfteten Gebäude. Im Gegensatz dazu nahmen die Nutzer der natürlich belüfteten Gebäude die Luftqualität und Frische als besser wahr als die Nutzer in den mechanisch belüfteten Gebäuden. Unterschiede werden auch in Bezug auf die Bedeutung des Raumklimas festgestellt, das für die Nutzer der klimatisierten Gebäude wichtiger ist. Einen signifikant positiven Effekt hatte bei allen Gebäuden die Möglichkeit zur Beeinflussung der Raumtemperatur durch den Nutzer.

Eine repräsentative bzw. empirische Datengrundlage zum Nutzerkomfort der Bürogebäude in Deutschland existiert nicht. Nachvollziehbare Fallstudien liegen nur in geringer Zahl und im Wesentlichen für Demonstrationsgebäude vor. Dies ist ein fahrlässiger Mangel angesichts der Tatsache, dass der Nutzerkomfort

- oftmals *das* wesentliche Planungsziel ist und entsprechende Investitionen z.B. in Lüftungsanlagen auslöst,
- Die Produktivität der Menschen bei der Bürotätigkeit beeinflusst und
- In vielen Fällen Gegenstand von juristischen Auseinandersetzungen ist (siehe diverse Urteile hierzu [55] - [60]).

Neben der in vielen Forschungsprojekten und Veröffentlichungen dargestellten Analyse des Nutzerkomforts in Simulationsrechnungen und Laboruntersuchungen ist eine empirische Untersuchung des Nutzerkomforts dringend geboten.

3.3 Gebäudeplanung

Der Begriff Energiekonzept bezeichnet die Gestaltung von Gebäuden unter Berücksichtigung des Zusammenwirkens aller in Bezug auf die Energieeffizienz maßgeblichen Faktoren. Energieeffizienz und Komfort stehen dabei in enger Abhängigkeit, da sie in maßgeblicher Weise durch die gleichen Konzepte und Komponenten des Gebäudekonzepts beeinflusst werden.

In den 60er und 70er Jahren waren Energiekonzepte zum Teil durch einen intensiven Technikeinsatz gekennzeichnet. Zentrale raumluftechnische Anlagen in hermetisch geschlossenen Gebäudehüllen mit aufgeständerten Böden und abgehängten Decken waren der Stand der Technik. Der Betrieb der Gebäude war entsprechend dem Einsatz von technischen Anlagen sehr energieintensiv. Gleichzeitig stellte sich heraus, dass die Abgeschlossenheit der Innenräume in Kombination mit der Klimatisierung und neuen Werkstoffen zu Komforteinbußen und Gesundheitsschäden führen können.

Die Erfahrungen mit technikintensiven Konzepten haben als Reaktion in den 90er Jahren dazu geführt, dass Büroräume fast immer über die Möglichkeit zur Fensterlüftung verfügen und Anlagen zur Klimatisierung sowohl aus Gründen des Nutzerkomforts wie



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

auch der Energie- und Kosteneffizienz mit größerer Zurückhaltung geplant werden. Konsequenz sind „schlanke“ Energiekonzepte, die sich u.a. durch hochwertigere Fassaden, geringere installierte Heiz- und Kühlleistungen, geringere mechanische Luftwechsel und den weitgehenden Vorrang für die natürliche Lüftung auszeichnen.

Grundvoraussetzung für diese Energiekonzepte ist der integrale Planungsprozess. Durch eine intensive Abstimmung aller maßgeblichen Aspekte werden die Konzepte schlanker und Überdimensionierungen reduziert. Dabei werden besonders spezifische Aspekte des Standorts und der wechselnden Witterungsbedingungen berücksichtigt. Dieses Vorgehen findet Ausdruck in zahlreichen Veröffentlichungen unter den Stichworten Integrale Planung, Energiedesign, Climadesign etc. [73]-[76].

Die integrale Planung ist dabei nicht nur am Planungsprozess, sondern auch an den eingesetzten Werkzeugen ablesbar. Durch EDV-gestützte Simulationen können Bauphysik, Energiebedarf und Komfort unter Berücksichtigung komplexer Rahmenbedingungen wie Wind, Temperatur, Strahlung sowie Betriebs- und Nutzungsbedingungen in integrierten Modellen untersucht werden. Für die Bewertung der Gesamtenergieeffizienz wird in Zukunft die DIN V 18599 einen normativen Rahmen bieten.

Die mehr als 20 Demonstrationsprojekte im Forschungsprogramm Energieoptimiertes Bauen bzw. SolarBau:MONITOR des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie haben gezeigt, dass schlanke, sowohl energieeffiziente wie komfortable Energiekonzepte mit einer integralen Planung technisch möglich sind.

3.4 Energiemanagement

Neben der Qualität der Planung entscheidet die Nutzung und Betriebsführung von Gebäuden über die tatsächliche Energieeffizienz von Gebäuden. Neben dem Nutzerverhalten ist das Energiemanagement als Teil der Bewirtschaftung von Gebäuden von besonderer Bedeutung.

3.4.1.1 Dienstleistungen

Der Bereich des Facility Managements definiert sich nach GEFMA 100 [86] wie folgt:

"Facility Management (FM) ist eine Managementdisziplin, die durch ergebnisorientierte Handhabung von Facilities und Services im Rahmen geplanter, gesteuerter und beherrschter Facility Prozesse eine Befriedigung der Grundbedürfnisse von Menschen am Arbeitsplatz, Unterstützung der Unternehmens-Kernprozesse und Erhöhung der Kapitalrentabilität bewirkt. Hierzu dient die permanente Analyse und Optimierung der kostenrelevanten Vorgänge rund um bauliche und technische Anlagen, Einrichtungen und im Unternehmen erbrachte (Dienst-)Leistungen, die nicht zum Kerngeschäft gehören."

Innerhalb der DIN 32736 "Gebäudemanagement" [87] wird der Leistungsblock des "Energie-Management" dem Technischen Gebäudemanagement zugeordnet. Er unterscheidet konkreter als in der GEFMA-Definition folgende Leistungen:

- Gewerke- übergreifende Analyse der Energieverbraucher
- Ermitteln von Optimierungspotentialen
- Planen der Maßnahmen unter betriebswirtschaftlichen Aspekten
- Berechnen der Rentabilität
- Umsetzen der Einsparungsmaßnahmen
- Nachweisen der Einsparungen.

Damit sind die originären Aufgaben des Energiemanagements als Teilleistungen dem Facility Management zuzuordnen.

Ist das Facility Management eines Unternehmens oder für ein konkretes Objekt organisatorisch nicht definiert und als wesentlicher Prozess nicht etabliert, so besteht die Gefahr, dass eine Immobilie nicht optimal bewirtschaftet und damit auch nicht



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391 - 3635
Fax: 0531 / 391 - 3636

energieeffizient betrieben wird. Defizite, die sich im Wesentlichen aus dem Zusammenspiel der Baukonstruktion, der Technischen Gebäudeausrüstung und der Nutzung ergeben, werden nicht insgesamt betrachtet und bearbeitet.

Die oben dargestellten Aufgaben machen keine detaillierten Vorgaben zur Umsetzung des Leistungsbilds *Energiemanagement*. So wird z.B. nicht präzise festgelegt, nach welcher Methodik eine Analyse durchzuführen ist, wie Optimierungspotenziale zu bestimmen sind und der Erfolg von Maßnahmen zu überprüfen ist. Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass die entsprechenden Dienstleistungen nur unzureichend erfüllt werden.

Die Richtlinien der AMEV - *Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Einrichtungen* definieren Grundlagen und Vorgaben für ein effektives Energiemanagement. So werden in der AMEV 78 *EnMess 2001* [88] *Geräteausstattung zur Energie- und Medienerfassung* messtechnische Maßnahmen für das Energiemanagement dargestellt. AMEV EVA 92 [89] macht Vorgaben für die Aufgaben von Betreibern im Rahmen des Energiemanagements. AMEV *Gebäudeautomation 2005* [90] zeigt Möglichkeiten zur Integration der Gebäudeautomation in das Energiemanagement und anhand von Beispielen einfachen Plausibilitätskontrollen für die energieeffiziente Betriebsführung.

Eine besondere Form des Energiemanagements ist das Contracting. Bei Contracting-Verträgen können die oben beschriebenen Leistungen zur Verbesserung der Energieeffizienz einschließlich der Umsetzung und Finanzierung von Optimierungsmaßnahmen als eine separate externe Dienstleistung beauftragt werden. Die Maßnahmen können sowohl bauliche und anlagentechnische Veränderungen enthalten, wie z.B. den Einbau einer neuen Heizzentrale, als auch betriebstechnische Anpassungen z.B. von Laufzeiten oder Schaltpunkten. Die Honorierung erfolgt anschließend in der Regel erfolgsabhängig über einen längeren Zeitraum. Verschiedene Vertragsmodelle zum Contracting sind in DIN 8930 Teil 5 [91] klassifiziert. Grundlagen sind auch in der AMEV „Einspar-Contracting 2001“ [92] dargestellt.

3.4.1.2 Methoden und Werkzeuge

Zu Beginn des Projekts standen nur wenige eindeutig definierte Methoden speziell für die Betriebsanalyse und -optimierung zur Verfügung. Die VDI 3807 [93] definiert ein Verfahren für die Bewertung des Energieverbrauchs von Gebäuden mit Hilfe von flächenbezogenen Jahresenergiekennwerten einschließlich einer Zeit- und Witterungsberreinigung.

Darüber hinaus werden grundsätzliche Methoden für die Erstellung von Verbrauchskennlinien dargestellt. Dabei werden Wärmeverbräuche kleinerer Zeiträume über den jeweiligen mittleren Außentemperaturen bzw. Heizgradtagen aufgetragen. Diese Kennlinien können hinsichtlich der Heizgrenztemperatur, einem nicht witterungsbedingten Verbrauchsanteil, der Steilheit der Kennlinie sowie möglicher Ausreißer oder Veränderungen interpretiert werden.

Mit dem LEE – Leitfaden Elektrische Energie [69] steht eine Methode für die Bewertung des elektrischen Energiebedarfs von Gebäuden zur Verfügung, die sich an der Schweizer SIA 380 „Energie im Hochbau“ [94] orientiert. Er definiert Berechnungsmethoden für den Energiebedarf und gibt Grenzwerte für den maximalen spezifischen Energiebedarf an sowie Zielwerte, die wirtschaftlich erreichbar sind. In ähnlicher Weise wurde in dem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekts MEG [95] ein Verfahren zur Berechnung und Bewertung von Teilenergiekennwerten entwickelt.

Das europäische Projekt EPLabel [96] hat eine Methodik entwickelt, mit der auf Basis von Energieverbrauchswerten sowie Gebäude- und Anlagenbeschreibungen Kennwerte für den Verbrauch von Gebäuden ermittelt werden. Durch den Abgleich mit Zielwerten auf Basis von empirischen Daten können Einsparpotenziale und Handlungsbedarf bestimmt werden.

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391 - 3635
Fax: 0531 / 391 - 3636

Neben den kennwert- bzw. verbraucherorientierten Methoden bietet insbesondere die Mess-, Steuer- und Regelungstechnik neue Analysepotenziale. Die zunehmende Automatisierung und informationstechnische Vernetzung der verschiedenen Gebäude- und Anlagenfunktionen ermöglicht neben der präziseren (und ggf. auch anspruchsvolleren) Betriebsführung eine detaillierte Analyse aller Anlagenteile, da die Daten der Gebäudeautomation verfügbar gemacht und ausgewertet werden können. Automationsysteme bieten in der Regel die Möglichkeit, Mess- und Regelungsgrößen als Liniengrafik (Trendplots) über der Zeit darzustellen. Die Werkzeuge können in Verbindung mit entsprechenden Grenzwerten auch unmittelbar Maßnahmen des Energie Managements auslösen.

Jedoch werden diese Maßnahmen bisher nicht methodisch unterlegt bzw. präzise in das Leistungsbild Energiemanagement integriert. Parallel zu EVA wurden jedoch in verschiedenen Projekten Methoden und Werkzeuge zur Betriebsanalyse entwickelt. Da die Komplexität der Gebäudeautomation zunimmt, werden grafische Darstellungen von Betriebszuständen entwickelt, die, wie z.B. im Projekt OASE [97], komplexere mehrdimensionale Abbildungen von Betriebszuständen ermöglichen. Viele der Anwendungen werden u.a. im Rahmen des IEA Annex 40 und 47 [98] entwickelt.

Den Autoren liegen keine Studien zu Art, Umfang und Qualität des in der Praxis tatsächlich durchgeführten Energiemanagements oder zum tatsächlichen Einsatz oder Nutzen der oben dargestellten Methoden und Werkzeuge vor.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

3.5 Zusammenfassung

Insgesamt ist festzustellen, dass es eine detaillierte normative Umgebung für die Planung von Gebäuden sowie umfangreiche Publikationen zu Neubauten gibt, entsprechende Grundlagen und Kenntnisse für effektive Erfolgskontrollen im Betrieb weitgehend fehlen oder aber nicht zum Einsatz kommen. Der Kenntnisstand zu Art und Weise, Umfang und Qualität der Betriebsführung in Bezug auf Energieeffizienz und Nutzerkomfort ist gering.

Eine Ausnahme bildet das oben erwähnte Projekt SolarBau:MONITOR / EnBau, in dem detaillierte und belastbare Erkenntnisse zu Energieeffizienz und Nutzerkomfort von Gebäuden erarbeitet wurden. Da diese Gebäude jedoch Demonstrationsobjekte sind, die von der Planungsphase an mit Mitteln und Motivationen durchgeführt wurden, die nicht der Regel entsprechen, bleibt das signifikante Informationsdefizit in Bezug auf „normale“ Gebäude.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

4 EVALUIERUNG

Die Evaluierung der Gebäude erfolgt in zwei übergeordneten Phasen, der Grobanalyse und der Feinanalyse, deren Ergebnisse mit diesem Bericht zusammengefasst werden.

In der Grobanalyse wurden alle 19 Gebäude dokumentiert und vorliegende Daten zum Betrieb ausgewertet. Ausnahmen von dieser Vorgehensweise bildeten die Gebäude EnergieForum Berlin und der Neubau des Informatikzentrum der TU Braunschweig, da diese beiden Gebäude bereits in dem Programm SolarBau:MONITOR untersucht wurden. Die beiden Gebäude werden in EVA als Langzeitstudien bearbeitet.

Für die Gebäude, für die nach Abstimmung mit den Unternehmen eine Feinanalyse sinnvoll und möglich war, wurde ein Evaluierungskonzept für Energieeffizienz und Nutzerkomfort erstellt. Auf Grund der sehr unterschiedlichen Gebäude und den ebenso unterschiedlichen Möglichkeiten der Untersuchung konnten nicht in jedem Gebäude alle Aspekte der Feinanalyse bearbeitet werden. So erklärten sich u.a. nur ein Teil der Eigentümer bereit, Nutzerbefragungen zuzulassen. Auch die technischen Gegebenheiten vor Ort und der Aufwand für messtechnische Analysen führten zu unterschiedlichen Bearbeitungstiefen. Und schließlich haben identifizierte Optimierungspotenziale im Betrieb es sinnvoll erschienen lassen, den Fokus im Einzelfall auf bestimmte Anlagen zu richten.

Von besonderer Bedeutung während der Bearbeitung der Feinanalyse war die Einführung der DIN V 18599 als Werkzeug zur Berechnung des Gesamtenergiebedarfs von Gebäuden. Die Bearbeitung musste im Laufe der Feinanalyse integriert werden und diese deshalb in Teilen umgestellt, angepasst und ergänzt werden, so dass ein erheblicher zusätzlicher Bearbeitungsaufwand entstand. Dieser hat sich allerdings als hilfreich erwiesen, da das Normenwerk für die Bewertung der Energieeffizienz eine einheitliche Systematik und Grundlagen für Vergleiche von Energiebedarf und Verbrauch im Betrieb bietet.

Im Folgenden Bericht zur Feinanalyse wird zu den verschiedenen Analysen das grundsätzliche Vorgehen jeweils im Bereich „Grundlagen und Methodik“ erläutert, die Ergebnisse in Querschnittsanalysen zusammengeführt und interpretiert. Die Gebäudebeschreibungen sowie die Einzelergebnisse und Besonderheiten bei der Bearbeitung sind in den Objektberichten dargestellt.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3635
Fax: 0531 / 391 - 3636

4.1 Gebäude und Standorte

Nachdem die Grundzüge des Projekts EVA feststanden, hat das IGS in den Jahren 2002 und 2003 bei mehr als 100 Unternehmen, Städten und Institutionen für eine Teilnahme am Projekt mit Gebäuden geworben. Mit Beginn des Projekts standen 19 Gebäude als Untersuchungsobjekte fest. Akquisition und Auswahl folgten mehreren Gesichtspunkten:

1. Ein überwiegender Teil der Gebäude sollte innovative Energiekonzepte für Bürogebäude aufweisen, einige „Referenz-Gebäude“ jedoch auch einem eher konventionellen Standard entsprechen.
2. Zwei Gebäude aus dem Projekts SolarBau:MONITOR, das EnergieForum Berlin und der Neubau des Informatikzentrums der TU Braunschweig, wurden auf Wunsch des Projektträgers aufgenommen, um das Monitoring aus dem Vorprojekt in EVA als Langzeit-Untersuchung fortzuführen.
3. Die teilnehmenden Unternehmen sollten sich mit einem finanziellen Beitrag im Projekt engagieren, also ein Eigeninteresse an der Bearbeitung haben.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

16 der 19 Gebäude sind Neubauten, 4 wurden vor der Einführung der WSchVo '95 errichtet. Die Gebäude wurden für die Auswertungen in die Kategorien „überwiegend natürlich belüftet“ und „überwiegend mechanisch belüftet“ eingeteilt, um konzeptionelle Unterschiede zu berücksichtigen. Andere Studien, z.B. [28] und [31], haben ähnliche Kategorien definiert, um Gebäude nach Art und Umfang der technischen Ausstattung zu differenzieren.

Die Stichprobe ist nicht repräsentativ, bietet jedoch Beispiele für unterschiedliche Gebäudetypen und ist damit eine gute Grundlage für Fallstudien zum Stand der Technik.

4.2 Flächeneffizienz

Für die Bewertung der Energieeffizienz werden flächenbezogenen Energiekennwerte verwendet. Die Flächenangaben bilden deshalb eine wichtige Grundlage für die Evaluierung.

4.2.1.1 Grundlagen und Methodik

In der Regel sind Gebäude in Form, Größe, Nutzung, technischer Ausstattung etc. nicht identisch. Zur vergleichenden Bewertung werden deshalb spezifische Kennwerte herangezogen. Als Bezugsmaß werden üblicherweise die Größe der Gebäude, also Flächen oder Rauminhalt verwendet. Zur Strukturierung der Gebäudeflächen sieht die aktuelle DIN 277 [77] folgende Gliederung der Nettogrundfläche vor, siehe Tabelle 8.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

EVA

Evaluierung von Energie- Konzepten

Tabelle 8 Flächendefinition nach DIN 277

Tabelle 1 — Gliederung der Netto-Grundfläche nach Nutzungsgruppen

Nr	Netto-Grundflächen	Nutzungsgruppe
1	Nutzfläche (NF)	Wohnen und Aufenthalt
2		Büroarbeit
3		Produktion, Hand- und Maschinenarbeit, Experimente
4		Lagern, Verteilen und Verkaufen
5		Bildung, Unterricht und Kultur
6		Heilen und Pflegen
7		Sonstige Nutzflächen
8	Technische Funktionsfläche (TF)	Technische Anlagen
9	Verkehrsfläche (VF)	Verkehrerschließung und -sicherung

Im Folgenden werden weiterhin die gebräuchlichen Flächendefinitionen der vorherigen Ausgabe der DIN 277 verwendet:

1. Für die Summe aller Nutzflächen der Hauptnutzungen [NF₁₋₆] wird weiterhin der Begriff Hauptnutzfläche [HNF] verwendet.
2. Für die sonstigen Nutzflächen [NF₇] der Begriff Nebennutzflächen [NNF].

Da in EVA die Energieeffizienz im Mittelpunkt der Betrachtung steht, wird, soweit nicht anders angegeben, als Bezugsfläche die NGF verwendet, die in der Regel auch der in der DIN V 18599 verwendeten Fläche entspricht, obwohl diese nur „konditionierte“, also beheizte, belüftete, gekühlte oder beleuchtete Flächen berücksichtigt. Grundsätzliche Ausnahme bilden die Baukosten, die auf die BGF bezogen werden.

Die Flächen von Tiefgaragen und Atrien sind auf Grund ihrer großen Anteile für die Kennwertbildung von Bedeutung. Sie werden in anderen Studien oft als Bereiche mit geringem spezifischem Energieverbrauch eingestuft und aus der Bezugsfläche ausgeschlossen, um die Kennwerte nicht zu verfälschen. In EVA wurden die Flächen in der Regel mit einbezogen. Grund hierfür ist zum einen, dass die Bezugsfläche der DIN V 18599 die konditionierte NGF ist, die in den meisten Fällen der gesamten NGF entspricht. Darüber hinaus führt eine Differenzierung in vermeintlich energieintensive und –extensive Gebäudebereiche zu einer methodischen Verunklarung: Technik und Lagerflächen können ebenfalls energieintensiv sein, werden aber nicht ausgeschlossen. Wichtigster Punkt aber ist, dass nur wenige Kenntnisse darüber vorliegen, ob diese Bereiche tatsächlich einen geringen spezifischen Energieverbrauch aufweisen. Tiefgaragen stehen sicherlich nicht im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit des Gebäudemanagements, so dass eine (ungeplante) dauerhafte Beleuchtung und eine überhöhte mechanische Belüftung signifikante Verbrauchsanteile verursachen können. Atrien – wie auch immer funktional in die Architektur integriert – wurden ggf. als unbeheizte oder temperierte Räume mit vergleichsweise schlechtem Wärmeschutz geplant, in der Praxis aber auf Grund einer intensiven Nutzung beheizt.

Aus Sicht einer Argumentation „pro Energieeffizienz“ liegt es möglicherweise nahe, diese Flächen aus der Betrachtung herauszunehmen und so die Kennwerte zu erhöhen bzw. „zu verschlechtern“. In diesem Projekt wird der einheitlichen Methodik der Vorzug gegeben, auch um den Erfahrungen aus dem Betrieb nicht vorzugreifen. Die Flächen von Tiefgaragen und Atrien wurden als Teil der NGF in die Bezugsflächen eingerechnet. Im Weiteren werden die Flächenkennwerte in der Regel mit der Einheit [m²_{NGF}] verwendet.

Für die Gebäude lagen Planunterlagen und summarische Flächenangaben vor. Zu einzelnen Objekten lagen zusätzlich die Flächenangaben als ausführliche, teils



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

raumweise Excel-Listen vor. Daneben lagen Daten aus Veröffentlichungen vor. Für 9 Gebäude wurde im Rahmen der Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599 eine Flächenberechnung auf Basis der Planunterlagen durchgeführt. Die Werte wurden auf Plausibilität überprüft.

4.2.1.2 Ergebnis

Abbildung 6 zeigt die Grundflächen der 19 EVA-Gebäude. Die Angaben für die BGF reichen von rund 4.000 m²_{BFG} bis zu fast 120.000 m²_{BGF}.

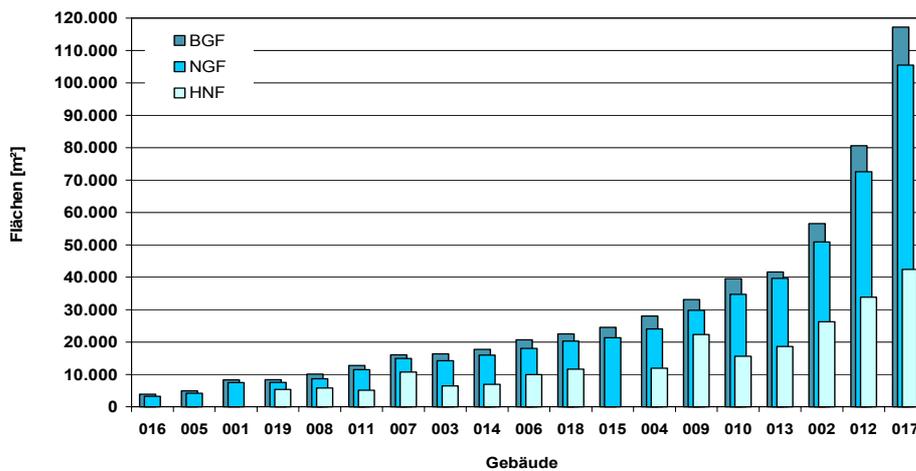


Abbildung 6 Grundflächen BGF, NGF und HNF nach DIN 277

Der Vergleich der Werte für die Grundflächen aus vorliegenden Gebäude-Dokumentationen und dem eigenen Aufmaß des IGS zeigte eine weitgehend präzise Übereinstimmung, siehe Abbildung 7.

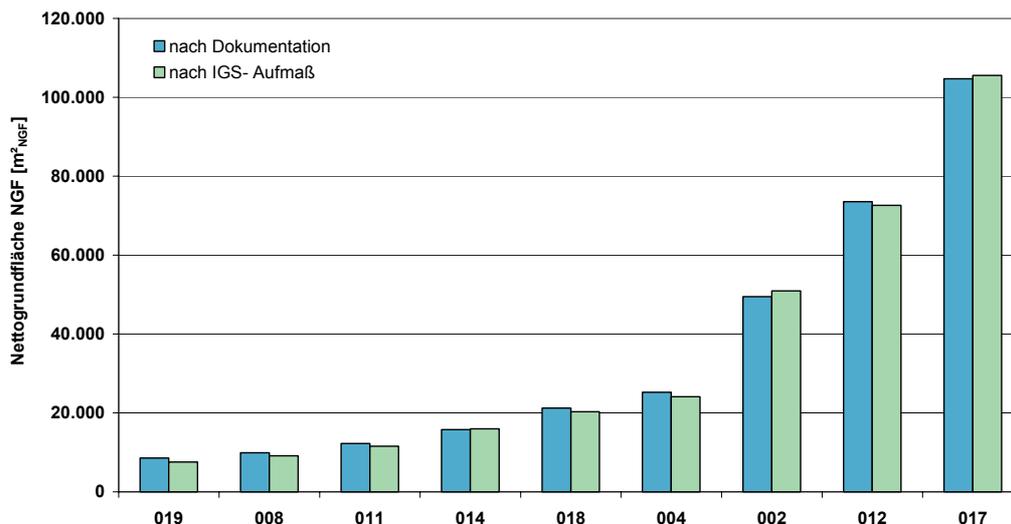


Abbildung 7 Vergleich der Flächenermittlungen aus vorliegender Dokumentation und nach IGS- Aufmaß

Bei den 9 Gebäuden, für die das IGS ein eigenes Aufmaß durchgeführt hat, wurden Abweichungen von im Mittel 5 % festgestellt, darunter zwei Gebäude mit 9 bzw. 13 % Abweichung. Es wurden keine signifikanten Abweichungen im Sinne von nicht

EVA

Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

beinhalteten Bauteilen o.ä. festgestellt. Im Weiteren wurde mit der als präziser bewerteten Datengrundlage gearbeitet (z.B. raumweises Aufmaß).

Hinsichtlich der oben dargestellten Diskussion zur Abgrenzung der NGF wurden die Flächenanteile von Tiefgaragen und Atrien separat berechnet, siehe Abbildung 8.

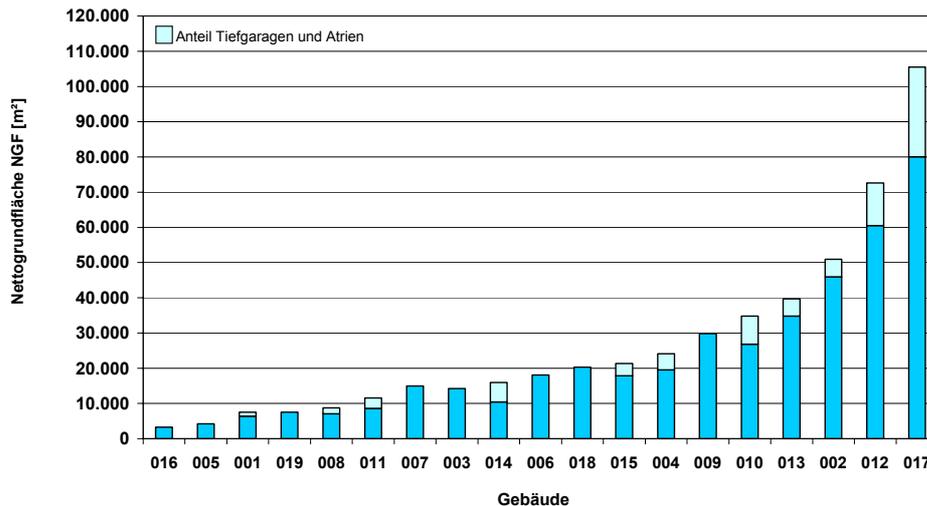


Abbildung 8 Nettogrundflächen mit den Flächenanteilen von Tiefgaragen und Atrien

Der Anteil dieser Flächen liegt im Mittel bei 12 %, im Höchstfall bei fast 35 %. Dies kann bei der Interpretation der Kennwerte berücksichtigt werden.

Neben der Differenzierung nach DIN 277 wurde mit dem Aufmaß nach DIN V 18599 auch eine Flächenermittlung der einzelnen Nutzungszonen durchgeführt. In Abbildung 9 ist der Anteil ähnlicher Nutzungsarten zu Gruppen zusammengefasst.

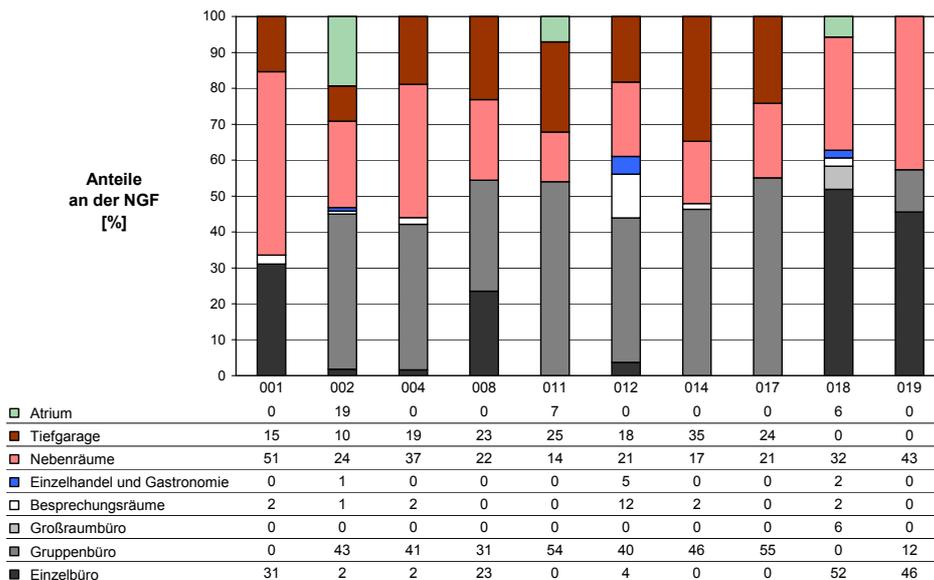


Abbildung 9 Anteile der verschiedenen Nutzungsarten (gruppiert) nach DIN V 18599

Atrien wurden mit dem Nutzungsprofil der Zone 18 Nebenflächen berechnet. Nur bei Gebäude 004 wurden die Atrien nicht mit eingerechnet, da sie als vollständig unconditioniert bewertet wurden.

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Es wird deutlich, dass der Anteil der eigentlichen Büronutzung einschließlich Besprechungsräumen lediglich 51 % beträgt mit Werten von rund 30 bis 60 %. Dies ist geringfügig höher als der HNF- Anteil von 48 %, der in der VDI 3807 angegeben wird.

Diese Varianz spiegelt sich auch in den Kennwerten für die Flächen je Arbeitsplatz wieder, siehe Abbildung 10.

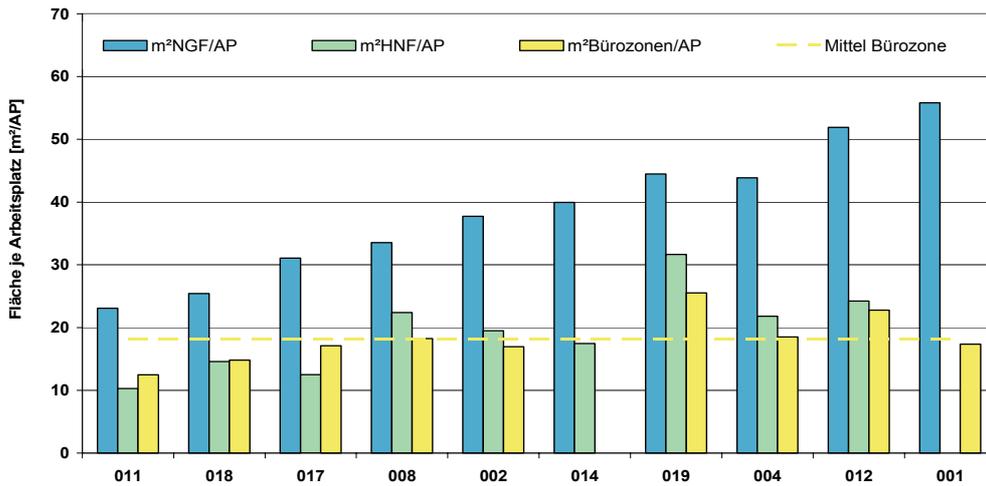


Abbildung 10 Flächenkennwerte der Arbeitsplätze bzw. Bürozonen (Nutzungszone 1-4 nach DIN V 18599)

Die Kennwerte für die Flächen je Arbeitsplatz liegen zwischen 23 und 56 m²_{NGF}/AP mit einem Mittel von 39 m²_{NGF}/AP in Bezug auf die Nettogrundfläche bzw. 12 und 25 m²_{NGF 1-4}/AP mit einem Mittel von 18 m²_{NGF 1-4}/AP in Bezug auf die Bürofläche.

EVA

Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

4.3 Baukosten

Der finanzielle Aufwand zur Erreichung einer hohen Energieeffizienz ist für die Entscheidung in Bauprojekten von großer Bedeutung. Deshalb wurden die Baukosten der Gebäude in EVA soweit möglich untersucht.

4.3.1 Grundlagen und Methodik

Die Baukostenermittlung wird durch die DIN 276 [79] definiert. Zu den Neubaukosten von Verwaltungsgebäuden stehen zu Vergleichszwecken in Form gebäudebezogener Daten Referenzwerte aus unterschiedlichen Quellen zur Verfügung:

1. Schriftenreihe des BKI [80]
Das Buch gibt für unterschiedliche Gebäudearten objektweise die Kostenkennwerte der 1. und 2. Ebene nach DIN 276 sowie für Leistungsbereiche nach Standardleistungsbuch (StLB) an. Außerdem werden die Planungskennwerte für Flächen und Rauminhalte nach DIN 277, und zum Teil für den Anteil lufttechnisch behandelter Flächen und weiterer Planungskennwerte wie z.B. die Anzahl der Arbeitsplätze oder Bauzeit genannt. Für die Einordnung nach Standards werden Qualitätskriterien beschrieben, die die Gebäudezuordnung ermöglichen. Die Auswertung nach Gebäudestandards wird ergänzt durch eine Auswertung nach Konstruktionsarten. Die vollständige Gebäudedokumentation findet sich im BKI Kostenplaner 7.0 [81], einer Software zur Baukostenermittlung.
2. Projektportraits des SolarBau:MONITOR [82]
Es stehen die Bauwerkskosten der 1. Ebene nach DIN 276 und Planungskennwerte für Flächen und Rauminhalte zur Verfügung.
3. Die Dokumentation PLAKODA [83]
Das Programm PLANungs- und KOSTen-DATEN (PLAKODA) beinhaltet eine vollständige Projektdokumentation unterschieden nach 4 Gebäudegruppen (Verwaltungsbau, Hochschulbau und Kliniken, Schul- und Sportstättenbau, Wohnen und Werkstätten) bis zur 2. Ebene nach DIN 276 für die Kostengruppen 200 bis 700, sowie Flächen und Rauminhalte DIN 277 und enthält die Kosten nach Standardleistungsbereichen. Ergänzt wird die Dokumentation durch eine ausführliche Baubeschreibung für einen Teil der Projekte.

Allgemeine Angaben zu Kostenkennwerten finden in dieser Untersuchung keine Berücksichtigung, da die Datenherkunft nicht dokumentiert ist. Die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Quellen und die Analysetiefe wären dann nicht gewährleistet. Dies betrifft z. B. die Veröffentlichung „Normalherstellungskosten 2000“ [84] des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Sie listet für Verwaltungsgebäude nach Geschoszahl in drei Typen untergliedert, Kostenkennwerte der 1. Ebene für die Kostengruppen 300 und 400 bzw. 700 getrennt nach Ausstattungsstandards auf. Einen Überblick über diese Referenzdaten geben Tabelle 9 und Tabelle 10.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**



EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

Tabelle 9 Inhalt der Datenquellen

	BKI	SolarBau: MONITOR	Plakoda
BRI [m³]	x	x	x
BGF [m²]	x	berechnet ^{x2}	x
NGF [m²]	x	x	x
NGF beheizt [m²]	-	-	-
NF [m²]	x	-	x
TF [m²]	x	-	x
VF [m²]	x	-	x
NF Hauptnutzung [m²]	x	x	x
NF Büroarbeit [m²]	-	-	teilweise ^{x3}
NF sonstige Nutzung [m²]	x	-	x
Garagen / TG / Atrien / Dofa [m²]	-	-	-
Arbeitsplätze	teilweise ^{x1}	x	-
KG 300 [€] brutto	x	x	x
KG 400 [€] brutto	x	x	x

^{x1} Angaben liegen für 12 Gebäude – 18 % des Referenzdatensatzes - vor

^{x2} keine Angaben zur BGF, sie wurde mit dem Faktor NGF / 0,87 aus VDI 3807 berechnet

^{x3} für 141 Gebäude - 62% des Referenzdatensatzes - stehen Angaben zur Verfügung

Tabelle 10 Umfang der Datenquellen

Bezeichnung	Gebäudezahl	Erläuterung
BKI Baukosten 2004	73	Unterscheidung nach Standards
SolarBau:MONITOR	23	unterschiedliche Kostenstände
Plakoda	317	nur öffentliche Bauten

Alle Kostenangaben wurden zeitbereinigt. Als Referenzkostenstand wurde der Baupreisindex für den Neubau von Bürogebäuden [101] mit dem Mittelwert für 2004 zugrunde gelegt. Alle Kostenangaben wurden darüber hinaus standortbereinigt. Verwendet wurde der Übersichtsplan BKI Baukosten, Regionalfaktoren 2005 für Deutschland und Europa. Alle Kostenangaben sind Bruttokosten für die Kostengruppen 300 und 400 nach DIN 276. Bezugsfläche für Baukosten ist die BGF.

4.3.1.1 Aufbereitung der Referenzdaten

Um die Vergleichbarkeit der Gebäude untereinander und mit den EVA Projekten zu gewährleisten blieben folgende Gebäude unberücksichtigt:

- Gebäude, deren Angaben zu den abgerechneten Kosten 1979 und älter sind. Damit wird das Inkrafttreten der 1. Wärmeschutzverordnung von 1977 berücksichtigt, unter der Annahme, dass diese Verordnung im Bauantrag der nach 1980 fertig gestellten Gebäude Anwendung fand.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3635
 Fax: 0531 / 391 - 3636

- Gebäude, deren überwiegende Nutzung Wohnen und Aufenthalt¹ oder Produktion² ist.
- Gebäude in Sonderbauweisen, z.B. Containerbüros
- Gebäude mit fehlenden oder inkonsistenten Datenangaben

Die Höhe der Baukosten wird von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt: der Gebäudegröße, der Konstruktionstypologie, der Art der Klimatisierung als Maß für den Ausstattungsstandard oder der Nutzung.

Agrund ihrer wechselseitigen Einflüsse ist eine Isolierung einzelner Faktoren bei der Betrachtung über die Gesamtheit aller Gebäude nicht signifikant, wie das Beispiel der Sortierung nach Gebäudegröße für die Datenquelle PLAKODA zeigt: die Schwankungsbreite der Baukosten beträgt ca. 10 % um den Mittelwert, siehe Abbildung 11.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

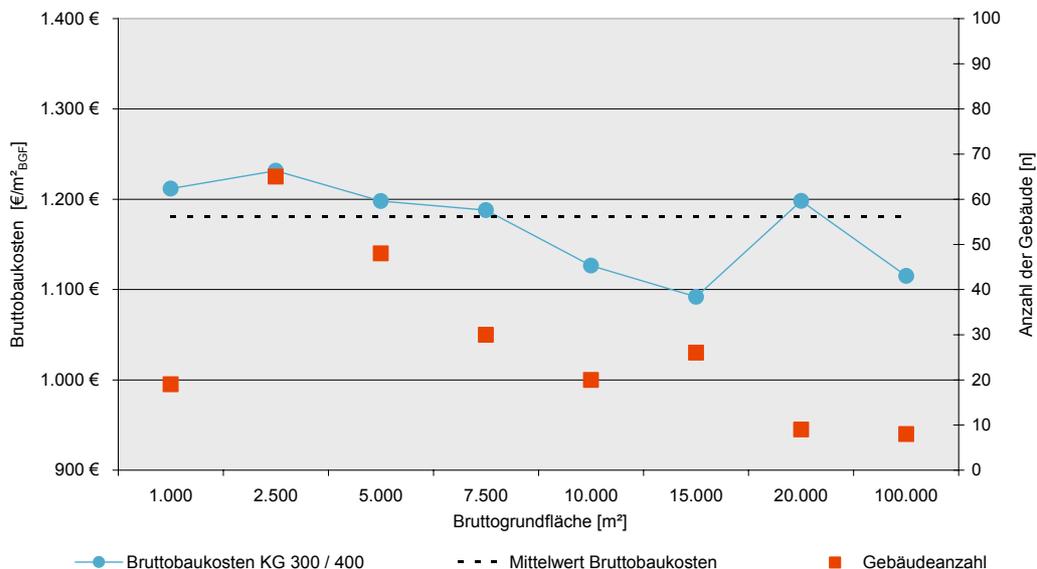


Abbildung 11 PLAKODA, sortierte Baukosten nach Gebäudegröße

Zwar lassen sich zunächst abnehmende Baukosten mit zunehmender Gebäudegröße feststellen. Diese Tendenz ist jedoch bei sehr großen Gebäuden nicht konsistent. Ursachen können in der nur geringen Anzahl von Angaben zu sehr großen Gebäude liegen.

4.3.1.2 Datengrundlagen

In den Bauwerkskosten unterscheiden sich die Mittelwerte der Quellen nur unwesentlich. Bei den auf einen geringen Energieverbrauch ausgelegten Gebäuden des Solar-Bau:MONITOR / EnBau liegen die Technikkosten rund 30 % über den Vergleichswerten, siehe Tabelle 11.

¹ NF Wohnen und Aufenthalt > 50% NF Hauptnutzung

² NF Produktion, Hand- und Maschinenarbeit, Experimente > 50% NF Hauptnutzung



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Tabelle 11 Baukostenvergleich der Datenquellen als Bruttobaukosten [€/ m²_{BGF}]

	Gebäude- anzahl	Mittelwert KG 300	Mittelwert KG 400	Mittelwert ^{x1} KG 300 / 400
BKI	67	919	278	1.197
SolarBau:MONITOR / EnBau	11	930	363	1.293
PLAKODA	226	908	261	1.169

^{x1} Der Mittelwert wurde als gestutztes Mittel 10% berechnet, sodass Ausreißer unberücksichtigt bleiben

Alle Gebäude der drei Datenquellen wurden zu einem Referenzdatensatz Baukosten mit der in der folgenden Darstellung dargestellten Verteilung zusammengefasst, siehe Abbildung 12.

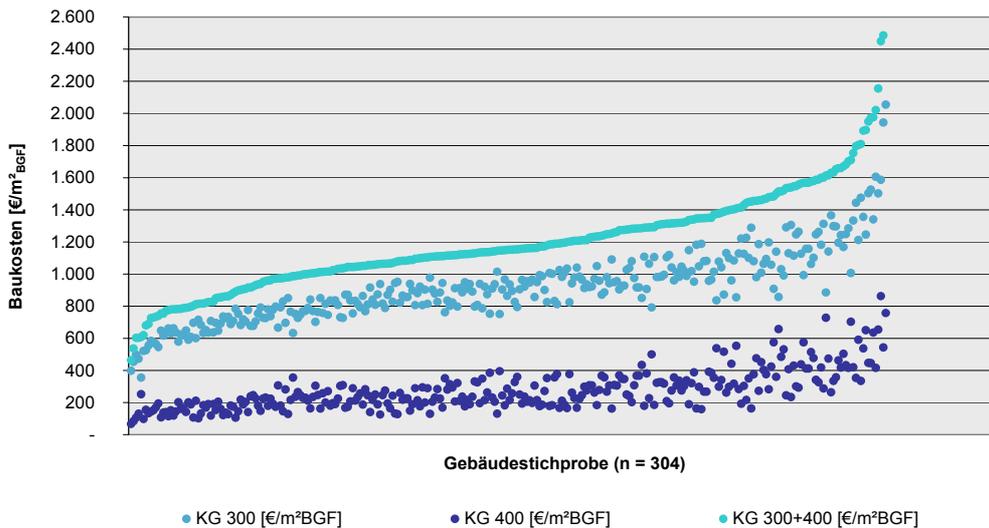


Abbildung 12 Referenzdatensatz Brutto-Baukosten [€/ m²_{BGF}] (n = 304 Gebäude)

Dieser Referenzdatensatz ist Grundlage des Vergleichs mit den EVA Projekten. Grundlage der Bearbeitung der Baukosten sind Angaben der teilnehmenden Unternehmen bzw. Angaben zu Kosten aus Veröffentlichungen. Es liegen Baukostenangaben zu 7 Gebäuden vor.

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

4.3.2 Ergebnis

Bei der Mittelwertbetrachtung liegen die Baukosten der EVA- Gebäude in der Summe der Kostengruppen 300 und 400 um 35 % über dem Mittelwert des Referenzdatensatzes, siehe Tabelle 12.

Tabelle 12 Baukostenvergleich EVA als Bruttobaukosten [€/ m² BGF]

	Gebäude- Anzahl	Mittelwert KG 300	Mittelwert KG 400	Mittelwert KG 300 / 400
Referenzdatensatz	304	912	268	1.179
EVA	7	1173	432	1.605

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

Die Technikkosten der EVA- Gebäude liegen sogar um 60% über dem Vergleichswert. Die Signifikanz einer Mittelwertbildung über 7 Gebäude ist allerdings nur gering. Die Werte verdeutlichen aber, dass die EVA- Gebäude offensichtlich mit vergleichsweise technikintensiven Konzepten umgesetzt wurden.

Drei Gebäude liegen in der Summe der Baukosten im Durchschnitt des Referenzdatensatzes, ein Gebäude am oberen Rand der Schwankungsbreite, weitere drei Gebäude weisen deutlich überdurchschnittliche Gesamtbaukosten mit sehr hohen Bauwerks- und Technikkostenanteilen am oberen Ende der Bandbreite auf, siehe Abbildung 13.

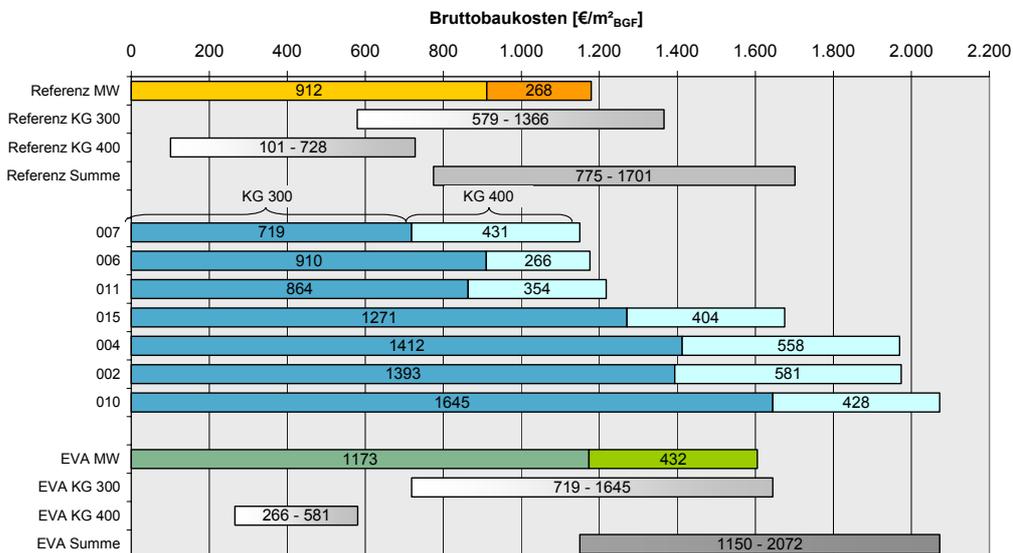


Abbildung 13 Flächenspezifische Baukosten (brutto, bezogen auf die BGF)

Um einen detaillierteren Vergleich vornehmen zu können, müssten die betrachteten EVA-Gebäude mit Hilfe baukostenrelevanter Gebäudequalitäten eingeordnet werden und mit den entsprechenden Teilen des Referenzdatensatzes verglichen werden. Außerdem wäre die Bewertung der Bruttogeschossfläche nach Anteilen der Nebennutzflächen eine sinnvolle Ergänzung einer Einzelbetrachtung, denn sie gibt Aufschluss über den Anteil weniger kostenintensiver Flächen wie z.B. Tiefgaragen. Diese Vertiefung konnte in EVA nicht umgesetzt werden.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Bei der Betrachtung der Kosten je Arbeitsplatz liegen die Baukosten der EVA Gebäude in der Summe der Kostengruppen 300 und 400 um 43% über dem Mittelwert des Referenzdatensatzes, siehe Tabelle 13. Die Tendenz hoher spezifischer Baukosten im Vergleich zur Referenz zeigt sich also auch im Bezug auf den Arbeitsplatz.

Tabelle 13 Baukostenvergleich EVA als Bruttobaukosten [€/ AP]

	Gebäude- anzahl	Mittelwert KG 300 / 400
Referenzdatensatz	19	48.000
EVA	7	69.000

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

Die Einzelgebäudebetrachtung zeigt einen qualitativen Zusammenhang zum BGF-Kostenvergleich, siehe Abbildung 14.

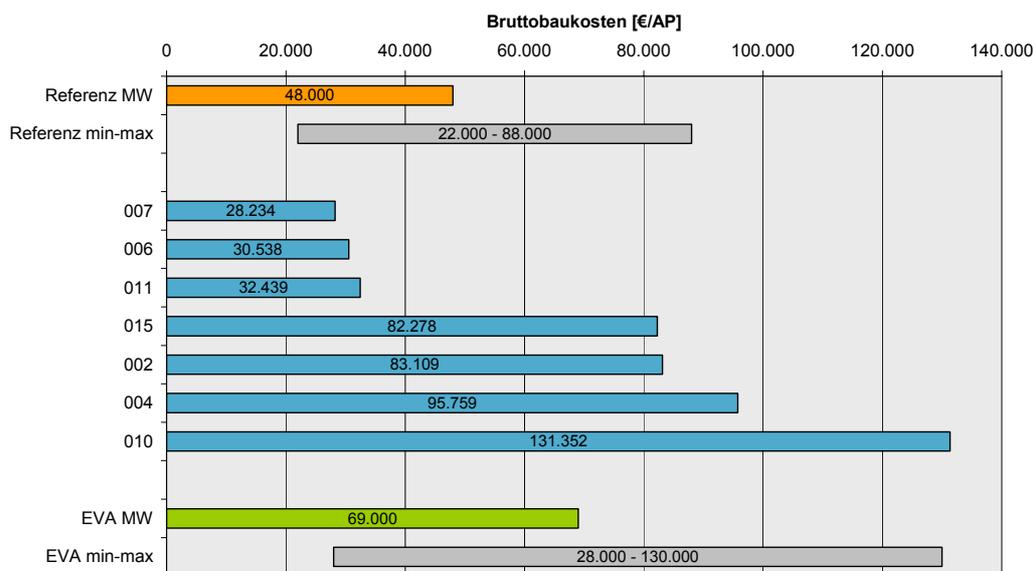


Abbildung 14 Baukosten je Arbeitsplatz (brutto)

Die drei Gebäude, die durchschnittliche Baukosten je m² Bruttogeschossfläche aufwiesen, liegen bezogen auf den Arbeitsplatz sogar um ca. 40% unter dem Mittelwert des Referenzdatensatzes. Dies legt den Schluss nahe, dass es sich um in zweifacher Hinsicht wirtschaftliche Gebäude handelt. Die folgenden 3 Gebäude liegen am oberen Rand der Schwankungsbreite. Das Gebäude mit den im flächenspezifischen Kostenvergleich höchsten Baukosten weist auch arbeitsplatzbezogen deutlich überdurchschnittliche Kosten auf.

Ingesamt ist die Spanne der Baukosten sehr groß. Es kann kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Kostenunterschieden und Energieeffizienz festgestellt werden. Ein Vergleich von spezifischen Baukosten und Jahres-Primärenergieverbrauch legt nahe, dass Gebäude mit höheren Baukosten – z.B. durch den umfangreicheren Einsatz von Anlagentechnik – statistisch auch einen höheren Energieverbrauch ausweisen, siehe Abbildung 15.

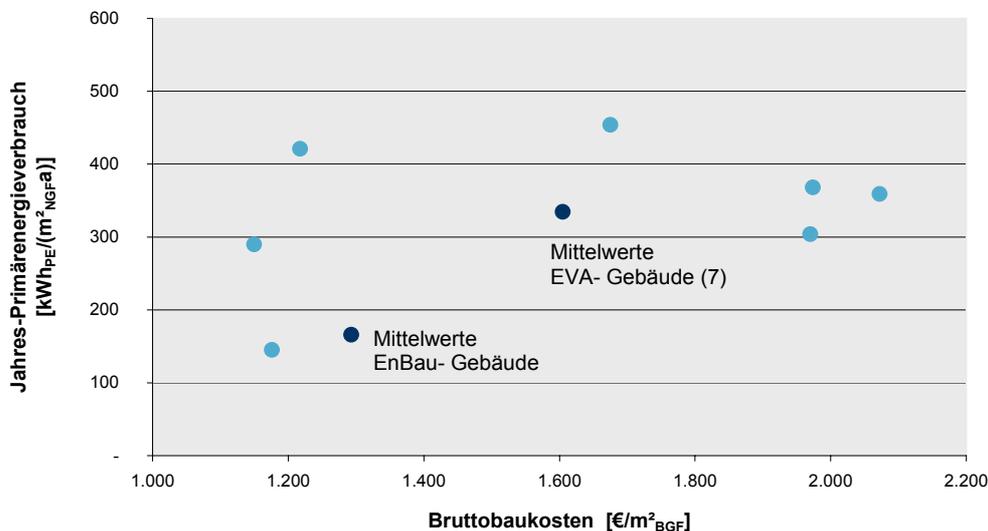


Abbildung 15 Spezifischer Jahres-Primärenergieverbrauch über den flächenspezifischen Bruttobaukosten (Energiekennwerte siehe 4.5.5)

Zu beachten ist hierbei, dass die Baukosten wesentlich durch Anteile beeinflusst werden, die nicht unmittelbar im Zusammenhang mit der Energieeffizienz der Gebäude stehen.

4.4 Energiemanagement

Das Energiemanagement bildet das betriebliche Pendant zur integralen Planung. Es soll gewährleisten, dass die Planungsziele im Betrieb tatsächlich erreicht werden und ist somit für den letztendlichen Erfolg eines Energiekonzepts verantwortlich.

Untersuchungsziel war zum einen die Erfassung des Energieverbrauchs und zum anderen die Art und Weise der Dokumentation bzw. Überprüfung der Energieeffizienz.

4.4.1 Grundlagen und Methodik

Die Untersuchung des Energiemanagements im Kontext des Gebäudemanagements erfolgte durch die Sichtung der entsprechenden Unterlagen zur Energieerfassung und in Gesprächen mit dem Betriebspersonal. Die im Rahmen der Projektbearbeitung installierte Messtechnik wurde nicht berücksichtigt.

Hinsichtlich der vorhandenen Messtechnik als Grundlage des Energiemanagements wurde dokumentiert, ob eine Messung für den gesamten Strom-, Wärme bzw. Kälteverbrauch und ob darüber hinaus für weitere Teilmessungen vorhanden waren. Ergänzend wurde dokumentiert, in welcher Regelmäßigkeit Energieverbrauchswerte erfasst, also Zähler manuell oder automatisch ausgelesen werden, ob Energieberichte erstellt werden und in welcher Form eine Erfolgskontrolle zur Energieeffizienz durchgeführt wurde. Diese wurden anschließend in drei Kategorien eingeteilt:

- Allgemeine Erfolgskontrollen ($IST_{Ref} - IST_{Geb}$ - Vergleich mit Referenzgebäuden als „Benchmark“, üblicherweise mit Verbrauchskennwerten)
- Individuelle Erfolgskontrolle ($SOLL_{Planung} - IST_{Betrieb}$ - Vergleich mit Planungszielen)
- Zeitliche Erfolgskontrolle ($IST_{neu} - IST_{alt}$ - Vergleich, in der Regel als Vergleich der Kennwerte eines Jahres mit den Kennwerten des Vorjahres)

Eine umfassende Analyse des Gebäudemanagements konnte auf Grund des Umfangs und der Komplexität des Themas nicht durchgeführt werden.

4.4.2 Ergebnis

Die Ausstattung mit Energie- Messtechnik war in den Gebäuden sehr unterschiedlich. Während einige Gebäude, z.B. weil sie Teil eines Firmengeländes waren, überhaupt keine Energiezähler hatten, waren andere Gebäude mit diversen Zählern auch für Teilverbraucher ausgestattet, siehe Abbildung 16.

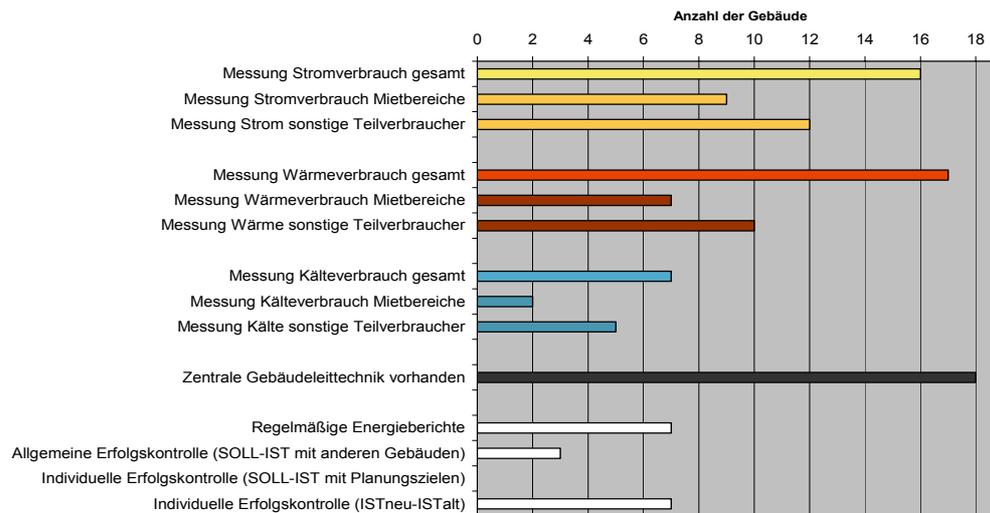


Abbildung 16 Energieverbrauchserfassung und Energieberichte

Die meisten Gebäude verfügen über Gesamtzähler für Wärme und Strom. Eine Ausnahme bildet u.a. das Gebäude 011, das Teil einer größeren Liegenschaft ist, sowie das Gebäude 013, in dem Mieter ihren Strom direkt mit dem Versorger abrechnen. Über eine Erfassung von Teilverbrauchern für Strom bzw. Wärme verfügten nur rund die Hälfte der Gebäude. In der Regel war diese für kaufmännische Zwecke installiert worden.

Die Erfassung erfolgte für die Hauptzähler meist auf Basis der monatlichen Rechnungen, aus denen Verbrauchswerte übernommen werden oder manuell als Auslesung der Zähler durch Hausmeister oder Betreiber. Die Daten werden in der Regel in Excel-Datenblätter eingetragen. Nur in Ausnahmen wurden die Zähler automatisch über die Gebäudeleittechnik erfasst, obwohl 18 der Gebäude über eine zentrale GLT verfügen.

Nur bei 7 Gebäuden wurden aus den erfassten Daten regelmäßige Energieberichte erstellt. Diese enthalten wiederum zumeist nur eine Fortschreibung der erfassten Daten, also eine Vergleich $IST_{neu} - IST_{alt}$ als Jahresvergleich. Nur 3 Gebäude werden durch Kennwerte mit anderen Gebäuden verglichen. Bei keinem der Gebäude wurde in Bezug auf den Energieverbrauch ein SOLL-IST-Vergleich zwischen Planungszielen und Betriebsergebnis durchgeführt. Entsprechende Werte wurden bei der Sichtung der Unterlagen nicht vorgefunden. In keinem der Gebäude wurden kontinuierliche Analysen der Gebäudeleittechnikdaten durchgeführt, die über die Aufzeichnung von Trends einzelner Sensoren zur Untersuchung akuter Probleme hinausgingen. Eine langfristige Aufzeichnung und umfassende Analyse fand nicht statt.

Insgesamt ist das Energiemanagement damit nur bedingt geeignet, einen hinsichtlich der Energieeffizienz optimierten Betrieb zu gewährleisten. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse muss berücksichtigen, dass die EVA- Stichprobe nicht repräsentativ ist und einige Unternehmen am Projekt teilgenommen haben, um Aspekte des Energiemanagements zu unterstützen. Es kann aber festgestellt werden, dass die Komplexität und der Anspruch, der in der Planung an das Ziel „Energieeffizienz“ gestellt wird, offensichtlich keine angemessene Weiterführung im Betrieb findet.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

4.5 Energieeffizienz

Die Energieeffizienz erfolgte sowohl als Quervergleich zwischen den Gebäuden sowie mit Kennwerten der unter 3.1 genannten Quellen. Dabei wurden die Anschlussleistungen der Energieversorgung, der Energiebedarf nach DIN V 18599, der gesamte Energieverbrauch der Gebäude sowie Teilenergieverbrauchswerte ermittelt.

Als Referenzwerte für den Energieverbrauch wurden aus den oben dargestellten Studien folgende Referenzwerte gebildet, siehe Tabelle 14.

Tabelle 14 Referenzwerte für den Energieverbrauch der EVA-Gebäude
 * PE = Primärenergie

Energiesstandard	Referenzen	
	Natürlich belüftete Gebäude	Mech. belüftete Gebäude
Effizienzstandard von Gebäuden der 60er+70er Jahren (vor der Einführung der Wärmeschutz- und Energieeinsparverordnungen)	Studie Siegel + Wonneberg Mittelwert der Typen ZNK (natürlich belüftet) + ZTK (teilklimatisiert): Wärme: 189 kWh _E /(m ² _{NGFA}) Wärme: 271 kWh _E /(m ² _{NGFA}) Strom: 35 kWh _E /(m ² _{NGFA}) Strom: 139 kWh _E /(m ² _{NGFA}) PE*: 295 kWh _{PE} /(m ² _{NGFA}) PE*: 678 kWh _{PE} /(m ² _{NGFA})	
Referenzen für heute übliche Effizienzstandards	Schweiz Mittelwert Typ 1+2 (natürlich + teilweise mech. belüftet): Wärme: 91 kWh _E /(m ² _{NGFA}) Strom: 43 kWh _E /(m ² _{NGFA}) PE*: 219 kWh _{PE} /(m ² _{NGFA})	Schweiz Typ 3 (überw. mech. belüftet): Wärme: 100 kWh _E /(m ² _{NGFA}) Strom: 117 kWh _E /(m ² _{NGFA}) PE*: 452 kWh _{PE} /(m ² _{NGFA}) Frankfurt: Wärme: 153 kWh _E /(m ² _{NGFA}) Strom: 150 kWh _E /(m ² _{NGFA}) PE*: 578 kWh _{PE} /(m ² _{NGFA})
Referenzen für den technisch- wirtschaftlich möglichen Effizienz-Standard	Solarbau: MONITOR / EnBau: Wärme: 46 kWh _E /(m ² _{NGFA}) Strom: 40 kWh _E /(m ² _{NGFA}) PE*: 166 kWh _{PE} /(m ² _{NGFA})	

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

4.5.1 Installierte Heiz- und Kühlleistungen

4.5.1.1 Grundlagen und Methodik

Die installierten Leistungen der Endenergieträger für die Wärme- und Kälteleistung wurden auf Basis der Planunterlagen und Begehungen dokumentiert, siehe Tabelle 15.

Tabelle 15 Dokumentierte Leistungen der Endenergieträger

Endenergieträger	Dokumentierte Leistungen
Wärme	Fern-/Nahwärme: Auslegungsleistung der Wärmeübertrager Gas/Öl: Leistung der Kessel oder BHKW Wärmepumpen: Auslegungsleistung
Kälte	Nahkälte: Auslegungsleistung der Wärmeübertrager Mechanische Kältemaschinen/Absorber: Auslegungsleistung (thermisch)

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

Anlagen zur regenerativen Energieversorgung, also z.B. Energiepfehlanlagen, solarthermische Anlagen oder der Versorgungsanteil von Wärmerückgewinnungsanlagen, wurden in der Bewertung der installierten Leistungen nicht berücksichtigt.

4.5.1.2 Ergebnis

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Analyse der Gebäudedokumentation zusammengestellt. Die dargestellten Mittelwerte beziehen sich auf die vorhandenen Werte. Gebäude, bei denen auf Grund der Datenlage kein Kennwert vorlag, wurden nicht berücksichtigt. Alle Werte sind flächenspezifisch in Bezug auf die NGF dargestellt. Der Mittelwert ist jeweils das arithmetische Mittel der Einzelkennwerte. Abbildung 17 zeigt die installierten Heizleistungen für 12 Gebäude.

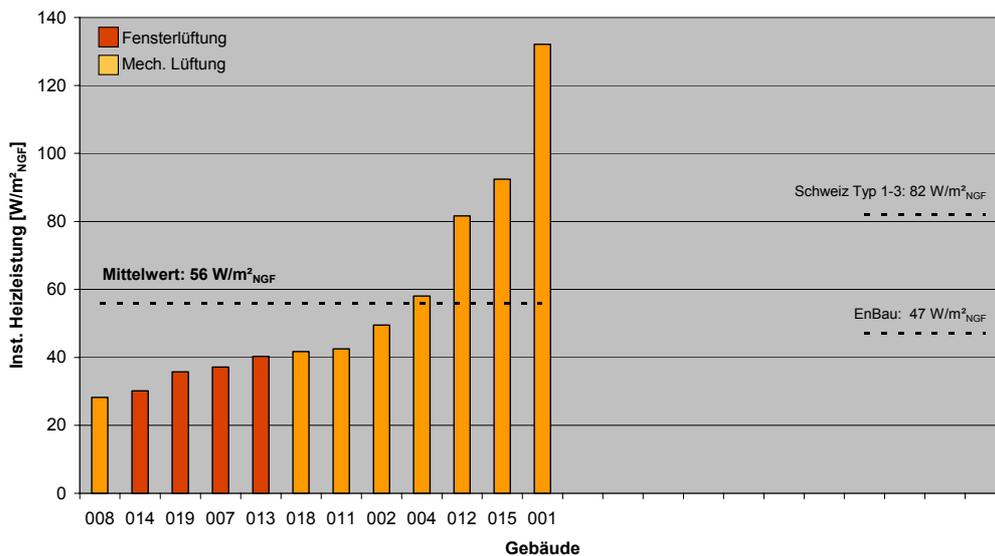


Abbildung 17 Installierte Heizleistungen

Die Werte liegen zwischen 28 und 132 W/m²_{NGF}. Der Mittelwert aller Gebäude liegt bei 56 W/m²_{NGF}. Der Mittelwert der 8 Gebäude, die überwiegend mechanisch belüftet werden, liegt mit 66 W/m²_{NGF} fast doppelt so hoch wie der Anschlusswert der Gebäude, die über die Fenster belüftet werden und einen Mittelwert von 36 W/m²_{NGF} aufweisen.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Gebäude 001 mit der vergleichsweise hohen spezifisch installierten Heizleistung von über $132 \text{ W/m}^2_{\text{NGF}}$ wurde ebenso wie das Gebäude 014 vor Einführung der WSchVo `95 ausgeführt. Gebäude 008 wird neben der Fernwärme auch über elektrische Wärmepumpen und Erdsonden beheizt. Gebäude 012 nutzt die Fernwärme auch zur Kühlung.

Der Mittelwert liegt fast 20 % über dem Mittel der EnBau- Gebäude von $47 \text{ W/m}^2_{\text{NGF}}$. Die EnOB- Demonstrationsgebäude 018 (mechanisch belüftet) und 019 (Fensterlüftung) liegen mit 42 bzw. $36 \text{ W/m}^2_{\text{NGF}}$ noch deutlicher unter dem Mittelwert der EVA- Gebäude.

Abbildung 18 zeigt für 15 Gebäude die installierten Kühlleistungen mechanischer Kälteanlagen. Bewertet wurden nur mechanische Kältemaschinen und Nahkälteversorgungen, aber z.B. keine Erdsonden, die Endenergie lediglich als Hilfeenergie nutzen. Die Werte umfassen jeweils die gesamte installierte thermische Kühlleistung, also auch die Anlagen für z.B. die IT- Kühlung.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

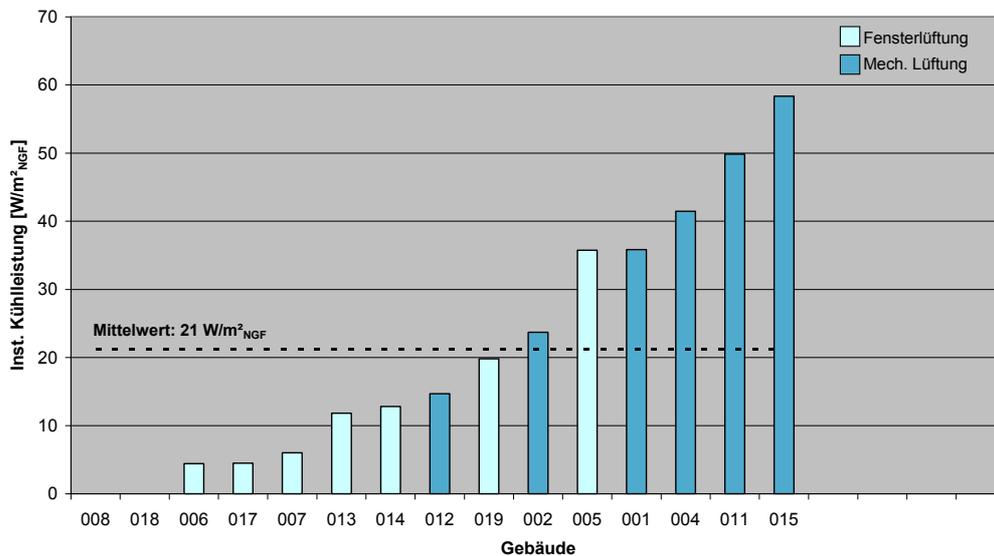


Abbildung 18 Installierte Kühlleistungen

Der Höchstwert der installierten Kälteleistung liegt bei $58 \text{ W/m}^2_{\text{NGF}}$. Der Mittelwert aller Gebäude liegt bei $21 \text{ W/m}^2_{\text{NGF}}$. Die Gebäude 008 und 018 – beide mechanisch belüftet – werden über Erdsonden bzw. eine Energiepfahlanlage gekühlt. Der Mittelwert der 6 übrigen mechanisch belüfteten Gebäude liegt mit $37 \text{ W/m}^2_{\text{NGF}}$ mehr als doppelt so hoch wie der Anschlusswert der Gebäude, die über die Fenster belüftet werden und einen Mittelwert von $14 \text{ W/m}^2_{\text{NGF}}$ aufweisen.

Auffallend sowohl bei den Heiz- wie bei den Kühlleistungen ist die große Spanne der spezifischen installierten Leistungen, die auf Grund der Anlagenauslegung stark von der installierten mechanischen Lüftung abhängig ist.

4.5.2 Primärenergiebedarf

4.5.2.1 Grundlagen und Methodik

Der Primärenergiebedarf wurde für die Gebäude in der Feinanalyse nach der während des Projekts eingeführten DIN V 18599 ermittelt. Hierzu stand zum Zeitpunkt der Bearbeitung das Excel-basierte Werkzeug des IBP Fraunhofer Instituts für Bauphysik zur Verfügung [101]. Das Werkzeug war zum Zeitpunkt der Bedarfsermittlung die einzige Anwendung, um die Berechnungen nach DIN V 18599 durchzuführen.

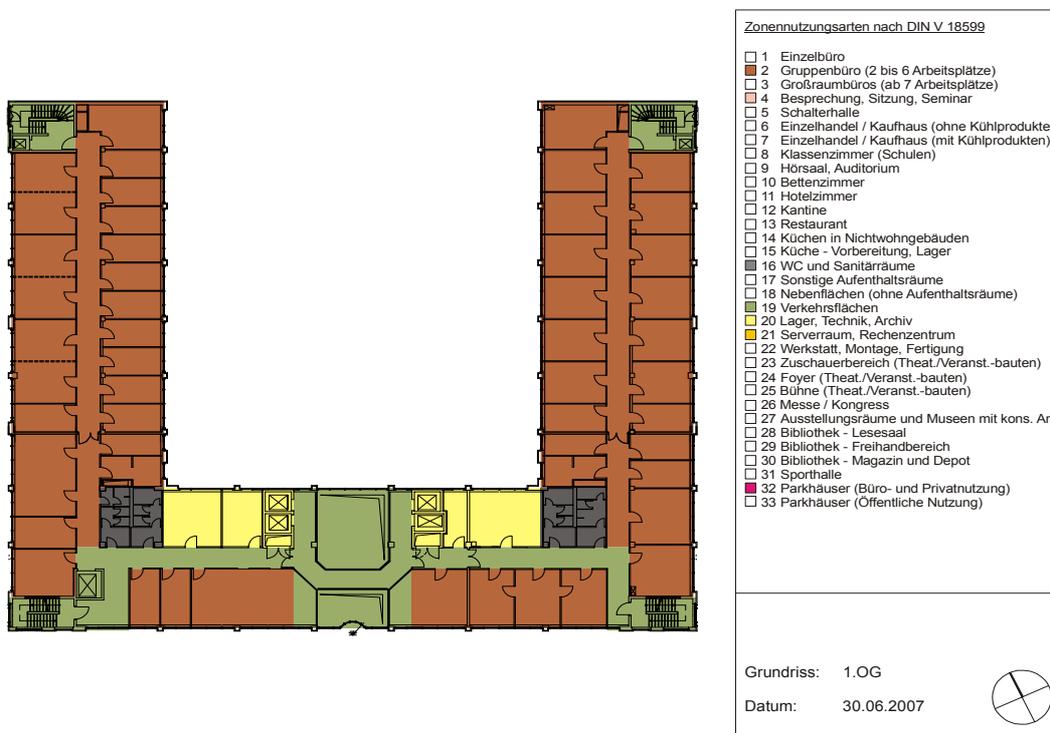


Abbildung 19 Beispiel für die Zonierung eines Geschosses nach DIN V 18599

Für die Berechnung wurde die Bezugsfläche nach Teil 1 Kapitel 8 ermittelt. Sie umfasst die konditionierten Nettflächen und entspricht damit in der Regel der Nettogrundfläche NGF nach DIN 277. Die DIN V 18599 unterscheidet die einzelnen Bereiche (bzw. Räume) eines Gebäudes hinsichtlich ihrer Nutzung und der Konditionierung. Die normierten Nutzungen sind in DIN V 18599 Teil 10 Tabelle 4 hinterlegt. Bereiche mit gleicher Nutzung und gleicher Konditionierung wurden zu einer Zone zusammengefasst. Der Energiebedarf des Gebäudes ergibt sich aus der Summe des Energiebedarfs aller Gebäudezonen. Verschiedene Nutzungen dürfen dann in einer gemeinsamen Zone abgebildet werden, wenn deren Nutzungsprofile ähnlich sind. Die Zulässigkeit des Zusammenfassens der Nutzungsprofile ist in DIN V 18599 Teil 10 beschrieben.

Auf Basis der vorliegenden Dokumentation, zumeist digitale, maßstäbliche Pläne, wurde zunächst die Zonierung der Gebäude nach Nutzungen vorgenommen. Anschließend wurden die geometrischen Daten zu Flächen und Fassaden aufgenommen. Bauphysikalische Angaben und Bewertungen der Technischen Gebäudeausrüstung wurden aus der Gebäudedokumentation übertragen und soweit möglich in dem für die Berechnung genutzten Werkzeug berücksichtigt.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

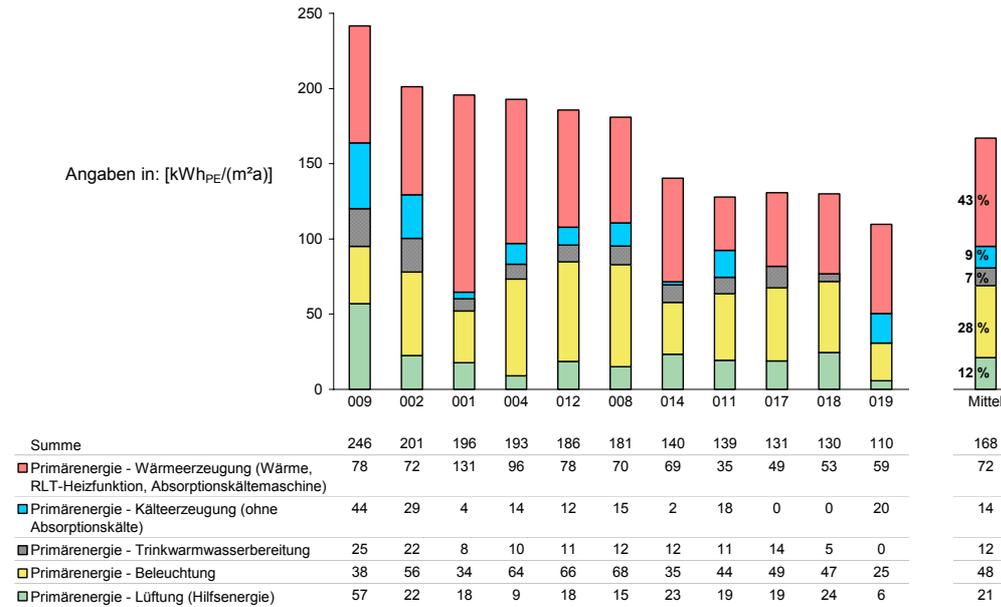


Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

4.5.2.2 Ergebnis

Abbildung 20 zeigt die flächenspezifischen Bedarfskennwerte nach DIN V 18599 (die Flächenanteile der Zonierung sind in Abbildung 9, Seite 36, dargestellt).



EVA

Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten

Abbildung 20 Übersicht über die berechneten Werte für den Jahres-Primärenergiebedarf aller Gebäude

Die Werte für den Jahres-Primärenergiebedarf nach DIN V 18599 liegen zwischen 110 und 246 kWh_{PE}/(m²_{NGFA}) mit einem Mittelwert von 168 kWh_{PE}/(m²_{NGFA}) einschließlich der beiden ENOB- Gebäude 018 und 019 bzw. 179 kWh_{PE}/(m²_{NGFA}) ohne die beiden ENOB- Gebäude.

Der Anteil des Heizwärmebedarfs macht mit Kennwerten von 35 bis 131 kWh_{PE}/(m²_{NGFA}) im Mittel 72 % aus. Der Anteil des Primärenergiebedarfs zur Beleuchtung liegt mit 48 kWh_{PE}/(m²_{NGFA}) mehr als doppelt so hoch wie der Mittelwert für die Lüftung mit 21 kWh_{PE}/(m²_{NGFA}).

Die beiden ENOB- Gebäude 018 und 019 liegen mit 130 bzw. 110 kWh_{PE}/(m²_{NGFA}) knapp über dem Zielwert des ENOB- Programms von 100 kWh_{PE}/(m²_{NGFA}). Allerdings konnten die regenerativen Anteile der Energieversorgung – wie die Energiepfahlanlage in 018 und die Nutzung der IT-Abwärme in 019 - bei der Berechnung nicht berücksichtigt werden.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

4.5.3 Endenergieverbrauch Wärme

4.5.3.1 Grundlagen und Methodik

Die Wärmeverbrauchsmengen wurden in der Regel aus den monatlichen bzw. jährlichen Abrechnungen der Versorger ermittelt. Gasverbräuche wurden mit dem Faktor 10 kWh_E/m³ in Wärmeverbräuche umgerechnet.

Für die Berechnung des witterungsbereinigten Jahres-Wärmeverbrauchs E_{VT} (Endenergie für Raumheizung und Prozesswärme) wurde eine Witterungsbereinigung in Anlehnung an die VDI 3807-1:2007-3 [18] durchgeführt.

Gradtage wurden ermittelt mit

$$G = (20^{\circ}\text{C} - t_m) * 1d \quad \text{für} \quad t_m < 15^{\circ}\text{C} \quad (4-1)$$

mit

G Gradtage in Kd

t_m Tagesmittel der Außentemperatur eines Heizztages ($t_m < 15^{\circ}\text{C}$).

Für den Auswertzeitraum wurden die Gradtage der Heizztage aufaddiert:

$$G_z = \sum_{n=1}^z (20 - t_{m,n}) \quad (4-2)$$

mit

z Zahl der Tage mit $t_m < 15^{\circ}\text{C}$ im Auswertzeitraum.

E_{VT} wurde berechnet mit

$$E_{VT} = E_{Vg} * \frac{G_m}{G} \quad (4-3)$$

mit

E_{VT} bereinigter Endenergieverbrauch Raumheizung und Prozesswärme in kWh/a

E_{Vg} gemessener Endenergieverbrauch Raumheizung und Prozesswärme in kWh/a

G Gradtage in Kd

G_m langjähriges Mittel der Jahresgradtage in Kd/a.

Es wurde keine Differenzierung in witterungsabhängige und -unabhängige Anteile vorgenommen, da für viele Gebäude nur Jahres- bzw. Monatsverbrauchswerte vorlagen. Wenn für ein Gebäude Verbrauchswerte aus mehreren Jahren vorlagen, wurde für die weitere Bearbeitung der Mittelwert gebildet.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

4.5.3.2 Ergebnis

Abbildung 21 zeigt die spezifischen Jahres- Endenergieverbrauchswerte für Wärme für die EVA- Gebäude und Referenz-Kennwerte.

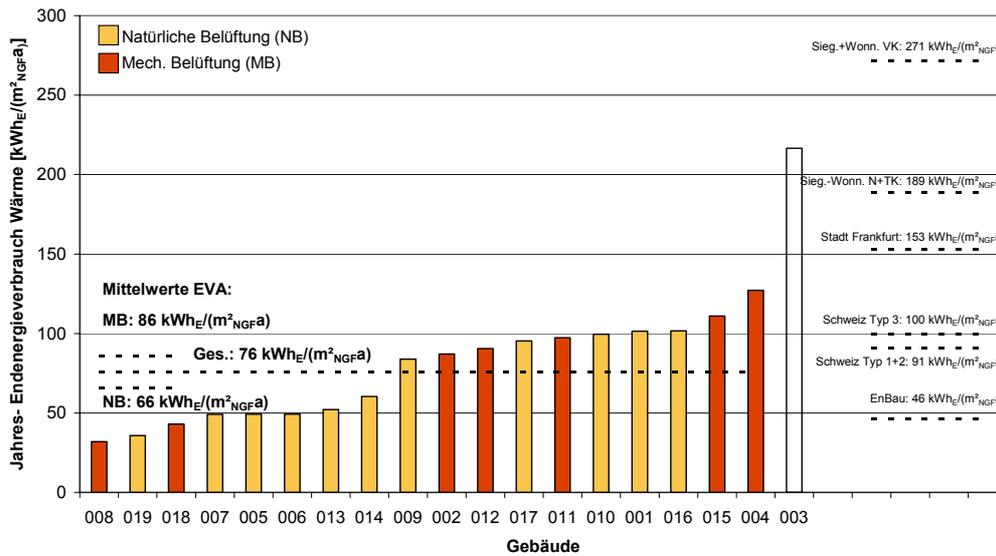


Abbildung 21 Jahres-Endenergieverbrauch Wärme und Referenzkennwerte

Unter Vernachlässigung des Laborgebäudes 003 reichte die Spanne der Kennwerte von 32 bis 127 kWh_E/(m²_{NGFA}). Der Höchstwert lag damit um fast das 4-fache über dem des effizientesten Gebäudes, der Mittelwert bei 76 kWh_E/(m²_{NGFA}).

Die Reduzierung des Wärmeverbrauchs gegenüber den Gebäuden der Studie von Siegel-Wonneberg, die in den 60er und 70er Jahren errichtet worden waren ist erheblich. Sowohl die EVA-Gebäude mit Fensterlüftung mit einem Mittelwert von 66 kWh_E/(m²_{NGFA}) als auch die mechanisch belüfteten mit einem Mittelwert von 87 kWh_E/(m²_{NGFA}) erreichten einen um rund den Faktor 3 niedrigeren Wärmeverbrauch.

Gegenüber den aktuellen Vergleichstudien liegen die Kennwerte der natürlich belüfteten Gebäude rund 25 % unter der Schweizer Studie (Typ 1+2), die mechanisch belüfteten 16 % unter der Schweizer Studie (Typ 3) und rund 45 % unter der Frankfurter Studie.

Der Mittelwert der EVA-Gebäude von 76 kWh_E/(m²_{NGFA}) liegt jedoch rund 60 % über dem Mittelwert der EnBau-Demonstrationsprojekte von 46 kWh_E/(m²_{NGFA}).

Neben den Monats- und Jahresverbrauchswerten wurden bei fünf Gebäuden Verbrauchsdaten als Tageswerte erfasst. Aus diesen konnte der Anteil des Wärmeverbrauchs ermittelt werden, der außerhalb von Heiztagen, also an Tagen mit einer Tagesmitteltemperatur $t_m > 15^\circ\text{C}$ vorlag. Dieser Anteil lag zwischen 4 und 11 kWh_E/(m²_{NGFA}) bzw. 5 bis 12 % des gesamten Wärmeverbrauchs, im Mittel bei 7 kWh_E/(m²_{NGFA}). Es kann nicht zwingend davon ausgegangen werden, dass dieser Verbrauchsanteil witterungsunabhängig vorliegt. So kann ein Wärmeverbrauch im Sommer zum Beispiel durch Nacherhitzer nach einer Entfeuchtungsstufe in einer Lüftungsanlage verursacht werden oder – wie in zwei Gebäuden festgestellt – durch gleichzeitiges Heizen und Kühlen bei bestimmten Witterungsbedingungen.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Die ermittelten Jahres-Endenergieverbrauchswerte für Wärme wurden mit den entsprechenden Kennwerten aus den vorliegenden Wärmeschutznachweisen sowie den Ergebnissen der Berechnung nach DIN V 18599 gegenübergestellt, siehe Abbildung 22.

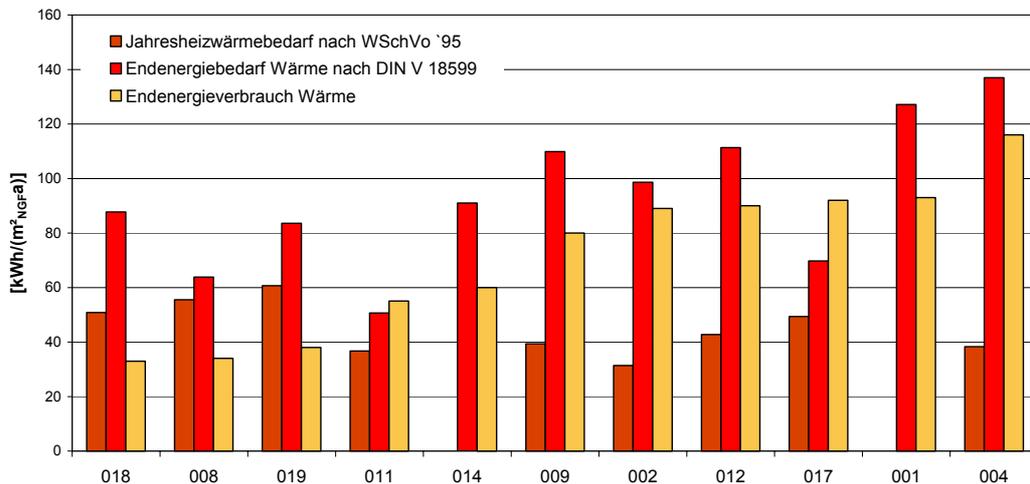


Abbildung 22 Vergleich der Kennwerte für den Jahres-Endenergiebedarf Heizwärme nach Wärmeschutznachweis vorliegendem WSchVo '95 und DIN V 18599 sowie des Jahres- Endenergieverbrauchs Wärme

Mit Ausnahme der EnOB- Gebäude 018 und 019 sowie des Gebäudes 008, das einen Teil des Wärmeverbrauchs über eine Erdsondenanlage im Verbindung mit Wärmepumpen deckt, lag der Wärmeverbrauch deutlich über dem Kennwert nach WSchVO '95. Demgegenüber lagen die berechneten Werte für den Endenergiebedarf Wärme nach DIN V 18599 bei fast allen Gebäuden über dem tatsächlichen Verbrauchskennwert. Allerdings sind hier deutliche Abweichungen festzustellen. Bei den Gebäuden mit einem Verbrauch über 60 kWh_E/(m²_{NGFA}) (014 bis 004) lagen die Abweichungen bei 30-40 %, bei den EnOB-Gebäuden teilweise deutlich größer.

4.5.4 Endenergieverbrauch Strom

4.5.4.1 Grundlagen und Methodik

Zur Analyse des Gesamtstromverbrauchs der Gebäude wurden in der Regel die vorhandene Messinfrastruktur genutzt. Für die meisten Gebäude konnten aus Abrechnungen oder aus der Datenerfassung des Energieversorgers bzw. der Leittechnik mindestens jährliche Verbrauchswerte, zum Teil aber auch 15-minütige Profile der Wirkleistung genutzt werden.

Die Jahresstrommengen wurden nach VDI 3807:2007-3 zeitlich bereinigt nach

$$E_V = \frac{E_{Vg} * 365}{z_V} \quad (4-4)$$

mit

- E_V bereinigter Endenergieverbrauch Strom in kWh/a
- E_{Vg} gemessener Endenergieverbrauch Strom in kWh/a
- z_V Anzahl der Tage, an denen der Energieverbrauch gemessen wurde

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

Wenn für ein Gebäude Verbrauchswerte aus mehreren Jahren vorlagen, wurde für die weitere Bearbeitung der Mittelwert gebildet.

4.5.4.2 Ergebnis

Abbildung 23 zeigt die spezifischen Jahres- Endenergieverbrauchswerte für Strom mit den entsprechenden Referenz-Kennwerten.

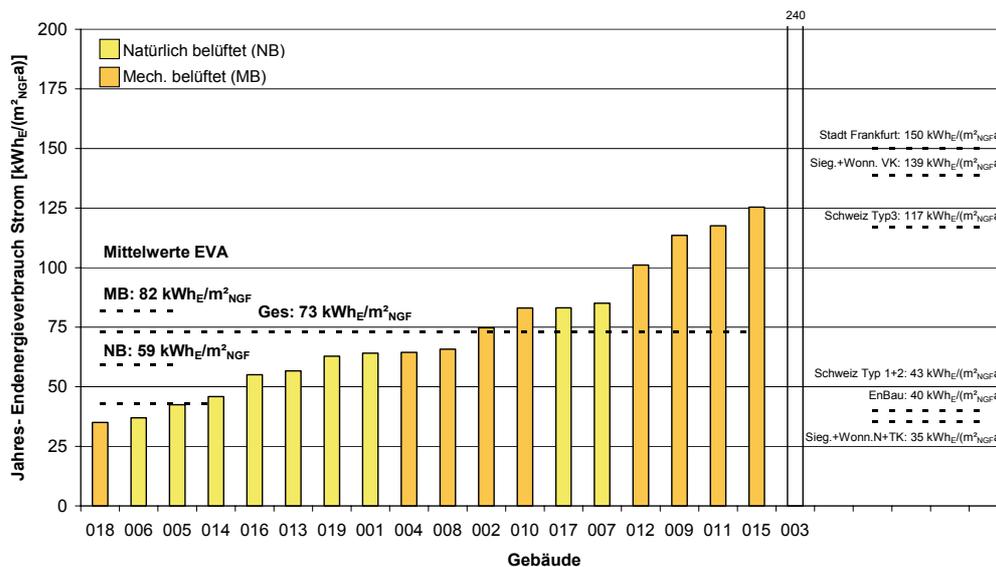


Abbildung 23 Jahres-Endenergieverbrauch Strom und Referenzkennwerte

Unter Vernachlässigung des Laborgebäudes 003 reichte die Spanne der Kennwerte von 35 bis 125 kWh_E/(m²_{NGF}a). Der Höchstwert lag damit um fast das 4-fach über dem des effizientesten Gebäudes, der Mittelwert aller Gebäude (ohne 003) bei 73 kWh_E/(m²_{NGF}a).

Der Vergleich mit den Gebäuden aus den 60er und 70er Jahren zeigt unterschiedliche Entwicklungen. Der Mittelwert der über die Fenster belüfteten EVA- Gebäude lag mit 59 kWh_E/(m²_{NGF}a) fast 70 % über dem Mittelwert der Klassen „nicht- und teil- klimatisierte Zellenbüros“ bei Siegel-Wonneberg. Selbst das effizienteste EVA- Gebäude erreichte mit 35 kWh_E/(m²_{NGF}a) nur den Mittelwert der älteren Gebäude. Der Mittelwert der Studie Siegel-Wonneberg für voll- klimatisierte Bürogebäude (Zellen, Misch- und Großraumbüros) von rund 139 kWh_E/(m²_{NGF}a) wurde dagegen von allen EVA- Gebäuden unterschritten, das Mittel lag mit 87 kWh_E/(m²_{NGF}a) fast 40 % unter dem der älteren Gebäude.

Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass erhebliche Verbesserungen der Energieeffizienz im Bereich der Raumluftechnischen Anlagen erreicht wurden, diese Verbesserung jedoch durch die energieintensive Nutzung von IT in den Gebäuden teilweise wieder ausgeglichen wurde. Dieser Effekt führt bei den nicht- klimatisierten Gebäuden zu einem deutlichen Anstieg des Gesamtverbrauchs.

Im Vergleich zu den aktuellen Vergleichstudien liegen die Kennwerte der natürlich belüfteten Gebäude fast 40 % über der Schweizer Studie (Typ 1+2), die mechanisch belüfteten 30 % unter der Schweizer Studie (Typ 3) und rund 45 % unter der Frankfurter Studie.

Der Mittelwert der EVA- Gebäude von 73 kWh_E/(m²_{NGF}a) liegt rund 80 % über dem Mittelwert der EnBau- Demonstrationsprojekte von 40 kWh_E/(m²_{NGF}a).

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

4.5.5 Primärenergieverbrauch

4.5.5.1 Grundlagen und Methodik

Der Endenergieverbrauch der Gebäude wurde in EVA grundsätzlich mit dem Objekt als Systemgrenze ermittelt. Eine regenerative Energieerzeugung im Gebäude z.B. durch PV-Anlagen oder Erdsonden wurden dabei nicht als Endenergieverbrauch berücksichtigt.

Einige Gebäude werden mit Nah-/Fernwärme versorgt, für die keine Primärenergiefaktoren vorliegen. Zur vergleichbaren Bewertung des Primär- und Endenergieverbrauchs wurde bei diesen Gebäuden die verbrauchte Kältemenge mit dem Faktor 2 in eine (fiktiv zur mechanischen Kälteerzeugung notwendige) Strommenge umgerechnet, zum Endenergieverbrauch Strom addiert und anschließend mit dem Primärenergiefaktor für Strom in Primärenergie umgerechnet.

Zur Berechnung des Primärenergieverbrauchs wurden Faktoren nach DIN 4701-10 [13] verwendet, siehe Abbildung 24.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

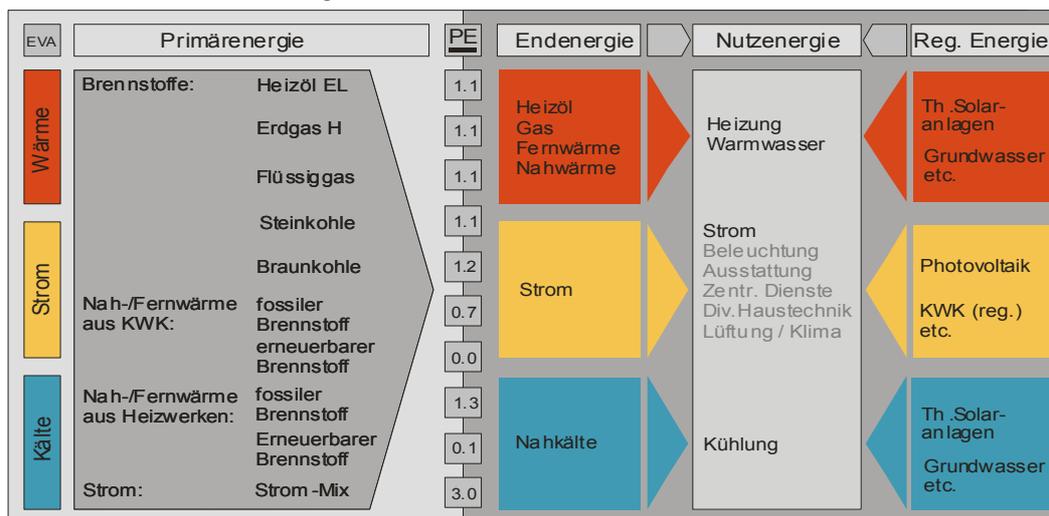


Abbildung 24 Darstellung der in EVA festgelegten Grenzen für Primär- und Endenergie nach DIN 4701-10

4.5.5.2 Ergebnis

Abbildung 25 zeigt die spezifischen Jahres-Primärenergieverbrauchswerte der Gebäude mit den Wärme-, Kälte- und Stromanteilen.

Unter Vernachlässigung des Laborgebäudes 003 reichte die Spanne der Kennwerte von 135 bis 454 kWh_{PE}/(m²_{NGFa}). Der Höchstwert lag damit um mehr als das 3-fache über dem des effizientesten Gebäudes. Der Mittelwert aller Gebäude (ohne 003) lag bei 284 kWh_{PE}/(m²_{NGFa}).

Die Gebäude mit Fensterlüftung hatten mit 228 kWh_{PE}/(m²_{NGFa}) einen rund 30 % niedrigeren Verbrauch als die mechanisch belüfteten Gebäude mit einem Mittelwert von 339 kWh_{PE}/(m²_{NGFa}). Das effizienteste der EVA-Gebäude, ein Demonstrationsgebäude, ist jedoch mechanisch belüftet. Die entsprechenden Werte der Gebäude aus den 60er und 70 Jahren lagen mit 295 bzw. 678 kWh_{PE}/(m²_{NGFa}) um 25 % bzw. 100 % über den Kennwerten der EVA-Gebäude. Während also die Gebäude mit Fensterlüftung in den letzten 30 Jahren nur eine Verbesserung des gesamten Jahres-Primärenergieverbrauchs von 20 % erreichten, konnte bei den mechanisch belüfteten Gebäude trotz zunehmender Ausstattung mit elektrischen Arbeitsgeräten eine Reduzierung um den Faktor 2 erreicht werden.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

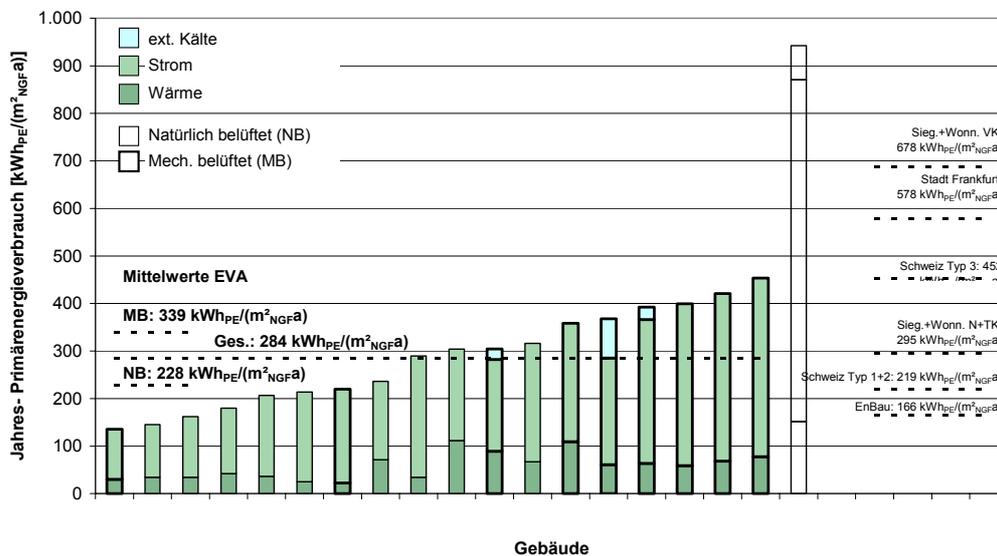


Abbildung 25 Spezifische Jahres-Primärenergieverbrauchswerte und Referenzkennwerte (die Daten der mechanisch belüfteten Gebäude sind kräftig umrandet)

Gegenüber den aktuellen Vergleichstudien liegen die Kennwerte der natürlich belüfteten Gebäude mit 5 % geringfügig über der Schweizer Studie (Typ 1+2), die mechanisch belüfteten 25 % unter der Schweizer Studie (Typ 3) und rund 40 % unter der Frankfurter Studie.

Die technisch mögliche Energieeffizienz des EnBau-Standards wird von den EVA-Gebäuden im Mittel deutlich verfehlt: der mittlere Jahres-Primärenergieverbrauch der EVA-Gebäude liegt rund 40 % über dem der Demonstrationsgebäude.

4.5.6 Endenergieverbrauch Strom: Kälte

Der Energieverbrauch zur Kühlung in Gebäuden ist wie oben gezeigt in besonderer Weise Gegenstand der Forschung und der öffentlichen Diskussion. Öffentliche Verwaltungsgebäude werden in Deutschland in der Regel ohne Anlagentechnik zur Komfortkühlung errichtet. Steigende Anforderungen an den Komfort, leistungstärkere Rechenzentren und der Klimawandel führen aber möglicherweise zu einer verstärkten Tendenz zur Umsetzung von Kühlsystemen in Gebäuden.

Deutschland bietet mit einem vergleichsweise milden Klima gute Voraussetzungen für Kühlsysteme auf weitgehend regenerativer Basis wie z.B. die Nachtlüftung von Räumen oder die Nutzung von oberflächennaher Geothermie. Letztere werden im Projekt WKSP des IGS vertieft untersucht. In EVA wurde der Schwerpunkt der Untersuchung auf die konventionelle Kühlung auf Basis von Kompressionskälte bzw. extern erzeugter Nahkälte gelegt.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energie- Konzepten

4.5.6.1 Grundlagen und Methodik

Der Energieverbrauch zur Kälteerzeugung war auf Grund der unterschiedlichen Erzeugungsmethoden kompliziert. Zwei der Gebäude wurden mit externer Kälte versorgt, in einem wurde Kälte zum Teil aus Fernwärme erzeugt. In den übrigen wurde die Kälte im Gebäude mechanisch mit Strom erzeugt.

Für die externen Kältelieferungen bzw. die Messungen des Stromverbrauchs zur Kälteerzeugung und -verteilung lagen zum Teil jährliche Abrechnungen bzw. Ablesungen vorhandener Zähler vor. Darüber hinaus wurden Daten nachträglich installierter Messeinrichtungen genutzt, die teilweise auch eine feinere zeitliche Auflösung der Verbrauchscharakteristiken zuließen. Die detaillierten Angaben zu den Messungen sind in den Objektberichten dargestellt.

Wie unter 4.5.5.1 beschrieben, wurden extern gelieferte Kältemengen mit dem Faktor 2 in eine Strommenge umgerechnet und anschließend mit dem Primärenergiefaktor für Strom in Primärenergie umgerechnet.

4.5.6.2 Ergebnis

Abbildung 26 zeigt den Primärenergieverbrauch Kälte als Anteil des gesamten Primärenergieverbrauchs für 6 Gebäude.

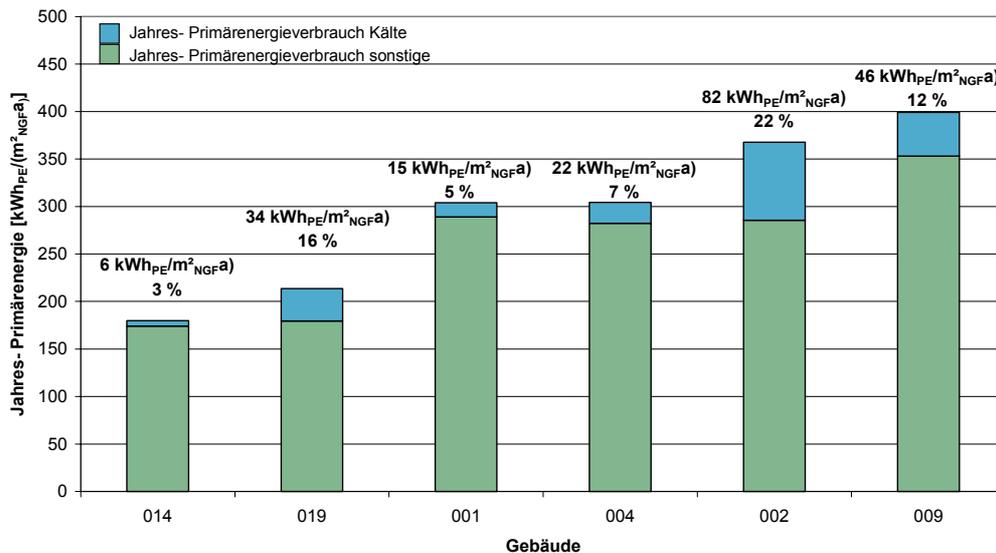


Abbildung 26 Anteil des Jahres- Primärenergieverbrauchs Kälte am gesamte Jahres- Primärenergieverbrauch

Der Verbrauch der Gebäude 002 und 019 beinhaltet die Kälte für Rechenzentren als ganzjährige Grundlast

Der spezifische Jahres- Primärenergieverbrauch für die Kälteerzeugung liegt bei den untersuchten Gebäuden im Mittel bei 34 kWh_{PE}/(m²_{NGFA}), ohne Gebäude 002 und 019, die jeweils über große Rechenzentren verfügen, bei 22 kWh_{PE}/(m²_{NGFA}). Gebäude 009 hat in dieser Gruppe mit 46 kWh_{PE}/(m²_{NGFA}) den höchsten spezifischen Verbrauch.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531/391-3635
Fax: 0531/391-3636

4.5.7 Endenergieverbrauch Strom: Mechanische Luftförderung

Die Lüftungs- und Klimatechnik hat das Ziel, „den Zustand der Raumluft hinsichtlich Reinheit, Temperatur und Feuchte innerhalb bestimmter Grenzen zu halten“ [104]. Die mechanische Luftförderung ist ein besonders wichtiger Aspekt von Energiekonzepten, da sie von hoher Komplexität ist zahlreiche andere Gewerke berührt. Oftmals ist sie eine Maßnahme, die den Komfort oder die Energieeffizienz verbessern kann, jedoch in vielen Gebäuden und zur meisten Zeit des Jahres zumindest aus Komfortgründen nicht zwingend erforderlich ist.

Gründe für eine Belüftung können vielfältig sein:

- Eine Fensterlüftung ist grundsätzlich (z.B. wg. der Gebäudegeometrie) oder zeitweise (z.B. wg. Schallimmission) nicht möglich: die mechanische Lüftung wird benötigt, um den hygienisch notwendigen Luftwechsel zu gewährleisten
- Es werden durch den Nutzer besonders hohe Anforderungen an die Raumluftqualität gestellt.
- Mit einer Wärmerückgewinnung aus der Abluft soll der Heizenergiebedarf gesenkt werden.

Da Deutschland ein moderates Klima hat, kann der hygienisch notwendige Luftwechsel über weitere Teile des Jahres in vielen Gebäuden durch die Fensterlüftung erfolgen, ohne signifikante Energie- oder Komforteinbußen zu verursachen.

Für die Evaluierung der Energiekonzepte sollen drei Fragen beantwortet werden:

- Entspricht die Laufzeit der Büro-Lüftungsanlagen den Anforderungen der Nutzung?
- Wie viel elektrische Energie verbraucht die mechanische Luftförderung für die Bürobereiche?
- Wie groß ist das Einsparpotenzial durch eine Ausnutzung der Möglichkeit zur natürlichen Lüftung/Fensterlüftung bzw. eine Anpassung an die tatsächlichen Nutzungszeiten?

Die Evaluierung erfolgt in EVA für die Luftförderung in Bürobereichen, da diese in ihrer Funktion vergleichbar sind und gleiche Anforderungen an den hygienischen Luftwechsel erfüllen müssen. Weitere Bereiche wie Foyers, Konferenzräume, Küchen etc. sind durch ihre nutzungsspezifischen Unterschiede nur bedingt vergleichbar. Für die Evaluierung wurde für die entsprechenden Anlagen ein Vergleich zwischen Energiebedarf und -verbrauch durchgeführt.

4.5.7.1 Grundlagen und Methodik

Die Ermittlung des **Energiebedarfs der mechanischen Luftförderung** erfolgte innerhalb der Berechnung nach DIN 18599-3 nach DIN V 18599-10:

$$P_V = \frac{\dot{V} * \Delta p}{\eta} \quad (4-5)$$

mit

P_V	elektrische Leistung des Ventilators (der RLT-Anlage) in W
\dot{V}	Luftvolumenstrom in m ³ /h
η	mittlerer Gesamtwirkungsgrad von Ventilator, Übertragungssystem, Motor und Drehzahlregelung.

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3635
Fax: 0531 / 391 - 3636

Der Jahresenergiebedarf wird auf Basis von Monatswerten berechnet mit

$$Q_{V,E} = P_V * t_{V,mech,m} * d_{V,mech,m} \quad (4-6)$$

mit

$Q_{V,E}$	Jahresenergieverbrauch (Nutz- bzw. Endenergie) in kWh/a
P_V	elektrische Leistung des Ventilators in W
$t_{V,mech,m}$	tägliche Betriebsstundenzahl des Ventilators (der RLT-Anlage) in h/d
$d_{V,mech,m}$	monatliche Betriebstage der Anlage

Die Summe der Monatswerte eines Jahres ergeben den Jahresenergiebedarf der Anlage zur Luftförderung.

Die Berechnung des **Energieverbrauchs der mechanischen Luftförderung** erfolgte unter Annahme eines Lastfalls im Betrieb, für den die aufgenommene elektrische Wirkleistung der Anlage gemessen bzw. an den Frequenzumrichtern abgelesen wurde. Die Betriebsstunden wurden in der Regel aus der Leittechnik ermittelt.

$$Q_{V,E} = P_V * t_{V,mech} \quad (4-7)$$

mit

$Q_{V,E}$	Jahresenergieverbrauch (Nutz- bzw. Endenergie) in kWh/a
P_V	elektrische Leistung des Ventilators in W
$t_{V,mech}$	jährliche Betriebsstundenzahl des Ventilators (der RLT-Anlage) in h/a.

Zusätzlich wurde für jeden Ventilator die **spezifische Ventilatorleistung** nach prEN 13779:2005 berechnet:

$$P_{SFP} = \frac{P}{q_V} \quad (4-8)$$

mit

P_{SFP}	spezifische Ventilatorleistung („ P_{SFP} -Wert“) in W/(m ³ /s)
P	die elektrische Leistungsaufnahme in W
q_V	der Nennluftvolumenstrom durch den Ventilator in m ³ /s.

Bei den Angaben ist zu berücksichtigen, dass hier der Begriff „Anlage“ jeweils nur einen Ventilator meint, nicht wie in der Anlagenplanung üblich die konstruktive Einheit von Zu- und Abluftventilator in einem Gerät.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

Für Strommessungen wurde ein Gerät der Fa. FLUKE verwendet, siehe Abbildung 27.



Abbildung 27 Beispiel für den Aufbau des Messgeräts an einem Schaltschrank

Durch einen Elektriker wurde jeweils die Leistungsaufnahme einer einzelnen Anlage gemessen. Wo dies nicht möglich war, wurde die gesamte Leistungsaufnahme des Schaltschranks gemessen und jeweils die Veränderung der Wirkleistung beim Abschalten einer einzelnen Anlage gemessen.

Aus den Ergebnissen wurden Teilenergiekennwerte berechnet, die sich auf die jeweils versorgte NGF beziehen. Dies war im Fall der Bedarfsberechnung nach DIN 18599 die NGF der Zone „Büronutzungen“ (Nutzungstypen 1-3), im Fall der Verbrauchsberechnung die NGF des tatsächlich versorgten Bürobereichs.

Durch die Normierung auf die versorgte NGF kann eine Evaluierung der Jahresverbrauchswerte für Luftförderung von Bürobereichen durch Vergleich untereinander und durch die Referenzierung gegen die Bedarfswerte bzw. die Klassifizierung entsprechend DIN EN 13779 erfolgen. Darüber hinaus werden die Jahresbetriebszeiten und die P_{SFP} -Werte evaluiert.

4.5.7.2 Ergebnis

Im Folgenden sind die Kennwerte für die Jahresbetriebszeit, die P_{SFP} -Werte sowie den Jahresenergiebedarf und -verbrauch für die untersuchten Bürobereiche dargestellt.

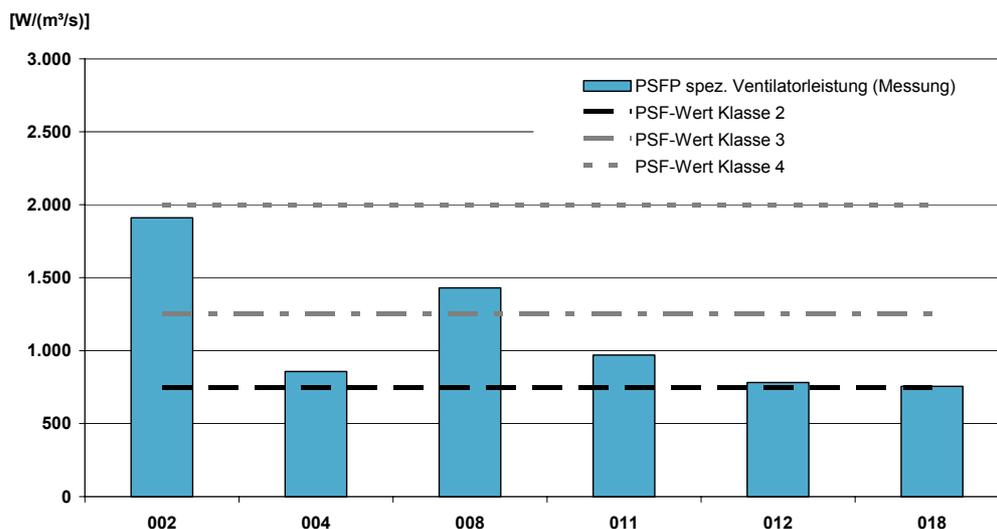


Abbildung 28 Vergleich der spezifischen Ventilatorleistung in den Bürozonen

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Die P_{SFP} -Werte der Büro-Lüftungsanlagen liegen im Mittel bei 1.118 W/(m³/s), die Gebäude 002 und 008 liegen jedoch mit 1.911 bzw. 1.430 W/(m³/s) deutlich über dem Mittelwert.

Abbildung 29 zeigt die entsprechenden Laufzeiten für die Anlagen in den Bürobereichen.

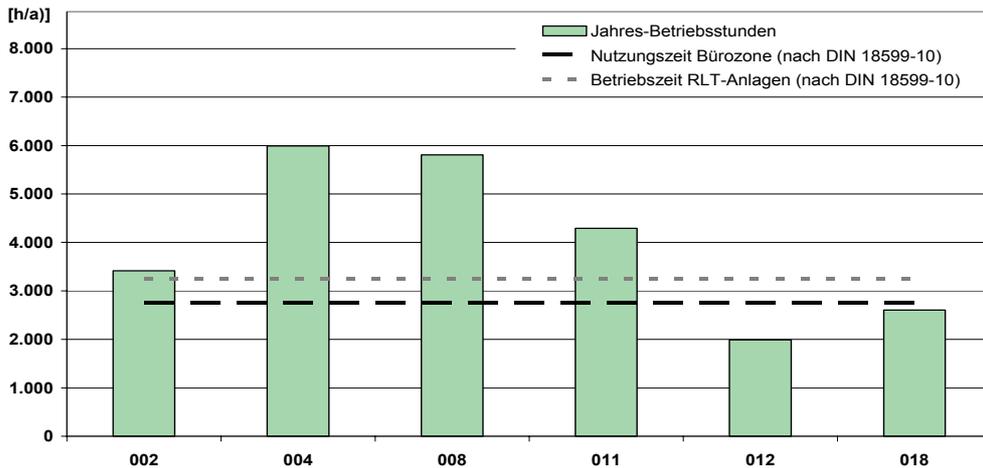
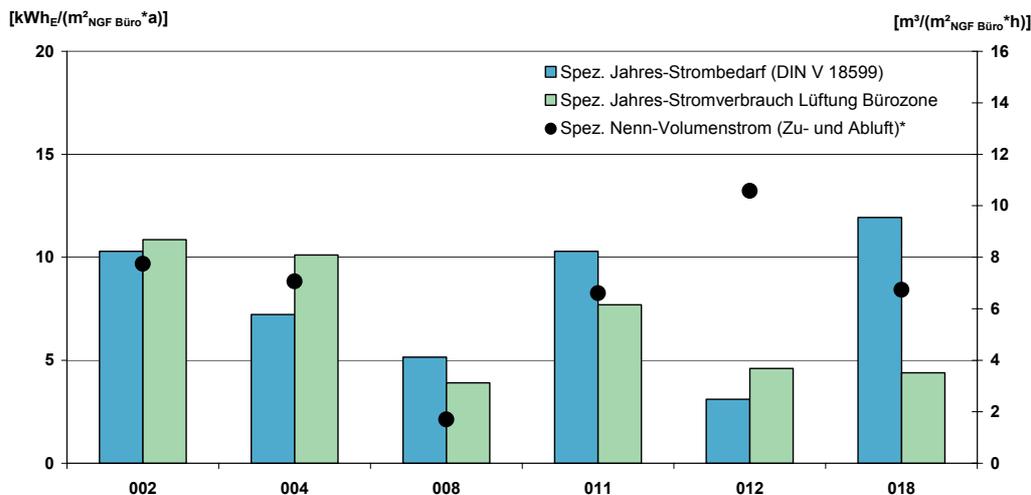


Abbildung 29 Vergleich der Betriebszeiten der mechanischen Luftförderung Bürozonon

Die Laufzeiten liegen im Mittel bei rund 4.000 h/a und damit sowohl deutlich über den Betriebszeiten für Lüftungsanlagen nach DIN V 18599 als wohl auch über den typischen Büronutzungszeiten in diesen Bereichen. Die Kennwerte zeigen deutliche Unterschiede. Insbesondere die Gebäude 004 und 008 liegen mit fast 6.000 Betriebsstunden im Jahr bei rund dem Doppelten der in der DIN V 18599 angesetzten Nutzungs- bzw. Betriebszeiten. In Gebäude 012 werden die Abluftanlagen zur nächtlichen Kühlung eingesetzt. Sie dienen also nicht in erster Linie dem hygienischen Luftwechsel.

In Abbildung 30 sind die spezifischen Bedarfs- und Verbrauchskennwerte für die Luftförderung einander gegenübergestellt.



* Dargestellt ist die gesamte geförderte Luftmenge je Bürozone als Summe aus Zu- und Abluftmengen, nicht der spezifische Luftwechsel.

Abbildung 30 Vergleich von Strombedarf und Stromverbrauch für die mech. Luftförderung

EVA

Evaluierung
 von
 Energie-
 konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3635
Fax: 0531 / 391 - 3636

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

Die Kennwerte zeigen keine einheitliche Tendenz hinsichtlich der Unterschiede zwischen Planung und Betrieb. In den einzelnen Fällen könnte eine Begrenzung des Betriebs der Lüftungsanlagen auf die tatsächlichen täglichen Nutzungszeiten und die Priorisierung der natürlichen Lüftung entsprechend der Witterungsbedingungen Einsparungen von mehr als 50 % für die Luftförderung ermöglichen. Die Reduzierung der Betriebszeiten auf die typischen Betriebszeiten entspräche bei Gebäude 004 einer Reduzierung des Energieverbrauchs um $15 \text{ kWh}_{\text{PE}}/(\text{m}^2_{\text{NGFBüroa}})$ bzw. auf die gesamten Büroflächen bezogen einer Einsparung von rund 5 T€/a. Hinzu kämen die Reduzierung des Wärme- und Kälteverbrauchs sowie die Verlängerung der Lebensdauer der Anlagen und die Reduzierung der Wartungskosten. Die Umsetzung kann ohne Investition erfolgen und die Einsparung greift sofort. Eine Einsparung in entsprechender Höhe hätte durch eine Begrenzung der spezifischen Ventilatorleistung in der Planung bei den Gebäuden 002 und 008 erreicht werden können.

Darüber hinaus können in Büroräumen Lüftungsanlagen in vielen Fällen zumindest zeitweise vollständig abgeschaltet werden und auf reine Fensterlüftung umgestellt werden. Durch die Abschaltung bei Außenlufttemperaturen zwischen 15 und 25 °C hätten die Betriebszeiten der Anlagen für Büros, in denen eine Fensterlüftung möglich ist, noch einmal um 30 % auf rund 2.000 h/a reduziert werden können. Die Analyse der oben genannten Gründe für eine mechanische Belüftung sowie der Anteil der geöffneten Fenster bei diesen Temperaturen (siehe Abbildung 59) legt nahe, dass diese Maßnahme auch von den Nutzern akzeptiert würde. In einem Teil eines der untersuchten Gebäude wurde diese Maßnahme kurzzeitig umgesetzt: es gab keine (positiven oder negativen) Rückmeldungen der Nutzer.

4.5.8 Endenergieverbrauch Strom: Beleuchtung

Die Beleuchtung ist eine besonders wichtige Funktion an modernen Büroarbeitsplätzen. Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs sind deshalb mit großer Sorgfalt zu planen. Sie sollten keine Verschlechterungen im visuellen Nutzerkomfort verursachen.

4.5.8.1 Grundlagen und Methodik

Die Evaluierung der Energiekonzepte in Bezug auf den Energieverbrauch für Beleuchtung wird in Bestandsgebäuden dadurch erschwert, dass es auf Grund der Installationsführung in der Regel keine Möglichkeit gibt, den Stromverbrauch direkt zu messen. Eine Unterverteilung versorgt fast immer neben der Beleuchtung auch andere Stromverbraucher.

Zur Bewertung der Beleuchtungskonzepte wurden zunächst die Systeme dokumentiert und die installierten Leistungen aufgenommen. Als Referenzwerte für die vorgefundenen installierten Beleuchtungsleistungen wurden die Ansätze der DIN V 18599 sowie die Zielwerte des Leitfadens Elektrische Energie verwendet, die als wirtschaftlich zu realisierender Stand der Technik angesetzt werden.

Darüber hinaus wurden vergleichende Energiebedarfs-Berechnungen durchgeführt. Zum einen wurde der Endenergiebedarf für die Beleuchtung mit dem Tabellenverfahren nach DIN V 18599 berechnet. Zusätzlich wurde der Endenergiebedarf mit den Simulationsprogrammen *Radiance* und *Primero Licht* berechnet. Dabei wurden mit der tatsächlich installierten Leistung, der simulationstechnisch ermittelten Tageslichtautonomie und unterschiedlichen Nutzungsprofilen Aspekte des Gebäudebetriebs berücksichtigt, die in der DIN V18599 nur vereinfacht abgebildet werden. Die Simulationen berücksichtigen den Tageslichteintrag bei bedecktem Himmel. Der bedeckte Himmel hat eine vollständig geschlossene Wolkendecke (100%). Dieser Himmel wird für die Berechnung von *Tageslichtquotienten* verwendet.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3635
 Fax: 0531 / 391 - 3636

Der Tageslichtquotient wird berechnet mit

$$D = \frac{E_P}{E_A} \times 100 \text{ in } \% \quad (4-9)$$

mit

- D Tageslichtquotient in % nach DIN 5034
- E_P Beleuchtungsstärke in einem Punkt einer gegebenen Ebene in Lux
- E_A horizontalen Außenbeleuchtungsstärke in Lux

Der Tageslichtquotient stellt das Verhältnis der Lichtmenge im Gebäudeinneren zur horizontalen Außenbeleuchtungsstärke außerhalb des Gebäudes dar. Er wird in Prozent angegeben. Als Standardwert für die horizontale Außenbeleuchtungsstärke werden 10.000 Lux angesetzt. Dies entspricht einer mittleren Außenbeleuchtungsstärke bei bedecktem Himmel.

Die Tageslichtautonomie nach PRIMERO wird berechnet mit

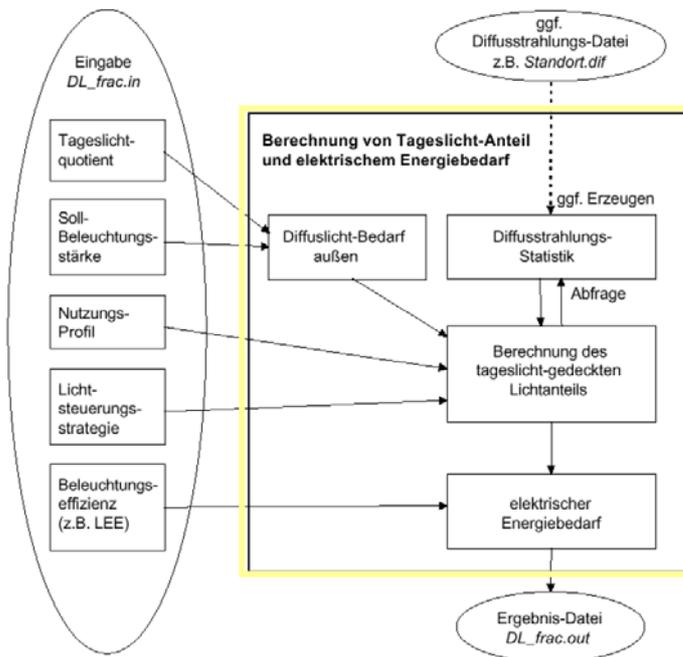


Abbildung 31 Einflussgrößen zur Berechnung der Tageslichtautonomie (PRIMERO Licht)

Die Tageslicht-Autonomie beschreibt den Anteil der Nutzungszeit, über den der Raum ausreichend mit Tageslicht versorgt werden kann. Das Verfahren rechnet für alle Tage mit dem Diffus-Anteil der Strahlung. Für Sonnentage wird die Annahme unterstellt, dass ein aktivierter Sonnenschutz ausreichend Tageslicht in den Raum hinein lässt. Für Deutschland werden im Mittel rund 40 % aller Tage mit direkter Sonne, 60% mit

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

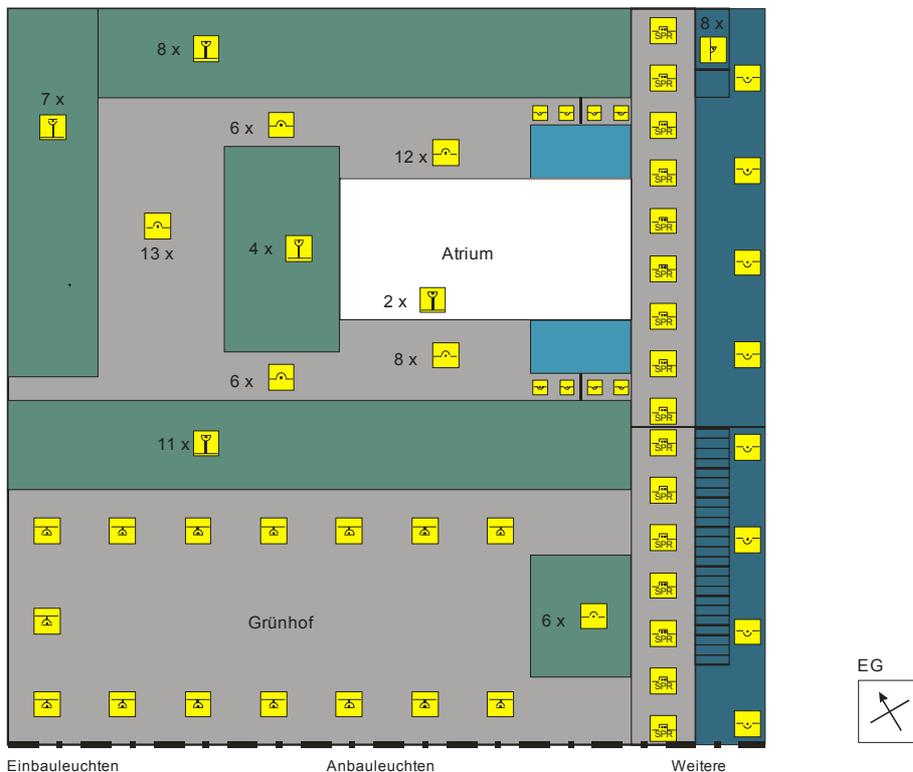
bedecktem Himmel angesetzt. Auch für den Energiebedarf für künstliche Beleuchtung wurden die Zielwerte des LEE als Referenzwerte verwendet.

Durch die Berechnung mit der tatsächlich installierten Leistung kann ein präziserer Kennwert für den Energiebedarf ermittelt werden. Den Ergebnissen wurde der Zielwert für den Endenergiebedarf Beleuchtung nach LEE gegenübergestellt.

Die Beleuchtungsanlage wurde im Gebäude aufgenommen und dokumentiert. Die Aufnahme umfasste u. a. die Nutzungszonen Büro, Verkehrsfläche, WCs und Tiefgaragen sowie die entsprechenden spezifisch installierten Leistungen, die Regelungsstrategie sowie die Versorgung mit Tageslicht dargestellt.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten



	Ein 1	Langfeldleuchte mit Spiegelraster		An 1	Langfeldleuchte mit Spiegelraster		W 1	Pendelleuchte als Langfeldleuchte mit Spiegelraster
	Ein 2	Langfeldleuchte mit weißem Raster		An 2	Langfeldleuchte mit weißem Raster		W 2	Pendelleuchte als Langfeldleuchte mit weißem Raster
	Ein 3	Downlight/Uplight		An 3	Downlight/Uplight		W 3	Pendelleuchte als Downlight
							W 4	Stehleuchte
							W 5	Tischleuchte
							W 6	Wandleuchte
							W 7	Dekorative Leuchte

Abbildung 32 Beispiel für die Dokumentation der installierten Beleuchtungssysteme



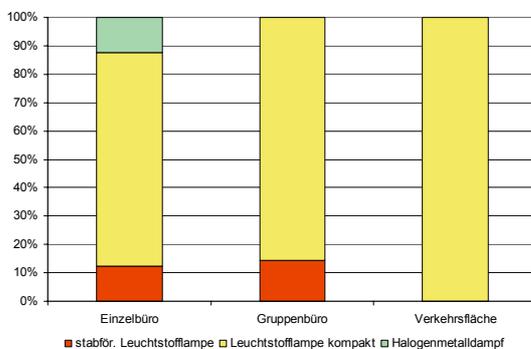
Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

4.5.8.2 Ergebnis

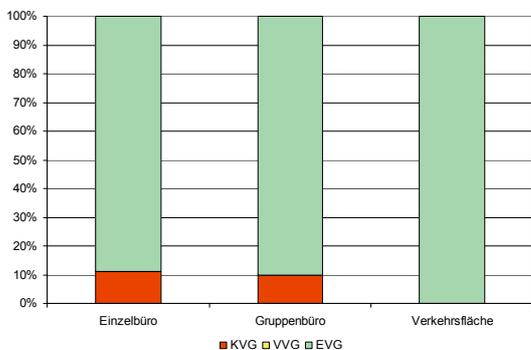
Die Übersicht über die in den Gebäuden eingesetzten Beleuchtungssysteme sind in Tabelle 16 dargestellt. In der Regel sind energiesparenden Leuchtstofflampen mit Elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) installiert. Die Regelung der Beleuchtungsanlagen erfolgt jedoch nur zum teil tageslicht- und präsenzabhängig.

Tabelle 16 Übersicht der technischen Beleuchtungsausstattung



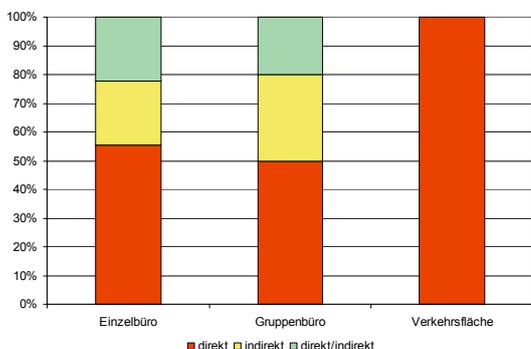
Lampentypen:

In der Regel sind Leuchtstofflampen installiert. Übrige Beleuchtungssysteme beschränken sich auf Effekt- und Objektbeleuchtung.



Vorschaltgeräte:

Der Standard moderner Bürogebäude sind elektronische Vorschaltgeräte (EVG). Es wurden fast keine konventionellen (KVG) oder verlustarmen (VVG) Vorschaltgeräte mehr vorgefunden.



Art der Beleuchtung:

In den Flurzonen sind direkte Beleuchtungssysteme eingesetzt. Für die Büros kommen bei rund 50 % der Räume indirekt strahlende Systeme oder Mischsysteme zum Einsatz. Trotz des höheren Energieeinsatzes für diese Systeme erhöhen sie die Behaglichkeit am Arbeitsplatz.

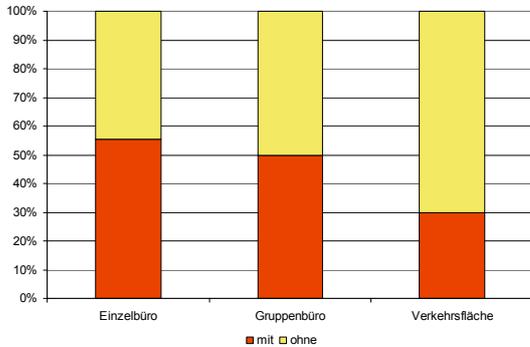
EVA

Evaluierung von Energiekonzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636



Präsenzkontrolle

Etwa 50% der untersuchten Büros sind mit einer präsenzabhängigen Regelung der Beleuchtung ausgestattet. In den Verkehrszonen werden lediglich 30% der Beleuchtungsanlagen präsenzabhängig geregelt.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

Abbildung 33 zeigt die Übersicht der installierten Leistungen für die künstliche Beleuchtung in Abhängigkeit der Nutzungsbereiche entsprechend der Gebäudeaufnahme und der unterschiedlichen Berechnungsverfahren.

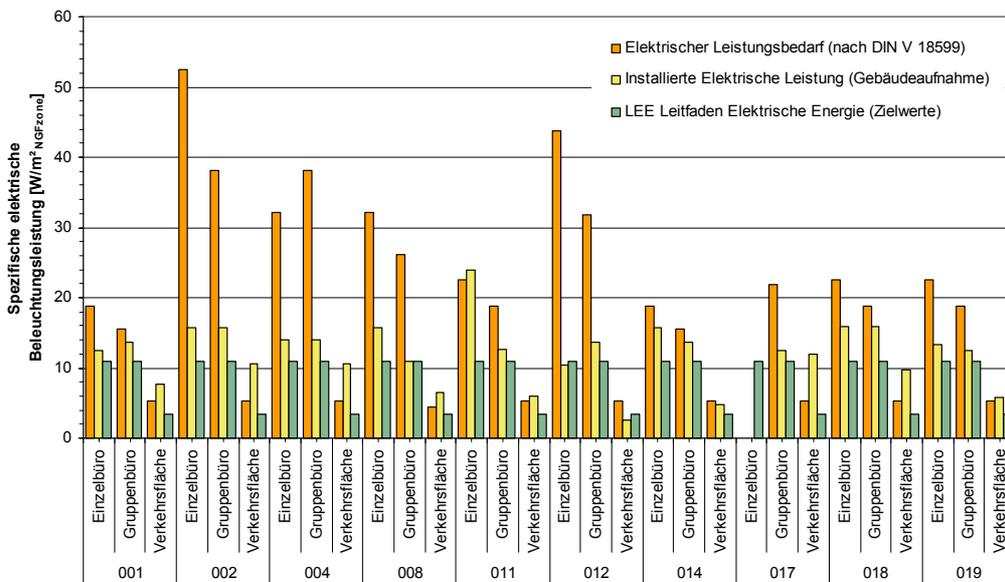


Abbildung 33 Vergleich der installierten Leistungen unterschiedlicher Nutzungsbereiche

Für die unterschiedlichen Nutzungsbereiche ergeben sich nach den angewendeten Rechenverfahren die Mittelwerte nach Tabelle 17.

Tabelle 17 Mittelwerte der spezifischen installierten Leistung nach Nutzungszonen bezogen auf die Zonenfläche - Mittelwerte

Mittelwerte		Einzelbüro	Gruppenbüro	Verkehrsfläche
Installierte Leistung				
Elektrischer Leistungsbedarf (nach DIN V 18599)	[W/m²]	30	24	5
Installierte Elektrische Leistung (Gebäudeaufnahme)	[W/m²]	15	14	8
LEE Leitfaden Elektrische Energie (Zielwerte)	[W/m²]	11	11	4



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

Die Auswertung der installierten Beleuchtungsleistungen zeigt, dass die Annahmen der DIN V 18599 in den Bürobereichen deutlich unterschritten werden, im Mittel in Einzelbüros um 50 %, in Gruppenbüros um 40 %. Die Zielwerte des LEE werden in einigen Räumen erreicht, im Mittel jedoch um 30 – 40 % bzw. 3-4 W/m² überschritten.

Die installierten Beleuchtungsleistungen in den Verkehrsflächen liegen im Mittel rund doppelt so hoch wie die annähernd identischen Ansätze der DIN V 18599 und des LEE.

Aus den spezifischen Leistungswerten wurden die Anteile des Energiebedarfs für die künstliche Beleuchtung berechnet und gegenüber gestellt, siehe Abbildung 34.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

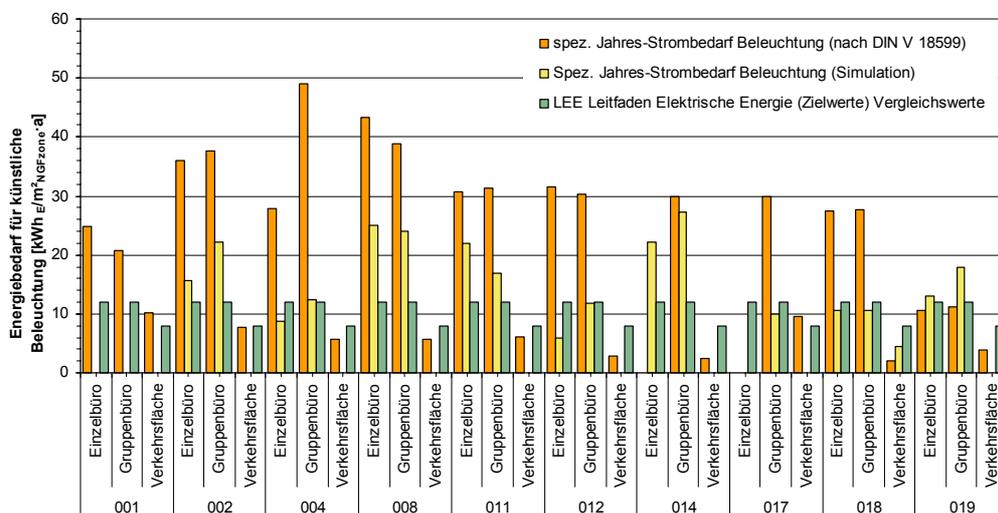


Abbildung 34 Vergleich der Energiebedarfskennwerte für künstliche Beleuchtung unterschiedlicher Nutzungszonen

Für die unterschiedlichen Nutzungsbereiche ergeben sich nach den dargestellten Rechenverfahren die Mittelwerte nach Tabelle 18.

Tabelle 18 Spezifische Energiebedarfskennwerte unterschiedlicher Nutzungsbereiche im Vergleich - Mittelwerte

Mittelwerte		Einzelbüro	Gruppenbüro	Verkehrsfläche
Energiebedarf				
spez. Jahres-Strombedarf Beleuchtung (nach DIN V 18599)	[kWh _E /(m ² _{NGFzone} a)]	26	31	6
Spez. Jahres-Strombedarf Beleuchtung (Simulation)	[kWh _E /(m ² _{NGFzone} a)]	15	17	k.A.
LEE Leitfaden Elektrische Energie (Zielwerte) Vergleichswerte	[kWh _E /(m ² _{NGFzone} a)]	12	12	8

Die Ergebnisse der Energiebedarfsberechnungen zeigen entsprechende Kennwerte. Der Bedarf in den Bürobereichen liegt ca. 25 % über den Zielwerten des LEE und mit im Mittel 16 kWh_E/(m²_{NGFzone}a) rund 40 % unter den Ergebnissen der DIN V 18599.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

Auf Grund der überwiegend niedrigen installierten Leistungen und des Einsatzes effizienter Leuchtmittel mit elektronischen Vorschaltgeräten werden die Beleuchtungssysteme als energieeffizient bewertet. Weitere Effizienzsteigerungen wären insbesondere durch den verstärkten Einsatz von präsenz- und tageslichtabhängigen Regelungen möglich, die nur in 50 % der Büros installierte waren.

Da diese Systeme den Stand der Technik darstellen, sind die hohen Bedarfswerte nach dem Tabellenverfahren der DIN V 18599 bemerkenswert.

4.5.9 Endenergieverbrauch Strom: Büro-/Mietbereiche

Die Messung und Analyse einzelner Stromverbraucher in Gebäuden wird oft durch die Installationsführung erschwert, da verschiedenen Verbrauchertypen gemeinsam versorgt werden und eine exakte Zuordnung der Verbräuche nicht möglich ist.

Eine Ausnahme bilden vermietete Gebäudebereiche. Für diese wird oft eine separate Unterverteilung für die kaufmännische Abrechnung installiert. Zwar umfasst diese dann sowohl Verbrauchsgruppen, die wie die Beleuchtung dem Gebäudebetrieb zugerechnet werden, als auch die Ausstattung der Räume, also PCs, Kopierer und Kaffeemaschinen. Auf Grund der ähnlichen Zusammensetzung der Verbraucher und der gleichen funktionalen Anforderungen ist der Stromverbrauch von Mietbereichen trotzdem ein aussagekräftiger Kennwert, der eine Aussage über die Effizienz dieser Verbrauchergruppen zulässt und dabei auch die Qualität der Ausstattung beinhaltet.

Erschwert wird diese Möglichkeit der Evaluierung dadurch, dass Mieter oftmals direkt mit dem Energieversorger abrechnen, so dass die Daten bei der Bearbeitung in Zusammenarbeit mit dem Gebäudeeigentümer nicht unbedingt verfügbar sind.

4.5.9.1 Grundlagen und Methodik

In EVA konnte ein Vergleich von 49 annähernd voll belegten Mietbereichen in 3 Gebäuden durchgeführt werden. Dazu wurden überwiegend die vorhandenen Messeinrichtungen genutzt bzw. einzelne Etagen- Unterverteilungen, die jeweils einem Mietbereich entsprachen, mit Messtechnik ausgestattet und vermessen. Die Bereiche setzen sich aus den üblichen Flächen für Büros, Flure, WCs, Teeküchen und Besprechungen bzw. den entsprechenden Zonen der DIN V 18599 zusammen. Die Daten für 41 Mietbereiche stammen aus Gebäude 018 im Jahr 2004. Weitere Details zur Kennwertbildung sind in den Objektberichten dargestellt.

Die Messwerte für den Stromverbrauch in den Mietbereichen wurden mit den Kennwerten für den Strombedarf der Beleuchtung und Arbeitshilfen (PCs, Bildschirme etc.) nach DIN V 18599 verglichen. Dieser Wert wurde gebildet als Summe des Strombedarfs für Kunstlicht in den Zonen 1-3 und des pauschalen flächenspezifischen Ansatzes für die internen Wärmelasten aus PCs und sonstiger Ausstattung.

4.5.9.2 Ergebnis

Abbildung 35 zeigt die mittleren Kennwerte für den Jahres-Stromverbrauch für Beleuchtung und Ausstattung in den Mietbereichen der drei Gebäude mit den entsprechenden Kennwerten für den Bedarf. Ergänzend sind die Mittelwerte der resultierenden Kennwerte für Verbrauch und Bedarf dargestellt.

Bei Gebäude 008 stimmen Bedarf und Verbrauch mit 42 und 40 kWh_E/(m²_{NGFA}) fast exakt überein. Bei den beiden anderen Gebäuden liegt der Verbrauch um rund 40 % über dem berechneten Energiebedarf nach DIN V 18599, der auch hier rund 40 kWh_E/(m²_{NGFA}) beträgt.

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

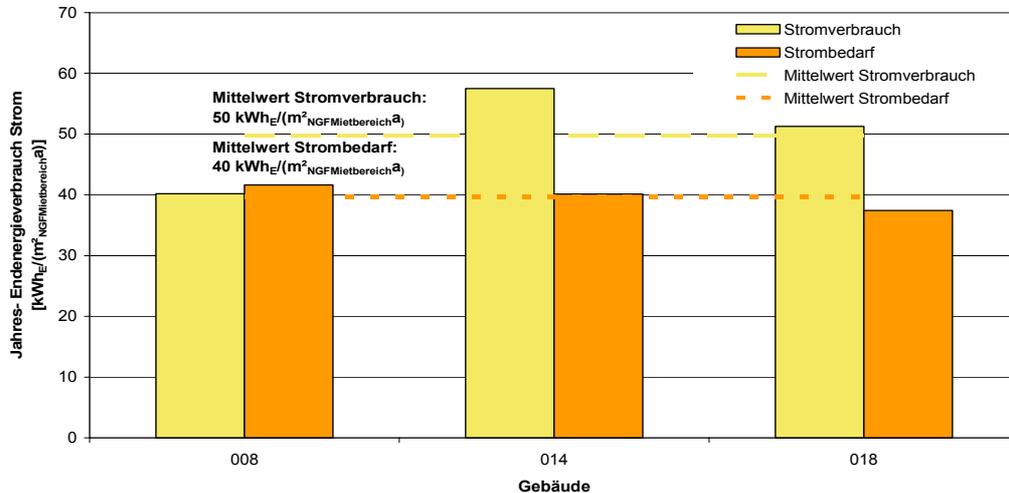


Abbildung 35 Vergleich von Strombedarf (Ansatz nach DIN V 18599) und Stromverbrauch in Mietbereichen für Beleuchtung und Ausstattung

Mit Bezug auf den mittleren Kennwert der Beleuchtung in den Bürozonon von 16 kWh_E/(m²_{NGFMietbereich a}) kann der Anteil der Arbeitshilfen am Stromverbrauch der Mietbereiche mit rund 34 kWh_E/(m²_{NGFMietbereich a}) angesetzt werden. Dieser Wert liegt deutlich über dem Ansatz der DIN V 18599 von rund 11 kWh_E/(m²_{NGFMietbereich a}).

Auffällig ist, dass bei den Gebäuden 008 und 014 die Werte der verschiedenen Bereiche überwiegend in ähnlichen Größenordnungen um den jeweiligen Mittelwert liegen, siehe Abbildung 36. Sie werden jeweils vom gleichen Unternehmen genutzt.

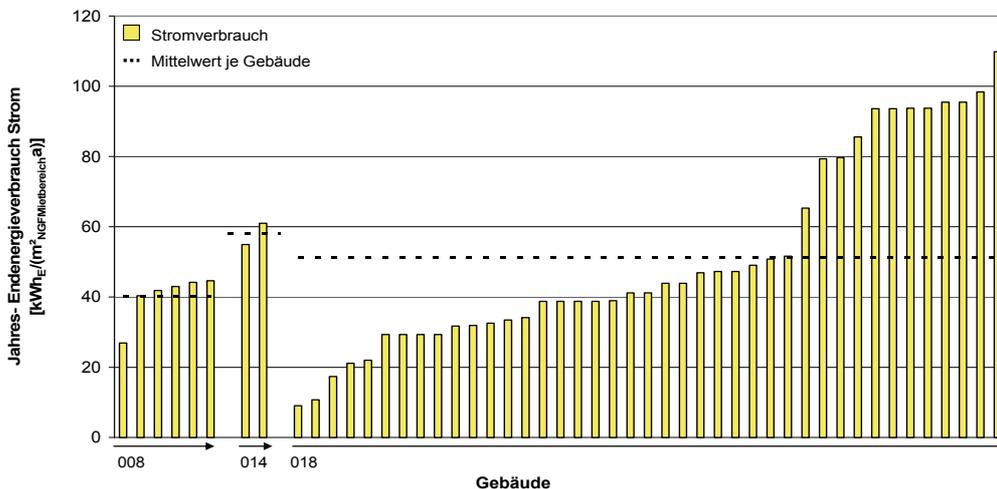


Abbildung 36 Stromverbrauch von 49 einzelnen Mietbereichen in 3 Gebäuden

In Gebäude 018, das von zahlreichen verschiedenen Mietparteien genutzt wird, reichen die Werte von 9 bis 110 kWh_E/(m²_{NGFMietbereich a}), wobei nur wenige Werte im Bereich des Mittelwerts liegen. Dies zeigt zum einen eine deutliche Abweichung zwischen Planungsannahmen und Betrieb, die auch Auswirkungen auf den Kälteverbrauch haben. Darüber hinaus wirkt der Stromverbrauch als interne Wärmelast und ist so auch für den thermischen Komfort relevant. Die Überprüfung entsprechender Korrelationen konnte im Projekt nicht durchgeführt werden.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

4.5.10 Energiekosten

Im Folgenden werden die Kosten für den Energiebezug dargestellt und bewertet.

4.5.10.1 Grundlagen und Methodik

Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes [99] lagen die Preise zum Stichtag 01.01.2006 für Strom bei 0,0871 €/kWh_E und Gas bei 0,0312 €/kWh_E (Preise netto für Industriekunden in Deutschland). Nur für einen Teil der Gebäude lagen die Preise aus Abrechnungen der Energieversorger bzw. Lieferverträgen vor. Die vorliegenden Preise und Kosten differieren vermutlich auf Grund spezifischer Vertragsverhältnisse erheblich und sind zudem in den letzten Jahren stark gestiegen. Die Preise lagen, bereinigt nach Erzeugerpreisindex des Statistischen Bundesamtes, für Strom zwischen 0,07 und 0,11 €/kWh_E (netto) einschl. Leistungspreisen und Zuschlägen, exklusiv der Umsatzsteuer, für Wärme zwischen 0,033 und 0,046 €/kWh_E. Zur überschlägigen Berechnung der Energiekosten wurden als mittlere Preise für Strom 0,09 €/kWh_E und für Wärme 0,045 €/kWh_E angesetzt. Die Kosten wurden auf der Grundlage der oben dargestellten Mittelwerte für den Endenergieverbrauch Wärme und Strom hochgerechnet. Als Referenzwerte wurden die Kosten für den Wärme- und Strombezug der OSCAR- Studie für das Jahr 2005 [25] verwendet (Vollkosten nach DIN 18960 [85]).

4.5.10.2 Ergebnis

Abbildung 37 zeigt die spezifischen Jahreskosten für Energiebezug der EVA- Gebäude.

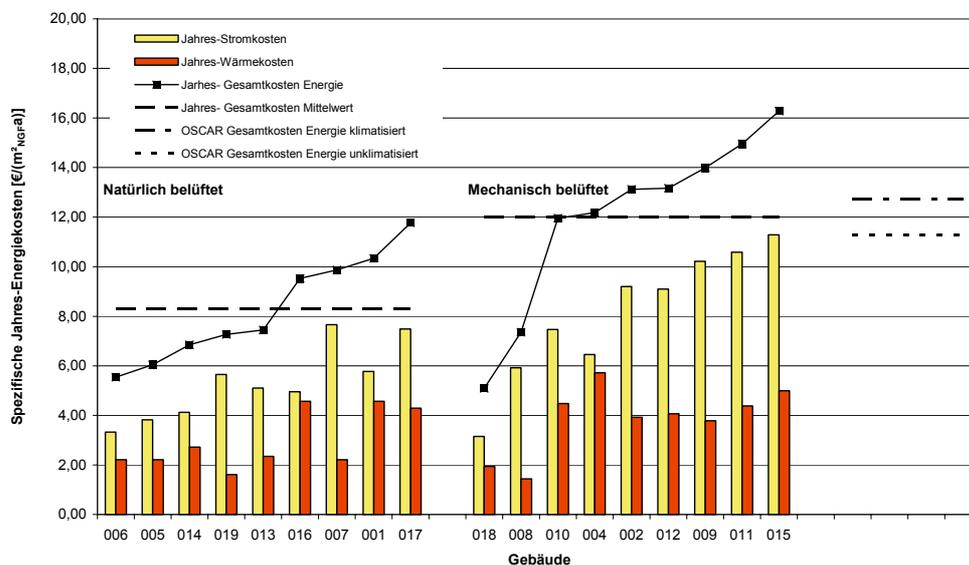


Abbildung 37 Jahreskosten für den Energiebezug und Referenzwerte (ohne Umsatzsteuer)
 Hochrechnung auf Basis der mittleren Jahresverbrauchswerte und Energiepreise
 nach Angaben des Statistischen Bundesamtes 2006
 Referenzwerte: OSCAR-Studie, Vollkosten 2005

Die Stromkosten verursachen dabei sowohl bei den natürlich wie bei den mechanisch belüfteten Gebäuden zwischen 55 und 80 %, im Mittel 64 bzw. 68 % der Gesamtkosten. Die Energiekosten der natürlich belüfteten Gebäude liegt mit 8,29 €/m²_{NGF}a deutlich unter dem Wert von 12,01 €/m²_{NGF}a für die mechanisch belüfteten Gebäude. Die Gruppe der mechanisch belüfteten Gebäude zeigt eine größere Spanne als die natürlich belüfteten Gebäude: die Energiekosten des kostengünstigsten Gebäudes liegen mit rund 5 €/m²_{NGF}a bei weniger als einem Drittel des Gebäudes mit den höchsten Energiebezugskosten.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energie- Konzepten

4.5.11 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen zur Energieeffizienz

Die Analyse der Energieeffizienz richtete sich in den Gebäuden jeweils nach den Arbeitsinhalten und den Möglichkeiten sowie teilweise auch den Optimierungspotenzialen in den Gebäuden. Deshalb konnte keine durchgängig gleiche Bearbeitung für alle Gebäude in allen Bereichen umgesetzt werden. Mit Hilfe der DIN V 18599 konnte eine einheitliche Bewertung des Energiebedarfs vorgenommen werden. Allerdings ist hier zu berücksichtigen, dass die Berechnungen unmittelbar nach der Entwicklung des IBP-Excel-Werkzeugs erfolgten. Dieses bot noch nicht die Flexibilität eines Software-Produkts, so dass Vereinfachungen in der Zonierung und der Anlagentechnik vorgenommen werden mussten.

Die Energieeffizienz der EVA-Gebäude zeigt eine deutliche Verbesserung gegenüber den Gebäuden der 60-70er Jahre. Die Gebäude, errichtet im Zeitraum 1992 bis 2002, sind hinsichtlich des Wärmeverbrauchs um rund den Faktor 3 effizienter als die Gebäude vor der Einführung der Wärmeschutz- bzw. Energieeinsparverordnungen.

Die Entwicklung des Stromverbrauchs lässt sich auf Grund der großen Streuung der Kennwerte weniger klar beantworten. Während die natürlich belüfteten Gebäude rund 70 % mehr Strom verbrauchen, ging der Stromverbrauch bei den mechanisch belüfteten Gebäuden um fast 40 % zurück.

Der Primärenergieverbrauch spiegelt diese Werte wieder mit einer Reduzierung um 20 % bei den natürlich belüfteten und einer Halbierung bei den mechanisch belüfteten Gebäuden.

Im Vergleich zu anderen Studien mit in etwa vergleichbaren repräsentativen Gebäudebeständen, fällt der Vergleich nicht einheitlich aus. Die natürlich belüfteten EVA-Gebäude entsprechen im Verbrauch in etwa den vergleichbaren Gebäuden aus der Schweiz. Der Verbrauch der mechanisch belüfteten EVA-Gebäude liegen jedoch rund 25 % unter Schweiz Typ 3 (mehrheitlich belüftet und/oder klimatisiert) und bei rund der Hälfte der Studie Frankfurt.

Gegenüber dem als technisch-wirtschaftlich möglich bewerteten Standard der EnBau-Gebäude weisen die EVA- Gebäude einen rund 70 % höheren mittleren Jahres-Primärenergieverbrauchswert auf. Dabei sind die natürlich belüfteten EVA- Gebäude rund 35 % effizienter als die mechanisch belüfteten.

Auffallend ist die insgesamt sehr große Streuung der Kennwerte innerhalb der nach der Nutzung vergleichsweise homogenen Gebäudegruppe um rund den Faktor 3 sowohl bei den Wärme- als auch bei den Stromkennwerten. Alle Gebäude werden als Bürogebäude genutzt und sind innerhalb der 10 Jahre von 1992 bis 2002 errichtet worden. Die Typologisierung der Gebäude nach dem „Technisierungsgrad“ in effizientere natürlich und weniger effiziente mechanisch belüftete Gebäude – wie auch hier angewendet – muss zumindest bei den hocheffizienten Gebäuden in Frage gestellt werden: das effizienteste EVA- Gebäude ist mechanisch belüftet.

Die EVA- Gebäude zeigen also nicht nur die große Verbesserung der Energieeffizienz gegenüber der Generation von Gebäuden vor der Einführung der Wärmeschutz- / Energieeinsparverordnungen. Sie sind auch im Vergleich zu anderen aktuellen Studien eher effizienter. Sie erreichen allerdings insgesamt bei weitem nicht den Standard der EnBau- Gebäude.

Im Vorfeld der Einführung der EnEV 2007 wurde intensiv diskutiert, ob der Energiebedarf oder der Energieverbrauch als Bewertungsmaßstab für die Energieeffizienz eines Gebäudes verwendet werden soll. Abbildung 38 zeigt die entsprechenden Kennwerte für die Gebäude, für die beide Werte ermittelt werden konnten.

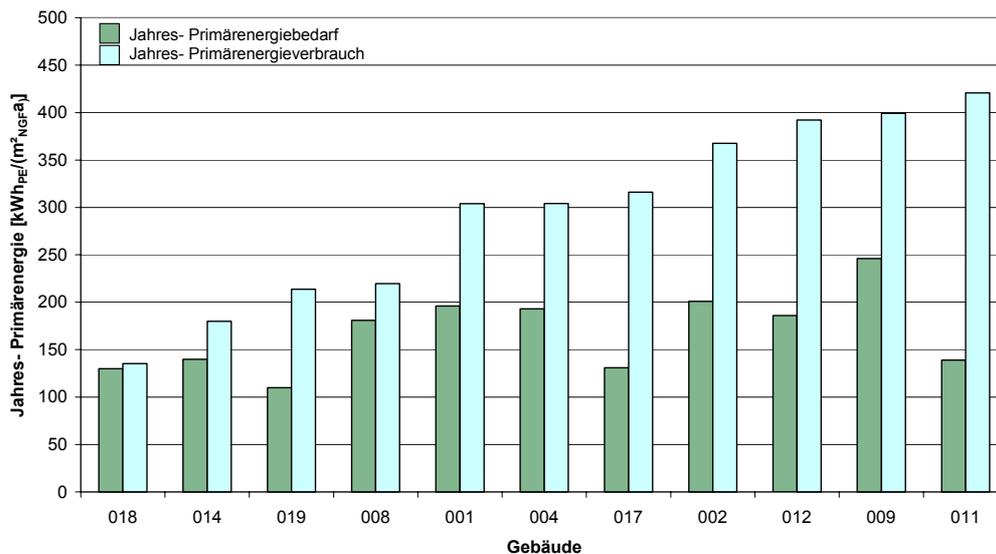


Abbildung 38 Vergleich des gesamten Jahres- Primärenergiebedarfs / –verbrauchs
Die Werte der mechanisch belüfteten Gebäude sind stark umrandet dargestellt

Die Verbrauchswerte liegen zwischen 4 % und mehr als 200 %, im Mittel um etwa 80 % über den Bedarfswerten. Die Differenz beträgt zwischen 5 und mehr als 280 kWh_{PE}/(m²_{NGFA}), im Mittel 127 kWh_{PE}/(m²_{NGFA}). In dieser Betrachtung liegen mechanisch und über Fenster belüftete Gebäude in etwa gleich auf.

Zum Vergleich: der Strombedarf für Arbeitshilfen wurde für die Bürozone mit 11 kWh_E/(m²_{NGFzonea}) berechnet. Der Stromverbrauch für die Ausstattung liegt im Mittel bei etwa 34 kWh_E/(m²_{NGFzonea}) bzw. 102 kWh_{PE}/(m²_{NGFzonea}). Da die Bürozone (HNF) rund die Hälfte der NGF ausmachen, liegt der Jahres-Primärenergieverbrauch bezogen auf das gesamte Gebäude nur bei rund 50 kWh_{PE}/(m²_{NGFA}), also nicht einmal der Hälfte der oben genannten mittleren Differenz. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass der Wärmeverbrauch bei den Gebäuden, für die Verbrauch und Bedarf ermittelt wurden, in der Regel 20-30 % unter dem errechneten Bedarf liegt. Es liegt die Vermutung nahe, dass neben zentraler IT, Telefonanlagen und anderen zusätzlichen Verbrauchern ein nicht unerheblicher Anteil der Differenz zwischen Bedarf und Verbrauch auch auf eine ineffiziente Betriebsführung zurückzuführen ist. Die Analysen im Kapitel Betriebsoptimierung unterstützen diese Vermutung.

Das alle Gesamtverbrauchswerte über den Bedarfswerten liegen, ist auf Grund der weiter gefassten Bilanzgrenze des Energieverbrauchs erwartungsgemäß. Dass dieser Anteil jedoch annähernd genauso groß ist, wie die nach DIN V 18599 berechnete zum Betrieb notwendige Energiemenge, und darüber hinaus von Gebäude zu Gebäude erhebliche Unterschiede aufweist, zeigt, dass neben bedarfsorientierten Vorgaben für die Energieeffizienz auch die Betrachtung des Betriebs sinnvoll ist, um die Einflüsse während der Nutzungszeit von Gebäuden zu überwachen.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

4.6 Nutzerkomfort (Monitoring)

Neben der Energieeffizienz war der Nutzerkomfort der zweite Schwerpunkt der Untersuchungen. Die Bearbeitung erfolgte im Rahmen von Lang- und Kurzzeit-Monitorings durch das IGS sowie durch Nutzerbefragungen durch das Fachgebiet Bauphysik und Technische Ausbau (fbta) der Universität Karlsruhe.

Im Mittelpunkt des Monitorings standen folgende Fragen:

- **Werden die Anforderungen an den thermischen Komfort im Betrieb eingehalten?**
 Wichtigste zu untersuchende Größe war der sommerliche Wärmeschutz insbesondere in den verschiedenen Konzepten zur Kühlung von Büroräumen. Die Analyse und Bewertung erfolgte mit den jährlichen Überhitzungsstunden der Raumtemperatur über 26°C. Darüber hinaus wurde die Luftqualität in natürlich und mechanisch belüfteten Räumen untersucht. Hier wurden die CO₂-Konzentration und die relative Luftfeuchte gemessen.
- **Welchen Einfluss hat das Energiekonzept auf den thermischen Komfort?**
 Die Räume konnten unterschiedlichen Konzepten zugeordnet werden. Im Mittelpunkt der Analyse des thermischen Komforts standen hier u.a. der Verglasungsanteil der Räume sowie die Lüftungs- und Kühlkonzepte.
- **Verhält sich der Nutzer „richtig“ im Sinne eines guten thermischen Komforts und hoher Energieeffizienz?**
 In der Planung wird das Verhalten der Nutzer in der Regel als richtig im Sinne des Energiekonzepts angenommen. Im Rahmen des Kurzzeit-Monitorings konnten die Angaben der Nutzer zu ihrem Verhalten analysiert werden, um die Auswirkungen auf Energieeffizienz und Nutzerkomfort einschätzen zu können.

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

Die Ergebnisse der Befragungen konnten mit den Messergebnissen – jeweils für einzelne Gebäude zusammengefasst – gegenübergestellt werden. Auf dieser Grundlage konnte ein ganzheitliches Bild des Nutzerkomforts im Betrieb entwickelt werden.

Es wurden verschiedene Methoden der Untersuchung eingesetzt. Mit einem Langzeit-Monitoring wurden die Raumtemperaturen in rund 60 Büroräumen über ein Jahr in stündlichen Zeitschritten kontinuierlich gemessen. Diese Messungen wurden ergänzt durch ein Kurzzeit-Monitoring, bei dem jeweils in stichprobenartigen Messungen in insgesamt 123 für die Gebäude repräsentativen Räumen eine komplexere Messung des Raumklimas sowie eine Kurz-Befragung der Nutzer in den jeweiligen Räumen durchgeführt wurde. Zusätzlich wurden durch das Fachgebiet Bauphysik und Technische Ausbau (fbta) Nutzerbefragungen bei einer größeren Anzahl von Nutzern ebenfalls mit begleitenden Messungen der Temperaturen in einzelnen Räumen durchgeführt.

4.6.1 Langzeit-Monitoring (LZM)

Im Langzeit-Monitoring wurde die Raumtemperatur in repräsentativen Büros in den Gebäuden über ein Jahr gemessen. Die Ergebnisse werden durch die Kurzzeit-Messungen zusätzlicher Größen ergänzt. Daraus ergibt sich ein umfassendes Bild des thermischen Komforts in den Gebäuden.

4.6.1.1 Grundlagen und Methodik

Mit dem Langzeit-Monitoring (LZM) wurde der thermische Komfort in den Gebäude mit dem Fokus auf dem sommerlichen Wärmeschutz untersucht. Wesentliche Zielgröße war die Anzahl der Überhitzungsstunden. Als Überhitzungsstunden wurden solche Stunden gezählt, für die galt:

$$T_{op,h} > 26^{\circ}C \quad (4-10)$$

mit

$T_{op,h}$ stündliche operative Raumtemperatur

Als Nutzungszeit wurden in Anlehnung an die DIN 4108-2 alle Stunden an Werktagen zwischen 8 und 18 Uhr gewertet mit 10 momentanen Messwerten je Werktag (und nicht als Mittelwert der Stunde). Die Messungen wurden, soweit in den Objektberichten nicht anders indiziert, über das gesamte Kalenderjahr 2006 durchgeführt. Die gesamte Nutzungszeit betrug 2.600 h/a, als Grenzwert ergibt sich nach DIN 4108-2 mit 10% der Nutzungszeit entsprechend 260 Überhitzungsstunden pro Jahr.

Für die Temperaturmessungen in den Räumen wurden Temperatursensoren mit integrierten Datenloggern der Fa. HOBOware eingesetzt („Hobos“). Die Geräte wurden in den Büros entsprechend DIN EN 7726 [47] in ca. 110 cm Höhe möglichst nah am Arbeitsplatz installiert, siehe Abbildung 39.



Abbildung 39 Beispiele installierter Sensoren mit Datenlogger

Die Bewertung des thermischen Komforts insbesondere im Sommer und die normativen Festlegungen sind vielfältig und umstritten, siehe hierzu auch 3.2.1.2. In dieser Studie werden jedoch nicht Bewertungsmethoden bewertet. Der thermische Komfort wurde anhand der jährlichen Überhitzungsstunden als quantitativer Maßstab vergleichend bewertet. Eine absolute Bewertung oder Schlussfolgerungen auf die Leistungsfähigkeit, die Produktivität oder mögliche Auswirkungen auf die Gesundheit der Nutzer wurden nicht durchgeführt.

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

4.6.1.2 Ergebnis Sommer

Abbildung 40 zeigt die Anzahl der Überhitzungsstunden für 67 Büroräume in der Nutzungszeit (Mo.-Fr., 8-18 Uhr).

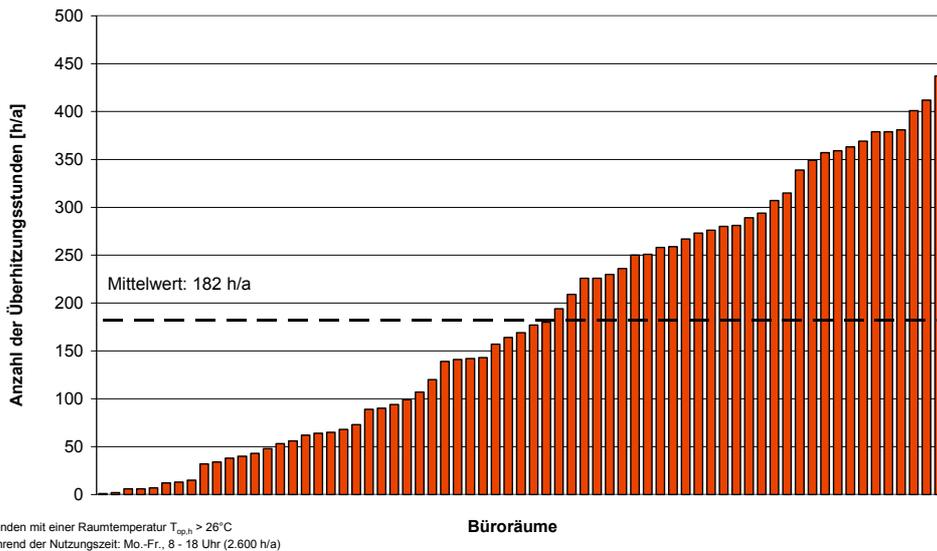


Abbildung 40 Anzahl der jährlichen Überhitzungsstunden in den Büroräumen (n=67)

In allen Räumen wurden Raumlufttemperaturen über 26°C gemessen. Über alle 67 Räume ergab sich dabei eine fast gleichmäßige Verteilung der Werte zwischen 1 und über 400 h/a. Der Mittelwert von 182 h/a liegt unter der Grenze von maximal 10% Überhitzungsstunden während der Nutzungszeit nach DIN 4108-2. Die Zuordnung der Räume zu den einzelnen Gebäuden zeigt Abbildung 41.

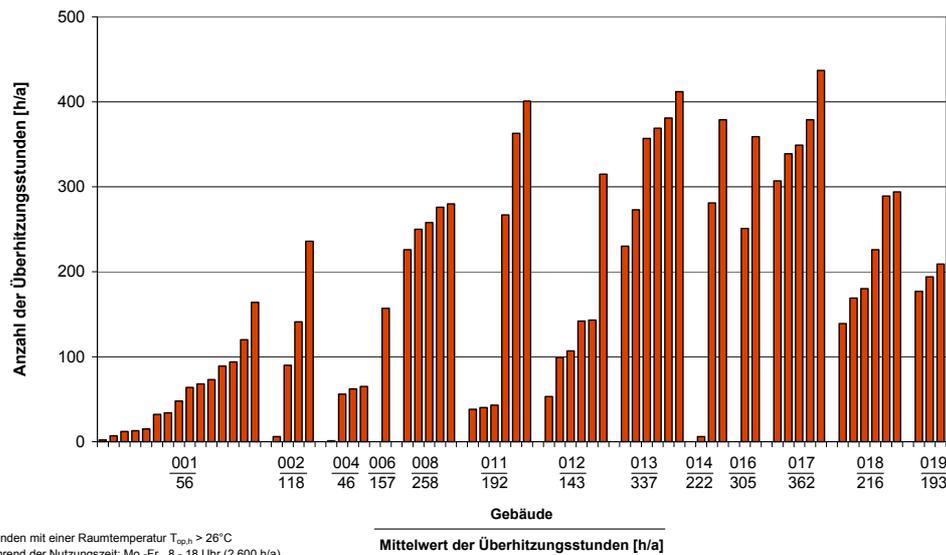


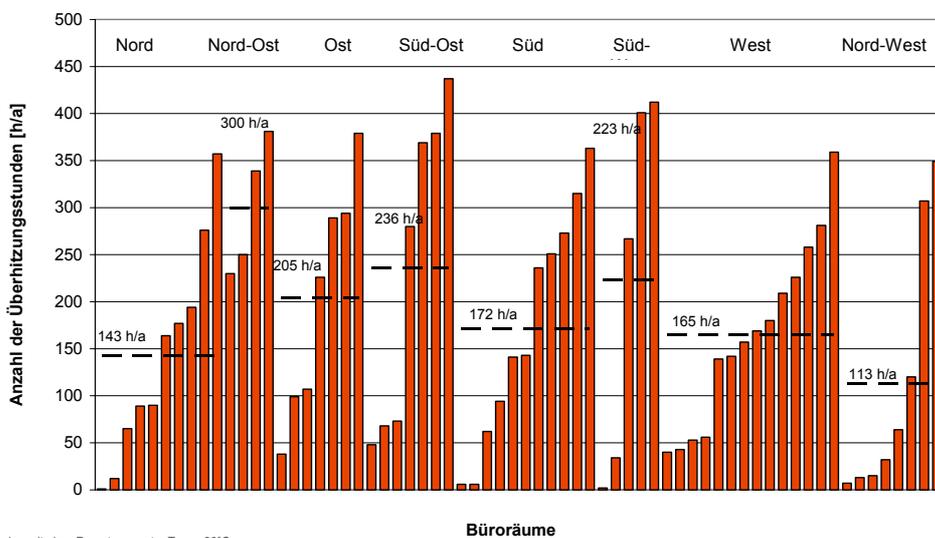
Abbildung 41 Anzahl der jährlichen Überhitzungsstunden, sortiert nach Gebäuden (n=66)

Die Mittelwerte für die einzelnen Gebäude liegen zwischen 46 und 345 h/a. Dabei weisen die Gebäude jedoch eine zum Teil erhebliche Streuung um diesen Mittelwert auf, so dass

eine Bewertung gesamter Gebäude hinsichtlich der sommerlichen Überhitzung nur bedingt möglich ist.

Der sommerliche Wärmeschutz bzw. die Wärmebilanz eines Raumes hängt von einer Vielzahl unterschiedlicher Randbedingungen ab: der Ausrichtung des Raumes, der Größe und Qualität der Verglasung, dem Sonnenschutz, den ggf. vorhandenen Kühlsystemen, der Lüftung, den internen Wärmelasten etc.

Im Folgenden werden die Räume in Bezug auf einzelne dieser Aspekte untersucht. Abbildung 42 zeigt die Überhitzungsstunden mit einer Sortierung nach der Ausrichtung der Räume.



* Stunden mit einer Raumtemperatur $T_{op,h} > 26^{\circ}\text{C}$
 während der Nutzungszeit: Mo.-Fr., 8 - 18 Uhr (2.600 h/a)

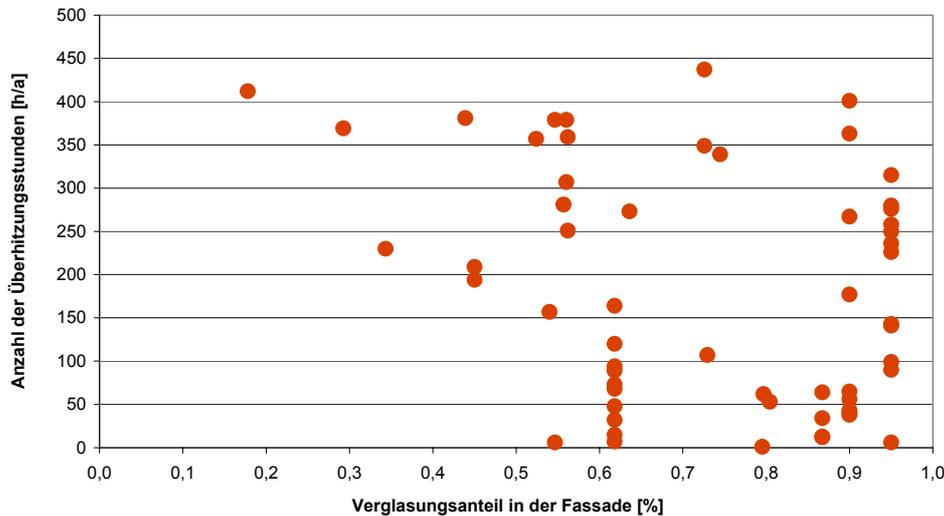
Abbildung 42 Anzahl der Überhitzungsstunden, sortiert nach der Raumausrichtung (n=66)

Die Werte für die einzelnen Gruppen liegen zwischen 113 und 300 Überhitzungsstunden. Dabei liegen jedoch in jeder Gruppe Werte unter 100 und über 250 h/a vor. Eine physikalisch-technisch nachvollziehbare Abhängigkeit ist nicht zu erkennen.

In Abbildung 43 und Abbildung 44 sind die Überhitzungsstunden der Räume über dem jeweiligen Verglasungsanteil der Fassade bzw. dem Verhältnis der verglasten Fläche zur Grundfläche des Raums aufgetragen.

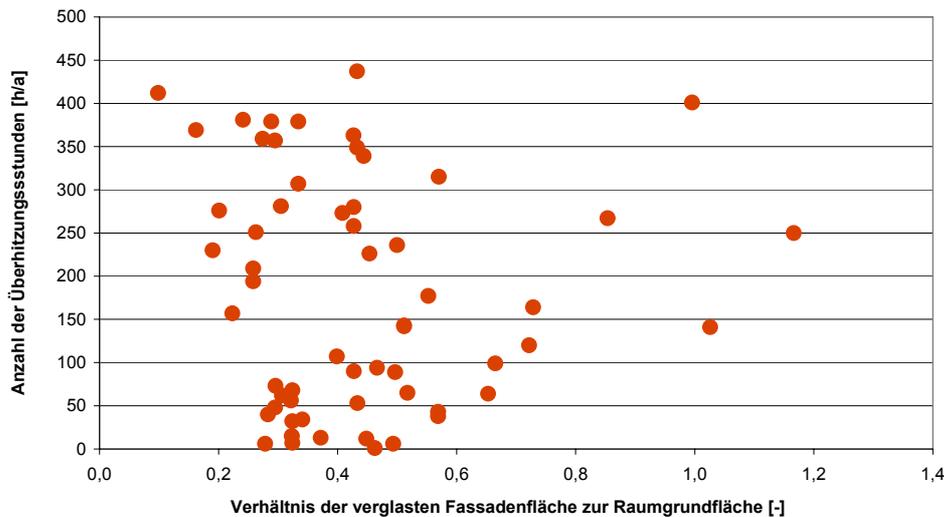
EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**



* Stunden mit einer Raumtemperatur $T_{\text{op},h} > 26^\circ\text{C}$
während der Nutzungszeit: Mo.-Fr., 8 - 18 Uhr (2.600 h/a)

Abbildung 43 Anzahl der Überheizungsstunden über dem Verglasungsanteil (n=59)



* Stunden mit einer Raumtemperatur $T_{\text{op},h} > 26^\circ\text{C}$
während der Nutzungszeit: Mo.-Fr., 8 - 18 Uhr (2.600 h/a)

Abbildung 44 Anzahl der Überheizungsstunden über dem Verhältnis der verglasten Fassadenfläche zur Raumgrundfläche (n=59)

In beiden Fällen ist keinerlei signifikante Abhängigkeit der Anzahl der Überheizungsstunden festzustellen. Im Gegenteil zeigt sich, dass auch in der Praxis Räume mit rund 95 % Verglasungsanteil in der Fassade fast ohne Überheizung funktionieren, gleichzeitig aber auch Räume mit geringerem Verglasungsanteil stark überhitzen.

Zur Vermeidung von sommerlicher Überheizung wurden in den Räumen zum Teil Kühlsysteme eingesetzt. Für einen Vergleich wurden die Räume gruppiert:

- Keine Kühlung (kein anlagentechnisches System)
- Passive Kühlung (träge Systeme bzw. Systeme mit niedriger Kühlleistung von 30-40 W/m², wie z.B. thermisch aktivierte Bauteile)
- Aktive Kühlung (Systeme mit hoher Kühlleistung wie Umluftkühlgeräte oder Kühldecken).

Abbildung 45 zeigt die Anzahl der Überheizungsstunden für die einzelnen Räume mit der Zuordnung zu den jeweiligen Kühlsystemen.

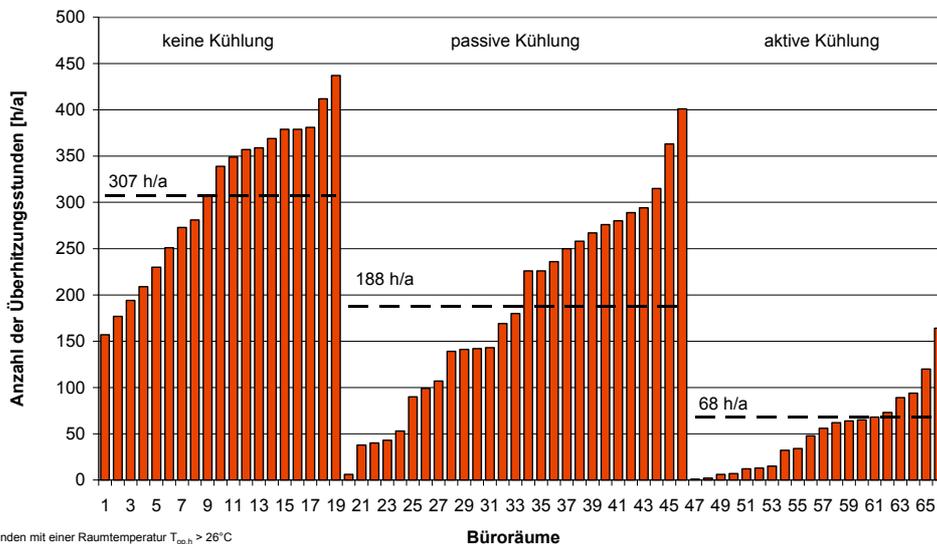
Erwartungsgemäß ergeben sich bei den aktiv gekühlten Räumen mit im Mittel 68 h/a die geringste Anzahl von Überheizungsstunden. Auch der Maximalwert von rund 150 h/a liegt deutlich unter dem Grenzwert von 260 h/a während der Nutzungszeit.

Bei den Räumen ohne Kühlung ist 150 h/a der niedrigste Wert. Diese Gruppe liegt im Mittel bei 307 h/a und damit deutlich über dem Grenzwert von 260 h/a. Die Maximalwerte liegen bei über 400 Überheizungsstunden pro Jahr während der Nutzungszeit. Dies entspricht einer fast dauerhaften Überheizung während der Sommermonate.

Der Mittelwert der passiv gekühlten Räume liegt mit 188 h/a erwartungsgemäß zwischen denen der beiden anderen Gruppen und deutlich unter dem Grenzwert. Auffallend ist jedoch die große Bandbreite der Ergebnisse: in dieser Gruppe gibt es sowohl Räume mit rund 400 Überheizungsstunden pro Jahr und andere, die fast gar nicht überhitzt.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten



* Stunden mit einer Raumtemperatur $T_{op,h} > 26^{\circ}\text{C}$
 während der Nutzungszeit: Mo.-Fr., 8 - 18 Uhr (2.600 h/a)

Abbildung 45 Anzahl der Überheizungsstunden, sortiert nach Kühlsystemen (n= 66)
 passive Kühlung: Kühlleistung < 40 W/m² (z.B. Betonkernaktivierung)
 aktive Kühlung: Kühlleistung > 40 W/m² (z.B. Kühldecken, Umluftkühlung)

Auch die Art der Lüftung in den Räumen zeigt Unterschiede: die Räume wurden hierzu in die Kategorien „Fensterlüftung“ und „Mechanische Lüftung“³ eingeteilt, siehe Abbildung 46.

³ Mit Ausnahme eines Gebäudes verfügten auch die mechanisch belüfteten Räume über zu öffnende Fenster.

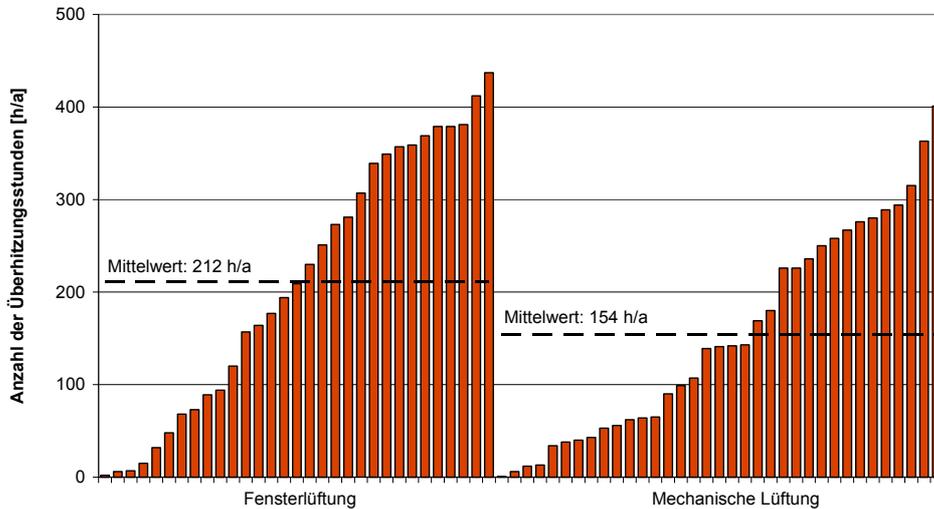


Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten



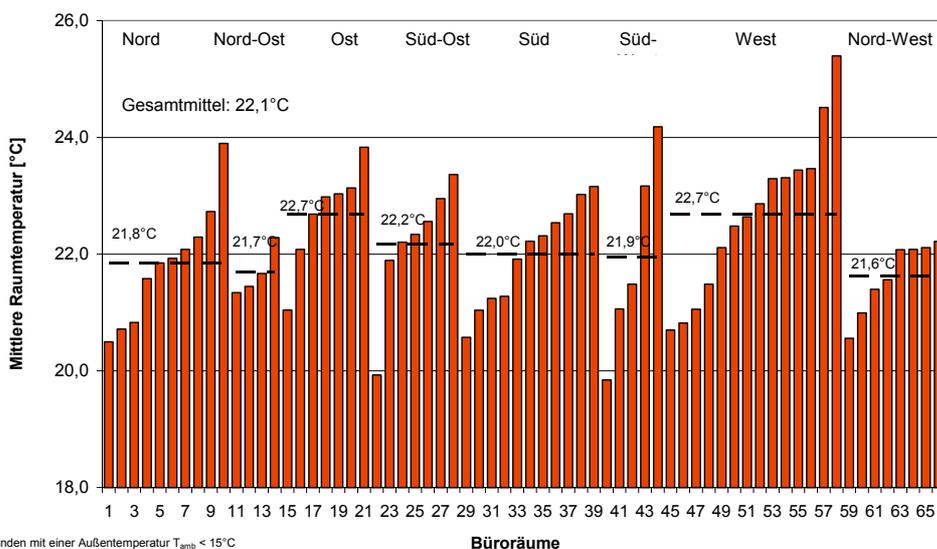
* Stunden mit einer Raumtemperatur $T_{\text{op,1h}} > 26^\circ\text{C}$
 während der Nutzungszeit: Mo.-Fr., 8 - 18 Uhr (2.600 h/a)

Abbildung 46 Anzahl der Überheizungsstunden, sortiert nach der Lüftungsart (n= 66)

In beiden Kategorien wurden bis zu rund 400 jährliche Überheizungsstunden gemessen. Im Mittel liegt die Anzahl der Überheizungsstunden in den nur fenstergelüfteten Räumen mit 212 h/a um 58 h/a über dem Mittelwert der mechanisch gelüfteten Räume mit 154 h/a.

4.6.1.3 Ergebnis Winter (Heizperiode)

Zur Bewertung der Raumtemperaturen im Winter bzw. während der Heizperiode wurden die Jahres- Mittelwerte der Messwerte in der Nutzungszeit bei einer Außentemperatur $T_{\text{amb}} < 15^\circ\text{C}$ berechnet. In Abbildung 47 sind die mittleren Temperaturen in der Nutzungszeit für 66 Büroräume sortiert nach der Ausrichtung der Räume dargestellt.



* Stunden mit einer Außentemperatur $T_{\text{amb}} < 15^\circ\text{C}$
 während der Nutzungszeit: Mo.-Fr., 8 - 18 Uhr (2.600 h/a)

Abbildung 47 Mittlere Raumtemperaturen in 66 Büroräumen, sortiert nach der Ausrichtung der Räume



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Die mittleren Raumtemperaturen liegen zwischen 19,8 und 25,4 °C mit einem Mittelwert über alle Räume von 22,1°C. Der Wert liegt damit 1,1 K über der in DIN V 18599-10, Tabelle 5, angesetzten Raum-Solltemperatur von 21°C.

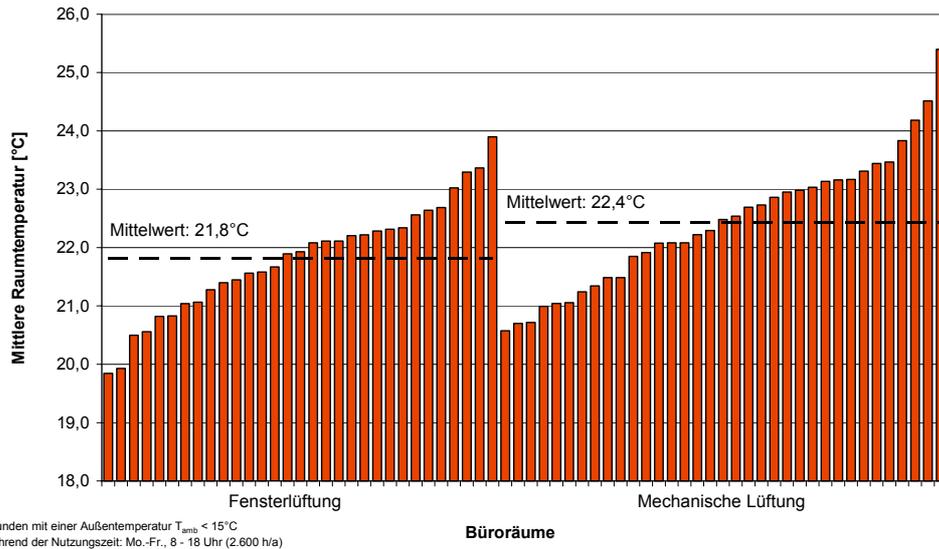


Abbildung 48 Mittlere Raumtemperaturen in 66 Büroräumen, sortiert nach der Lüftungsart

Abbildung 48 zeigt, dass die Raumlufttemperaturen im Winter in natürlich belüfteten Räumen im Mittel geringfügig – um 0,6 K – niedriger lagen als in den mechanisch belüfteten Räumen. Weitere signifikante Korrelationen der Raumtemperatur im Winter z.B. mit dem Verglasungsanteil oder Heizungssystemen wurden nicht festgestellt.

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 konzepten**



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

4.6.2 Kurzzeit-Messungen: Thermische Behaglichkeit

Die Langzeit-Messungen wurden durch stichprobenartige Kurzzeit-Messungen zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten ergänzt. Untersuchungsgegenstand war der thermische Komfort und das Nutzerverhalten.

4.6.2.1 Grundlagen und Methodik

Thermische Behaglichkeit ist eine Basisgröße für körperliches und geistiges Leistungsvermögen. Sie wird durch die physikalischen Größen

- Operative Temperatur aus Lufttemperatur und mittlerer Strahlungstemperatur,
- Relative Luftfeuchtigkeit,
- Luftgeschwindigkeit,
- Zugluftrisiko,
- Strahlungstemperatursymmetrie und
- Temperaturgradient

bestimmt. Zur Bewertung einer Abkühlung infolge Zugluft wird nach DIN EN ISO 7730:2006 [46] aus den Parametern Lufttemperatur, mittlere Luftgeschwindigkeit und Turbulenzgrad ein prozentualer Anteil Unzufriedener ermittelt. Strahlungssymmetrie zwischen gegenüberliegenden Bauteiloberflächen verursacht durch warme bzw. kalte Decken oder Wände kann thermische Unbehaglichkeit hervorrufen. Der Temperaturgradient bzw. die Temperaturschichtung beschreibt den Unterschied zwischen der Lufttemperatur am Boden (0,1m über dem Boden) und auf Körperhöhe (1,1 m).

Darüber hinaus wurden weitere Größen berechnet bzw. abgeleitet:

- PMV - **P**redicted **M**ean **V**ote
- PPD - **P**redicted **P**ercentage of **D**issatisfied

Aus den gemessenen Größen kann der **PMV-Index** (**P**redicted **M**ean **V**ote, PMV-Index) ermittelt werden, der eine Vorhersage über das zu erwartende mittlere Votum zur thermischen Behaglichkeit erlaubt. Grundlage der Berechnung sind experimentelle Untersuchungen in verschiedenen Raumklimaten und entsprechende statistische Auswertungen. Der PMV-Index wird auf einer 7-punkte Skala von -3 bis +3 nach ASHRAE bewertet, siehe Abbildung 49.

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
kalt	kühl	etwas kühl	neutral	etwas warm	warm	heiß

Abbildung 49 Klassifizierung der Raumtemperatur nach DIN EN ISO 7730:2006

Aus den gemessenen physikalischen Größen kann auch ein Prozentsatz Unzufriedener Nutzer berechnet werden – der „**PPD- Index**“ (**P**redicted **P**ercentage of **D**issatisfied, PPD-Index). Über den PPD lässt sich der thermische Raumkomfort bewerten. Als Maßstab für die Bewertung werden sowohl normierte Grenzwerte nach DIN EN ISO 7730:2006 [47] als auch Messergebnisse von Referenzgebäuden verwendet.

Neben den genannten Größen wurde auch die für die Leistungsfähigkeit bedeutsame CO₂-Konzentration in den Räumen gemessen.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

Tabelle 19 zeigt eine Übersicht über die untersuchten Kriterien sowie die zur Bewertung verwendeten Grenzwerte und ihre normativen Grundlagen.

Tabelle 19 Grenzwerte für die thermische Behaglichkeit
 Die Kennwerte sind im Folgenden mit den Farben der Kategorien gekennzeichnet. Kennwerte, die außerhalb der Kategorie C liegen, sind in roter Schrift markiert.

Messwert	Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C	Normative Grundlage
Operative Temp.	W: 21°C ≤ T _{op} ≤ 23°C S: 23,5°C ≤ T _{op} ≤ 25,5°C	W: 20°C ≤ T _{op} < 21°C W: 23°C < T _{op} ≤ 24°C S: 23,0°C ≤ T _{op} < 23,5°C S: 25,5°C < T _{op} ≤ 26,0°C	W: 19°C ≤ T _{op} < 20°C W: 24°C < T _{op} ≤ 25°C S: 22,0°C ≤ T _{op} < 23,0°C S: 26,0°C < T _{op} ≤ 27,0°C	DIN EN ISO 7730:2006
Relative Feuchte	40 – 50 %	30 – 40 % 50 – 60 %	30 – 20 % 60 – 70 %	prEN 15251:2005 ⁴
Geschwindigkeit	W: v _a ≤ 0,10 S: v _a ≤ 0,12	W: 0,10 < v _a ≤ 0,16 S: 0,12 < v _a ≤ 0,19	W: 0,16 < v _a ≤ 0,21 S: 0,19 < v _a ≤ 0,24	DIN EN ISO 7730:2006
Zugluftrisiko	DR < 10%	10% ≤ DR < 20%	20% ≤ DR < 30%	DIN EN ISO 7730:2006
Strahlungsasym. (vertikal)	< 10 K (Kühle Wand) < 23 K (Warme Wand)	< 10 K (Kühle Wand) < 23 K (Warme Wand)	< 13 K (Kühle Wand) < 35 K (Warme Wand)	DIN EN ISO 7730:2006
Temp. Gradient	Δt < 2 K	2 K ≤ Δt < 3 K	3 K ≤ Δt < 4 K	DIN EN ISO 7730:2006
CO ₂ -Gehalt	< 1.000 ppm	1.000 – 1.500 ppm	> 1.500 ppm	DIN 1946-2:1994
CO ₂ -Gehalt	400 - 600 ppm	600 – 1.000 ppm	> 1.000 ppm	DIN EN 13779:2005
PMV	-0,2 < PMV < +0,2	-0,5 < PMV ≤ -0,2 +0,2 ≤ PMV < +0,5	-0,7 < PMV ≤ -0,5 +0,5 ≤ PMV < +0,7	DIN EN ISO 7730:2006
PPD	PPD < 6%	6% ≤ PPD < 10%	10% ≤ PPD < 15%	DIN EN ISO 7730:2006

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

Das Optimum der Behaglichkeit sorgt für eine körperliche Entlastung des Organismus, wodurch Leistungsreserven für geistige Tätigkeiten zur Verfügung stehen. Dies unterstützt eine hohe Arbeitseffizienz und Produktivität. Thermische Behaglichkeit stellt somit auch eine betriebswirtschaftliche Größe dar.

Zur Messung der thermischen Behaglichkeit wurden in 123 Büroräumen Kurzzeitmessungen und gleichzeitig Kurzzeitbefragung über die thermischen Aspekte der unmittelbaren Umgebung durchgeführt⁵. Ziel war es, zu bestimmen, wie die Nutzer das Raumklima empfinden und einen Vergleich mit anderen Gebäuden zu ermöglichen. Für das Monitoring wurden Räume ausgewählt, die das Konzept des Gebäudes in Größe, technischen Funktionen und Nutzung repräsentierten und nicht bereits im Vorhinein als „problematisch“ bekannt waren.

Die Außenbedingungen haben erheblichen Einfluss auf das Innenraumklima in Arbeitsräumen. Deshalb wurden die Kurzzeitmessungen soweit möglich im Sommer (Außentemperatur T_{amb} > 15°C), im Winter (T_{amb} < 10°C) und in den Übergangszeiten (10°C < T_{amb} < 15°C) in jeweils 4 Räumen unterschiedlicher Himmelsrichtungen morgens, mittags und nachmittags durchgeführt.

Das vorkonfigurierte mobile Messgerät des IGS, das MobileLAB, wird im Raum aufgestellt und an die Stromversorgung (230V) angeschlossen. Die Messung beginnt nach einer 5-minütigen Akklimatisierungsphase der Messfühler und dauert insgesamt

⁴ DIN 1946-2:1994 gibt für die relative Feuchte mit 30 – 70 % ebenfalls einen Komfort-Bereich an, jedoch ohne weitere Unterteilung.

⁵ Der Kurzzeitfragebogen (KZF) ist im Anhang dargestellt.

5 Minuten. Es werden pro Stunde in ca. vier Räumen Messungen durchgeführt, siehe „Systematik der Messung“ in Tabelle 20.

Messung	Vormittags Vor 12.00				Mittags 12.00 – 14.00				Nachmittags Nach 14.00				Hinweis
	O	S	W	N	O	S	W	N	O	S	W	N	
Winter	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Eine Messung beginnt nach einer 5-minütigen Akklimatisierungsphase und dauert insgesamt 5 Minuten.
Übergangszeit	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	Raum 1	Raum 2	Raum 3	Raum 4	

Tabelle 20 Systematik der Durchführung der Kurzzeitmessungen

Für die Dauer der Messung wird der entsprechende Arbeitsplatz nicht genutzt. Weitere Arbeitsplätze im selben Raum sollten für die Abbildung der realen Betriebsbedingungen möglichst belegt sein.

Zusätzlich werden die innenseitigen Oberflächentemperaturen der Fassade, des Bodens und der Decke, die Kohlendioxid-Konzentration und die flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC „Total Volatile Organic Compounds“) gemessen. Die beiden letzt genannten Messinstrumente befinden sich in einer Höhe von 0,6 m über dem Boden, siehe Abbildung 50.

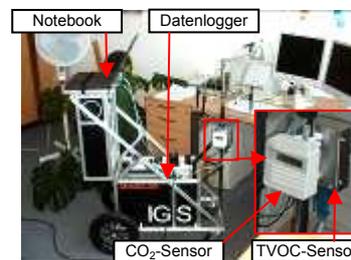
Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

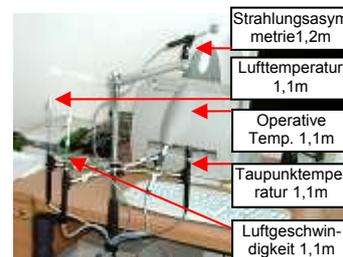
Evaluierung von Energiekonzepten



Abbildung 50 Messtechnikaufbau des MobileLAB und Ablauf der Messung (schematisch)



Mobile-LAB während einer Messung am Arbeitsplatz



Messfühler zur Messung der innenklimatischen Parametern

Diese bewegliche Messeinheit entspricht den Anforderungen der Normen DIN EN ISO 7726:2002 und DIN EN ISO 7730:2006. Die publizierten Erfahrungen aus umfangreichen Feldforschungen werden bei der Konstruktion bzw. Anordnung und Auswahl der Messinstrumente berücksichtigt, siehe auch [105] - [108]. Die Sensoren stimmen mit den europäischen Normen (CE) überein und wurden vor Beginn der Untersuchungen kalibriert. Eine Beschreibung der wichtigsten Sensoreigenschaften ist im Anhang dargestellt, siehe 7.2.3.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Die Werte der Lufttemperatur, der Taupunkttemperatur, der operativen Temperatur, der Asymmetrie der Strahlungstemperatur und der Luftgeschwindigkeit werden mit Sensoren des Fabrikats "Brüel & Kjær" aufgenommen. Mit Ausnahme der Lufttemperatursensoren, die sich in einer Höhe von 1,1 m und 0,1 m über dem Boden, befinden sich alle Sensoren in einer Höhe von 1,1 m über dem Boden am Mobile-LAB angeordnet.

Insgesamt wurden 705 Messungen in 13 Gebäuden durchgeführt, siehe Tabelle 21.

Anzahl der Messungen		002	004	006	008	009	012	013	014	015	016	017	018	019
Winter	[-]	6	6	12	9; 21	12	11	13	15	12	12	10	12	10
Übergangszeit	[-]	26	42	16; 30	17	15	28	4	4	12	4	36	4	22; 30
Sommer	[-]	16	12	12	18	14	21	22; 11	15	42	5; 35	19	0	12
Gesamt	[-]	48	60	70	65	41	60	50	34	66	56	65	16	74

Tabelle 21 Anzahl der durchgeführten Messungen je Gebäude

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

Neben den Messwerten wurde der „Betriebszustand“ einzelner Systeme in den Räumen dokumentiert:

- Sonnenschutz: auf/zu (Beispiel: bei 50 % der Messungen in der Übergangszeit wurde der Sonnenschutz im Zustand „zu“ angetroffen)
- Blendschutz: auf/zu (z.B.: bei 69 % der Messungen im Sommer wurde der Blendschutz im Zustand „zu“ angetroffen)
- Klimatechniknutzung: an/aus (z.B.: bei 100 % der Messungen im Sommer wurde festgestellt, dass eine Kühldecke in Betrieb war)
- Fensterlüftung: auf/zu (z.B.: bei 55 % der Messungen in der Übergangszeit wurde das Fenster im Zustand „auf“ angetroffen)

Die Außenlufttemperatur wurde jeweils im Rahmen der Messungen in der unmittelbaren Umgebung der Gebäude gemessen. Außerdem wurde der Bewölkungsgrad bewertet (z.B.: bei 52,5 % der Messungen in der Übergangszeit war der Himmel „bewölkt“).

In einigen Fällen wurden fehlende Messungen der Außentemperatur und der Außenluftfeuchte durch Messwerte von dem jeweiligen Gebäudestandort nahe gelegenen Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ersetzt.

Die Befragung der Nutzer stellt neben der physikalischen Messung der raumklimatischen Parameter ebenfalls ein Werkzeug zur Klassifizierung der Zufriedenheit mit dem Raumklima dar. Sie kann die Messung nicht ersetzen, ermöglicht aber eine Korrelation der aufgenommenen Messwerte mit dem Empfinden der Nutzer. Die Umfrage ist von subjektivem Charakter und basiert auf Gefühlen und Wahrnehmungen einer großen Anzahl von Nutzern.

Über die Abfrage der Gewohnheiten zur Einflussnahme der Nutzer auf das thermische Raumklima kann die Verfügbarkeit und die Häufigkeit der Nutzung von Einflussmöglichkeiten zur Regulierung des Raumklimas erfasst und bewertet werden. Die Nutzer wurden befragt, welche Möglichkeiten zur Regulierung der Raumtemperatur bzw. zur Anpassung an die Raumtemperatur sie nutzen:



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

- die Einstellungsmöglichkeiten an der Raumtemperaturregelung des Heizkörpers (Thermostat),
- die Einstellungsmöglichkeiten an einem Bedienpaneel (GLT),
- die Öffnung eines Fensterflügels, einer Innentür o. ä.,
- die Einstellung eines Sonnen- oder Blendschutzes sowie
- die Anpassung der Bekleidung.

Die Qualität der Bekleidung in einer bestimmten thermischen Umgebung bestimmt den Wärmeverlust und -gewinn einer Person und stellt damit einen wesentlichen Einflussfaktor des thermischen Behaglichkeitsempfindens dar. Für die Analyse der Bekleidungsqualität bietet der Fragebogen eine Liste unterschiedlicher Bekleidungsstücke an. Zu seiner Berechnung werden standardisierte Werte herangezogen [DIN EN ISO 9920:2005].

4.6.2.2 Ergebnis

In den folgenden Tabellen sind die Messergebnisse für die untersuchten Gebäude für die Messungen im Sommer, in der Übergangszeit und im Winter dargestellt. Die Werte geben jeweils die Mittelwerte der Messungen über den Messtag und in allen vermessenen Räumen an, siehe Tabelle 22 bis Tabelle 24.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

Tabelle 22 Ergebnisse des KZM / Messungen im Winter

Winter		002	004	006	008	009	012	013	014	015	016	017	018	019
Operative Temp.	[°C]	23,8	22,3	23,6	23,4	24,0	22,6	21,5	22,0	21,6	21,5	23,8	22,6	20,5
Relative Feuchte	[%]	23,7	33,8	20,0	22,2	42,3	37,2	27,5	32,7	24,1	26,6	23,6	27,0	37,9
Geschwindigkeit	[m/s]	0,05	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05	0,01	0,02	0,03	0,05	0,05	0,03	0,07
Zugluftisiko	[%]	2,8	0,0	1,8	0,6	0,0	1,5	1,1	0,0	1,6	4,8	3,1	2,0	6,4
Strahlungsasym.	[K]	1,1	0,4	0,8	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5	1,1	0,9	1,0	0,7	0,5
Temp. Gradient	[K]	1,7	0,8	1,9	1,1	1,1	1,0	2,4	1,5	1,2	1,4	1,4	2,0	1,1
CO2-Gehalt	[ppm]	967	660	1186	704	771	1235	846	771	619	1038	924	704	1172
PMV	[-]	0,20	-0,04	0,12	0,13	0,37	0,01	-0,23	-0,15	-0,22	-0,26	0,20	0,03	-0,47
PPD	[%]	5,8	5,0	5,3	5,3	7,8	5,0	6,1	5,4	6,0	6,4	5,8	5,0	9,6

Tabelle 23 Ergebnisse des KZM / Messungen in der Übergangszeit

Für die operative Raumtemperatur und die Luftgeschwindigkeit werden von den Normen keine spezifischen Grenzwerte für die Übergangszeit genannt.

Übergang		002	004	006	008	009	012	013	014	015	016	017	018	019
Operative Temp.	[°C]	24,1	23,0	23,3	22,7	23,9	21,8	23,7	22,4	21,4	22,8	23,7	24,4	22,7
Relative Feuchte	[%]	41,5	53,3	40,3	45,8	51,3	40,1	44,1	31,4	41,3	48,5	29,6	40,2	42,1
Geschwindigkeit	[m/s]	0,04	0,02	0,04	0,02	0,07	0,07	0,11	0,02	0,04	0,03	0,06	0,09	0,02
Zugluftisiko	[%]	7,0	1,6	2,2	0,8	4,9	5,8	13,2	0,0	2,2	0,9	4,7	6,0	0,9
Strahlungsasym.	[K]	1,2	0,5	0,9	0,4	0,8	0,5	0,3	0,8	0,9	1,0	1,0	1,5	0,3
Temp. Gradient	[K]	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	1,0	0,9	1,3	0,6	1,0	1,2	0,8	0,7
CO2-Gehalt	[ppm]	676	566	788	719	682	946	502	708	562		714		845
PMV	[-]	0,15	-0,02	-0,07	-0,15	0,10	-0,43	-0,09	-0,04	-0,55	-0,19	-0,03	0,19	-0,23
PPD	[%]	5,4	5,0	5,1	5,5	5,2	8,9	5,2	5,0	11,3	5,7	5,0	5,8	6,1



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Tabelle 24 Ergebnisse des KZM / Messungen im Sommer

Sommer		002	004	006	008	009	012	013	014	015	016	017	018	019
Operative Temp.	[°C]	25,1	25,0	27,0	26,2	23,5	25,0	28,0	27,9	23,2	28,8	26,8		25,0
Relative Feuchte	[%]	69,4	63,3	50,2	50,7	55,0	55,0	52,5	51,3	58,8	44,4	45,0		53,0
Geschwindigkeit	[m/s]	0,09	0,04	0,10	0,04	0,10	0,07	0,15	0,12	0,04	0,19	0,11		0,06
Zugluftrisiko	[%]	3,6	3,4	6,8	1,7	8,1	3,8	9,6	7,1	2,6	16,7	6,8		2,4
Strahlungsasym.	[K]	1,1	1,0	1,5	0,5	0,6	0,9	1,7	0,7	0,9	0,8	0,7		0,9
Temp.-gradient	[K]	0,7	0,4	1,0	0,8	0,4	1,1	0,8	0,6	0,5	0,6	0,8		0,9
CO ₂ -Gehalt	[ppm]	593	602	553	582	643	601	551	593	636	528	532		549
PMV	[-]	0,19	0,14	0,59	0,43	-0,53	-0,03	0,87	0,80	-0,53	1,02	0,48		0,01
PPD	[%]	5,8	5,4	12,3	8,9	10,9	5,0	21,0	18,5	10,8	26,9	9,7		5,0

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

Insgesamt liegen fast alle Messergebnisse innerhalb der in Tabelle 19 angegebenen Grenzwerte. Insbesondere die lokalen Behaglichkeitsfaktoren - mittlere Luftgeschwindigkeit bzw. das Zugluftrisiko, Strahlungsasymmetrie und Temperaturgradient - sind bei fast allen Messungen innerhalb der Kategorie A. Da es sich hier um repräsentative Mittelwerte handelt, kann der thermische Komfort in den Gebäuden insgesamt als gut bezeichnet werden.

Im Winter liegt die mittlere **Operative Raumtemperatur** in rund der Hälfte der Gebäude in Kategorie B. Die meisten Werte liegen oberhalb der Grenzwerte für Kategorie A, nur in einem Gebäude liegt der Wert unterhalb des unteren Grenzwerts (019). Für die Übergangszeit ist kein spezifischer Grenzwert definiert, jedoch liegen die entsprechenden PMV-Werte für diese Zeit alle in einem moderaten Bereich. Im Sommer liegen die Temperaturen bei 6 von 12 Gebäuden in der Kategorie C, in 3 Gebäuden über den Grenzwerten.

Die Messergebnisse für die **Relative Luftfeuchte** nach DIN EN 15251 liegen im Winter mit Ausnahme eines Gebäudes in den Kategorien B und C zwischen 20 und 40 %. Die Ergebnisse für die Übergangszeit liegen überwiegend in Kategorie A. Im Sommer liegen 10 von 12 Werten in den Kategorien B und C.

Bei fast allen Messungen der **Luftgeschwindigkeit** und des **Zugluftrisikos** lagen die Ergebnisse innerhalb der Kategorie A. Ausnahmen bildeten bei den Sommermessungen 2 Gebäude mit Werten in der Kategorie B für die Luftgeschwindigkeit sowie einem Gebäude in der Kategorie B für das Zugluftrisiko. In der Übergangszeit wurde in einem Gebäude eine mittlere Luftgeschwindigkeit in den Grenzen von Kategorie B gemessen.

Das Mittel der Messwerte für die **Strahlungsasymmetrie** lag bei allen Messungen innerhalb der Kategorie A. Der mittlere **Temperaturgradient** lag mit Ausnahme der Wintermessungen bei 2 Gebäuden ebenfalls immer in der Kategorie A.

Die mittlere **CO₂-Konzentration** lag bei allen Gebäuden im Sommer und in der Übergangszeit in der Kategorie A. Lediglich im Winter lag das Mittel der Messwerte bei 4 Gebäuden in der Kategorie B.

Die abgeleiteten Kriterien **PMV** und **PPD** liegen in der Übergangszeit überwiegend in der Kategorie A der Grenzwerte. Zwei Gebäude liegen in Kategorie B, eines in C. Im Winter liegen fünf Gebäude in Kategorie B. Demgegenüber liegen die Ergebnisse im Sommer für drei Gebäude in Kategorie C, drei weitere sogar außerhalb. Zwei weitere Gebäude werden in B eingestuft. Nur 4 Gebäude liegen in Kategorie A.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Die Temperaturen im Sommer weisen neben der trockenen Raumluft im Winter eine große Zahl von Bewertungen außerhalb der Kategorie A auf. Die Einzelmessungen zeigen auch gebäudeübergreifend, dass in rund 30 % aller Messungen im Sommer der Anteil der Unzufriedenen über 15 % und damit außerhalb der Kategorie C lag, siehe Abbildung 51.

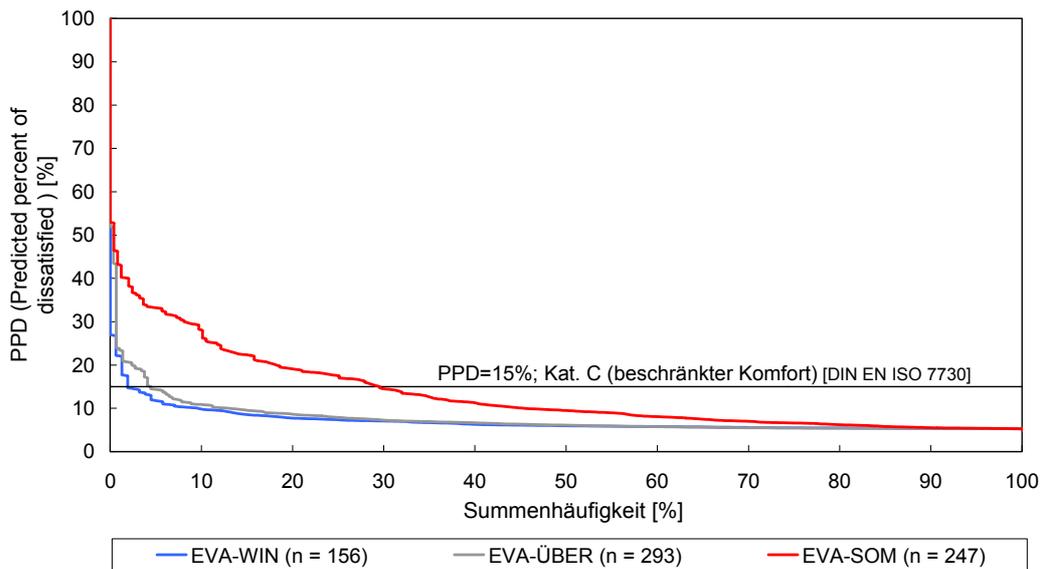


Abbildung 51 Summenhäufigkeit der PPD- Werte der Einzelmessungen in der verschiedenen Jahreszeiten

Abbildung 52 zeigt die Summenhäufigkeit der berechneten PMV- Werte für die natürlich belüfteten und die mechanisch belüfteten Räume.

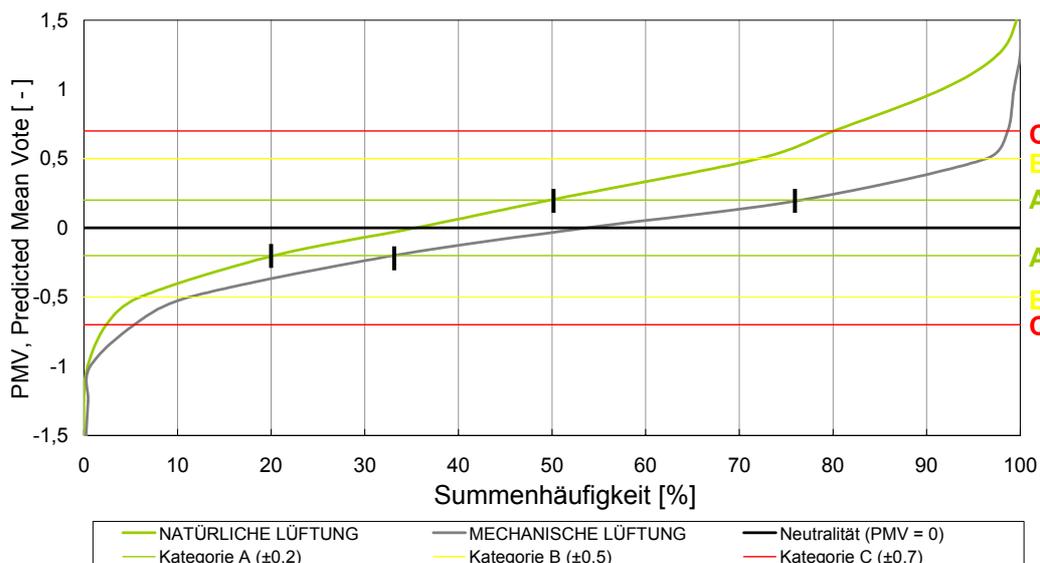


Abbildung 52 Summenhäufigkeit der berechneten PMV- Werte nach DIN EN ISO 7730:2006
 EVA- Gebäude: n=636

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Bei 30 % der natürlich belüfteten und 42 % der mechanisch belüfteten Räume wurden optimale thermische Bedingungen festgestellt (Kategorie A). Von den Messwerten der natürlich belüfteten Räume lagen darüber hinaus rund 20 % oberhalb von Kategorie C (PMV > 0,7) und rund 3 % unterhalb Kategorie C (PMV < -0,7). Die entsprechenden Werte lagen bei den mechanisch belüfteten Werten mit 2 bzw. 6 % insbesondere im Sommer deutlich niedriger. Zu beachten ist bei der Interpretation, dass die Gruppierungen einen statistischen und keinen kausalen Zusammenhang darstellen. Ein großer Teil der mechanisch gelüfteten Räume ist gleichzeitig mit einer Kühlung ausgestattet.

Der Nutzer kann durch sein Verhalten Einfluss auf das Raumklima und den Gebäudebetrieb nehmen. Dieser Aspekt wird durch die Analyse der Verfügbarkeit und Anwendung von Möglichkeiten der Einflussnahme durch den Nutzer untersucht (Fragestellung im KZM: „Zu dieser Jahreszeit reguliere ich die Raumtemperatur durch ...“, siehe auch 7.5, Seite 162). Im Folgenden werden Analysen zu den Angaben der Nutzer hinsichtlich ihrer Reaktion auf die Lufttemperatur dargestellt.

Nach Angaben der Nutzer stand im Winter allen Befragten die Anpassung der Bekleidung als Reaktion auf das Raumklima zur Verfügung. 97% der Nutzer hatten die Möglichkeit, das Raumklima durch einen Sonnenschutz zu beeinflussen, 89 % konnten ein Fenster öffnen, 85 % ein Heizkörper-Thermostat einstellen und 72 % der Nutzer stand ein Bedienpaneel zur Verfügung, siehe Abbildung 53.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

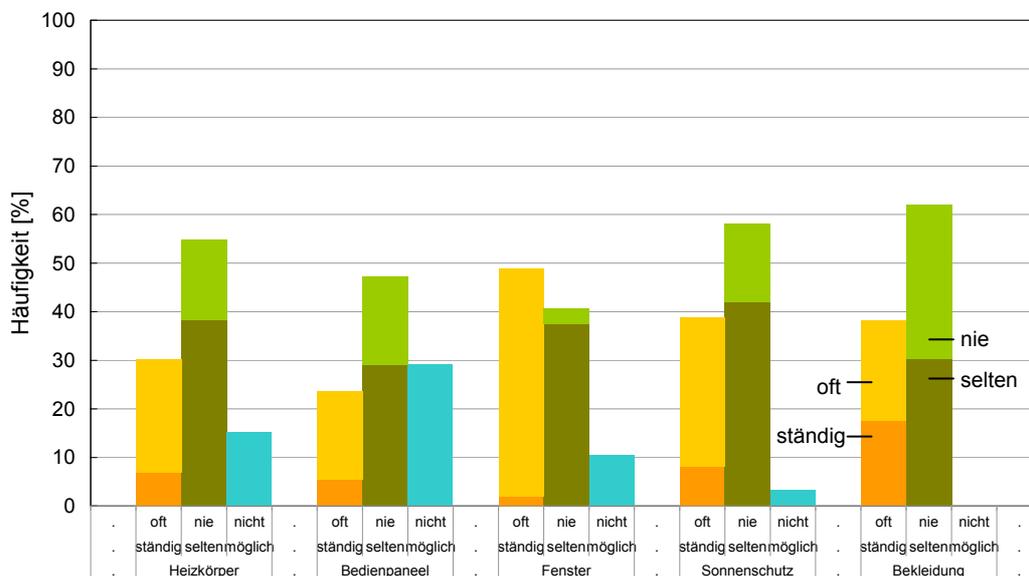


Abbildung 53 Reaktionen der Nutzer auf die Raumtemperatur im Winter
 Die Verfügbarkeit der einzelnen Reaktionen in [%] ergibt sich aus der Gesamtzahl der Angaben abzüglich der Angaben „nicht möglich“.

Alle genannten Möglichkeiten wurden von den Nutzern im Winter eingesetzt. Besonders häufig wird das Fenster zur Regulierung der Raumtemperatur genutzt: fast 50 % der Nutzer gaben „oft“ an.

Abbildung 54 zeigt die Angaben der Nutzer zur Fensterlüftung differenziert nach den Lüftungskonzepten. Der Anteil der Nutzer, die angaben, „oft“ mit dem Fenster die Raumtemperatur zu beeinflussen, liegt in den mechanisch belüfteten Räumen bei rund 45%. Da in 15 % dieser Räume das Fenster nicht geöffnet werden kann, ist die



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

Größenordnung vergleichbar mit den rund 55 %, die in den natürlich belüfteten Räumen „oft“ über das Fenster lüften.

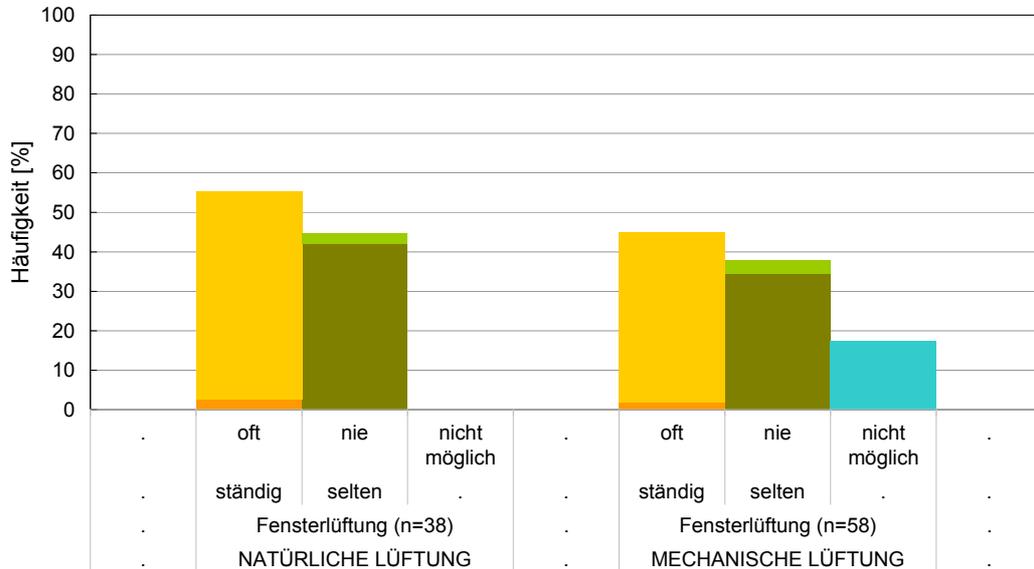


Abbildung 54 Fensterlüftung als Reaktionen der Nutzer auf die Raumtemperatur im Winter, sortiert nach Räumen mit natürlicher bzw. mechanischer Lüftung

Im Sommer haben die Nutzer die Möglichkeiten zur Beeinflussung der Raumtemperatur erwartungsgemäß deutlich anders eingesetzt, siehe Abbildung 55.

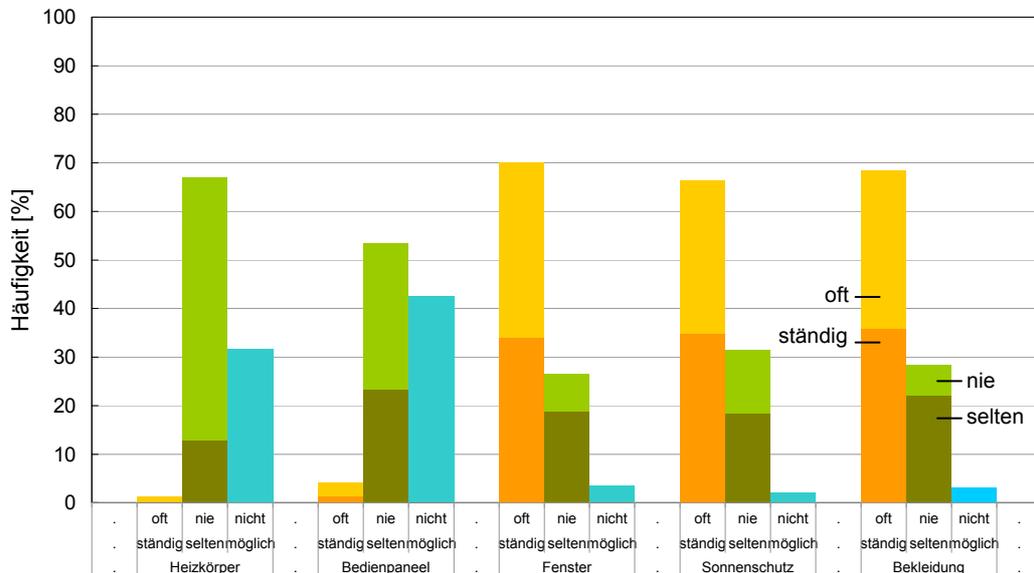


Abbildung 55 Reaktionen der Nutzer auf die Raumtemperatur im Sommer
 Die Verfügbarkeit der einzelnen Reaktionen in [%] ergibt sich aus der Gesamtzahl der Angaben abzüglich der Angaben „nicht möglich“.

Die Bekleidung wird von rund 70 % der Nutzer angepasst. Auch Sonnenschutz und Fenster werden von rund 70 % der Nutzer eingesetzt, um die Raumtemperatur zu beeinflussen.

Die Bekleidung wurde bei den Nutzern detaillierter abgefragt (siehe 7.4, Seite 161). Dadurch konnte die Anpassung der Bekleidung an die Außentemperatur im Jahresverlauf analysiert werden. Abbildung 56 zeigt die Abhängigkeit der Mittelwerte der Bekleidungsisolation von der mittleren Außentemperatur. Die Regressionsgerade mit negativer Steigung weist auf den stark vom Außenklima abhängenden Anpassungsprozess der Nutzer hin. Diese Beobachtung untermauert die Hypothese, nach der der Anpassungsprozess nicht nur von den innenklimatischen Bedingungen abhängt, wie in der Theorie des statischen thermischen Komforts von Fanger dargestellt [109], sondern auch vom Außenklima entsprechend der Untersuchungen von Morgan und de Dear [110].

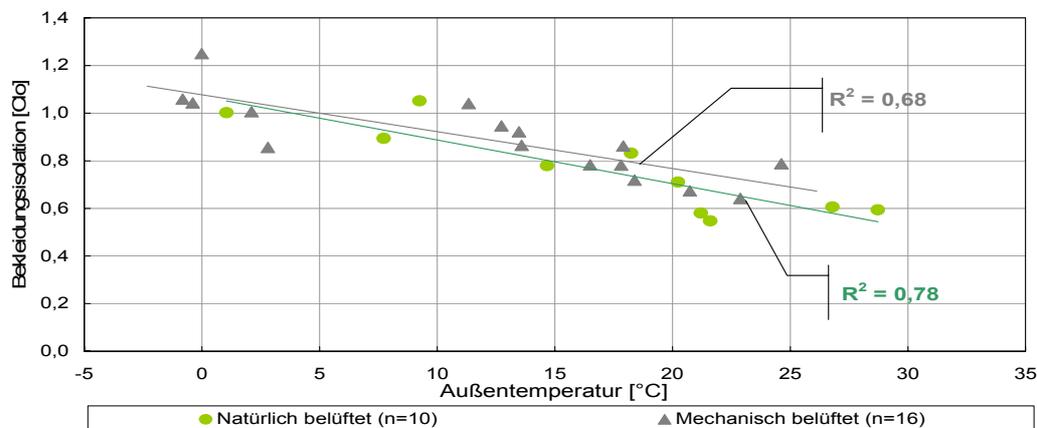


Abbildung 56 Mittelwerte der Bekleidungsisolation in Abhängigkeit von der Außentemperatur in natürlich und mechanisch belüftete Räume

Die Bekleidungsisolation liegt im Winter zwischen 0,8 und 1,2 clo, im Sommer zwischen 0,6 und 0,8. Die Anpassung ist in den natürlich belüfteten Räumen geringfügig stärker ausgeprägt als in den mechanisch belüfteten.

In Abbildung 57 ist sind die Werte für die Nutzung des Sonnenschutzes dargestellt. Hier werden in den nicht und in den passiv gekühlten Räumen ähnliche Angaben für „oft“ und „ständig“ von rund 75 % gemacht, während in den aktiv gekühlten Räumen der Sonnenschutz nur von 50 % oft genutzt wird.

EVA

Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

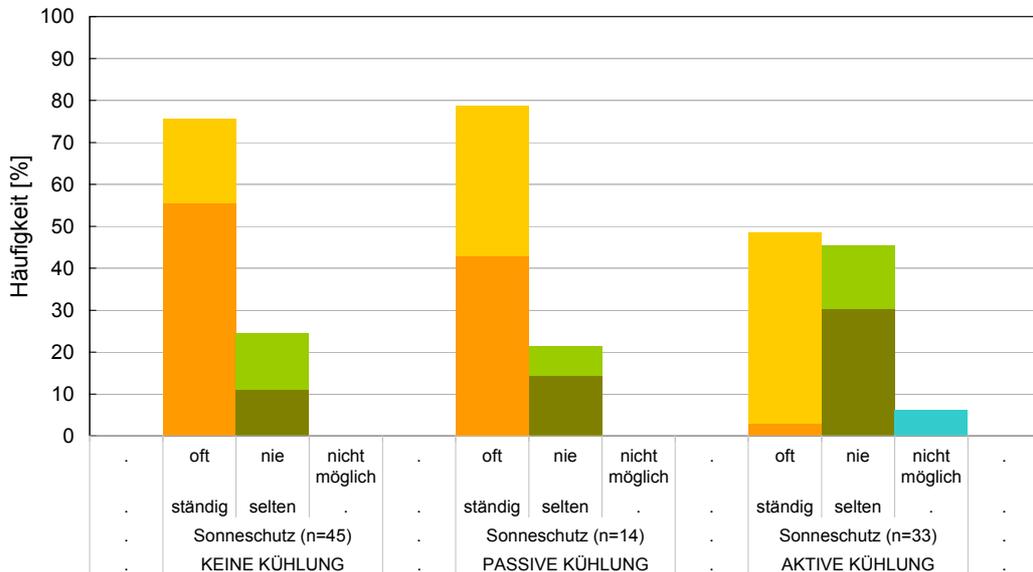


Abbildung 57 Nutzung des Sonnenschutzes als Reaktionen der Nutzer auf die Raumtemperatur im Sommer, sortiert nach Kühlsystemen

Abbildung 58 zeigt die Angaben zum Einsatz des Fensters zur Regulierung der Raumtemperatur im Sommer differenziert nach den Kühlsystemen in den Räumen.

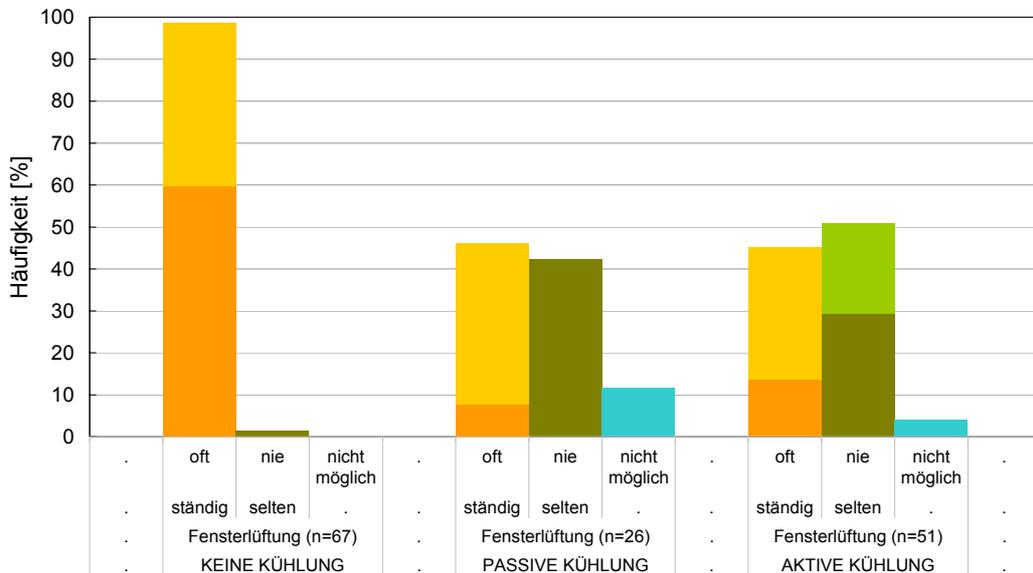


Abbildung 58 Fensterlüftung als Reaktionen der Nutzer auf die Raumtemperatur im Sommer, sortiert nach Kühlsystemen

Fast alle Nutzer in nicht gekühlten Räumen geben an, das Fenster „oft“ oder „ständig“ zur Regulierung der Raumlufttemperatur zu nutzen. In passiv gekühlten Räumen liegt der Anteil bei über 40 %. In aktiv gekühlten Räumen setzen mehr als 20 % im Sommer nie das Fenster zur Regulierung der Temperatur im Raum ein.

Für den Nutzerkomfort ist die Luftqualität insbesondere im Winter von großer Bedeutung. Sie wird u.a. beeinflusst durch die Luftdichtheit der Gebäudehülle sowie die mechanische Lüftung bzw. die Nutzung der Fensterlüftung. Die Notwendigkeit der Lüftererneuerung läuft dem Ziel der Energieeffizienz entgegen, da durch das Lüften Wärme an die Umgebung abgegeben wird bzw. Strom für Ventilatoren verbraucht wird. Abbildung 59 zeigt für verschiedene Bereiche der Außentemperatur die Mittelwerte der gemessenen operativen Raumtemperatur, sortiert nach natürlich und mechanisch gelüfteten Räume. Zusätzlich ist der Anteil der Räume dargestellt, in denen zum Zeitpunkt der Messung über das Fenster gelüftet wurde.

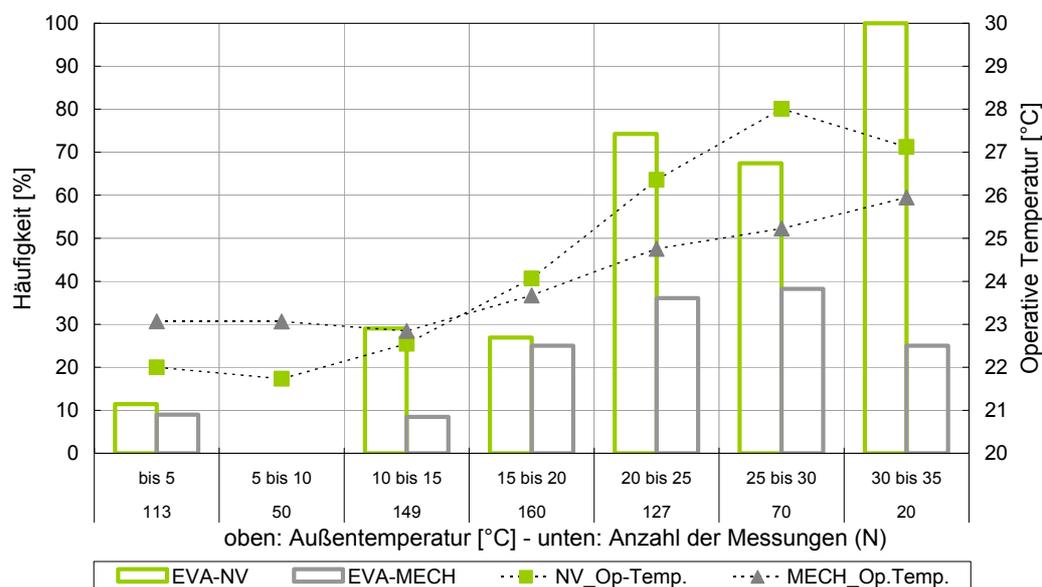


Abbildung 59 Mittlere operative Raumtemperatur und Häufigkeit der Fensterlüftung in natürlich und mechanisch belüfteten Räumen über der Außentemperatur
Im Bereich der Außentemperatur von 5-10°C waren alle Fenster geschlossen.

Bei Außenlufttemperaturen unter 10°C ist die operative Raumtemperatur in den mechanisch belüfteten Räumen rund 1 K höher als in den natürlich belüfteten Räumen. Liegt die Außenlufttemperatur zwischen 10 und 20°C, sind die gemittelten operativen Raumtemperaturen fast identisch. Bei Außenlufttemperaturen oberhalb 20°C liegt die mittlere operative Raumtemperatur der natürlich belüfteten Räume 1-3 K über der der mechanisch belüfteten. Diese Ergebnisse entsprechen dem Langzeit-Monitoring.

Gleichzeitig gibt Abbildung 59 Aufschluss über das Lüftungsverhalten in den unterschiedlich belüfteten Räumen. Der Anteil der geöffneten Fenster (das Öffnen der Fenster war bei allen Räumen mit Ausnahme eines Gebäude möglich) ist im Winter bei Außentemperaturen unter 5°C mit 10 % bzw. vollständig geschlossenen Fenstern bei Außentemperaturen zwischen 5 und 10°C für beide Lüftungskonzepte annähernd identisch.

Bei Außentemperaturen zwischen 10 und 20°C sind die mittleren operativen Raumtemperaturen fast identisch. Das Lüftungsverhalten zeigt jedoch im Bereich der Außentemperaturen von 10 bis 15 °C, dass in den natürlich belüfteten Räumen in fast 30% der Räume das Fenster offen stand, während es bei den mechanisch belüfteten Räumen weniger als 10 % waren. Dieser Trend setzt sich mit Ausnahme des Bereichs von 15 bis 20°C fort: der Anteil offener Fenster bei natürlich belüfteten Räumen liegt im Sommer bei Außentemperaturen oberhalb von 20°C bei 70 – 100 %. In den mechanisch belüfteten Räumen steigt er nicht über 40 %.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

Die Ergebnisse lassen für den Sommer auf ein Nutzerverhalten in den natürlich belüfteten Räumen schließen, dass nicht geeignet ist, niedrige Raumtemperaturen zu gewährleisten. Aus den Daten kann jedoch nicht geschlossen werden, ob das Nutzerverhalten Ursache oder Wirkung der hohen Raumtemperaturen war.

Für die Bewertung von Lüftungsanlagen zur Reduzierung von Wärmeverlusten im Winter ist bedeutsam, dass die Nutzer in mechanisch gelüfteten Räumen die Fenster in etwa gleichem Maße öffnen wie in natürlich belüfteten Räumen. Abbildung 60 zeigt die Summenhäufigkeit der Messwerte für die CO₂-Konzentrationen der Wintermessungen, ebenfalls differenziert nach dem Lüftungskonzept.

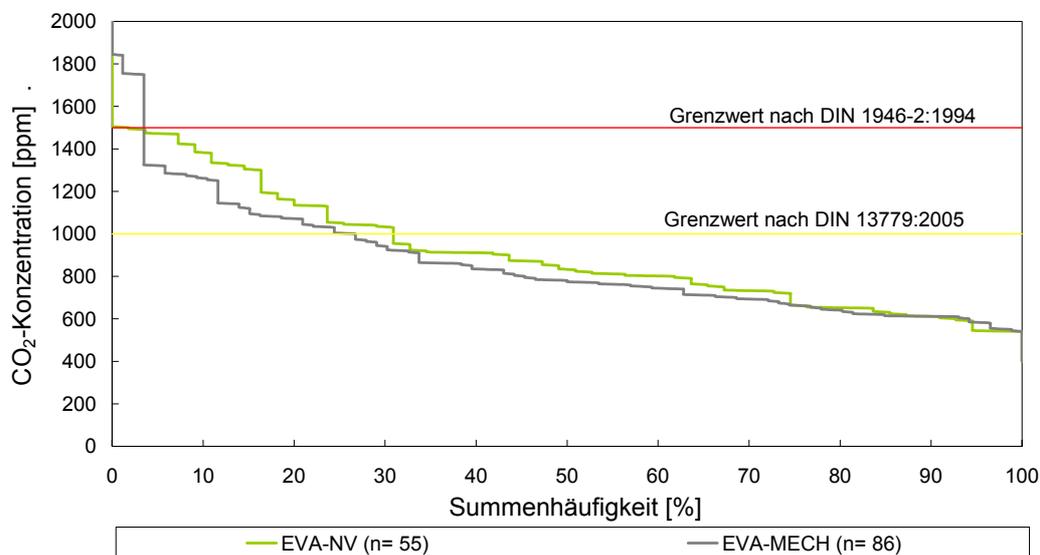


Abbildung 60 Häufigkeit der CO₂-Konzentration im Winter in Abhängigkeit von der Lüftungsart (NV: Fensterlüftung; MECH: Mechanische Lüftung)

Da im Sommer und in der Übergangszeit fast alle Messwerte unterhalb von 1.000 ppm lagen, wird hierzu keine weitere Analyse durchgeführt. Im Winter liegen rund 26 % der Messwerte in mechanisch belüfteten und 31 % derer in natürlich belüfteten Räumen über dem Grenzwerte nach DIN 13779:2005 von 1.000 ppm. In Bezug auf den nicht mehr gültigen Grenzwert nach DIN 1946-2 von 1.500 ppm sind es rund 5 bzw. 2 %.

Der Unterschied zwischen den Lüftungskonzepten ist dabei gering. Eine starke Verbesserung bzw. Reduzierung der CO₂-Konzentrationen durch die mechanische Lüftung ist nicht zu erkennen. Die mechanisch belüfteten Räume liegen mit einer CO₂-Konzentration von 1.000 ppm deutlich über der Konzentration von 400 bis 500 ppm in der Umgebung. Dies lässt auf ineffektive Lüftungskonzepte schließen⁶.

⁶ In vertiefenden Untersuchungen einzelner Gebäude konnten entsprechende Probleme festgestellt werden.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

4.6.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen Nutzerkomfort (Monitoring)

Genau genommen gibt es „den Nutzerkomfort“ eines Gebäudes nicht. Jeder Raum unterscheidet sich vom nächsten durch seine Lage, die Anbindung an Heiz- und Kühlsysteme und das Nutzerverhalten. Von Tag zu Tag und von Jahr zu Jahr verändern sich die meteorologischen Bedingungen. Ein Gebäude in seiner Gesamtheit mit allen relevanten Faktoren zu vermessen, ist kaum möglich. Deshalb kann ein Monitoring der Betriebspraxis immer nur kleine Ausschnitte des Komforts analysieren. Die Schlussfolgerungen müssen immer im Kontext der stark veränderlichen Umgebung gesehen werden.

Lang- und Kurzzeit-Monitoring fokussierten in diesem Projekt auf den thermischen Komfort in typischen Büroräumen. Ziel war es nicht, in als „problematisch“ bekannten Räumen nach möglichen Ursachen zu suchen. Sicherlich ist kein Energiekonzept vor schlechter Performance durch Fehler in Planung, Bau und Betrieb gefeit. EVA soll vielmehr zeigen, wie die Konzepte sich in der Praxis im Regelfall – im Fall des Komforts in repräsentativen Räumen – bewähren.

Das Monitoring lässt hierzu folgende Aussagen zu:

1. Die Komfort-Bedingungen für **Strahlungsasymmetrie**, **Temperaturgradient** und **Luftzug** nach DIN 1946 bzw. DIN EN ISO 7730 werden in den untersuchten Räumen weitgehend eingehalten. Es konnten so gut wie keine signifikanten Überschreitungen der entsprechenden Grenzwerte festgestellt werden.

2. In allen Räumen wurden im Sommer **sommerliche Überhitzung** mit Raumlufttemperaturen über 26°C festgestellt. Der arithmetische Mittelwert der jährlichen Überhitzungsstunden lag bei 182 h/a. Damit liegt der Mittelwert unter dem Grenzwert von 260 h/a bzw. 10% der Nutzungszeit. Rund 30 % der Räume lagen jedoch zum Teil deutlich über dem Grenzwert.

Die Analyse der einzelnen Räume konnte keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Verglasungsanteil oder der Ausrichtung der Räume und der sommerlichen Überhitzung im Betrieb feststellen. Dies entspricht nicht den üblichen Simulationsergebnissen und lässt vermuten, dass sich die Einflüsse der Nutzung in der Praxis deutlich stärker auswirken als einzelne Veränderungen entsprechender Parameter in der Planung.

Signifikante Unterschiede ergaben sich für die verschiedenen Kühlsysteme. Neben dem erwarteten Ergebnis, dass Räume ohne Kühlung die meisten Überhitzungsstunden und diejenigen mit aktiver (leistungsstarker) Kühlung die niedrigsten Werte hatten, viel auf, das in passiv gekühlten Räumen (z.B. Betonkernaktivierung) die größte Streuung der Werte vorlag. Auch dies kann dahingehend interpretiert werden, dass diese Räume zwar funktionieren *können*, jedoch das Nutzerverhalten oder die Betriebsführung nicht entsprechend der Anforderungen der Konzepte erfolgen. Diese Schlussfolgerung wird durch die Befragungen im Kurzzeit-Monitoring zur Regulierung der Raumtemperatur im Sommer sowie zur festgestellten Fensternutzung unterstützt. Im Bereich der Kühlung wurden außerdem zahlreiche Betriebsprobleme festgestellt.

Die Ergebnisse deuten auf einen erheblichen Einfluss der Nutzungs- und Betriebsrandbedingungen auf die raumklimatischen Bedingungen in der Praxis hin. Diese können zu sommerlicher Überhitzung führen, die bei richtigem Nutzerverhalten (das bei Simulationen in der Planung in der Regel unterstellt wird) vermutlich weitgehend vermieden werden könnte.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

3. Die Bewertung der gemessenen **CO₂-Konzentrationen** erfolgt unter besonderer Beachtung der Verschärfung der Anforderungen durch die DIN EN 13779. Nach dem alten Grenzwert der DIN 1946-2 von 1.500 ppm ist der Anteil der Räume mit einer zu hohen CO₂-Konzentration im Winter – bei Außentemperaturen unter 10°C mit weniger als 5 % vernachlässigbar gering. Durch die Absenkung des Grenzwerts auf 1.000 ppm nach DIN EN 13779 steigt dieser Anteil auf rund 30 %.
- Auffällig ist der geringe Unterschied der CO₂-Konzentration in natürlich und mechanisch belüfteten Räumen sowie die häufige Nutzung der Fenster sowohl im Sommer wie im Winter. Diese deuten nicht nur auf eine begrenzte Effektivität der Lüftungskonzepte hinsichtlich des Luftaustauschs hin. Auch der Effizienzgewinn durch den Einbau von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sowie die Effektivität von passiven Kühlsystemen wird durch das festgestellte Nutzerverhalten in Frage gestellt. Oder positiver ausgedrückt: sie verlangen nach entsprechender Information bzw. Schulung der Nutzer.

Die Nutzer greifen stark in den Betrieb der Gebäude ein und beeinflussen damit in hohem Maße ihr eigenes Raumklima. Wie die Ergebnisse der Nutzerbefragungen der Universität Karlsruhe unten zeigen, ist die Möglichkeit zur Einflussnahme für die Nutzer von großer Bedeutung für ihr Wohlbefinden. Deshalb ist eine vollständige „Automatisierung“ der Klimatisierung keine Option für die Verbesserung der Gebäudekonzepte. Der Nutzereingriff sollte also erhalten bleiben und ist in der Planung entsprechend zu berücksichtigen.

Die Verbindung von energieeffizientem Betrieb und gutem Nutzerkomfort kann nur gelingen, wenn der Nutzer zu einem „richtigen“ Verhalten in diesem Sinne befähigt wird. Zur Effektivität entsprechender Möglichkeiten durch die Gebäudetechnik, Ergonomie, Schulungen etc. wird deshalb erheblicher Forschungsbedarf gesehen.

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

4.7 Nutzerbefragungen

Komfort und Wohlbefinden sind nicht nur aus physiologischen und psychologischen Gründen für jeden von uns wichtig, sondern sie spielen auch wirtschaftlich gesehen eine bedeutende Rolle, da beide Faktoren die Produktivität am Arbeitsplatz weitgehend beeinflussen können. Da die Personalkosten alle anderen Gebäudekosten einschließlich der Kosten für den Gebäudebetrieb um etwa das vierfache überschreiten, sind angemessene Arbeitsplatzbedingungen von größter Relevanz für den wirtschaftlichen Erfolg jedes Unternehmens [Voss et al. 2005, S. 203].

Im Rahmen der Forschungsprojekte EVA und EnBau:MONITOR wurde deshalb von Seiten der Universität Karlsruhe zwischen Januar 2004 und September 2006 in insgesamt 17 Bürogebäuden in Deutschland eine Evaluation der Arbeitsplatzqualität bzw. der Nutzerzufriedenheit durchgeführt. Eine detaillierte Beschreibung der unterschiedlichen architektonischen und energetischen Konzepte ist unter der Rubrik „Projekte“ als PDF auf der Internetseite unter www.solarbau.de/monitor/index.htm und u. a. in [Pfafferott 2004, Voss et al. 2005, Plesser et al. 2005a, Plesser et al. 2005b] zu finden. Das vorrangige Ziel dieser beiden Projekte liegt in der Erfassung und Dokumentation von Energiekennzahlen sowie weiteren Betriebsdaten wie z. B. der Anlagen-Performance und dem Raumklima.

Nutzerbefragungen haben im Zusammenhang mit der technischen Erfassung des Gebäudebetriebs ein großes Potential, um die Arbeitsplatzqualität aus Nutzersicht zu bewerten und gegebenenfalls zu verbessern [Bischof et al. 2003]. Das Ziel der vorliegenden Studie ist es deshalb, den Grad der allgemeinen Zufriedenheit der Mitarbeiter mit ihrem Arbeitsplatz zu messen und in eine vergleichbare Größe zu verwandeln. Dazu gehört auch, die individuellen den Komfort am Arbeitsplatz und im Gebäude betreffenden Parameter statistisch zu beschreiben und in Zusammenhang mit den architektonischen und energetischen Gebäudekonzepten zu bringen. Nutzerzufriedenheit wird im Zusammenhang mit dieser Untersuchung als die persönliche Zufriedenheit mit dem „thermischen“, „visuellen“ und „akustischen“ Komfort, der Raumluftqualität sowie der Büroausstattung und -gestaltung definiert. Im Folgenden werden diese einzelnen Zufriedenheiten als „individuelle Zufriedenheitsparameter“ bezeichnet. Ermittelt wurden die Werte mit Hilfe eines speziell auf die Fragestellung abgestimmten standardisierten Fragebogens und der dazu entsprechenden statistischen Auswertemethodik. Die Auswertung umschließt auch technische und architektonische Gebäudedaten sowie Messwerte des Innenraumklimas.

Anhand der Antworten durch die Nutzer soll ermittelt werden, ob das architektonische und das technische Konzept - vor allem der Betrieb der Anlagen zur Raumklimatisierung - einen statistisch nachweisbaren Einfluss auf die allgemeine Zufriedenheit aber auch auf individuellen Komfortparameter am Arbeitsplatz hat.

Neben den baulichen Einflüssen werden weitere mögliche Einflüsse auf die Zufriedenheitsparameter untersucht, z.B. arbeitsbezogene Faktoren, das Alter etc. und eventuelle Zusammenhänge zwischen den einzelnen Zufriedenheiten analysiert. Ebenso werden Unterschiede in den Bewertungen zwischen Sommer- und Winterbefragungen untersucht. Bei einem Quervergleich der untersuchten Gebäude wird abschließend geprüft, ob mit Hilfe statistischer Auswertemethoden ein allgemeiner „Index der Zufriedenheiten“ erstellt werden kann. Dabei taucht auch die Frage auf, ob es möglich ist, die unterschiedlichen Gebäude anhand der Nutzerbewertungen zu Gruppen zusammenzufassen, die sich im Hinblick auf das architektonische und/ oder energetische Konzept unterscheiden.

Weiterhin ist es von großem Interesse, welchen Stellenwert (Wichtigkeit) die einzelnen Zufriedenheitsparameter für die Gebäudenutzer haben, und inwieweit diese das



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

Wohlbefinden und die allgemeine Zufriedenheit mit dem Arbeitsplatz beeinflussen. Auf diese Weise können detailliert objektspezifische Erkenntnisse gesammelt werden, die sich schwerpunktmäßig auf den Nutzer beziehen. Diese können in Ergänzung zu den Messdaten den Betreibern, Nutzern und Planern zur Verfügung gestellt werden, um sie im Bedarfsfall als Basis für die Optimierung des Gebäudebetriebs oder für die Neuplanung von Gebäuden heranzuziehen.

4.7.1 Grundlagen und Methodik

4.7.1.1 Der Fragebogen

Der Fragebogen wurde unter Berücksichtigung bereits existierender und angewandter Fragebögen zu unterschiedlichen Themen aus dem Gebäudebereich und zum Sick-Building-Syndrome [Bischof 1993] erstellt. Anerkannte Regeln zur Formulierung von Fragebögen wurden berücksichtigt.

Vor der ersten Anwendung wurde der Fragebogen in drei Gebäuden, die nicht in die Untersuchung involviert waren, durch ca. 90 Personen beantwortet und auf Verständlichkeit und Ausfülldauer getestet. Ein Mitarbeiter der Pretest-Abteilung des Zentrums für Umfrageforschung in Mannheim (ZUMA) hat die Fragen ebenfalls auf Verständlichkeit und Plausibilität hin untersucht.

Die Fragenkomplexe sind so aufgebaut, dass erst Fragen zu speziellen Gegebenheiten des jeweiligen Themas gestellt werden und am Ende eine zusammenfassende Frage über die allgemeine Zufriedenheit mit dem Themenbereich folgt. Insgesamt werden zwischen 60 und 70 Variablen anhand von fünfstufigen Likert-Skalen abgefragt [Lienert, Raatz 1998]. Die genauen Fragenformulierungen sind auf der CD in [Voss et al. 2005] zu finden. Aufgrund der gewünschten Vergleichbarkeit lauten die meisten Fragen trotz zum Teil unterschiedlicher Gegebenheiten in den Gebäuden gleich. Nur einige sind an offensichtliche Besonderheiten im Gebäude angepasst (z.B. Lüftungssystem, Sonnenschutzsystem).

4.7.1.2 Durchführung der Befragungen

Die Befragungen wurden mit Stichproben von 30 bis 100 Personen je Gebäude (in Abhängigkeit von deren Mitarbeiterzahl) durchgeführt. Dabei wurde die Anonymität der Mitarbeiter gewahrt. Die Fragebögen wurden bis auf wenige Ausnahmen persönlich in den Gebäuden ausgeteilt. In zehn der siebzehn untersuchten Gebäuden wurden die Fragebögen innerhalb eines Tages wieder abgegeben. In den Übrigen bestand aus organisatorischen Gründen (Dienstreisen, zu kurzfristige Information etc.) der Wunsch nach einer längeren Rückgabefrist. Etwa 1500 Mitarbeiter haben im Verlauf der Untersuchung einen Fragebogen ausgefüllt. Die durchschnittliche Rücklaufquote betrug bei der ersten Befragungsrunde knapp 80% (60% - 95%) und bei der zweiten Befragungsrunde 73% (50% - 90%). Knapp 80 % der Fragebögen wurde in der Zeit zwischen 9 und 14 Uhr ausgefüllt.

In sechzehn der siebzehn untersuchten Gebäude wurden separate Befragungen im Sommer und im Winter durchgeführt, damit der Einfluss der unterschiedlichen Witterungsbedingungen auf die Beurteilung der Nutzer - insbesondere bezogen auf das Temperaturempfinden und die Belichtung der Arbeitsplätze - untersucht werden konnte.

4.7.1.3 Messwernerfassung

Zusätzlich wurden am Tag der Befragung in jeweils sechs Räumen die Raumtemperatur und die Luftfeuchte mit tragbaren Datenloggern (HOBO der Firma onset) gemessen. Der Messbereich der Datenlogger für die Raumtemperatur reicht von -20 °C bis 70 °C ($\pm 0,7$ °C). Der Messbereich für die relative Feuchte reicht von 25 % bis 95 % ($\pm 5,0$ %). Die Messgenauigkeit der Datenlogger wurde zuvor anhand von Vergleichswerten eines kalibrierten PT100 über einen Temperaturbereich von 15 °C - 35 °C in einer Klimakammer des Fraunhofer ISE in Freiburg überprüft und bestätigt.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

Die Räume wurden danach ausgesucht, dass sie möglichst gleichmäßig im Gebäude verteilt lagen und somit auch Strahlungseinflüsse und damit vor allem im Sommer die gesamte Schwankungsbreite der Temperaturverteilung im Gebäude mit erfasst wurde. Zudem war ausschlaggebend, in welchen Räumen durch die Gebäudeleittechnik (GLT) Messdaten erfasst wurden, um nach Bedarf einen Messwertvergleich zu ermöglichen. Die Hobos wurden auf den Schreibtischen (ca. 0,85 m Raumhöhe) möglichst in Raummitte und ohne direkten Einfluss von Solarstrahlung oder sonstiger Wärmequellen (z. B. Drucker) positioniert. Die Messzeiträume variierten in Abhängigkeit von den terminlichen Gegebenheiten in den Gebäuden. Ein über alle Gebäude vergleichbarer Zeitraum war am Tag der Befragung zwischen 10 und 15 Uhr und deckt damit den Zeitraum der häufigsten Fragebogenbeantwortung gut ab.

Für die meisten Gebäude sollten auch weitere Daten (z. B. kontinuierlich gemessene Raumtemperaturen, Öffnungszeiten der Fenster, CO₂ etc.) vom Gebäude-Monitoring bereit gestellt werden. Leider standen diese letztlich nur für wenige Gebäude zur Verfügung. Ausfälle in der Messwernerfassung, falsche Bezugszeiträume, zu wenige Messräume (1 - 2) und unzuverlässige Daten haben einen Vergleich der Kurzzeitmessungen und der rückblickenden Nutzerantworten mit den Langzeitmessungen nicht ermöglicht.

4.7.1.4 Statistische Auswertung

Die Befragungen wurden mit Stichproben von 30 bis 100 Personen je Gebäude (in Abhängigkeit von deren Größe) durchgeführt. Bei kleineren Stichproben läuft man Gefahr, dass sich Zusammenhänge ergeben, die durch Zufall verursacht sind. Die Fragebögen wurden persönlich per Zufallsprinzip ausgeteilt und von den Teilnehmenden anonym wieder abgegeben. Es wurde eine durchschnittliche Rücklaufquote von knapp 80 % erreicht. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse der Untersuchung repräsentativ sind [Wirtz, Nachtigall 2002a/ Bortz, Döring 2003]. Nur in vereinzelten Fällen, nämlich in den Gebäuden 4, 6, 12, 16, und bei der zweiten Befragung im Gebäude 17, hat keine Zufallsauswahl der Mitarbeiter stattgefunden. In den Gebäuden 12 und 17 war die Stichprobe jedoch so groß, dass die Ergebnisse über eine Kreuzvalidierung auf Gleichheit oder Unterschiede überprüft werden konnten [Lienert, Raatz 1998]. Es stellte sich dabei heraus, dass keine signifikanten Abweichungen in den Angaben vorkamen.

Die statistische Auswertung der Antworten erfolgt in der Hauptsache mit dem Programm SPSS Version 11.5. Im Folgenden werden die verwendeten statistischen Verfahren benannt:

Neben Häufigkeitsverteilungen - in der Regel in Form von Prozentwerten - wurden Lagemaße (z. B. das arithmetische Mittel und der Median) der Antwortverteilung berechnet.

Im weiteren Verlauf der Untersuchung wurden Korrelationen zwischen den allgemeinen und den speziellen Fragen zu jedem Thema ermittelt, um Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern herauszufiltern. Dabei drückt der Korrelationskoeffizient die Stärke des linearen Zusammenhangs in einer einzigen Maßzahl aus [Brosius 2002]. Anhand der Regressionsanalyse konnten die Kausalbeziehungen (Ursache-Wirkungs-Beziehungen) zwischen den Variablen untersucht werden, z. B. wie groß der Einfluss des Temperaturempfindens oder der Luftqualität auf die Temperaturzufriedenheit ist. Mit einem T-Test ist es möglich zu analysieren, ob ein signifikanter Unterschied z. B. zwischen der Sommer- und der Winterbewertung in einem Gebäude besteht. Anhand der Varianzanalyse können mehrere Mittelwerte zugleich untersucht werden [Brosius 2002/ Backhaus 2006/ Wirtz und Nachtigall 2002b]. Zum Beispiel kann hier untersucht werden, ob ein Unterschied in der Zufriedenheit mit der Raumtemperatur zwischen der Sommer- und der Winterbewertung zwischen mehreren Gebäuden besteht. Aufgrund von sachlogischer Überlegung wurden abschließend drei Gebäudegruppen gebildet, die sich in ihrem Energiekonzept ähneln. Mit Hilfe der Diskriminanzanalyse



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

wurde untersucht, ob sich die verschiedenen Gruppen hinsichtlich zuvor bestimmter Variablen, wie z. B. dem Temperaturempfinden, der empfundenen Luftfeuchte oder der Luftqualität signifikant unterscheiden. Zudem konnte evaluiert werden, welche Variablen (Fragen) zur Unterscheidung zwischen den Gruppen geeignet bzw. ungeeignet sind.

4.7.2 Ergebnisse zum thermischen Komfort

4.7.2.1 Einführung

Die hier dargestellten Ergebnisse beziehen sich vereinbarungsgemäß auf die Fragen zum thermischen Komfort – genauer gesagt auf die Zufriedenheit mit der empfundenen Raumtemperatur. Dabei wurde vorausgesetzt, dass das Temperaturempfinden (zu kalt – etwas zu kalt - neutral – etwas zu warm - zu warm) nicht ausreichend ist für eine Aussage über die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur. Parameter, welche diese vermutlich zusätzlich beeinflussen sowie Unterschiede zwischen den Winter- und den Sommerbewertungen und den an der Untersuchung teilnehmenden Gebäuden wurden hier auf Grundlage der Nutzerbewertungen ermittelt.

Ziel war es, Zusammenhänge zwischen den einzelnen Parametern aufzudecken und Einflussgrößen auf das Temperaturempfinden und die Zufriedenheit mit der Temperatur am Arbeitsplatz zu ermitteln. Es geht an dieser Stelle nicht um einen Vergleich mit gängigen Komfortmodellen oder mit Ergebnissen aus Laboruntersuchungen. Die Anonymisierung der Befragung und nur stichprobenweise Messungen der Raumtemperaturen würden diesen Vergleich nicht zulassen. Dieser war auch nicht Bestandteil der vorliegenden Untersuchung. Dennoch werden die vorhandenen Messwerte den Einschätzungen der Nutzer in Abschnitt 4.7.2.6 einander gegenüber gestellt. Mit Hilfe der stichprobenartigen Messungen können Anhaltspunkte gewonnen werden, ob im Mittel eine Verbindung zwischen der Zufriedenheit z. B. mit der subjektiv empfundenen Raumtemperatur und den in den Gebäuden gemessenen Daten besteht.

4.7.2.2 Hypothesen

Folgende Hypothesen wurden im Hinblick auf den thermischen Komfort aufgestellt und überprüft:

1. Es existieren Unterschiede in den Bewertungen des Temperaturempfindens, der Temperaturzufriedenheit und der Luftqualität zwischen Sommer und Winter.
2. Neben der empfundenen Raumtemperatur haben weitere Parameter wie z. B. die empfundene Luftfeuchte, die Luftqualität und Einflussmöglichkeiten auf die Raumtemperatur einen Einfluss auf die Zufriedenheit der Nutzer mit dem thermischen Komfort am Arbeitsplatz, ausgedrückt in der Zufriedenheit mit der Raumtemperatur.
3. Die Nutzer lassen sich auf Grundlage der Antworten zum thermischen Komfort in Gruppen einteilen, die sich den technischen Gebäudekonzepten zuordnen lassen.

4.7.2.3 Klimabeschreibung

Die Befragungen haben jeweils zwischen Mitte Januar und Mitte März für den Winter und zwischen Mitte Juni und Mitte September für den Sommer stattgefunden, um eventuelle Unterschiede vor allem in den Temperaturbewertungen aber auch Einflüsse auf die übrigen Zufriedenheiten zu analysieren. Dem Versuch, auch kurzfristig auf klimatische Situationen zu reagieren (Ausnutzen von besonders warmen bzw. heißen Perioden), standen z. T. die unterschiedlichen Urlaubszeiten in den einzelnen Bundesländern und weitere organisatorische Umstände wie z. B. die Zugänglichkeit der Gebäude entgegen.

Im Folgenden werden Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes [http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/daten/online/nat/index_tageswerte.htm, 02.02.2007, Messhöhe 2 m] bzw. von Gebäude nahen Wetterstationen zur Prüfung verwendet, ob die Einteilung in Sommer- und Winterbefragung stattfinden kann, oder ob ein Teil der Befragungen in die Übergangsjahreszeit gerechnet werden muss. Die

Messzeiträume, Orte der Wetterstationen sowie Angaben zu Messwertkorrekturen sind im Anhang (Tabelle 1) beschrieben.

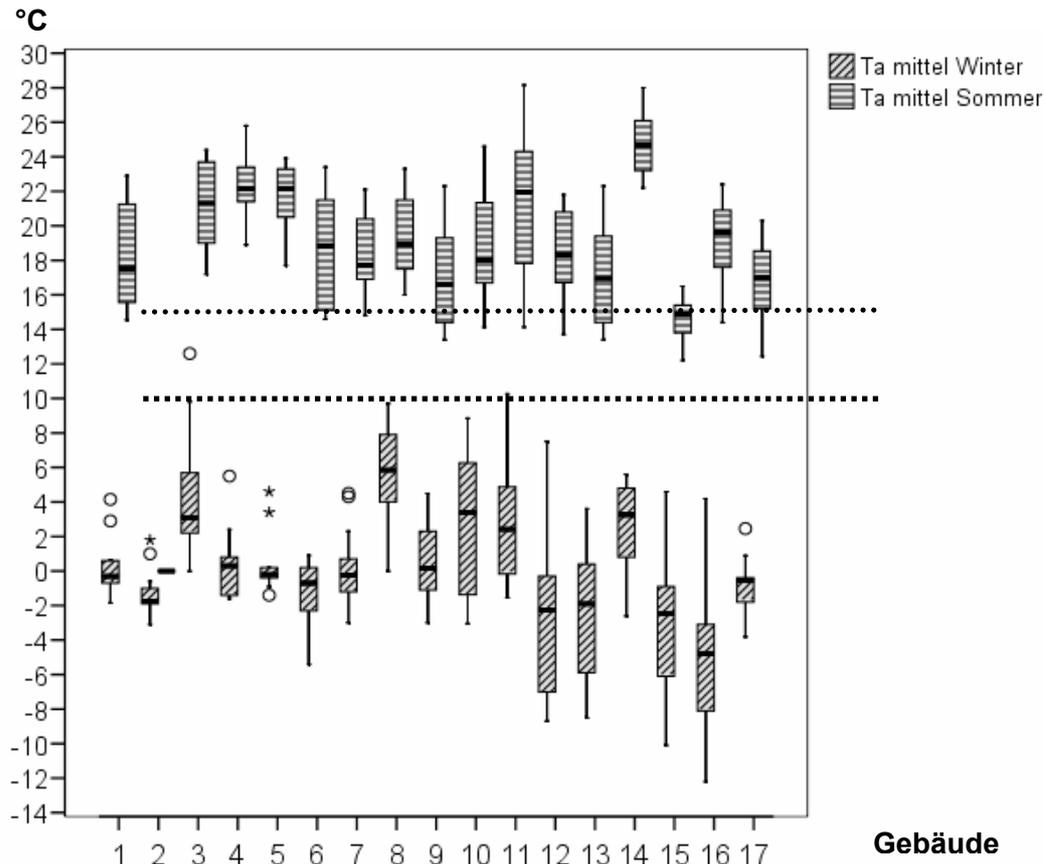


Abbildung 61: Boxplotdarstellung über die Tagesmittelwerte der Außentemperaturen über jeweils zwei Wochen vor den Befragungen. Der Median (50%-Perzentil) der 14 Tagesmittelwerte wird durch einen schwarzen Strich innerhalb eines Rechtecks gekennzeichnet. Die untere Grenze der Box beschreibt das 25%-Perzentil und die obere Grenze das 75%-Perzentil. Die beiden gestrichelten Linien beschreiben die Heizgrenztemperatur bei ≤ 10 °C in gut gedämmten Gebäuden und die Tagesmitteltemperatur bei ≥ 15 °C, ab der in einigen Gebäuden die Raumtemperatur gekühlt wird.

In Abbildung 61 sind die Tagesmittelwerte der Außentemperaturen für die jeweiligen Gebäudestandorte während der 14 Tage vor den Befragungen aufgetragen. In Abbildung 62 ist die Verteilung der Extremwerte der Außentemperatur für die Befragungszeiträume gezeigt.

Es ist ein deutlicher Unterschied in den Mittelwerten zwischen den Sommer- und den Winterwerten festzustellen und es gibt keinerlei Überschneidungen in den Tagesmittelwerten (s. Abbildung 61). Abweichungen zwischen den DWD-Daten und dem lokalen Mikroklima an den Standorten der Gebäude sind bekannt und können bis zu 3 K betragen [Wagner et al. 2006/ Rozynski 2006]. Da jedoch keine zuverlässigen Vergleichsdaten existieren, muss auf der Grundlage des vorliegenden Datenbestandes eine Einteilung in die Jahreszeiten stattfinden.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

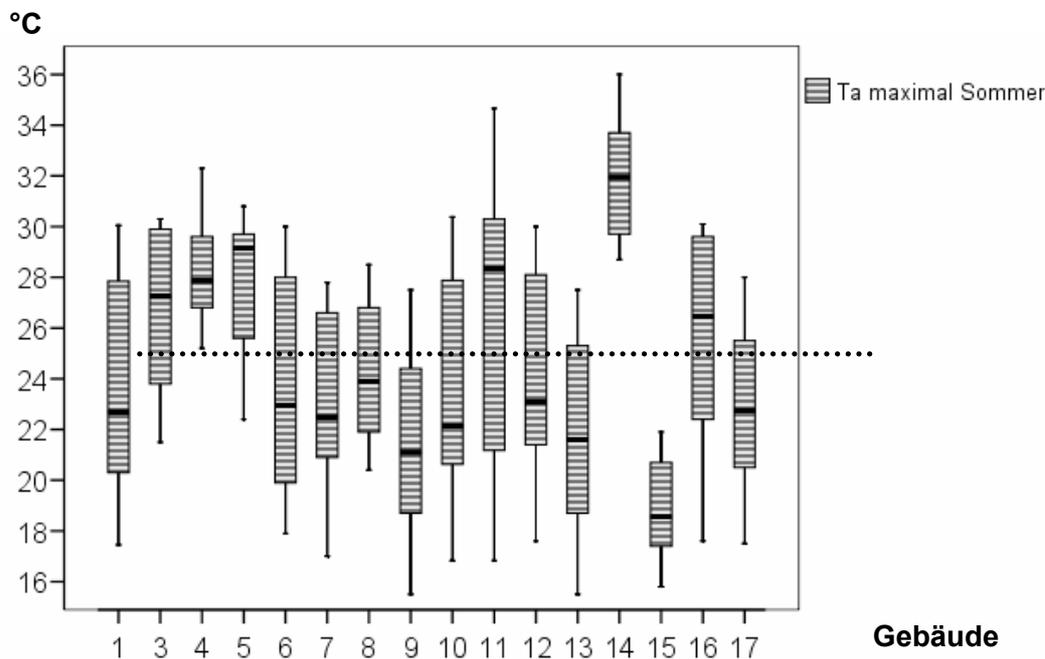


Abbildung 62: Boxplotdarstellung über die Tagesmaximalwerte der Außentemperaturen über jeweils zwei Wochen vor den Befragungen. Der Median (50%-Perzentil) der 14 Tagesmaximalwerte wird durch einen schwarzen Strich innerhalb eines Rechtecks gekennzeichnet. Die untere Grenze der Box beschreibt das 25%-Perzentil und die obere Grenze das 75%-Perzentil.

Laut meteorologischer Definition ist dann ein Sommertag, wenn die Tages-Maximaltemperatur über 25 °C liegt (s. gestrichelte Linie in Abbildung 62). Da jedoch die Bewertung über einen Zeitraum von zwei Wochen erfolgte, ist an dieser Stelle eine Aussage darüber erforderlich, ob der zu bewertende Zeitraum im Sommer bzw. Winter lag oder nicht. Deswegen wurde festgelegt, dass die maximale Außentemperatur entweder an insgesamt fünf Tagen aus der Bezugsperiode oder an mindestens drei Tagen unmittelbar vor der Befragung (aufgrund höherer Gewichtung bezüglich der Erinnerung [Boerstra et al. 2003] und [Morgan et al. 2002]) 25 °C und mehr betragen musste. Somit kann nur ein Gebäude aus dem Messzeitraum 02.08. – 16.08.2005 nicht in den Sommer gerechnet werden (s. Abbildung 62, Gebäude 15).

Der Winterfall wird nach der Heizgrenze definiert, die laut [Recknagel et al. 2000, S. 14] für gut gedämmte Gebäude bei 12 bzw. 10 °C mittlerer Außentemperatur liegt. Nach dieser Definition fallen alle Untersuchungszeiträume zwischen Januar und Mitte März in den Winter (s. Abbildung 61).

4.7.2.4 Nutzerantworten zum thermischen Komfort

Die Fragen zum Thema Raumklima befassen sich mit der momentan empfundenen Raumtemperatur am Tag der Befragung und mit der empfundenen Temperatur über einen rückblickenden Zeitraum von zwei Wochen. Diese ist aufgeteilt in eine Vormittags- und eine Nachmittagsbewertung. Außerdem wird die Möglichkeit der Einflussnahme auf die Raumtemperatur, die empfundene Wirksamkeit von gewünschten Temperaturänderungen sowie abschließend die allgemeinen Zufriedenheit mit der Raumtemperatur (mit dem thermischen Komfort) erfragt. Zusätzlich gibt es je eine Frage zur empfundenen Luftfeuchte und der Luftqualität. Ausgenommen von der momentanen Bewertung des Temperaturempfindens beziehen sich alle Angaben auf einen rückblickenden Zeitraum von zwei Wochen vor dem Befragungszeitpunkt. Der verwendete Fragebogen mit den genauen Fragenformulierungen ist in [Voss et al. 2005] zu finden.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Bei der vorliegenden Untersuchung hat der Test auf Mittelwertsunterschiede über alle Gebäude für die Variable „Zufriedenheit mit der Raumtemperatur“ sowie aller weiteren Variablen zum Temperaturempfinden einen hochsignifikanten Unterschied in den Bewertungen zwischen Sommer und Winter über alle Gebäude ergeben (siehe Anhang Tabelle 2).

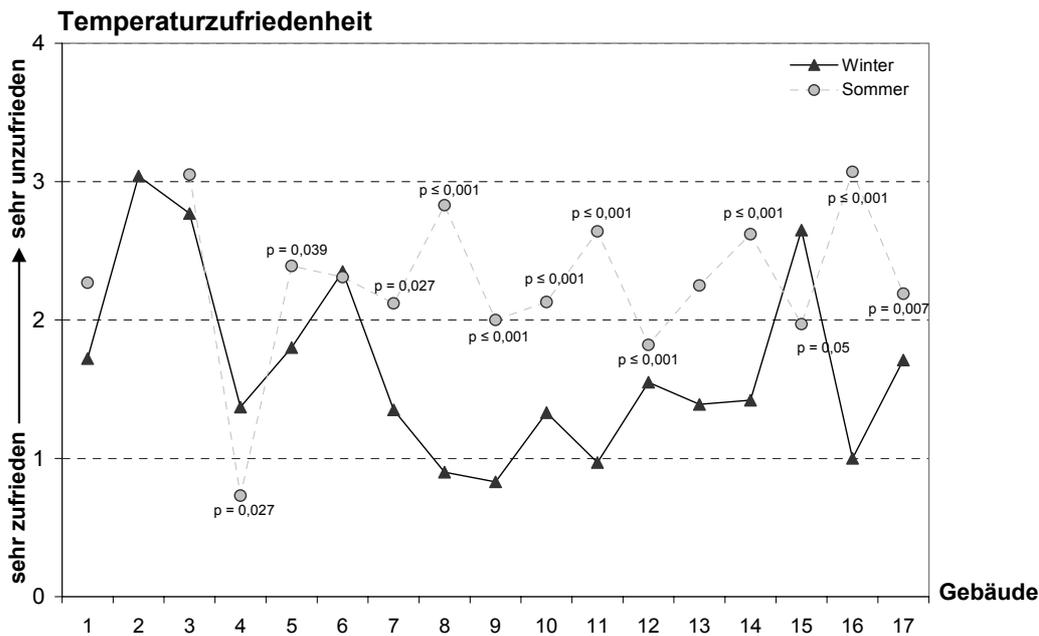


Abbildung 63: Gebäude-Mittelwerte der Temperaturzufriedenheit für Sommer und Winter

In Abbildung 63 werden die Mittelwerte der Zufriedenheit mit der Raumtemperatur für die Sommer- und die Winterbefragungen aus den Jahren 2004 - 2006 für jedes der untersuchten Gebäude gezeigt. Bis auf das Gebäude 2 konnte die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur für beide Jahreszeiten dargestellt werden. Die Signifikanzwerte (p) sind in Abbildung 63 eingefügt.

Insgesamt ist die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur im Sommer niedriger als im Winter, wie in Abbildung 64 anhand der Darstellung der Gebäudemittelwerte zu sehen ist. In 50 % der Gebäude liegt die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur zur kalten Jahreszeit im Bereich „zufrieden“ bis „akzeptabel“. Im Sommer hingegen liegt die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur im Bereich „akzeptabel“ bis „unzufrieden“. Unterschiedliche Bewertungen treten auch zwischen den Gebäuden innerhalb einer Jahreszeit auf (Ergebnis der Varianzanalyse: $p \leq 0,001$).

EVA

Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

Temperaturzufriedenheit

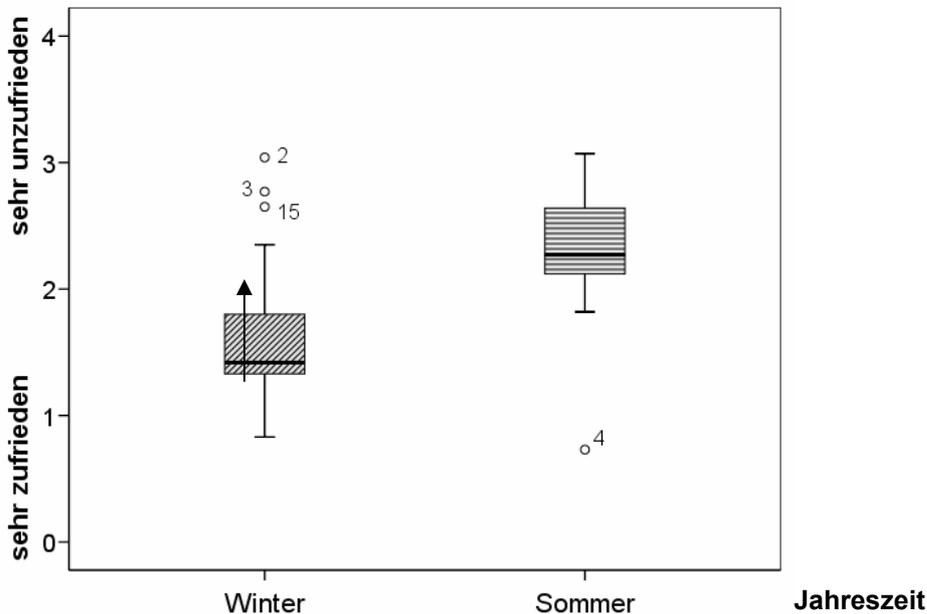


Abbildung 64 Boxplotdarstellung der Mittelwerte der Temperaturzufriedenheit über alle 16 Gebäude im Sommer und im Winter

Nur in 4 von 17 Gebäuden ist kein Unterschied in den Bewertungen statistisch messbar. In zwei von den Gebäuden (4 und 15) fällt die Zufriedenheit im Sommer positiver aus als im Winter. Im Winter fielen die Bewertungen der Gebäude 2, 3 und 15 überdurchschnittlich negativ aus. Aus den Einzelauswertungen wurde ersichtlich, dass die hohe Unzufriedenheit in den Gebäuden 2 und 3 u. a. mit stark wahrgenommenen Temperaturschwankungen je nach Witterung und zu hohen Temperaturen an sonnigen Wintertagen zusammenhing. In Gebäude 15 hingegen gab es Probleme mit dem hydraulischen Abgleich der Heizung, so dass die hohe Unzufriedenheit eher mit zu niedrigen Raumtemperaturen in Verbindung gebracht werden kann. Die Nutzer in Gebäude 4 waren vor allem im Sommer besonders zufrieden mit der Raumtemperatur. Das Gebäude erfüllt fast Passivhausstandard und die Haustechnik (u. a. die Bauteilkühlung in den Bürodecken) wird optimal betrieben. Nachweislich treten hier auch an heißen Sommertagen kaum Überhitzungsstunden mit Temperaturen oberhalb 26 °C auf [Pfafferott 2004].

In den Abschnitten 4.7.2.5 - 4.7.2.10 wird gezeigt, inwieweit die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur (der thermische Komfort) mit den Angaben zur empfundenen Raumtemperatur, mit gemessenen Temperaturen und weiteren Einflussgrößen zusammenhängt.

4.7.2.5 Temperaturempfinden und -zufriedenheit

Wie die Temperaturzufriedenheit wird auch das Temperaturempfinden in einigen der Gebäude signifikant unterschiedlich bewertet (s. Anhang Tabelle 2). Die Frage nach dem Temperaturempfinden ist im Fragebogen aufgeteilt in eine Momentanbewertung (zum Zeitpunkt des Fragebogenausfüllens), und eine rückblickende Bewertung des Temperaturempfindens über einen Zeitraum von zwei Wochen. Der T-Test für eine Stichprobe hat ergeben, dass es sowohl im Winter als auch im Sommer einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Angaben zum Temperaturempfinden momentan, vormittags und nachmittags gibt. Dabei ist die Momentanbewertung in fast allen Gebäuden positiver ausgefallen als die rückblickende Bewertung. Diese Beobachtung ist in der Psychologie unter dem Begriff ‚negativer Retrospektionseffekt‘ bekannt [Fahrenberg et al. 2002]. Bei der ersten Befragungsrunde wurde bei der



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3635
 Fax: 0531 / 391 - 3636

rückblickenden Bewertung nicht zwischen vormittags und nachmittags unterschieden. Für die weitere Auswertung wurden die Werte der vormittags- und Nachmittagsbewertung z. T. zugunsten der besseren Vergleichbarkeit zu einer Ganztagsbewertung gemittelt.

Der T-Test auf Mittelwertunterschiede ergab zudem für die Variable „momentanes Temperaturempfinden“, dass sich im Sommer das Temperaturempfinden zwischen Männern und Frauen signifikant unterscheidet ($p = 0,002$). Dieser Unterschied tritt in der Kategorie „zu kalt“ auf (s. Abbildung 65). Eine mögliche Erklärung dafür liegt vermutlich in dem unterschiedlichen Bekleidungsgrad der männlichen und weiblichen Mitarbeiter. Die Erfassung des Bekleidungsgrades war nicht Bestandteil der Arbeit. Bezüglich des „zu kalt“ Votums bei den Männern fällt auf, dass hier die Unzufriedenheit mit der Raumtemperatur um einiges geringer ist als im Winter. Im Sommer scheinen die Männer eine zu kalte Raumtemperatur eher zu akzeptieren als im Winter. Unterstützt wird diese Hypothese durch die Tatsache, dass insgesamt auch nur halb so viele Männer (ca. 10 %) die Raumtemperatur im Sommer als zu kalt empfinden wie Frauen (ca. 20 %). Zusätzlich wurden die Gebäude eingeteilt in eine Gruppe „mit Dresscode“ (Gebäude 1, 3, 6, 7, 8, 9, 16) und eine andere „ohne Dresscode“ und auf signifikante Mittelwertunterschiede in den Temperaturbewertungen hin untersucht. Daraus resultierte, dass im Sommer tatsächlich vor allem bei den Frauen bei allen Fragen bezüglich des Temperaturempfindens, der Temperaturschwankungen, der Häufigkeit der Einflussnahme auf die Raumtemperatur und die Zufriedenheit mit der Wirksamkeit von gewünschten Temperaturänderungen ein signifikanter Unterschied zwischen den Gebäuden mit und ohne Dresscode besteht ($p \leq 0,005$). Dabei wird von den Frauen in Gebäuden mit Dresscode die Raumtemperatur i. d. R. als wärmer empfunden und die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur ist geringer. Dazu zählt auch, dass häufiger der Versuch unternommen wird, etwas an der Raumtemperatur zu verändern. Außerdem ist die Zufriedenheit mit der Wirksamkeit der Temperaturänderungen im Mittel geringer. Auch werden Temperaturschwankungen stärker wahrgenommen als in Gebäuden ohne Dresscode - eventuell da eine Anpassung in der Bekleidung nur begrenzt stattfinden kann.

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

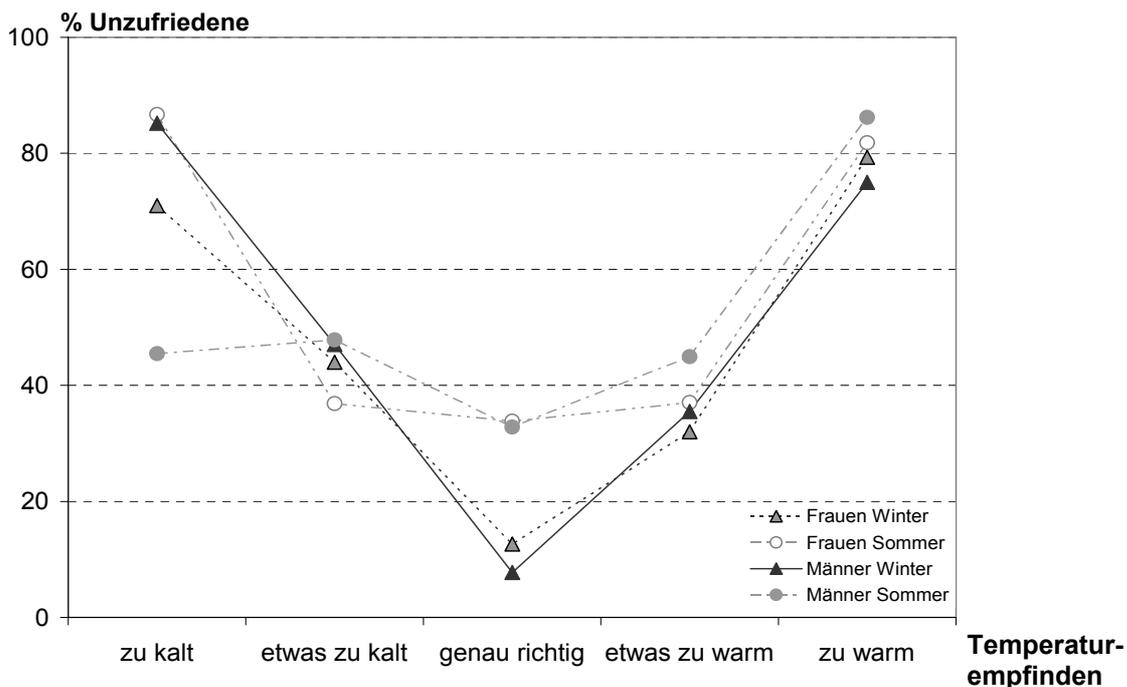


Abbildung 65: Unzufriedenheit mit der Raumtemperatur über das momentane Temperaturempfinden im Sommer und im Winter aufgeteilt nach Männern und Frauen. Anteil in [%] „Unzufriedene“ und „sehr Unzufriedene“ der Be-



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3635
 Fax: 0531 / 391 - 3636

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

fragten (N Winter: Frauen = 355/ Männer = 355, N Sommer: Frauen = 383/ Männer = 346).

In Bezug auf die vorgegebenen fünf Alterskategorien hat sich in den Raumklimabewertungen (einschließlich Luftfeuchte, Zugluft und Luftqualität) weder im Winter noch im Sommer ein signifikanter Unterschied ergeben.

Bei dem Vergleich der Zufriedenheitsrate mit der Raumtemperatur in Verbindung mit dem momentanen Temperaturempfinden fällt auf, dass ein deutlicher Unterschied zwischen Sommer und Winter besteht: Trotz jeweils neutralem Temperaturvotum ist die Unzufriedenheit im Sommer um etwa 20 Prozentpunkte höher als im Winter. Es ist offensichtlich, dass zusätzliche Faktoren die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur beeinflussen, welche die unterschiedliche Zufriedenheit erklären. Auf diese wird im Abschnitt 4.7.2.10 eingegangen.

4.7.2.6 Temperaturempfinden und Messwerte

In Abbildung 66 sind die Mittelwerte der gemessenen Innenraumtemperatur über die Mittelwerte der jeweiligen Tagesaußentemperatur aufgetragen. Im Sommer zeigt die eingefügte Regressionsgerade, dass die Innenraumtemperatur mit zunehmender Außentemperatur ansteigt. Im Winter liegen die Raumtemperaturen im Mittel relativ konstant zwischen 20,5 °C und 24 °C. Die Spannweite der Innenraumtemperaturen ist damit im Winter geringer als im Sommer.

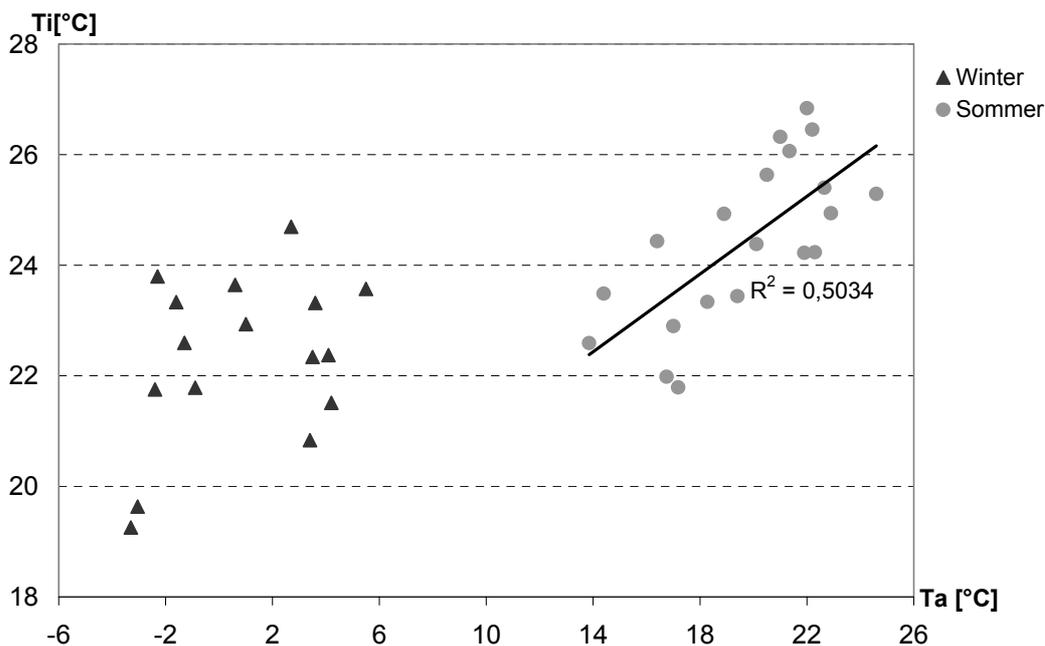


Abbildung 66: Mittlere gemessene Innentemperatur (Ti) aus 6 Räumen in den Gebäuden über der mittleren Außentemperatur (Ta) am Tag der Befragung [°C]

In Abbildung 67 sind die Mittelwerte der empfundenen Raumtemperatur (zu kalt, etwas zu kalt, genau richtig, etwas zu warm, zu warm) je Gebäude und Befragungstag über die am Tage der Befragung gemessenen Raumtemperaturen zwischen 10 und 15 Uhr abgetragen. Hierbei erkennt man, dass im Winter (schwarze Dreiecke) die Regressionsgerade die neutrale Bewertungslinie bei knapp über 23 °C schneidet. Im Sommer schneidet die Regressionsgerade die neutrale Bewertungslinie bei 23,5 °C. Es fällt auf, dass die Schnittpunkte der beiden Geraden auf der neutralen Achse sehr nahe beieinander liegen (22,2 °C und 22,5 °C). In der DIN EN ISO 7730 [prEN ISO 7730: 2005] sind für den Winter 22 °C und für den Sommer 24,5 °C als optimale Raumtemperatur vorgegeben. Für diese Fälle sollte laut DIN 94 % Akzeptanz der Raumtempe-

ratur vorliegen. Bei $\pm 2,5$ °C Abweichung sollten noch 85 % Akzeptanz bei den Nutzern vorhanden sein.

Im Winter ist die Steigung der Geraden sehr viel flacher als im Sommer. Das könnte bedeuten, dass niedrige Raumtemperaturen durch zusätzliche Kleidung oder andere Maßnahmen im Winter gut ausgeglichen werden können. Da keine höheren Messwerte der Raumtemperaturen zur Verfügung stehen, ist nicht geklärt, wie das Empfinden der Raumtemperaturen in höheren Temperaturbereichen im Winter aussieht. Im Sommer steigt die Gerade steiler an. Es scheint ein engerer Temperaturbereich als angenehm empfunden zu werden. Kühlere Temperaturen werden nun weniger akzeptiert (kann nicht beliebig durch mehr Kleidung ausgeglichen werden) und höhere Temperaturen werden als zu warm empfunden. Da im Mittel keine Raumtemperaturen oberhalb von 27 °C gemessen wurden, ist unklar, wie sich das Temperaturvotum in den oberen Temperaturbereichen in den Gebäuden entwickelt (Annahme gestrichelte Linie). Insgesamt scheint das Temperaturempfinden im Winter zwischen 21,5 und 24 °C und im Sommer zwischen 22 und 25 °C verhältnismäßig neutral zu sein.

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

Temperaturempfinden

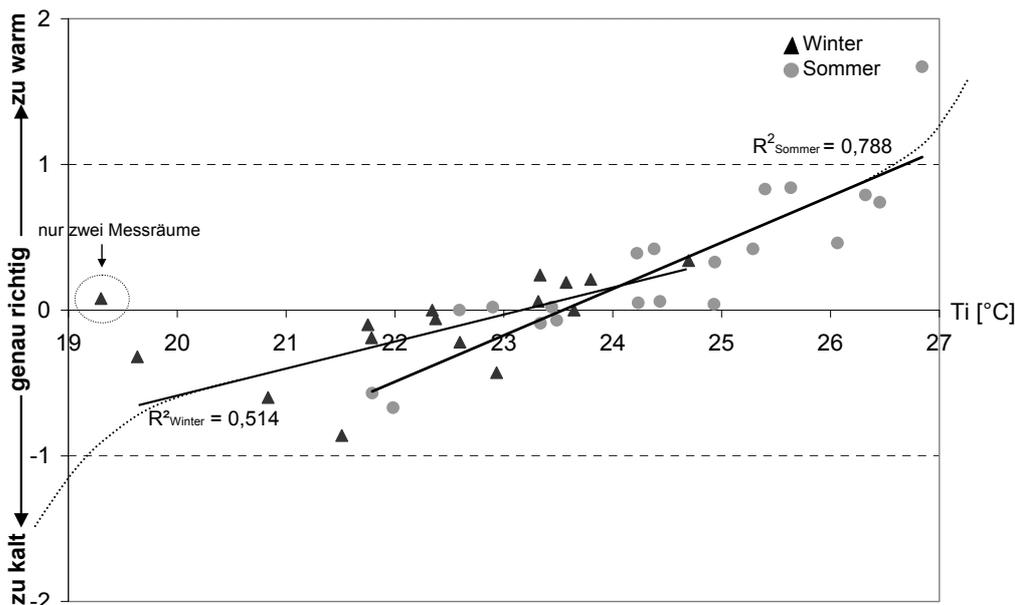
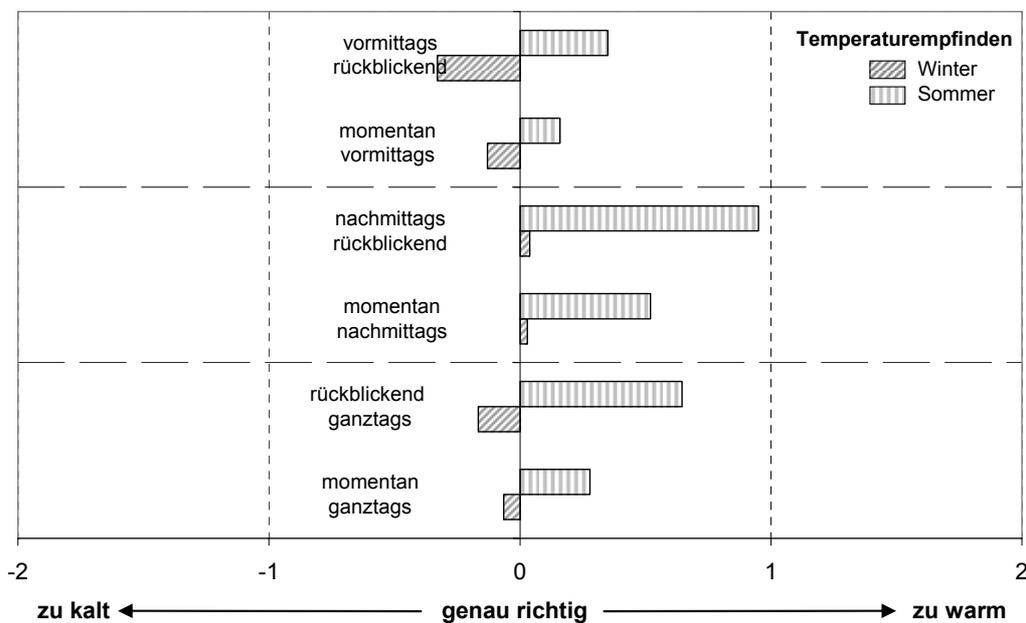


Abbildung 67: Mittelwerte der empfundenen Raumtemperatur über die Mittelwerte der gemessenen Raumtemperatur am Tag der Befragung im Winter und im Sommer.

Dabei ist die Zuverlässigkeit der Aussage aufgrund der Messungen in sechs beispielhaften Räumen im Sommer ($R^2 = 0,788$) höher als im Winter ($R^2 = 0,514$). Das eingekreiste Dreieck vom Winter (s. Abbildung 67) zeigt die im Vergleich mangelhafte Zuverlässigkeit der Aussage, wenn in nur zwei Räumen im Gebäude gemessen wurde. Dieser Punkt wurde für die Vorhersage der Regressionsgeraden im Winter ausgeschlossen. Die Vorhersage des Temperaturempfindens mit Hilfe der Mittelwerte der Messungen aus sechs Räumen scheint in den Gebäuden vor allem im Sommer hinreichend zuverlässig zu sein. Im Winter ist die Aussage wahrscheinlich deswegen weniger genau, da das Nutzerverhalten zur kalten Jahreszeit einen größeren Einfluss auf die Raumtemperatur hat. Durch unterschiedliches Heizverhalten oder Öffnen der Fenster können größere Temperaturunterschiede hervorgerufen werden als im Sommer.

Die rückblickende Bewertung des Temperaturempfindens hat einen signifikanten Unterschied zwischen der Vormittags- und der Nachmittagsbewertung ergeben (s. Abschnitt 4.7.2.5). Aus diesem Grund wurde die momentane Temperaturbewertung ebenfalls in eine Vormittags und eine Nachmittagsgruppe unterteilt (Trennung der Beantwortungszeit zwischen 12 und 13 Uhr). Der T-Test für unabhängige Stichproben hat sowohl im Winter, vor allem aber im Sommer einen signifikanten Unterschied in der Bewertung des unterteilten momentanen Temperaturempfindens ergeben ($p_{\text{Winter}} = 0,037$, $p_{\text{Sommer}} \leq 0,001$ bei gleicher Varianz der Stichproben). Dabei wurde im Winter die Raumtemperatur vormittags im Mittel über alle Gebäude als eher etwas zu kühl bewertet (-0,13) und nach 13 Uhr als neutral (0,03). Im Sommer wurde die Raumtemperatur vormittags im Mittel als fast neutral (0,16) und nach 13 Uhr als eher etwas zu warm empfunden (0,52) (s. Abbildung 68).



EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

Abbildung 68: Temperaturempfinden vormittags, nachmittags und ganztags für den Tag der Befragung (momentan) und rückblickend über die vergangenen zwei Wochen vor der Befragung, Mittelwerte über alle Gebäude.

Vor allem im Winter herrschte in den meisten Gebäuden in der gemessenen Zeit (in der auch die Beantwortung der Fragen stattfand) ein sehr kontinuierliches Raumklima. Das ΔT an den Messtagen im Winter betrug zwischen -0,31 und +0,55 K und im Sommer zwischen -0,11 (klimatisiertes Gebäude) und +0,9 K. Auch wenn in vereinzelten der untersuchten Gebäude kein Unterschied in der Vormittags- bzw. Nachmittagsbewertung vorliegt, so ist über alle Gebäude vor allem im Sommer ein deutlicher Unterschied im momentanen Rating zu vermerken, der nicht ausschließlich auf ansteigende Raumtemperaturen zurückzuführen ist. Auch die Abweichung zu den beiden Extremen „zu kalt“ im Winter und „zu warm“ im Sommer von der momentanen zu der rückblickenden Bewertung kann in den seltensten Fällen über abweichende Raumtemperaturen aufgrund von heißeren Perioden vor der Befragung erklärt werden. Hier haben vermutlich andere Faktoren wie z. B. die „Erwartungshaltung“ einen Einfluss auf die Bewertung des Temperaturempfindens.

Aufgrund dieser Annahme und des offensichtlichen Retrospektiveeffektes im Antwortverhalten wurden die Langzeitmessungen aus den Gebäuden nicht für die weitere Auswertung im Zusammenhang mit den Nutzerantworten herangezogen. Insgesamt wird davon ausgegangen, dass für eine zuverlässige Bewertung des Temperaturempfindens

im Feld vor allem im Sommer längerfristige Messungen und eine direkte Zuordnung von Nutzerantworten und Messungen notwendig sind, um Verzerrungen durch anderweitige Einflüsse weitestgehend zu vermeiden.

Abbildung 69 zeigt den Zusammenhang zwischen der Zufriedenheit mit der Raumtemperatur und den gemessenen Temperaturmittelwerten am Tag der Befragungen für Sommer und Winter. Es zeigt sich, dass die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur mit ansteigender gemessener Raumtemperatur abnimmt, wobei die Vorhersagegüte zwischen am Befragungstag gemessener Raumtemperatur und dem subjektiven Votum der Zufriedenheit mit der Raumtemperatur im Sommer wiederum höher als im Winter ist. Wenn man u. a. den als behaglich festgelegten Temperaturbereich der DIN EN ISO 7730 betrachtet, für den im Winter zwischen 19,5 °C und 24,5 °C bzw. im Sommer zwischen 22 °C und 27 °C 85 % Akzeptanz oder Zufriedenheit) bei den Nutzern vorliegen sollte, überrascht die hohe Unzufriedenheitsrate vor allem im Sommer (s. auch Abschnitt 4.7.2.5) [Pfafferott 2007].

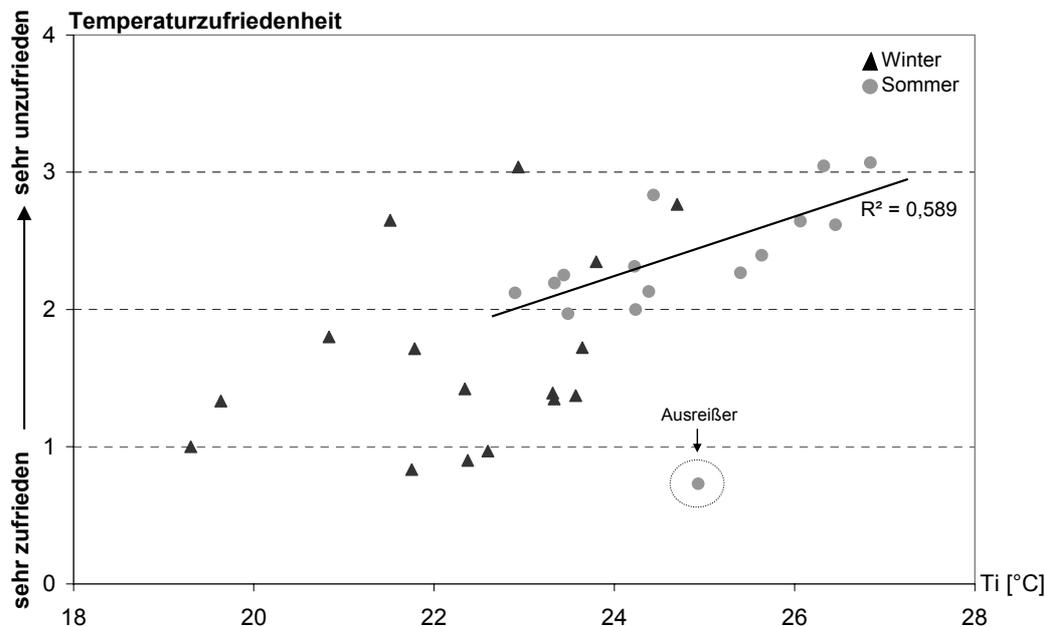


Abbildung 69: Mittelwerte der Temperaturzufriedenheit über Mittelwerten der gemessenen Raumtemperatur je Gebäude.

Überraschend erscheint die Tatsache, dass die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur zum einen bei neutralem Temperaturvotum und zum anderen bei ähnlichen gemessenen Raumtemperaturen (zwischen 23 und 24 °C) im Sommer geringer ist als im Winter - und dies bei höheren Außentemperaturen im Sommer.

Auf Grundlage der Nutzerantworten ermittelte statistische Einflussgrößen auf das Temperaturempfinden und die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur, die nicht durch einen Unterschied in den gemessenen Raumtemperatur erklärbar sind, werden in Abschnitt 4.7.2.10 beschrieben. Zunächst wird noch auf die physiologischen Einflussgrößen Zugluft, Luftfeuchte und Luftqualität und ihre Bewertungen durch die Nutzer eingegangen.

4.7.2.7 Zugluft

In der vorliegenden Untersuchung wurde das Zugluftempfinden auf einer 5-stufigen Skala ermittelt. Es wurde vor allem nach dem Auftreten von störenden Zuglufterscheinungen gefragt. Im Mittel wurde zu beiden Jahreszeiten nur wenig Zugluft wahrgenommen.

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

Zwischen den Jahreszeiten weicht das Empfinden von Zugluft in nur 5 Gebäuden signifikant voneinander ab. Im Sommer wurde über alle Gebäude betrachtet nur etwas stärker Zugluft wahrgenommen als im Winter (s. Abbildung 70): Im Winter wurde von etwa 14 % und im Sommer von 18 % der Befragten Zugluft häufig oder immer (als störend) wahrgenommen. Aufgrund der Angaben zur Häufigkeit von Zugluftwahrnehmungen kann jedoch noch nicht notwendigerweise auf eine negative Bewertung (wie in der Fragestellung impliziert) geschlossen werden. Aus den Textantworten der Nutzer ging vor allem im Sommer hervor, dass die Zugluft im Sinne einer Kühlung im Raum oft gewünscht wird (z .B. in Gebäude 5 und 16).

Stärke des Zugluftempfindens

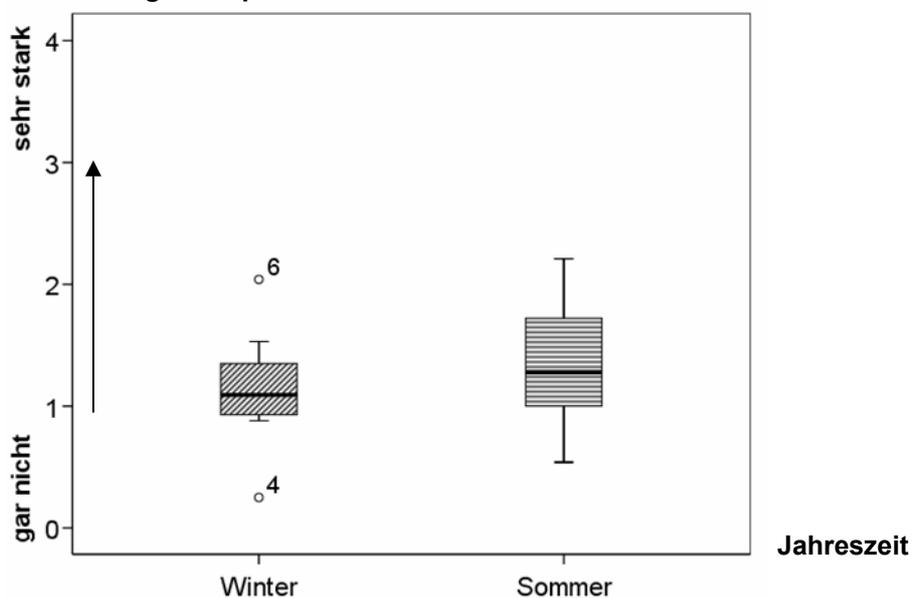


Abbildung 70: Boxplotdarstellung über die Mittelwerte der Angaben zu Zugluft in den Gebäuden

In den Gebäuden 5, 8 und 14 bestehen im Winter signifikante Korrelationen ($R = -0,34 - 0,55$; $p \leq 0,034$) zwischen dem Empfinden zu kalter Raumtemperaturen und Angaben zu wahrgenommener Zugluft. Die Textantworten aus Gebäude 5 belegen, dass die Zugluft als störend empfunden wurde, da zu dieser Zeit zu kühle Luft über die Zuluftgitter im Brüstungsbereich in den Innenraum nachströmte. Die geplante Vorerwärmung der Außenluft über die Heizkörper funktionierte nicht wie geplant. Im Gebäude 6 wurde Zugluft als für die Jahreszeit verhältnismäßig störend angegeben (s. Abbildung 70). Allerdings besteht hier keine Korrelation zum Temperaturempfinden oder der Temperaturzufriedenheit. In den Textantworten wurde des Öfteren angegeben, dass die vertikalen, schmalen Lüftungsöffnungen Grund für die Unzufriedenheit sind, da die Luft zu „konzentriert“ in den Raum eintritt. (Von weiter entfernten Arbeitsplätzen wurde bemängelt, dass diese nicht genügend Frischluft erreiche). Im Gebäude 4, welches auch bezüglich der Raumtemperatur sehr positiv bewertet wurde, wurde vor allem im Winter kaum Zugluft wahrgenommen. Aufgrund des Zieles möglichst geringer Energieaufwendung für den Gebäudebetrieb wurde unter anderem auch eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung realisiert.

Über alle Gebäude betrachtet ist die Varianz der Antworten auf die Frage nach störender Zugluft zu gering, um eine Aussage über Zusammenhänge mit weiteren Raumklimaparametern zu treffen. Der Zusammenhang mit dem Temperaturempfinden ist insgesamt betrachtet nicht sehr groß. Wie jedoch zuvor gezeigt wurde, bestehen in einzelnen Gebäuden höhere Korrelationen z. B. zwischen zu kalter Luft im Winter und dem

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

Auftreten von Zugluft. Andere Einflüsse wie die Art der Lüftungsöffnungen dürfen jedoch nicht unberücksichtigt bleiben.

Ein Zusammenhang mit dem Lüftungskonzept (reine Fensterlüftung, Abluftanlage, Zu- und Abluftanlage) oder der Größe der Büroeinheiten bzw. der Entfernung des Arbeitsplatzes von der Fassade konnte für die Gebäude nicht ermittelt werden.

4.7.2.8 Luftfeuchte

Als weiterer Einflussfaktor für das physiologische Temperaturempfinden ist die Luftfeuchte bekannt. Bei der Analyse der Nutzerantworten im Zusammenhang mit den Messwerten fällt auf, dass die Bewertung der empfundenen Raumlufffeuchte im Mittel nicht sehr stark zwischen den Jahreszeiten differiert (s. Abbildung 71) und im Mittel über die Gebäude betrachtet vor allem im Bereich ‚eher zu trocken‘ angesiedelt sind (s. Abbildung 73).

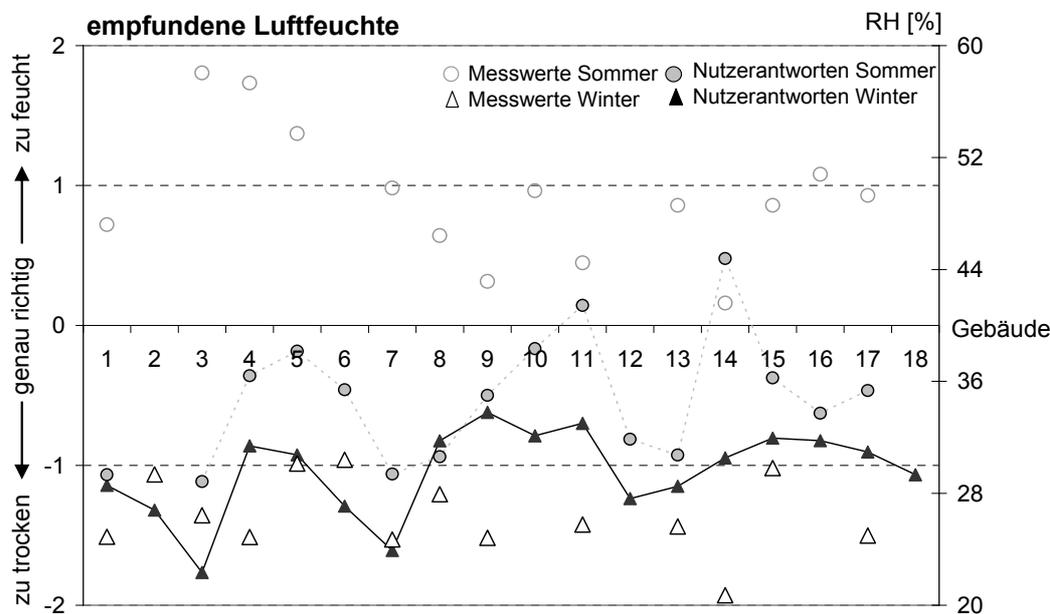


Abbildung 71: Mittelwerte des Feuchteempfindens und Mittelwerte der gemessenen Luftfeuchte für die Tage der Befragungen je Gebäude und Jahreszeit.

Die Korrelation der gemessenen relativen und absoluten Raumlufffeuchte mit den Einschätzungen der Nutzer zur Raumlufffeuchte ergab keine nachweisbare Abhängigkeit [Wagner et al. 2006].

Der Mensch hat zum einen nachweislich keine Sensorik für das Feuchteempfinden, zum anderen war vor allem im Sommer die Varianz der Nutzerantworten und im Winter der Messwerte nicht sehr hoch.

4.7.2.9 Luftqualität

Auch die jahreszeitliche Beurteilung der Raumluffqualität unterscheidet sich innerhalb nur weniger Gebäude signifikant voneinander. Zudem fällt diese im Sommer nicht grundsätzlich positiver aus als im Winter, was aufgrund der unterschiedlichen Öffnungszeiten der Fenster (Lüftung) erstaunen mag [Herke et al. 2005]. Der Median der Nutzerantworten liegt zu beiden Jahreszeiten im Bereich „akzeptabel“ (s. Abbildung 72). Im Winter hängt die Bewertung der Luftqualität nur schwach mit dem Lüftungsverhalten (eingeschätzte Fensteröffnungszeit) zusammen ($R = 0,15$; $p \leq 0,001$), im Sommer jedoch nicht. Im Winter werden die Fenster laut Angaben der Nutzer hauptsächlich aufgrund verbrauchter Luft geöffnet und im Sommer bei als zu warm empfundener Luft in den Büros.

EVA

Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 konzepten**

Im Winter wird eine negative Einschätzung der Raumluftqualität hauptsächlich mit dem Empfinden trockener Raumluft in Verbindung gebracht ($R = -0,52$; $p \leq 0,001$). Im Sommer wird eine als schlecht empfundene Raumluft eher in Verbindung mit zu warmer Raumluft gesetzt ($R = 0,32$; $p \leq 0,001$). Dieser Zusammenhang ist in einzelnen Gebäuden sogar noch stärker ausgeprägt (bis etwa $R = 0,6$).

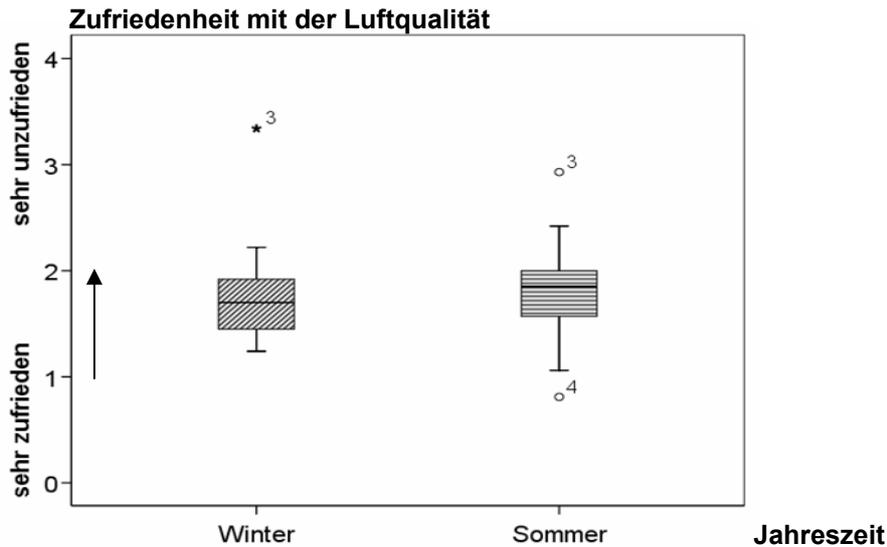


Abbildung 72: Boxplots über die Gebäude-Mittelwerte zur Zufriedenheit mit der Luftqualität

Im Sommer besteht dieser Zusammenhang insbesondere in den Gebäuden, in denen die Raumtemperatur rückblickend als eher zu warm empfunden wurde. Die Belegungsdichte in den Büros scheint hingegen einen nur geringen Einfluss auf die Bewertung der Luftqualität zu haben ($R = 0,18$; $p \leq 0,001$). Zwischen der Bewertung der Luftqualität und Angaben zu generellem Unwohlsein während der Arbeitszeit besteht ein mittlerer Zusammenhang ($R \sim 0,3$; $p \leq 0,001$). Zu beiden Jahreszeiten wurde ein schwacher Zusammenhang zwischen der Variable „Luftqualität“ und den Angaben zur Variable „Gemisch aus Gerüchen“ ($R \sim 0,3$; $p \leq 0,001$) ermittelt.

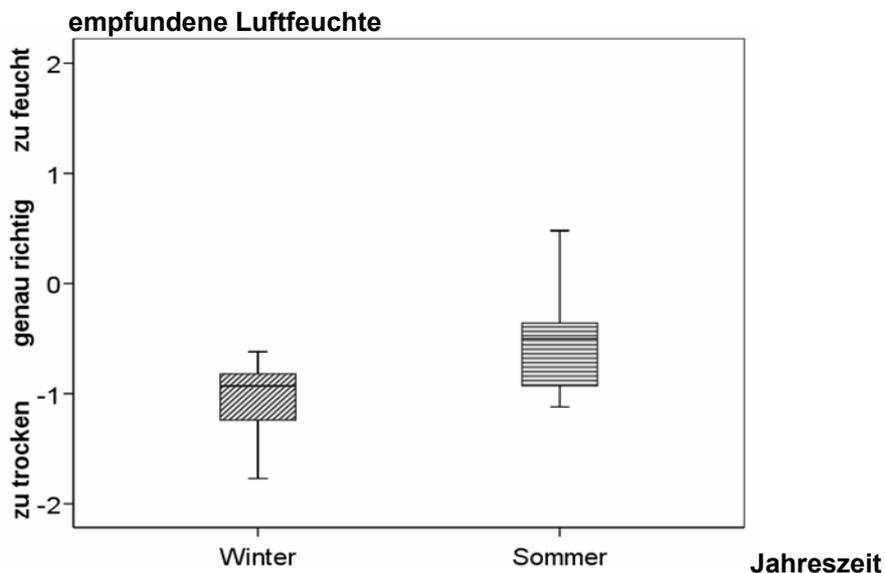


Abbildung 73: Boxplots über die Mittelwerte des Feuchteempfindens je Gebäude für Winter und Sommer.

Das Empfinden der Raumlufffeuchte hat vor allem im Winter einen signifikanten Effekt auf die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur ($R = -0,33$; $p \leq 0,001$) und die empfundene Raumluffqualität ($R = -0,52$; $p \leq 0,001$). Das bedeutet, je trockener die Raumluff von jemandem empfunden wird, um so unzufriedener ist diejenige Person mit der Temperatur und vor allem mit der Luftqualität im Winter. Der Zusammenhang zwischen der empfundenen Raumlufffeuchte und der Temperaturzufriedenheit sowie der empfundenen Raumluffqualität ist im Sommer sehr viel geringer ($R = -0,19$ bzw. $0,26$; $p \leq 0,001$) was auch daran liegen mag, dass insgesamt sehr viel mehr Nutzer in der Kategorie „genau richtig“ geantwortet haben (weniger Varianz in den Antworten).

4.7.2.10 Zusammenhänge zwischen Raumklimavariablen

Zu Beginn der Untersuchung bestand aufgrund vorangegangener Forschungsergebnisse und eigener Hypothesen die Annahme, dass die empfundene Raumtemperatur die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur am stärksten beeinflusst, dass es jedoch noch weitere Einflussfaktoren gibt. Folgende Zusammenhänge wurden dabei angenommen (s. Abbildung 74):

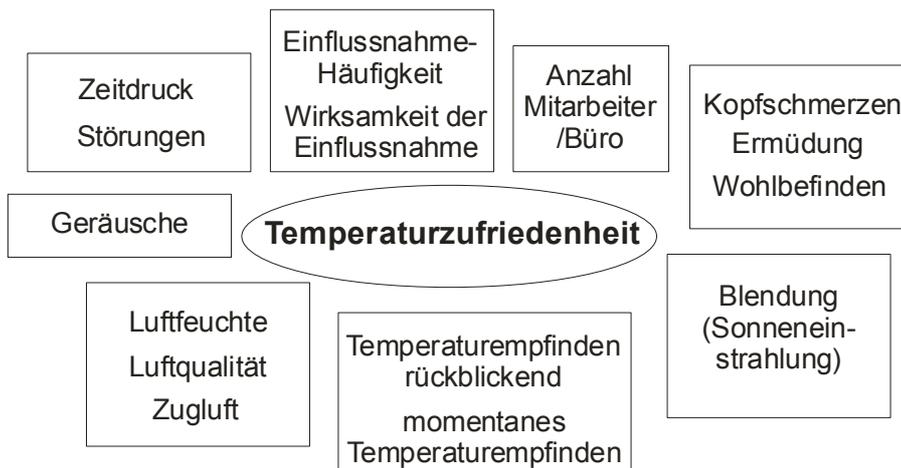


Abbildung 74: Angenommene Korrelationen zwischen verschiedenen Parametern mit der Temperaturzufriedenheit.

Die Zusammenhänge und Einflussfaktoren wurden aus den Nutzerantworten mit Hilfe der Spearman-Rangkorrelation und der schrittweisen Regressionsanalyse statistisch ermittelt:

Die auffälligsten Ergebnisse aus der Berechnung der Rangkorrelationen sind, dass im Winter das Temperaturempfinden einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur hat ($R = -0,17$; $p \leq 0,001$). Das bedeutet, je kälter die Raumtemperatur empfunden wird, um so größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass der betroffene Nutzer unzufrieden mit der Raumtemperatur ist. Dieser Zusammenhang ist jedoch nur schwach ausgeprägt. Im Sommer hat das Temperaturempfinden einen mittleren Einfluss auf die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur ($R = 0,42$; $p \leq 0,001$): Je wärmer im Sommer die Raumtemperatur empfunden wird, um so unzufriedener ist der betroffene Nutzer mit der Raumtemperatur.

Weiterhin hängen im Winter und im Sommer die Bewertungen der Luftqualität und der Zufriedenheit mit der Raumtemperatur hochsignifikant miteinander zusammen ($R_{\text{Winter}} = 0,47$; $p \leq 0,001$ / $R_{\text{Sommer}} = 0,52$; $p \leq 0,001$). Im Winter gibt es einen schwachen Zusammenhang zwischen der Bewertung der Luftqualität und der Nachmittagsbewertung des Temperaturempfindens. Das könnte ein Hinweis darauf sein, dass die im Vergleich



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

zum Vormittag als wärmer wahrgenommene Raumtemperatur trotz z. T. keinem oder nur geringem Temperaturanstieg im Zusammenhang mit der Bewertung der Luftqualität steht.

Im Sommer ist dieser Zusammenhang sogar noch stärker ausgeprägt. Wie zuvor erwähnt, wurde die Luftqualität in den meisten Gebäuden im Winter und im Sommer ähnlich bewertet und nicht prinzipiell im Sommer schlechter als im Winter. Während im Sommer der Korrelationskoeffizient annähernd gleich bleibt, reduziert die Variable Luftfeuchte im Winter den Korrelationskoeffizienten von $R = 0,47$ auf $R = 0,36$ (mit jeweils $p \leq 0,001$). Das bedeutet, dass die Bewertung der Luftfeuchte im Winter einen eindeutigen Einfluss auf das Empfinden der Luftqualität hat, wohingegen im Sommer die empfundene Raumtemperatur den stärkeren Einfluss hat.

Das Wahrnehmen von Temperaturschwankungen und die Häufigkeit der Einflussnahme auf die Raumtemperatur stehen zu beiden Jahreszeiten in einem mittleren Zusammenhang mit der Temperaturzufriedenheit ($R = 0,34$; $p \leq 0,001$ / $R = 0,35$ bzw. $0,46$; $p \leq 0,019$). Hingegen hat wahrgenommene Zugluft zu beiden Jahreszeiten einen nur schwachen Einfluss. Dies resultiert vermutlich aus dem hohen Standard der untersuchten Gebäude, in denen im Winter kaum Zugluft wahrgenommen wird und im Sommer stärkere Luftbewegungen zur Abkühlung oft erwünscht sind.

Im Sommer besteht häufiger der Wunsch nach einer Temperaturveränderung als im Winter. Dies lässt sich den Antworten auf die Frage nach der Häufigkeit der Einflussnahme auf die Raumtemperatur entnehmen (Mittelwert $S = 1,97$ / $W = 1,32$). Zudem ist die Zufriedenheit mit der Wirksamkeit der unternommenen Temperaturänderungen im Sommer geringer als im Winter ($S = 2,5$ / $W = 1,6$). Die Zahl der Eingriffe steht im Sommer in unmittelbarem Zusammenhang mit der Zufriedenheit mit der Raumtemperatur ($R = 0,46$; $p \leq 0,001$).

Die stärkste Korrelation besteht zwischen der Variable ‚Temperaturzufriedenheit‘ und der empfundenen Wirksamkeit von Temperaturänderungen ($R_{\text{Winter/Sommer}} > 0,73$; $p \leq 0,001$). Das bedeutet, dass die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur größer war, wenn die Nutzer das Gefühl hatten, Einfluss auf die Raumtemperatur nehmen zu können. Demnach ist i. d. R. der Einfluss der tatsächlich empfundenen Raumtemperatur auf die Gesamtzufriedenheit geringer als die wahrgenommene Möglichkeit, etwas an der Temperatur verändern zu können [Gossauer 2006a].

Eine Übersicht der wichtigsten ermittelten Zusammenhänge ist in Abbildung 75 zu finden.

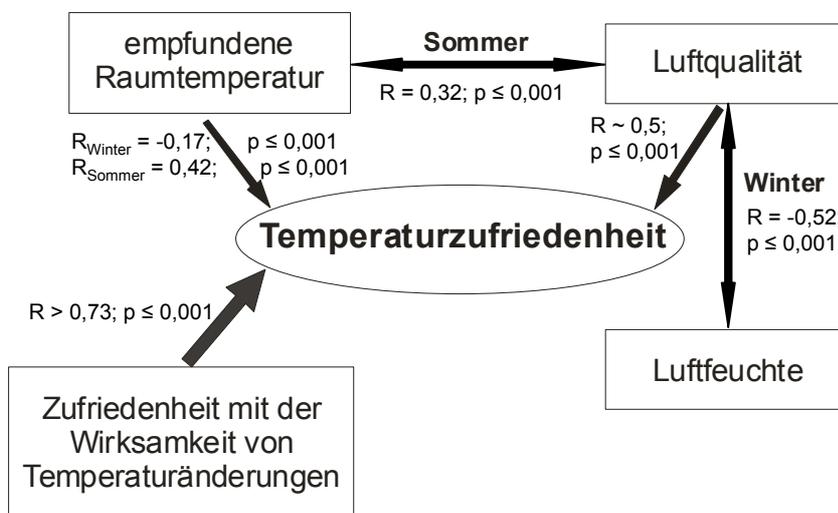


Abbildung 75: Einflüsse und Wechselwirkungen zwischen den abgefragten Variablen zum Thema Raumklima mit Korrelationskoeffizienten der Spearman-Rangkorrelation.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

Auch wenn die Korrelation zwischen zwei Variablen keine Wirkungsrichtung beschreibt, so wurde doch aus den theoretischen Vorüberlegungen eine Richtung des vermuteten Einflusses auf die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur angenommen. Diese konnte durch die Regressionsanalyse bestätigt werden. Dafür wurden alle relevanten Items zum Thema Raumklima als mögliche Prädiktoren berücksichtigt. Aus der Regressionsrechnung resultierte, dass im Winter vor allem die Anzahl der versuchten Temperaturänderungen und ihre subjektiv spürbare Wirksamkeit eine entscheidende Rolle bei der Bewertung der allgemeinen Zufriedenheit mit der Raumtemperatur spielt. Ein weiterer Einflussfaktor ist auch die empfundene Trockenheit der Raumluft. Im Sommer beeinflussen ebenfalls die Anzahl der versuchten Temperaturänderungen und ihre subjektiv spürbare Wirksamkeit aber auch die empfundene Raumluftqualität die allgemeine Zufriedenheit mit der Raumtemperatur am stärksten. Das bedeutet, dass mehr noch als die empfundene Raumtemperatur (zu kalt, zu warm), die Anzahl der versuchten Temperaturänderungen sowie die Zufriedenheit mit der Wirksamkeit der Temperaturänderungen - bzw. in weiterem Sinne die empfundene Einflussmöglichkeit auf die Raumtemperatur - einen starken Einfluss auf die Nutzerzufriedenheit aufweist. Deshalb kann die größere Unzufriedenheit mit der Raumtemperatur im Sommer unter anderem wahrscheinlich damit erklärt werden, dass die Möglichkeit der Einflussnahme auf die Raumtemperatur im Sommer bzw. ihr spürbarer Effekt geringer ist als im Winter. Dies wurde in Abschnitt 4.7.2.5 bereits für die je nach Geschlecht oder Dresscode gegebene Anpassungsmöglichkeit an die Raumtemperatur durch die Bekleidung gezeigt.

Die Spearman-Rangkorrelation zeigt einen mittleren Zusammenhang mit der Zufriedenheit mit dem allgemeinen Geräuschpegel im Büro ($R \sim 0,3$; $p \leq 0,001$). Diese Beobachtung tritt zu beiden Jahreszeiten auf und wurde an anderer Stelle bereits untersucht [Hellwig 2005]. Da außer einer generellen Sensitivität (ebenfalls mittlerer Zusammenhang mit der Zufriedenheit mit der Sauberkeit) keine sachlogische Erklärung für diese Korrelation vorliegt, wurde vermutet, dass die Art der Büros (Anzahl Personen/Büro) den eigentlichen Zusammenhang erklären könnte: Je mehr Personen in einem Büro zusammen arbeiten, um so größer ist die Unzufriedenheit aufgrund verstärkter Geräuschbelastung. Zugleich ist die Möglichkeit der Einflussnahme auf die Raumtemperatur in größeren Büroeinheiten eingeschränkt.

Desweiteren wurde im Sommer die Variable ‚Ermüdungserscheinungen am Arbeitsplatz‘ in das Regressionsmodell mit aufgenommen. Grund für die Berücksichtigung war, dass die Antworten zu beiden Jahreszeiten in einem mittleren Zusammenhang mit der Temperaturzufriedenheit stehen ($R = 0,33$; $p \leq 0,001$). Vermutet wurde ein stärkerer Zusammenhang zwischen ‚Ermüdung‘ und dem ‚Temperaturempfinden‘ vor allem von zu warmer Raumluft. Dieser ist jedoch nur sehr schwach und auch nur im Sommer nachzuweisen. Zusätzlich stehen die Antworten auf die Frage nach Ermüdungserscheinungen am Arbeitsplatz in einem mittleren Zusammenhang mit der ‚Zufriedenheit mit Geräuschen‘ ($R \sim 0,3$; $p \leq 0,001$). Wenn nun die Variable ‚Ermüdungserscheinungen als Kontrollvariable‘ zwischen der Geräuschzufriedenheit und der Temperaturzufriedenheit fungiert, verringert sich der Korrelationskoeffizient zu beiden Jahreszeiten auf etwa 0,2. Dasselbe gilt für den Zusammenhang zwischen der Zufriedenheit mit den Geräuschen und dem Temperaturempfinden im Sommer. Das gibt einen Hinweis darauf, dass ein übergeordneter Faktor hinter der Korrelation zwischen Temperaturzufriedenheit, Temperaturempfinden (‚zu warm‘ im Sommer) und der Geräuschbelastung am Arbeitsplatz steht.

Eine Wechselwirkung zwischen arbeitsbezogenen Faktoren wie Zeitdruck, Überstunden, Störungen bei der Arbeit oder Verhältnis zu Kollegen und Vorgesetzten mit der Temperaturzufriedenheit konnte nicht gefunden werden.

4.7.2.11 Sachlogische Klassifizierung der Gebäude

Die physiologischen Parameter, die den Wärmehaushalt des Menschen beeinflussen, sind die Temperatur, die Luftfeuchte und die Luftgeschwindigkeit. Diese Parameter



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

werden im Gebäude durch den Gebäudestandard (Dämmung und Dichtigkeit der Gebäudehülle), die Beheizung, die Lüftungsart, eventuelle Kühlung sowie die Nutzung (z.B. Verschattung, Öffnung der Fenster etc.) des Gebäudes bestimmt.

Die untersuchten Gebäude wurden alle innerhalb der vergangenen 15 Jahre erstellt und bezogen und weisen einen insgesamt hohen Gebäudestandard auf. Zudem wurden in einigen Gebäuden innovative Energiekonzepte wie z. B. Erdwärmesonden für die Bauteilaktivierung, Erdreichwärmetauscher oder solare Kühlung implementiert [Voss et al. 2005, Plesser 2005a und b].

Im Folgenden werden die evaluierten Gebäude in drei Gruppen verschiedener technischer Gebäudeausrüstung unterteilt, um eventuelle Unterschiede in den Bewertungen zum thermische Komfort und der Zufriedenheit mit der Raumtemperatur zu beiden Jahreszeiten zu analysieren (s. Tabelle 25). Dabei wurden die Gebäude nach folgenden Gesichtspunkten differenziert [Pfafferoth, Kalz 2007]:

1. Gebäude mit eingeschränkter Lüftungsmöglichkeit (zu diesen wurde auch das einzige vollklimatisierte Gebäude gezählt),
2. Gebäude mit wassergeführter Kälte- (und Wärme-)versorgung und
3. Gebäude mit reiner Luftführung (auch mit vorkonditionierter Luft z.B. über einen Erdreichwärmetauscher).

Bei dem Versuch der Einteilung der Gebäude in annähernd vergleichbare Klassen fällt bereits auf, dass schon einzelne Gebäude in sich nicht eindeutig zu klassifizieren sind, wenn diese z. B. Büros beinhalten, die zum Atrium aber auch zu einer Außenseite hin orientiert sind. Diese haben dann zumeist ein unterschiedliches Lüftungskonzept, verschiedene Sonnenschutzsysteme (Blendschutz innen liegend oder Sonnenschutz außen liegend), unterschiedliche Fensterflächenanteile und Verglasungsvarianten etc. Im Folgenden werden die Gebäude aufgrund von Ähnlichkeiten in der Konzeption als Ganzes in die Analyse mit einbezogen.

Tabelle 25: Beispiel einer Klassifizierung der untersuchten Gebäude, i = innen liegender Sonnenschutz, z = Sonnenschutz im Scheibenzwischenraum oder in Doppelfassade, a = außen liegender Sonnenschutz

Gebäude	Vollklimatisiert/ Doppelfassade			Luftgeführt										Wasser- und luftgeführt			
	7	3	6	1	9	15	5	10	11	14	8	16	17	2	4	13	12
Nat. Lüftung	(x)	(x)	(x)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Nachtlüftung		x				x	x	x	x	x			x		x	x	
Zuluft	x		(x)	(x)				x		(x)			x		x	x	
Vorkonditionierung	x	x											x				
Abluft	x	x	(x)	(x)			x	x	x	(x)			x		x	x	
Luftbe- feuchtung	x		(x)														
Heizkörper	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
BKT	x	x	x											x	x	x	x
Atrium	x		x			x							x	(x)		x	x
Doppel Fassade		x	x										(x)				(x)
abgeh. Decke				(x)	(x)					(x)	x						
Sonnen- schutz	i	z	z	a	a	a	a	a	a	a	a	i	(a)	z	i	i	a

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

Mit Hilfe der Varianzanalyse wurden Unterschiede in den Nutzerbewertungen zwischen den drei Gruppen „klimatisiert“, „luftgeführt“ und „luft- und wassergeführt“ ermittelt. Das Ergebnis der Varianzanalyse beschreibt, ob insgesamt ein signifikanter Unterschied zwischen den gewählten Gruppen in der Nutzerbewertung vorhanden ist. Die dafür ausgewählten Variablen sind:

- momentanes Temperaturempfinden,
- Temperaturempfinden ganztags rückblickend,
- Temperaturempfinden rückblickend vormittags und nachmittags,
- empfundene Luftfeuchte,
- wahrgenommene Temperaturschwankungen,
- Häufigkeit vorgenommener Temperaturänderungen,
- Zufriedenheit mit der Wirksamkeit vorgenommener Temperaturänderungen,
- allgemeine Zufriedenheit mit der Raumtemperatur,
- wahrgenommene Zugluft,
- empfundene Luftqualität und
- Ermüdungserscheinungen.

Aus dem Ergebnis der Varianzanalyse resultiert, dass im Sommer Gruppenunterschiede hinsichtlich fast aller ausgewählten Variablen (bis auf wahrgenommene Zugluft) zum Raumklima auftreten (s. Anhang Tabelle 3). Am stärksten unterscheiden sich die Gruppen im Sommer in der Bewertung des rückblickenden Temperaturempfindens (Mittelwert aus Vormittags- und Nachmittagsbewertung). Dabei wurde das Gebäude 5 aufgrund der Wettersituation vor und während des Befragungszeitraumes von der Analyse ausgeschlossen.

Im Winter finden sich die größten Abweichungen bei der Bewertung der Luftqualität gefolgt vom Empfinden der Luftfeuchte (s. Anhang Tabelle 4). Keine Gruppenunterschiede gibt es hinsichtlich wahrgenommener Temperaturschwankungen sowie der Anzahl versuchter Temperaturänderungen.

Im Sommer steigen die Mittelwerte des rückblickenden Temperaturempfindens von der Gruppe ‚luft- und wassergeführt‘ über die ‚klimatisierten bzw. mit Doppelfassade‘ bis hin zu den rein ‚luftgeführten‘ an (s. Abbildung 76). In den luft- und wassergeführten Gebäuden ist das Temperaturempfinden im Sommer am neutralsten.

Im Winter tendiert das Temperaturempfinden in den Gebäuden der Gruppen 2 (luftgeführt) eindeutig in Richtung eher zu kalt. In der Gruppe 3 (luft- und wassergeführt) fällt die Vormittagsbewertung in Richtung eher zu kühl und die Nachmittagsbewertung in Richtung eher zu warm aus. Über den Tag verteilt wird die die Raumtemperatur jedoch als neutral bewertet. In den Gebäuden der Gruppe 1 (klimatisiert bzw. mit Doppelfassade) hingegen wurde im Winter die Raumtemperatur im Mittel als eher zu warm empfunden (s. Abbildung 77). Allerdings trägt hinsichtlich des Temperaturempfindens in der Gruppe 1 (klimatisiert/ Doppelfassade) zu beiden Jahreszeiten vor allem das Gebäude 3 zur Trennung bei. Schließt man dieses aus der Analyse aus, befinden sich die Mittelwerte des Temperaturempfindens im Winter ebenfalls eher im neutralen Bereich.

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

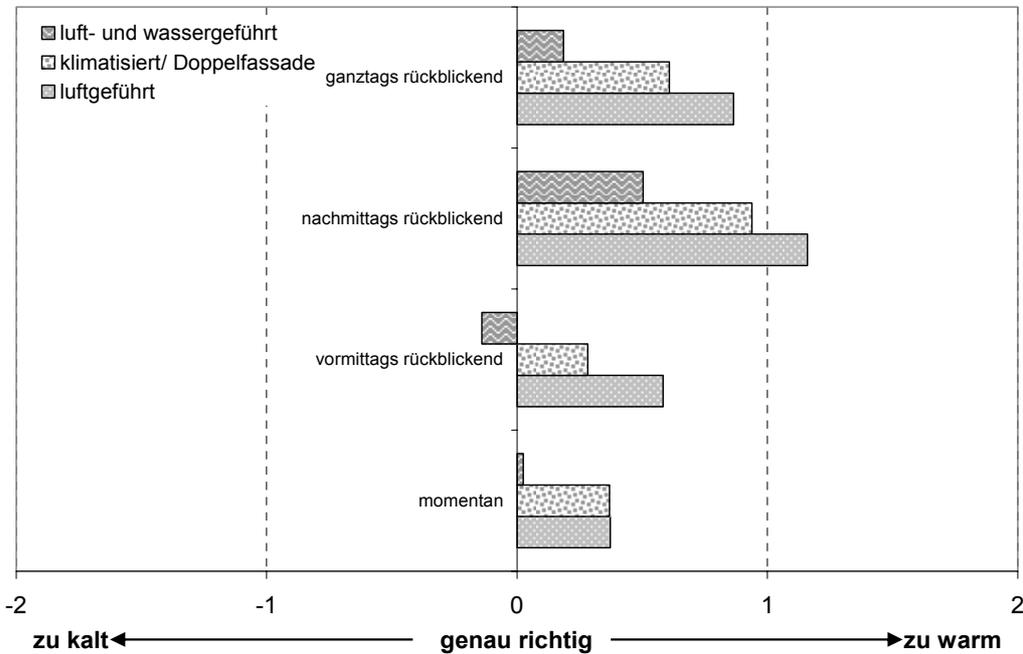


Abbildung 76: Gruppenmittelwerte der Variablen zum Temperaturempfinden über die drei gewählten Gebäudegruppen.

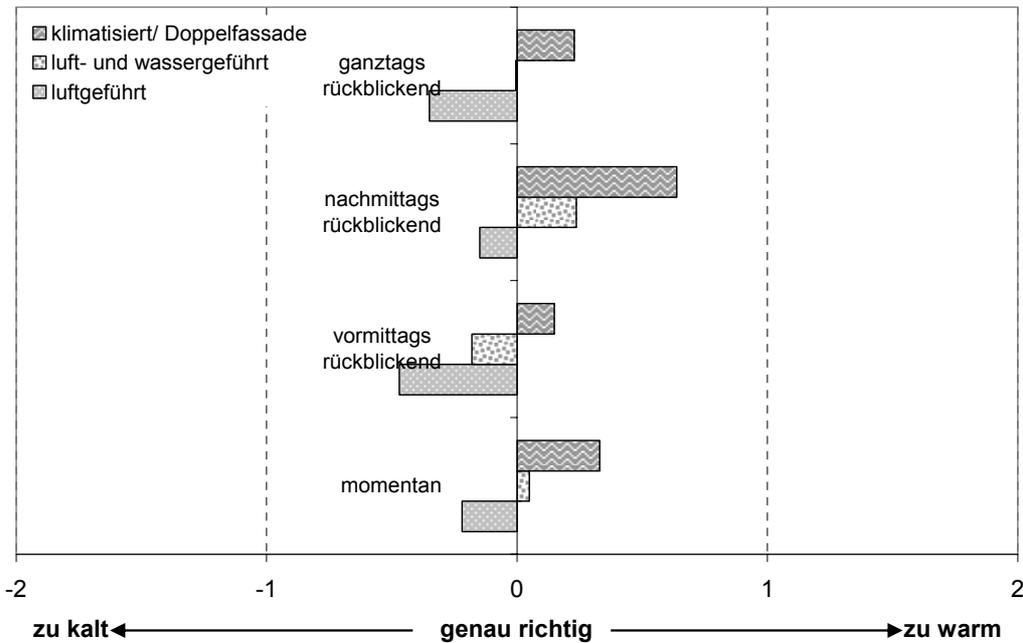


Abbildung 77: Gruppenmittelwerte des Temperaturempfindens im Winter (N klimatisiert vm/nm 47, gemittelter Wert 94)



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Im Sommer wurde in der Gruppe der luft- und wassergeführten Gebäude die Raumluft im Mittel als trockener empfunden als in den nur luftgeführten (s. Abbildung 78), aber nicht signifikant trockener als in den Gebäuden der Gruppe 1. Die Unterschiede im Empfinden der Luftfeuchte entsprechen im Winter denen der Sommerbefragungen, nur stärker in Richtung „zu trocken“ orientiert. Zudem sind nun die Unterschiede in den Bewertungen zwischen allen drei Gruppen größer.

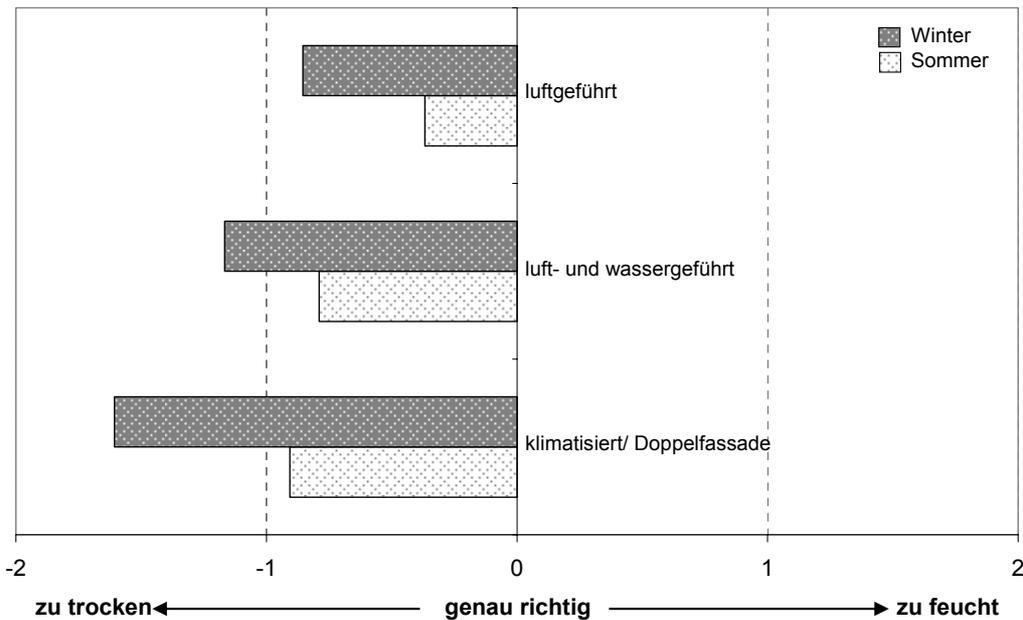


Abbildung 78: Gruppenmittelwerte der empfundenen Luftfeuchte im Winter und im Sommer

Abbildung 79 zeigt die Mittelwerte der Zufriedenheit mit der Luftqualität. Die Bewertung der Luftqualität fiel im Sommer in der Gruppe der luft- und wassergeführten Gebäuden am positivsten aus. Im Winter waren die Nutzer in den luftgeführten Gebäuden im Mittel am zufriedensten mit der Luftqualität. Es zeigte sich jedoch ein nur geringfügiger Unterschied zu den Bewertungen aus der Gruppe der luft- und wassergeführten Gebäude. In den Gebäuden der Gruppe 1 (klimatisiert bzw. mit Doppelfassade) war die Zufriedenheit mit der Luftqualität zu beiden Jahreszeiten am geringsten.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

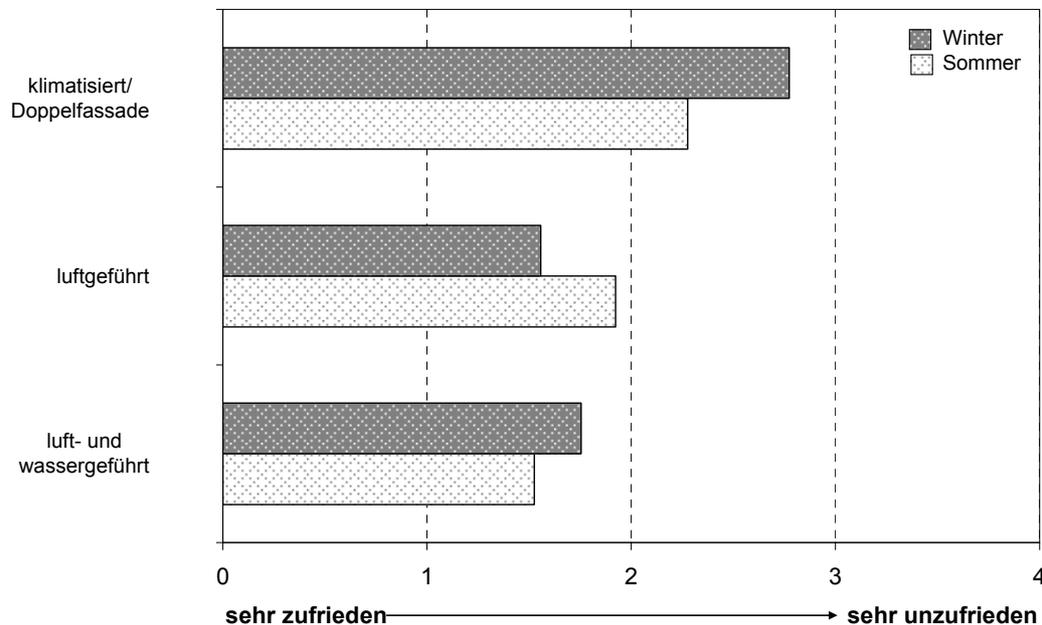


Abbildung 79: Mittelwerte der Zufriedenheiten mit der Luftqualität

Im Winter gibt es keinen signifikanten Unterschied im Empfinden von Temperaturschwankungen zwischen den Gruppen. Im Sommer wurden Temperaturschwankung in den luft- und wassergeführten Gebäuden am geringsten wahrgenommen (zwischen etwas und mäßig) und in den klimatisierten stärksten (zwischen mäßig und stark).

Die Häufigkeit der Einflussnahme auf die Raumtemperatur ist zur warmen Jahreszeit in den rein luftgeführten Gebäuden am höchsten. Dies resultiert vermutlich vor allem aus den mangelnden Möglichkeiten zur Einflussnahme in den klimatisierten und zum Teil auch in den luft- und wassergeführten. In der Gruppe 3 (luft- und wassergeführt) besteht offensichtlich auch eine geringere Notwendigkeit einer Temperaturänderung, da zum einen das Temperaturempfinden am neutralsten und die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur am höchsten ist. Zusätzlich ist die Zufriedenheit mit der Wirksamkeit von unternommenen Temperaturänderungen in der Gruppe der luft- und wassergeführten am höchsten. Am wenigsten zufrieden sind diesbezüglich die Nutzer aus den klimatisierten Gebäuden, wohl auch aufgrund der fehlenden Möglichkeiten einer Einflussnahme auf die Raumtemperatur.

Die Temperaturzufriedenheit ist im Sommer in der Gruppe der luft- und wassergeführten Gebäude im Vergleich zu den Gebäuden aus den beiden anderen Gruppen am höchsten (bei akzeptabel). Die Mittelwerte der Bewertungen aus den Gruppen 1 und 2 liegt zwischen akzeptabel und unzufrieden mit der Raumtemperatur (s. Abbildung 80). Im Winter ist die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur in den Gebäuden der Gruppe 1 (klimatisiert/ Doppelfassade) am geringsten. Die Nutzer aus der Gruppe der luftgeführten Gebäude sind im Winter im Mittel am zufriedensten mit der Raumtemperatur, aber nicht signifikant mehr als diejenigen aus den luft- und wassergeführten.

EVA

Evaluierung von Energie- Konzepten

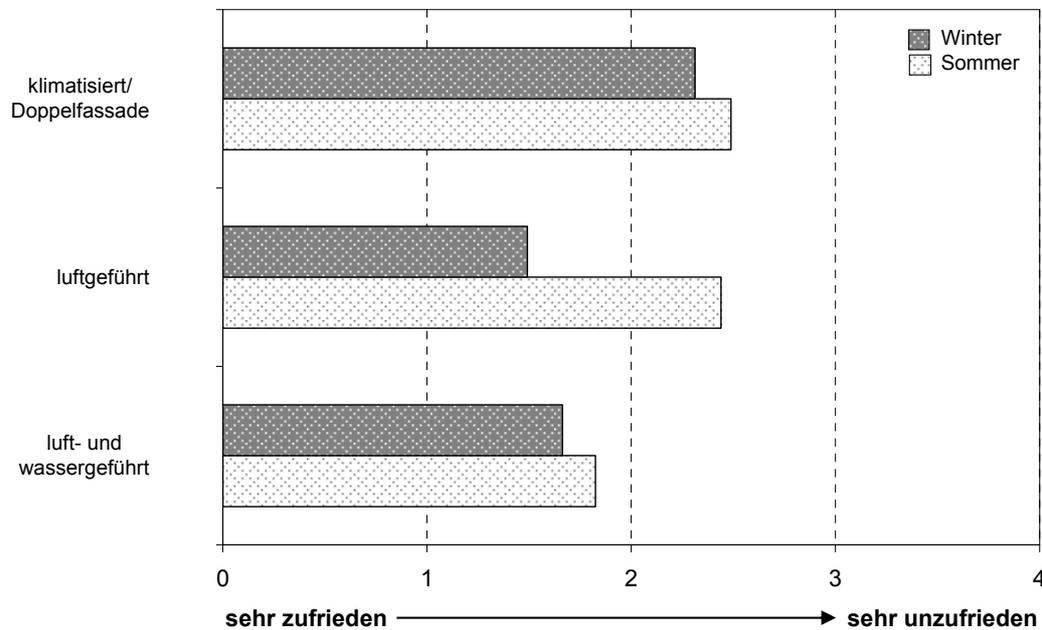


Abbildung 80: Mittelwerte der Temperaturzufriedenheit im Sommer und im Winter für die drei Gebäudegruppen

Wie im Sommer fehlt den Nutzern aus den Gebäuden der Gruppe 1 die ausreichende Möglichkeit, Einfluss auf die Raumtemperatur zu nehmen. Zwischen dem Antwortverhalten der Nutzer aus den Gebäuden der Gruppen 2 und 3 besteht bezüglich der Zufriedenheit mit dem Raumklima im Winter kein signifikanter Unterschied. Tendenziell sind die Nutzer aus den luftgeführten Gebäuden im Winter am zufriedensten mit der Raumtemperatur – trotz der im Mittel als kälter empfundenen Raumtemperaturen. Bezüglich der Häufigkeit der Einflussnahme besteht interessanterweise in den Gebäudegruppen kein signifikanter Unterschied im Winter – vermutlich aufgrund der insgesamt größeren Zufriedenheit mit der Temperatur zur kalten Jahreszeit in Gruppe 2 und 3 und den mangelnden Möglichkeiten der Einflussnahme in Gruppe 1.

Insgesamt ähneln sich im Winter die die Gruppen 2 (luftgeführt) und 3 (luft- und wassergeführt) und im Sommer die Gruppen 1 (klimatisiert/ mit Doppelfassade) und 2 (luftgeführt) hinsichtlich der Beantwortung einer Mehrheit der erfragten Raumklimavariablen.

4.7.2.12 Statistische Klassifizierung der Gebäude

Mit Hilfe der Diskriminanzanalyse können folgende Fragen untersucht werden:

1. Unterscheiden sich die gewählten Gebäude-Gruppen hinsichtlich bestimmter Variablen signifikant voneinander?
2. Welche der ausgewählten Variablen sind zur Unterscheidung zwischen den Gruppen geeignet bzw. ungeeignet?

Für die Berechnung der Diskriminanzanalyse wurden für den Winter die Variablen

- Temperaturempfinden rückblickend ganztags,
- Luftfeuchte,
- Luftqualität und
- Ermüdung

aufgenommen. Insgesamt können im Winter anhand der genannten Variablen knapp 60 % der Fälle (Nutzer) den drei Gebäudegruppen zugeordnet werden. Die größte Vorher-



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

sagegenauigkeit findet in den luftgeführten Gebäuden statt (s. Anhang Tabelle 5). Am wenigsten lassen sich die Nutzer der luft- und wassergeführten Gebäude im Winter ihrer Gruppe zuordnen. Der Unterschied in den Antworten zu den luftgeführten Gebäuden ist zu gering. Deswegen werden im Winter fast 70 % der Fälle aus Gruppe 3 der Gruppe der rein luftgeführten Gebäude zugeordnet.

Für den Sommer wurden die Variablen

- Temperaturempfinden ganztags rückblickend,
- empfundene Luftfeuchte,
- Häufigkeit der Einflussnahme,
- wahrgenommene Zugluft und
- Temperaturzufriedenheit

in die Analyse mit aufgenommen. Am stärksten trugen jetzt die beiden Variablen Temperaturempfinden ganztags und die Luftfeuchte zur Klassifizierung bei. Die meisten Fälle der Gruppen 1 und 3 wurden der Gruppe 2 zugeordnet. So erschien die gewählte Gebäudeklassifizierung für den Sommer ungeeignet.

Deshalb wurden die Gebäude in einem zweiten Schritt für den Sommer in nur zwei Gruppen eingeteilt:

1. „luftgeführt ohne zusätzliche Kühlung“ (Gruppe 1) und
2. „luftgeführt mit Kühlung“ (Gruppe 2).

Unter zusätzlicher Kühlung wurde dabei die Betonkerntemperierung (BKT), Luftkühlung durch einen Erdreichwärmetauscher (EWT) oder eine Klimaanlage verstanden. Nachtlüftung wurde nicht als zusätzliche Kühlung angesehen.

Tabelle 26: Gebäudeklassifizierung nach Kühlmöglichkeiten im Sommer

Gebäude ohne Kühlung	Gebäude mit Kühlung	Bemerkungen
1		Kühlung über BKT nicht ausreichend
3		Kühlung über BKT nicht ausreichend
	4	BKT, Zu- Abluftanlage (mit Vorkühlung)
5		
	6	BKT (nur teilweise defekt)
	7	Vollklimatisiert
8		
9		
10		
11		
12		BKT nur im Hochhaus
	13	BKT im Neubau
14		
15		
16		
	17	Luftvorkühlung über Erdreichwärmetauscher

Über 70 % der Fälle lassen sich jetzt insgesamt den beiden Gruppen richtig zuordnen (s. Anhang Tabelle 6). Der Hauptunterschied zwischen den beiden Gruppen liegt in der Bewertung des Temperaturempfindens (s. Abbildung 81). Dabei wird von den Nutzern der Gebäude aus Gruppe 1 (luftgeführt ohne zusätzliche Kühlung) die Raumtemperatur

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 konzepten**

im Sommer von der Mehrheit als zu warm empfunden und von den Nutzern aus Gruppe 2 im Mittel als eher neutral.

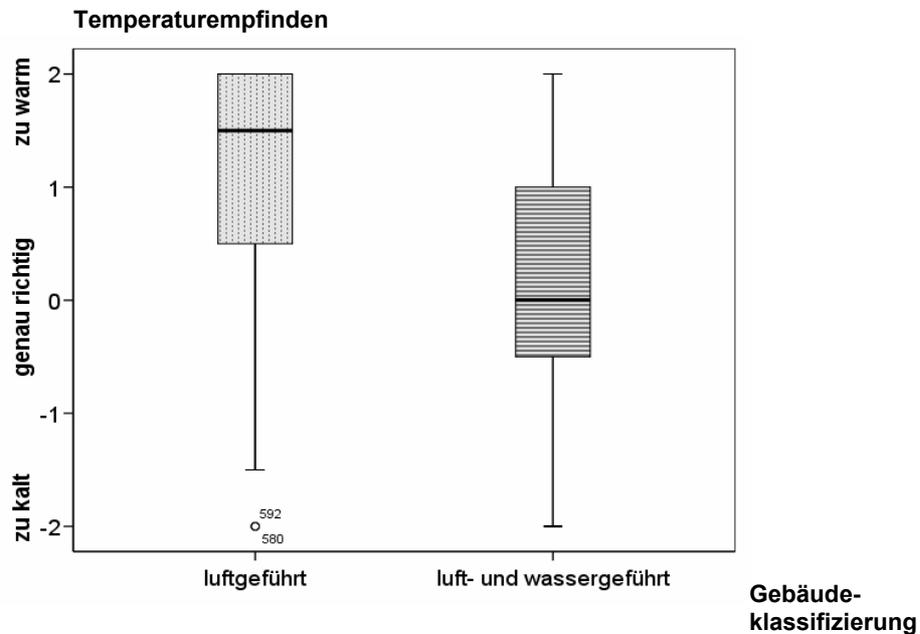


Abbildung 81: Boxplots über alle Fälle des Temperaturrempfindens ganztags rückblickend für die zwei Gebäudegruppen.

Zusätzlich tragen die beiden Variablen „empfundene Luftfeuchte“ und „Temperaturzufriedenheit“ zur Trennung der beiden Gruppen bei. Dabei wird in der Gruppe 1 die Luftfeuchte als eher genau richtig empfunden und in der Gruppe 2 als eher zu trocken. Die Temperaturzufriedenheit hingegen ist im Mittel in den Gebäuden aus Gruppe 1 schlechter als in denen aus Gruppe 2 (s. Abbildung 82).

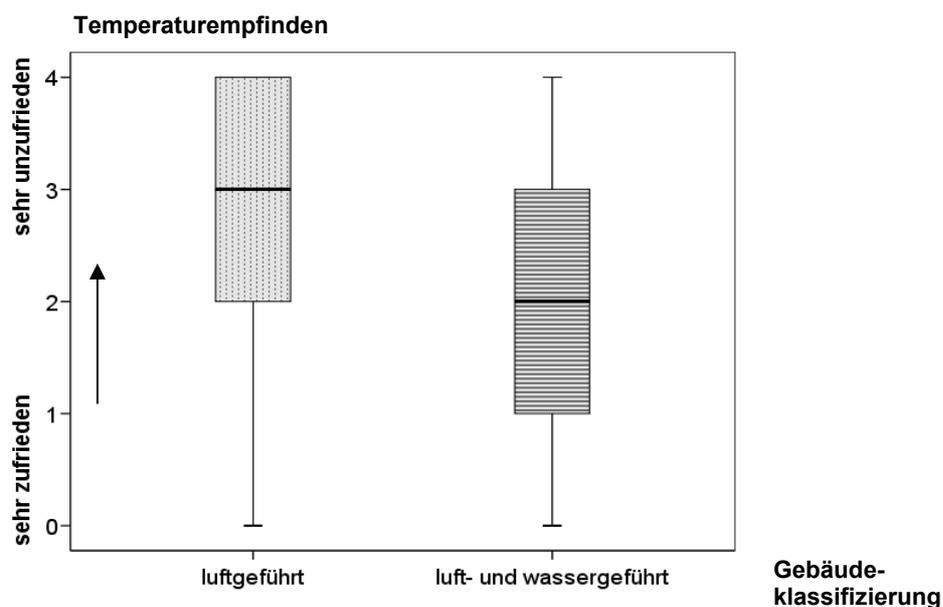


Abbildung 82: Boxplots über alle Fälle der Temperaturzufriedenheit ganztags rückblickend für die zwei Gebäudegruppen der Varianzanalyse.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

Des Weiteren wurde anhand der Diskriminanzfunktion die vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit der Nutzer je Gebäude untersucht. Die Beschreibung der uneindeutigen Fälle sowie die statistische Zuordnungstabelle sind im Anhang zu finden (s. Tabelle 7 und Beschreibung).

Fazit ist, dass eine Unterteilung in die Gebäudegruppen, die anhand des Energiekonzeptes getroffen wurde, stattfinden kann. Dies ist daran erkennbar, dass sich die Nutzer anhand ihrer Antworten auf die Fragen zum Raumklima den unterschiedlichen Konzepten zuordnen lassen. Im Winter ist die Trennung der Gruppen nicht ganz so eindeutig, da insgesamt die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur höher ist. Hier stechen vor allem die Gebäude heraus, die aufgrund ihrer hohen Verglasungsanteile und mangelnde Lüftungs- und Kühlmöglichkeiten zu hohe Raumtemperaturen aufweisen. Die Unterscheidung findet im Winter vor allem anhand der hoch korrelierten Variablen „Luftqualität“ und Luftfeuchte“ statt. Im Sommer hat sich eine Unterteilung in nur zwei Gruppen als sinnvoll erwiesen: die gekühlten und die nicht zusätzlich gekühlten Gebäude. Die Trennung der Nutzerbewertungen in die zwei Gruppen findet im Sommer fast ausschließlich anhand der Variable „Temperaturzufriedenheit ganztags rückblickend“, aber auch anhand der empfundenen Luftfeuchte und der Temperaturzufriedenheit. Es fällt dabei auf, dass die zur Klassifizierung der Gebäude herangezogenen Variablen fast ausschließlich psychologische Konstrukte sind. Zum einen lässt sich das Empfinden der Luftfeuchte nicht aus Messwerten vorhersagen, zum anderen spielen offensichtlich auch in das rückblickende Temperaturempfinden Einflüsse hinein, die sich nicht nur durch die Messwerte der Raumtemperaturen aus dem entsprechenden Bezugszeitraum erklären lassen sondern vermutlich auch aus Extremwetterperioden mit hineinfließen. Fest steht jedoch auch, dass die Raumtemperatur in den nicht zusätzlich gekühlten Gebäude im Mittel als zu warm empfunden wird. Weitere Einflüssen, vor allem auf die Variable Luftfeuchte und Luftqualität, sind jedoch nach wie vor ungeklärt.

Leider standen nur für wenige Gebäude zuverlässige Daten über den abgefragten rückblickenden Zeitraum aus dem Gebäude-Monitoring zur Verfügung bzw. die Aussagefähigkeit war aufgrund der zu geringen Anzahl an Messräumen nicht zuverlässig genug. Diese und auch die Wetterdaten aller Gebäude lassen jedoch darauf schließen, dass die Konditionen in den Räumen über den erfragten Zeitraum nicht grundsätzlich schlechter waren, als am Tag der Befragung. So müssen in die rückblickende Bewertung noch andere Einflüsse hineinkommen, die zum einen unabhängig von der tatsächlichen Raumtemperatur sind, zum anderen aber offensichtlich einen längeren Zeitraum oder erlebte extreme Wetterkonditionen mit den entsprechenden Raumklimabedingung mit hineinspielen. Diese Annahme wird auch getroffen, obwohl die meisten Nutzer im Sommer angaben (80 %), sich nur auf eine rückblickenden Zeitraum von zwei Wochen zu beziehen.

Da in die erfragte Gesamtzufriedenheit mit der Raumtemperatur nachweislich außer der empfundenen Raumtemperatur noch andere Parameter mit hineinfließen, wird diese hinsichtlich ihrer Bedeutung mit der Gesamtzufriedenheit herangezogen. Auf diese wird im Folgenden anhand der Darstellung der Handlungsrelevanzmatrix eingegangen.

4.7.2.13 Bedeutung des thermischen Komforts für die Gesamtzufriedenheit

Um zu erfahren, welchen Stellenwert die individuellen Zufriedenheitsparameter für die Gesamtzufriedenheit mit dem Arbeitsplatz haben, können die jeweiligen Items mit der allgemeinen Zufriedenheit korreliert werden. Daraus resultieren statistisch geschätzte Wichtigkeiten der Zufriedenheitsparameter, die in Zusammenhang mit der Gesamtzufriedenheit mit dem Arbeitsplatz stehen. Auf diese Weise können die folgenden Hypothesen untersucht werden:

1. Durch einen Fragebogen werden Schwachstellen in einem Gebäude gezielt aufgedeckt. Die Ergebnisse können als Grundlage für Verbesserungsmaßnahmen im Komfortbereich eines Gebäudes genutzt werden.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

2. Die Zufriedenheit mit den einzelnen Zufriedenheitsaspekten hat einen Einfluss auf die allgemeine Zufriedenheit mit dem Arbeitsplatz.

Wenn man den Einfluss der Zufriedenheit mit der Raumtemperatur auf die Gesamtzufriedenheit mit dem Arbeitsplatz betrachtet, so tauchen Unterschiede sowohl zwischen den Bewertungsmitteln der einzelnen Gebäude als auch zwischen den jahreszeitlichen Bewertungen innerhalb der meisten Gebäude auf (s. Abbildung 83).

Auf der x-Achse sind die Werte der statistisch geschätzten Wichtigkeit der Zufriedenheitsparameter für die Gesamtzufriedenheit von 0 = gar nicht wichtig bis 1 = sehr wichtig abgetragen. Auf der y-Achse die anhand des Fragebogens ermittelte mittlere Zufriedenheit mit den jeweiligen Zufriedenheitsparametern je Gebäude und Jahreszeit von 0 = sehr zufrieden bis 4 = sehr unzufrieden. Die Grenzen der Quadranten sind folgendermaßen gewählt: Die horizontale Unterteilung stellt den Mittelwert der Nutzerantworten zur Zufriedenheit mit der Raumtemperatur dar. Die Werte liegen im Winter und im Sommer jeweils etwas unterhalb bzw. etwas oberhalb des Skalenpunktes, bei dem die Nutzer im Mittel weder zufrieden noch unzufrieden sind. Die vertikale Begrenzung beschreibt den Wert, bei dem Korrelationen in der Psychologie und den Sozialwissenschaften als relevant angegeben. Es werden nur signifikante ($p < 0,005$) Werte angezeigt.

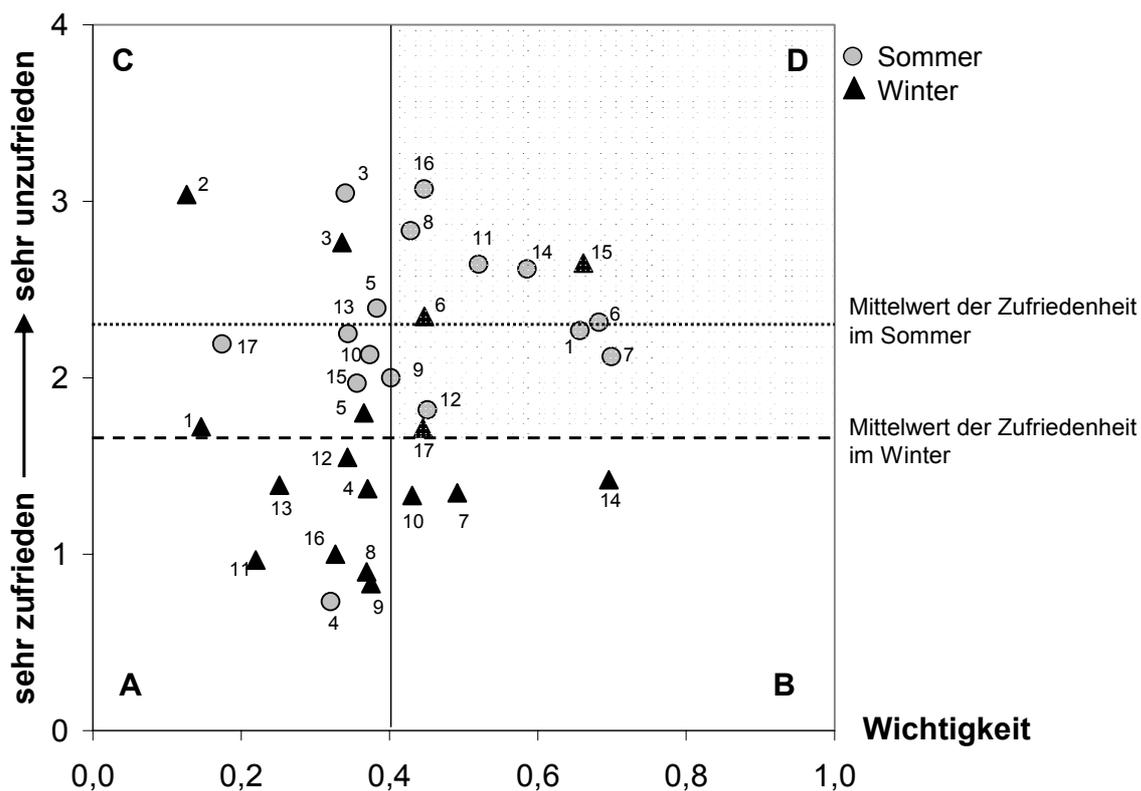


Abbildung 83: Handlungsrelevanz (Stichprobengrößen je Gebäude zwischen N = 22 und N = 98)

Die Gebäude, die in den Feldern A und B angesiedelt sind, haben in Bezug auf die Gesamtzufriedenheit mit dem Arbeitsplatz keinen vornehmlichen Verbesserungsbedarf in Bezug auf die Raumtemperatur. In diesen sind die Nutzer im Mittel sehr zufrieden mit der Raumtemperatur. Hingegen besteht vor allem in den Gebäuden, die in Feld D angesiedelt sind, Handlungsbedarf bezüglich einer Verbesserung der Zufriedenheit mit dem thermischen Komfort. Hier ist sowohl die Unzufriedenheit am größten und auch der Stellenwert für die Gesamtzufriedenheit. Wie zuvor gezeigt muss das nicht zwingend in



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

einer Optimierung der aktuellen Raumtemperatur liegen, sondern vor allem in der Bereitstellung von effektiven Maßnahmen zur Regulation der Raumtemperatur z. B. während Hitzeperioden.

Die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur ist im Winter im Allgemeinen größer als im Sommer. Hinzu kommt, dass über alle Gebäude betrachtet mit sinkender Zufriedenheit im Sommer der Stellenwert für die Gesamtzufriedenheit zunimmt. Allerdings kann sich die statistische Gewichtung bei veränderten Rahmenbedingungen wie z. B. anderes Außenklima, dichtere Raumbelastung etc. verändern, wobei vermutlich das Erinnerungsvermögen und die Erwartungshaltung an das Gebäude einen verhältnismäßig stabilen Anteil an der Varianz der Temperaturzufriedenheit ausmachen, da sonst der Zusammenhang mit den abgefragten Variablen größer wäre.

In den Gebäuden 3,5,8,11,14 und 16 wurde die Raumtemperatur rückblickend als zu warm empfunden, was mit den Messungen am Tag der Befragung und Referenzmessungen aus anderen Jahren im Sommer nachgewiesen werden kann [Pfafferott 2004, Plesser 2005]. Dennoch ist der Stellenwert des Raumklimas für die Nutzer aus den Gebäuden 1, 6 und 7 im Sommer am höchsten, wobei das Gebäude 7 vollklimatisiert ist (keine Regelungsmöglichkeit für die Nutzer, Raumklima wird als stickig bezeichnet) und auch im Gebäude 6 ist der Einfluss auf das Raumklima eingeschränkt: Vor allem bei geschlossener Doppelfassade besteht keine Lüftungsmöglichkeit in den Außenbüros. In den zum Atrium orientierten Büros werden die schmalen Lüftungsflügel kritisiert. Der hohe Stellenwert der Raumtemperatur in Gebäude 1 für die Gesamtzufriedenheit ist nicht geklärt. Das Gebäude ließ sich auch auf Grundlage der Nutzerantworten am wenigsten genau in die vorgegebenen Klassen eingruppiert. Eventuell besteht hier ein Zusammenhang mit den extrem großen Büroeinheiten, die sogar zwischen den Geschossen durch offene Treppen miteinander verbunden sind.

Die genauen Grenzen der einzelnen Felder, also ab welchem Mittelwert die tatsächliche Unzufriedenheit beginnt bzw. ab welchem Wert der Wichtigkeit Handlungsbedarf besteht und ob im Winter und im Sommer andere Grenzen gesetzt werden sollen oder ob eine generell größere Unzufriedenheit im Sommer aus verschiedenen Gründen akzeptiert werden muss, bedarf weitere Untersuchungen vor allem in Gebäuden mit schlechterem Gebäudestandard, um einen (für haltbare Rückschlüsse) Vergleich zu erhalten.

4.7.2.14 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen Nutzerbefragungen

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung konnte gezeigt werden, dass die Bewertungen „zu kalt“ oder „zu warm“ je nach Jahreszeit einen signifikant unterschiedlichen Einfluss auf die Zufriedenheit mit dem Raumklima haben. Ein Ergebnis ist, dass im Winter bei neutralem Temperaturvotum mehr Mitarbeiter zufrieden mit der Raumtemperatur sind als im Sommer. Obwohl auch im Sommer die meisten der untersuchten Gebäude im Rahmen der Befragungszeiträume Raumtemperaturen aufwiesen, die im Komfortbereich der ISO 7730 lagen, waren nur knapp 30 % aller befragten Nutzer „zufrieden“ oder „sehr zufrieden“ mit der Temperatur an ihrem Arbeitsplatz.

Außerdem wurde anhand der statistischen Auswertung Nutzerantworten statistisch belegt, dass die empfundene Raumtemperatur nur einen Einflussfaktor auf die Zufriedenheit mit dem Raumklima darstellt. So werden nicht wie zunächst angenommen bei höheren Außentemperaturen im Sommer auch entsprechend höhere Innenraumtemperaturen als angenehm empfunden. Die Nutzer sind im Gegenteil sogar bei ähnlichen Temperaturen wie zur kalten Jahreszeit unzufriedener mit dem Raumklima im Sommer. Einen bedeutenden Faktor für die Zufriedenheit mit dem Raumklima - mehr noch als die empfundene Raumtemperatur selbst - stellt die wahrgenommene Einflussmöglichkeit auf die Raumtemperatur dar. Da der Temperaturunterschied zwischen Innen und Außen im Sommer geringer ist als im Winter, ist z.B. der Effekt auf die Raumtemperatur bei Öffnen des Fensters im Winter größer als im Sommer. Somit fühlen die Nutzer im Sommer eine geringere Rückkopplung ihres Versuches, auf die Raumtemperatur Einfluss zu nehmen. Zusätzliche Einflussfaktoren sind die empfundene Luftqualität und die empfundenen



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

Luffteuchte. Da diese jedoch nicht über Messwerte quantifiziert und in Zusammenhang mit den Nutzerbewertungen gebracht werden konnten, besteht hier noch ein eindeutiger Forschungsbedarf dahingehend, wie sich das Empfinden dieser beiden Raumklimaparameter zusammensetzt.

Die Ergebnisse der Diskriminanzanalyse unterstützen die Vermutung, dass längerfristige Erlebnisse bezüglich des Raumklimas eine Rolle bei der rückblickende Temperaturbewertung, aber vor allem auch bezüglich der Temperaturzufriedenheit spielen. Es konnte gezeigt werden, dass sich im Sommer die Gebäude eindeutig in zwei Gruppen einteilen lassen: die Gebäude ohne Kühlung und die Gebäude mit Kühlung. Dabei wurde zum einen die Raumtemperatur in den nicht gekühlten Gebäuden als wärmer empfunden und die Zufriedenheit mit dem Raumklima war im Mittel niedriger – selbst wenn während der Befragungszeiträume die gemessenen Temperaturen gleich waren bzw. nicht stark voneinander abwichen. Eine genauere Überprüfung diesbezüglich müsste noch anhand von zuverlässigen Langzeitmessungen stattfinden.

Insgesamt wurde jedoch deutlich, dass von den untersuchten Gebäuden vor allem diejenigen mit Hybridkonzept, die dem Nutzer noch immer Eingriffsmöglichkeiten in das Raumklima gewähren, diesbezüglich am positivsten bewertet wurden.

Indem man die individuellen Zufriedenheitsparameter mit der allgemeinen Zufriedenheit mit dem Arbeitsplatz korreliert, erhält man einen Wert für die geschätzte Wichtigkeit der einzelnen Parameter für die allgemeine Zufriedenheit (0 = gar nicht wichtig, 1 = sehr wichtig). Dies wurde am Beispiel der Temperaturzufriedenheit und deren Stellenwert für die Gesamtzufriedenheit für alle Gebäude und beide Jahreszeiten gezeigt. Eine solche Handlungsrelevanzmatrix kann für jeden einzelnen Zufriedenheitsparameter und seine Bedeutung für die Gesamtzufriedenheit nach Gebäuden gesondert dargestellt werden (siehe Einzelberichte).

Auf diese Weise erhält man ein Bewertungssystem, welches z. B. dem Facility Management bei der Optimierung des Gebäudebetriebs eine Unterstützung bietet, indem es einem die Rangfolge der Zufriedenheitsparameter in ihrer Wichtigkeit für die Gesamtzufriedenheit der Nutzer den mittleren Zufriedenheiten gegenüber stellt. Damit kann das Optimierungspotential für jeden einzelnen Parameter je Gebäude ermittelt werden. Man kann so auf einen Blick erkennen, wo die Schwachstellen im Gebäude aus Nutzersicht liegen. In Kombination mit den Mittelwerten der Zufriedenheit wird die Dringlichkeit, an einzelnen Dingen in Gebäuden etwas zu verändern und somit die Nutzerzufriedenheit zu erhöhen transparent für den Gebäudemanager. Dies beinhaltet nicht nur den Betrieb technischer Anlagen, sondern auch die Abstimmung zwischen Nutzerverhalten und dem jeweiligen Gebäudekonzept. Zudem stimmen die relevanten Parameter für die Gebäudeoptimierung i. d. R. mit den durch die Nutzer eingeschätzten Beeinträchtigungen der Produktivität bei der Arbeit überein. Wo schlussendlich die Grenzen zwischen „zufrieden“ und „unzufrieden“ bzw. „wichtig“ und „unwichtig“ gesetzt werden müssen, kann erst in einem weiteren Vergleich mit „schlechteren“ Gebäuden stattfinden, da die untersuchten Gebäude insgesamt einen hohen Standard aufweisen. Hierbei könnte man erfahren, ob sich ein niedrigerer Gebäudestandard signifikant auf die Zufriedenheit auswirkt.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531/391-3635
Fax: 0531/391-3636

5 BETRIEBSOPTIMIERUNG

Die Erfahrungen der Demonstrationsgebäude im Programm EnBau haben gezeigt, dass bei komplexen Energiekonzepten in der Regel der Bedarf einer Einregelung des Gebäudes zumindest in den ersten Jahren besteht. In Bezug auf die „Nicht-Demonstrationsgebäude“ in EVA sollten folgende Fragestellungen beantwortet werden:

Wie können existierende Methoden zur Betriebsanalyse eingesetzt werden?

Es wurde dokumentiert, in wie weit durch Sichtung der Dokumentation und Gebäudebegehungen und aus Energiekennwerten, Kennlinien und Daten der Gebäudeautomation Optimierungspotenziale für den Betrieb abgeleitet werden können.

Bestehen in den Gebäuden Optimierungspotenziale hinsichtlich der Energieeffizienz und des Nutzerkomforts?

Die Untersuchung der Optimierungspotenziale im Gebäudebetrieb umfasst sowohl die Energieeffizienz als auch den Nutzerkomfort. Es wurden nur die Optimierungspotenziale dokumentiert, die durch die Betriebsanalysen festgestellt wurden.

Gebäude mit innovativem Energiedesign und komplexer Regelungstechnik bieten fast endlose Möglichkeiten zur Betriebsanalyse auf Basis der Daten der Gebäudeautomation. Die Bearbeitung war in starkem Maße von den jeweiligen Möglichkeiten in den Gebäuden abhängig. Im Wesentlichen musste mit der Infrastruktur der MSR- und Leittechnik gearbeitet werden. Dies wurde für einzelne Gebäude, bei denen Daten zur Verfügung gestellt werden konnten, durchgeführt und ist in den Objektberichten dargestellt.

5.1 Betriebsanalysen

Die Analysen der Gebäude in Bezug auf energetische Optimierungspotenziale erfolgten mit fünf verschiedenen methodischen Ansätzen:

- Bestandsaufnahme
- Verbrauchskennwerte
- Verbrauchskennlinien
- Vergleich Energiebedarf – Energieverbrauch
- Analyse von Daten der Gebäudeautomation

Eine präzise quantifizierende wirtschaftliche Bewertung war in diesem Projekt nicht möglich, da die entsprechenden realistischen Rahmenbedingungen zur Bewertung der Kosten fehlen. Es wurde deshalb eine rückblickende Bewertung der Ansätze hinsichtlich des Aufwands und der Aussagekraft der Analysen durchgeführt.

Neben den beschriebenen Methoden gibt es weitere Möglichkeiten zur systematischen Betriebsanalyse. Die Befragungen der Nutzer können zur Identifikation von Optimierungspotenzialen genutzt werden, siehe 4.7. Im Einzelfall wurden Gebäudesimulationen und funktionale Tests durchgeführt, wie z.B. Luftwechsellmessungen in einzelnen Räumen. Diese individuellen und aufwändigen Methoden wurden nicht bewertet.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

5.1.1 Bestandsaufnahme

Die Bestandsaufnahme umfasste in EVA grundsätzlich die Dokumentation des Energiedesigns einschließlich relevanter Funktionen auf Basis der zur Verfügung gestellten Unterlagen, von Gebäudebegehungen und Gesprächen mit Vertretern des Gebäudemanagements. Die Unternehmen wurden aufgefordert, eine Liste von Unterlagen nach Möglichkeit vollständig zur Verfügung zu stellen (siehe Anhang 7.4).

5.1.1.1 Grundlagen und Methodik

Die Aufnahme erfolgte anhand eines grob vorstrukturierten Leitfadens, der jedoch an die Möglichkeiten in den Gebäuden angepasst und im Projektverlauf weiterentwickelt wurde:

- Standort und Baukörper
 - Beschreibung des Standorts und des Baukörpers
 - Geschossigkeit
 - Flächen und Fassaden (die Aufnahme wurde auf Basis der vorliegenden Unterlagen durchgeführt und in der Feinanalyse nach DIN V 18599 ergänzt)
- Energiedesign
 - Gebäudehülle (U-Werte, Verglasungsanteile etc.)
 - Energieversorgung (Energieträger, installierte Leistungen etc.)
 - Heizung und Kühlung (Systembeschreibung, Übergabe im Raum etc.)
 - Lüftung (Anlagenbeschreibungen, Laufzeiten)
 - Gebäudeleittechnik (hier wurde nur dokumentiert, ob eine GLT vorhanden ist und welche Bereiche aufgeschaltet sind)
 - Bürokonzept (Typ, Größe, Beleuchtung, Sonnenschutz etc.)
- Planungsteam
 - Eigentümer, Architekten, Energiedesigner etc.
- Energiemanagement
 - Vorhandene Messtechnik, Berichtswesen

Da in EVA ausschließlich vergleichsweise neue Gebäude untersucht wurden, lag der Fokus bei den Begehungen nicht auf typischen Aspekten von Energieaudits wie z.B. dem Alter oder dem Zustand von Anlagen. Die Bearbeitung erfolgte in EVA ohne eine auf die Wirtschaftlichkeit oder die potenzielle Umsetzung von Maßnahmen abgestimmte Checkliste, also nicht mit einem expliziten Dienstleistungscharakter. Vertiefungen richteten sich nach den vorgefundenen Gegebenheiten und bereits bekannten Problemen. Im Detail wurden in der Regel die Beleuchtungssysteme und Lüftungsanlagen aufgenommen.

5.1.1.2 Ergebnis

Bestandsaufnahmen wurden in allen 19 Gebäuden durchgeführt. Die Bearbeitung hing stark von der Größe des Gebäudes und von Form und Umfang der Dokumentation ab. Auch die Position des „Auftraggebers“ war bedeutsam: Eigentümer verfügten oft über einen besseren Zugriff auf die Dokumentation als z.B. ein Generalmieter. Die Unterlagen wurden sowohl in Papier- und in elektronischer Form zur Verfügung gestellt. Von besonderer Bedeutung dabei waren übersichtliche Anlagenschemen für Heizung, Kühlung und Lüftung, die ein schnelles Verständnis der Konzepte ermöglichten.

Die Begehungen in der Grobanalyse umfassten in der Regel ein Auftaktgespräch und eine anschließende Begehung einschließlich einer „Besichtigung“ des Leittechnik-PCs. Für die umfassende Aufnahme der Beleuchtung sowie Leistungsmessungen der Lüftungsanlagen wurden ggf. zusätzliche Termine vereinbart.

Das Energiedesign der Gebäude konnte auf dieser Basis konzeptionell zügig in kompakter Form abgebildet werden (siehe Objektberichte). Insbesondere bei den großen Gebäuden ist eine vollständige Sichtung aller Räume und Anlagen jedoch nicht möglich

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

gewesen. Die Dokumentation der Büros einschließlich der Beleuchtung und der Möglichkeiten des Nutzereingriffs konnte bei den Begehungen durch stichprobenartige Besichtigung einzelner Räume durchgeführt werden.

Durch die Begehungen konnten erste Optimierungspotenziale identifiziert werden. Die Bestandsaufnahme ermöglichte einen schnellen SOLL-IST-Vergleich bestimmter Parameter oder Konzepte. Dies waren u.a.

- Installierte Beleuchtungsleistungen,
- Beleuchtungsregelungen,
- Laufzeiten von Lüftungsanlagen und
- Die Regelung des Sonnenschutzes.

Daneben konnten aus der Planung stammende Probleme festgestellt werden, die mögliche Ursachen für Probleme im Betrieb waren, wie z.B. starke sommerliche Überhitzung der Büros durch fehlende thermisch aktive Massen oder ein schlecht hinterlüfteter Sonnenschutz.

Bei entsprechender Vorbereitung und ausreichender Dokumentation kann eine Bestandsaufnahme aus Sicht der Autoren mit einem, ggf. zwei Bearbeitungstagen vor Ort durchgeführt werden. Tabelle 27 zeigt die Bewertung der Methodik auf Basis der Erfahrungen in 19 Gebäuden.

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

Tabelle 27 Bewertung der Bestandsaufnahme

Methodik	Vergleich des Bestands mit dem Stand der Technik und Zielwerten insbesondere einzelner Systeme und statischer Betriebszustände (z.B. inst. Beleuchtungsleistung, Laufzeiten von Lüftungsanlagen)
Voraussetzungen	- Gebäudedokumentation (soweit verfügbar), insbesondere Übersichtsschemen Heizung, Kühlung, Lüftung, Anlagenbeschreibung sowie Flächenangaben - Gebäudebegehung (1 Tag vor Ort) einschl. Gespräch mit dem Betreiber/Hausmeister
Aufwand „Dienstleister“	3-5 Arbeitstage
Aufwand „Eigentümer“	< 1 Arbeitstag
Anwendungserfahrungen	- Der Bearbeitungsaufwand war berechenbar, die abgefragten Inhalte lagen als Unterlage vor oder waren bekannt. - Dokumentationen waren teilweise unübersichtlich und sehr umfangreich. - Als Ergebnis liegen konkrete Maßnahmen bzw. Empfehlungen vor (z.B. Nachrüstung von Bewegungsmeldern oder Änderung der Laufzeiten von Anlagen). - Die Begehung der Anlagen und die Gespräche mit den Betreibern schaffen Grundlagen für eine weitere Bearbeitung. Es können jedoch nur sehr bedingt Rückschlüsse auf die Betriebsführung der Anlagen gezogen werden.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

5.1.2 Verbrauchskennwerte

Der Endenergieverbrauch von Gebäuden war aus kaufmännischen Gründen in fast allen Gebäuden bekannt. Er konnte deshalb – in der Regel getrennt für Wärme und Strom – mit geringem Aufwand als Bewertungsmaßstab verwendet werden. Da die Daten kontinuierlich erfasst werden, könnten sie - unabhängig von ihrer Aussagekraft hinsichtlich möglicher Einsparpotenziale - auch für die Bewertung von Einsparerfolgen genutzt werden.

Im Laufe des Projekts wurden Verbrauchskennwerte durch die Einführung von Energieausweisen im Rahmen der EnEV 2007 standardisiert und werden so in der Zukunft in großem Maße vorliegen. Entsprechende Referenzdaten wurden parallel zu EVA durch das Projekt der ARGE Benchmark [40] gesammelt. Der Abschlussbericht lag zum Ende der Bearbeitung dieses Projekts noch nicht in veröffentlichter Form vor.

5.1.2.1 Grundlagen und Methodik

Für die Gebäude wurden Jahres-Energieverbrauchskennwerte entsprechend VDI 3807 mit Bezug auf die NGF berechnet (siehe 4.5) und sowohl getrennt für Strom, Wärme und Kälte sowie als gesamter Jahres-Primärenergiekennwert verglichen. Soweit möglich wurden die Daten aus mehreren Jahren verwendet und arithmetisch gemittelt. Grundlage bildeten in der Regel die monatlichen oder jährlichen Abrechnungen der Energieversorger sowie monatliche händische Zählerablesungen des Gebäudemanagements.

Als Wetterdaten wurden soweit vorhanden Daten von Wetterstationen der Gebäude oder von nahe liegenden Stationen des DWD bzw. der meteocontrol GmbH genutzt.

5.1.2.2 Ergebnis

Für alle Gebäude konnten spezifische Verbrauchskennwerte ermittelt werden. Lediglich für die Gebäude, in denen einzelne Mieter direkt mit dem Energieversorger abrechneten und deshalb keine Werte vorlagen, mussten die Verbrauchswerte der Mietbereiche für Beleuchtung und Ausstattung überschlägig ergänzt werden.

Der Nutzen dieser Kennwerte zur Identifikation von Optimierungspotenzialen war für die hier untersuchten Gebäude sehr begrenzt. Bei einer Streuung der Werte um mehr als den Faktor 3 innerhalb der gleichen Nutzungskategorie „Bürogebäude“ und annähernd gleichem Gebäudealter konnten lediglich zwei starke Ausreißer identifiziert werden, die anschließend auch großes Optimierungspotenzial zeigten. Hinweise auf einzelne konkrete Potenziale zur Betriebsoptimierung konnten nicht gewonnen werden.

Ein hoher Kennwert liefert in der Regel jedoch nur wenig Argumente für eine weitere Investition in eine Gebäudeanalyse, da jedes Objekt individuell zahlreiche mögliche „gute Gründe“ für hohe Verbrauchswerte hat, wie z.B. einen zentralen Server oder lange Nutzungszeiten. Diese Argumente können nur auf Basis der Verbrauchskennwerte nicht entkräftet werden, da die Kennwerte keine konkreten Optimierungspotenziale aufzeigen. Kennwerte des gesamten Energieverbrauchs von Gebäuden werden deshalb als geeignet angesehen, um Optimierungsmaßnahmen großer Immobilien-Gruppen zu priorisieren und um Einsparerfolge zu bemessen, denen die Kennwerte als Bezugsgröße dienen.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energie- Konzepten

Tabelle 28 zeigt die Bewertung der Methodik auf Basis der Erfahrungen in 19 Gebäuden.

Tabelle 28 Bewertung der Verbrauchskennwerte

Methodik	Berechnung von flächenspezifischen Verbrauchskennwerten einzelner Gebäude und Vergleich mit anderen Gebäuden bzw. Referenzwerten anderer Studien
Voraussetzungen	- Gebäudeflächen (möglichst nach DIN 277, min. die NGF) - Jahres-Verbrauchsdaten Strom und Wärme (wenn möglich für mehrere Jahre) - Kenntnis der Gebäudenutzung (in diesem Fall „Bürogebäude“)
Aufwand „Dienstleister“	< 1 Arbeitstag
Aufwand „Eigentümer“	< 1 Arbeitstag
Anwendungserfahrungen	- Kennwerte können für die meisten Gebäude mit wenig Aufwand erstellt werden, in der Regel können die Erstellung und der Vergleich durch das verantwortliche Personal vor Ort erfolgen, da keine technischen Fachkenntnisse erforderlich sind. Voraussetzung ist lediglich die Kenntnis der jeweiligen Referenzwerte. - Konkrete Optimierungspotenziale können für einzelne Gebäude nicht mit Sicherheit identifiziert werden. Damit fehlt in der individuellen Gebäudeanalyse – außer bei groben Ausreißern – ein wichtiges Argument für eine weitere Bearbeitung. - Die Methode ist geeignet für die Priorisierung der Optimierung großer Gebäudeportfolios und zur Bewertung von Einsparungen

5.1.3 Verbrauchskennlinien

5.1.3.1 Grundlagen und Methodik

Für die Erstellung von Kennlinien von Verbrauchswerten über der Außentemperatur oder Jahresdauerlinien ist eine zeitlich feiner aufgelöste Erfassung des Energieverbrauchs notwendig. Hierzu wurden die vorhandenen Messeinrichtungen genutzt und teilweise ergänzt. Die Datenerfassung erfolgte sowohl über die Energieversorger, die die Daten zum Stromverbrauch zur Verfügung stellten, über die Gebäudeleittechnik sowie über das Datenerfassungssystem der Fa. dezem.

Als Wetterdaten wurden soweit vorhanden Daten von Wetterstationen der Gebäude oder von nahe liegenden Stationen des DWD bzw. der meteocontrol GmbH genutzt.

5.1.3.2 Ergebnis

Die kontinuierliche Erfassung von detaillierten Verbrauchsdaten und die Entwicklung von Kennlinien waren in den Gebäuden nur teilweise möglich. Während Stromlastgänge für die gesamten Gebäude von einigen Energieversorgern zur Verfügung gestellt wurden, musste eine entsprechende Erfassung für den Wärme- und Kälteverbrauch zunächst installiert bzw. die Erfassung von Messdaten erst aufgeschaltet werden. Entsprechend konnte ihre Auswertung der Bearbeitung zeitlich nicht vorangestellt werden, sondern nur zur Plausibilisierung bzw. Unterstützung der Erfolgskontrolle dienen. Dies wird in der Regel vermutlich auch bei vergleichbaren Audits außerhalb des Projekts der Fall sein.

Für einige Gebäude konnten jedoch Kennlinien täglicher Energieverbräuche für Strom, Wärme und Kälte über der Außenlufttemperatur und Jahresdauerlinien der Stromleistung auf Basis 15- bzw. 60-minütiger Werte erstellt und analysiert werden. Hier konnten konkrete Hinweise auf Probleme identifiziert werden, wie z.B.

- ein hoher Kälteverbrauch im Winter und
- lange Laufzeiten von zentralen (Lüftungs-)Anlagen.

Auch signifikante Änderungen der Betriebsführung hätten ggf. aufgezeigt werden können, konnten jedoch aus den Kennlinien nicht abgeleitet werden.

Bei fünf Gebäuden wurden Verbrauchsdaten als Tageswerte erfasst. Abbildung 84 zeigt für ein Gebäude beispielhaft die mittleren Tagesverbrauchswerte an Werktagen über der mittleren Außentemperatur für Heiztage mit einer Tagesmitteltemperatur von $t_m < 15^\circ\text{C}$.

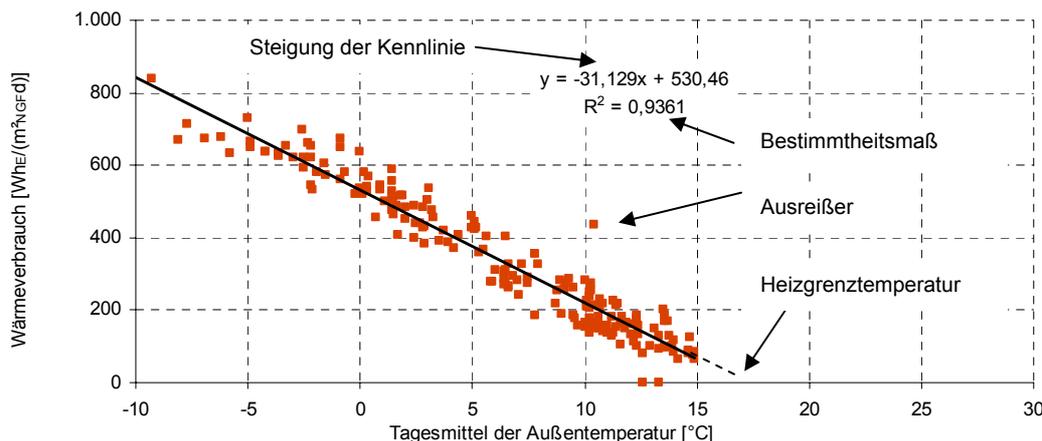


Abbildung 84 Beispiel: Mittlerer täglicher Wärmeverbrauch an Werktagen über der mittleren täglichen Außentemperatur (für $t_m < 15^\circ\text{C}$)

Alle Gebäude haben, z.B. für witterungsunabhängige Verbraucher wie Küchen, auch oberhalb der Heizgrenztemperatur einen Wärmeverbrauch. Dadurch, dass nur die Heiztage mit $t_m < 15^\circ\text{C}$ für die Regression berücksichtigt wurden, konnten Kennlinien für den „normalen“ Heizbetrieb berechnet werden. Aus den Heizkennlinien können folgende Kennwerte zum Vergleich abgeleitet werden:

- **Heizgrenztemperatur (HGT)**
Die Heizgrenztemperatur wurde bestimmt durch den 0-Durchgang durch die X-Achse, bei einer Temperatur, bei der (fiktiv) keine Wärme verbraucht wird.
- **Steigung der Kennlinie**
Die Steigung der Kennlinie drückt die Effizienz der des Gebäudes aus. Der Wert ist negativ, indem er angibt, um wie viel $\text{Wh}_E/(\text{m}_{\text{NGF}}\cdot\text{d})$ der Wärmeverbrauch bei einem Kelvin Absenkung der mittleren Tagestemperatur ansteigt.
- **Bestimmtheitsmaß R^2**
 R^2 drückt aus, wie stark der Wärmeverbrauch statistisch durch die Außentemperatur erklärt werden kann. Damit kann auf mögliche witterungsunabhängige Betriebseinflüsse, Störungen oder Änderungen in der Betriebsführung geschlossen werden.

Die Tageswerte sind nicht einzeln witterungsbereinigt und deshalb über der Außentemperatur und nicht über den Heizgradtagen aufgetragen. Sie lassen eine Differenzierung der Verbrauchswerte in Werk- und Wochenendtage zu. Aus diesen kann auf eine abweichende Betriebsführung an den Wochenenden geschlossen werden.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Tabelle 29 zeigt zu 4 Gebäuden Kennwerte zur Korrelation des Wärmeverbrauchs mit der mittleren Tagesaußentemperatur.

Tabelle 29 Kennwert zum Wärmeverbrauch von vier Gebäuden

	Werktage			Wochenendtage			Anteil Verbrauch an Heiztagen am Gesamtwärmeverbrauch [%]
	HGT [°C]	Steigung [Wh _E /(m ² _{NGFA})/°C]	R ² [-]	HGT [°C]	Steigung [Wh _E /(m ² _{NGFA})/°C]	R ² [-]	
001	17,0	31,1	0,94	16,9	16,6	0,91	95%
002	16,3	29,9	0,90	15,8	23,2	0,84	96%
004	19,5	36,7	0,96	19,0	36,4	0,89	94%
014	20,0	15,5	0,86	18,4	15,9	0,83	94%

Bei allen Gebäuden liegt das Bestimmtheitsmaß zwischen 0,83 und 0,96. Der Wärmeverbrauch lässt sich also bei den Gebäuden statistisch gut aus der mittleren Tagesaußentemperatur erklären. Die Heizgrenztemperaturen liegen zwischen 15,8°C und 20°C. Sie liegen an den Wochenenden 0,1 bis 1,6 K unter denen der Werktagen.

Die Steigung ist bei den Gebäude 002, 004 und 014 an Werktagen und Wochenenden annähernd gleich. Nur bei Gebäude 001 lag die Steigung an Wochenenden bei rund der Hälfte derjenigen an Werktagen. Der Wärmeverbrauch der Gebäude an den Heiztagen machte bei den Gebäuden 94 – 96 % des gesamten Wärmeverbrauchs aus.

In ähnlicher Weise konnten die Tageswerte des Kälteverbrauchs der Gebäude analysiert werden, siehe Abbildung 85.

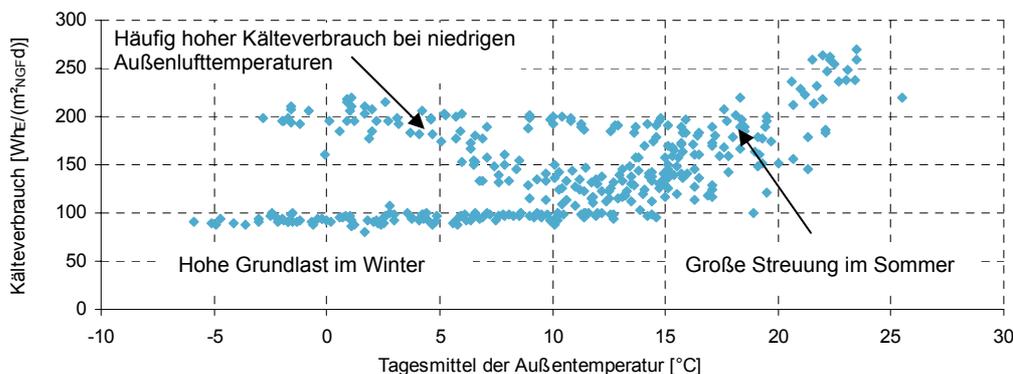


Abbildung 85 Beispiel: Mittlerer täglicher Kälteverbrauch über der mittleren täglichen Außentemperatur (für alle Tage)

Die einzelnen Kennlinien konnten nur vage hinsichtlich der Qualität der Betriebsführung der Gebäude interpretiert werden. Aus den Kennlinien lässt sich nicht unmittelbar ableiten, ob z.B. die Gebäude 001 und 002 eine besonders effiziente Wochenendabsenkung der Heizungsanlage haben oder aber im Betrieb an Werktagen besonders ineffizient betrieben werden.

Allerdings bieten die Kennlinien eine Möglichkeit zur Betriebsüberwachung, da Veränderungen in der statistischen Verteilung schnell erkannt werden können. Dies entspricht dann nicht einem SOLL-IST-Vergleich, sondern einem IST_{alt}-IST_{neu}-Vergleich. Diese konnten im Rahmen des Projekts nicht bearbeitet werden.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

Bei sechs Gebäuden wurde der gesamte Stromverbrauch in kleineren Zeitschritten von 15 bzw. 60 Minuten gemessen. Aus diesen Werten wurden Jahresdauerlinien erzeugt, siehe Abbildung 86. An den Jahresdauerlinien können für den Betrieb charakteristische Merkmale abgeleitet werden. Die Merkmale sind nicht eindeutig zuzuordnen, da es technisch keine eindeutigen „Gesamt“- Betriebszustände der Gebäude gibt. Die abgeleiteten Werte sind deshalb nur als überschlägige Angaben zu verstehen.

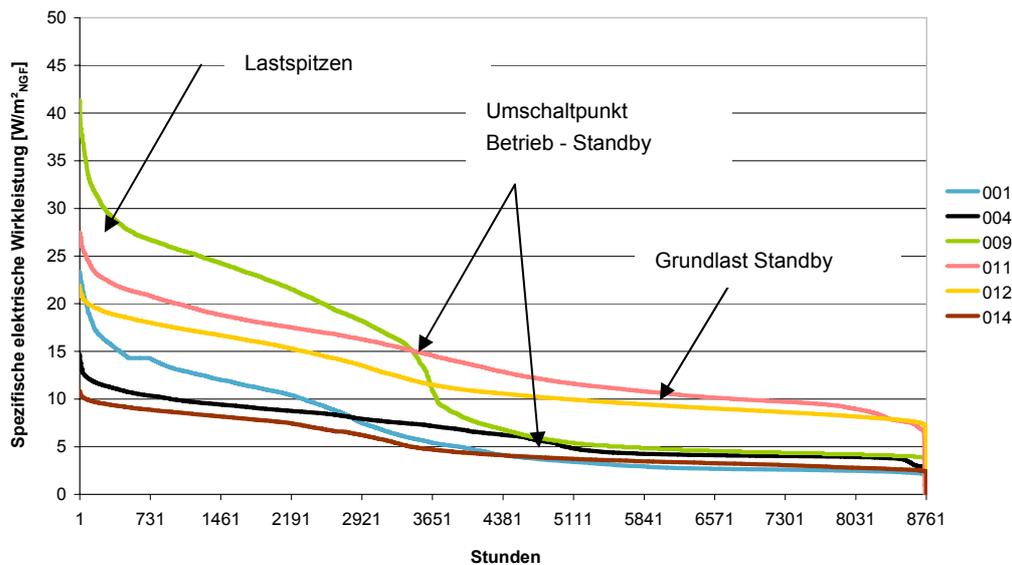


Abbildung 86 Jahresdauerlinien der spezifischen Wirkleistung

Die Wirkleistung außerhalb der Nutzungszeiten liegt bei vier Gebäuden zwischen 3 und 5 W/m^2_{NGF} ; zwei Gebäude liegen mit 8-10 W/m^2_{NGF} um rund das Doppelte darüber. Hieraus kann nicht auf eine konkrete Einsparmaßnahme geschlossen werden, jedoch legt die Analyse nahe, die Grundlast der Gebäude auf Dauerläufer zu untersuchen.

In nur rund 200 h im Jahr nehmen die Gebäude Wirkleistungen auf, die eine Erhöhung der jährlichen Höchstwerte um bis zu 30 % der normalen Höchstleistungen verursachen. Der Anstieg ist bei den Gebäuden 001 und 009 besonders ausgeprägt und auf die Kälteerzeugung im Sommer zurückzuführen. Im Betrieb kann ggf. durch ein Lastmanagement eine Reduzierung der Lastspitzen erfolgen. In der Planung können solche Spitzen z.B. mit trägen Kühlsystemen, die als Speicher wirken, vermieden werden.

Die Jahresbetriebsstunden können in etwa am Umschaltzeitpunkt von Grundleistung auf Betriebsleistung abgelesen werden. Die Betriebsstunden der Gebäude, also die Zeit in der der größte Teil der Stromverbraucher in Betrieb ist, liegen zwischen rund 2.200 und 3.700 h/a. So indizierte der Anstieg der Jahresdauerlinie zu Gebäude 004 die langen Laufzeiten der zentralen Lüftungsanlagen.

Die Analyse der stündlichen mittleren Wirkleistung der Gebäude ist auch in Bezug auf die Unterschiede zwischen Strombedarf und -verbrauch aufschlussreich. Die Berechnung des Strombedarfs nach DIN V 18599 unterstellt für Beleuchtung, Luftförderung und Kälteerzeugung rund 5.000 h/a, in denen die Systeme *keinen* Strom verbrauchen, da das Gebäude bzw. die entsprechenden Nutzungen nicht in Betrieb sind. Die Verbrauchsdaten zeigen jedoch auch im Stand-By für die untersuchten Gebäude rund 5.000 h/a mit Wirkleistungen (Endenergie) im Stand-By von 3-10 W/m^2_{NGF} . Dies ergibt einen Anteil am jährlichen Primärenergieverbrauch von 45 bis 150 $kWh_{PE}/(m^2_{NGF}a)$, die in der Bedarfsermittlung nicht berücksichtigt sind!



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

Tabelle 28 zeigt eine Zusammenfassung die Bewertung der Methodik auf Basis der Erfahrungen in 19 Gebäuden.

Tabelle 30 Bewertung der Verbrauchskennlinien

Methodik	Entwicklung und Interpretation der Kennlinien von zeitlich fein aufgelösten Verbrauch- oder Leistungswerten sowie von Jahresdauerlinien der Wirkleistung
Voraussetzungen	- Gebäudeflächen (möglichst nach DIN 277, min. die NGF) - Verbrauchsdaten Strom, Wärme, ggf. Kälte über mindestens ein halbes Jahr (wenn möglich für mehrere Jahre) als Wochenwerte oder in kleineren Zeitschritten - Kenntnis der grundsätzlichen Gebäudefunktionen (siehe Bestandsaufnahme)
Aufwand „Dienstleister“	2-3 Arbeitstage (wenn die Daten vom Eigentümer oder Energieversorger in geeigneter Form verfügbar gemacht werden können)
Aufwand „Eigentümer“	< 1 Arbeitstag
Anwendungs- erfahrungen	- Kennlinien konnten mit wenig Aufwand erstellt werden, wenn die entsprechenden Daten in geeigneter Form vorlagen. Voraussetzung war, dass die Daten rückwirkend zur Verfügung standen. Dies war insbesondere bei Wärme- und Kälteverbrauchswerten die Ausnahme. - Falls die entsprechenden messtechnischen Einrichtungen nicht vorliegen, war eine entsprechende Anfangsinvestition notwendig. Diese muss im Rahmen von Dienstleistungen durch andere Argumente begründet werden. - Falls die Messtechnik vorhanden war, aber Daten nicht aufgezeichnet wurden, konnte die Bearbeitung erst mit zeitlicher Verzögerung erfolgen. Dies ist angesichts der geringen und unkonkreten Aussagekraft der Kennlinien für Dienstleistungen voraussichtlich problematisch. - Konkrete Optimierungspotenziale können für einzelne Gebäude nicht mit Sicherheit identifiziert werden. Es können jedoch Hinweise auf Probleme abgeleitet werden, die die weitere Bearbeitung unterstützen können.

5.1.4 Vergleich Energiebedarf – Energieverbrauch

Mit der DIN V 18599 stand im Verlauf des Projekts eine einheitliche Methodik zur Berechnung des Energiebedarfs der Gebäude zur Verfügung. Die zum Teil sehr komplexen Energiekonzepte und großen Gebäude konnten mit dem zum Zeitpunkt der Bearbeitung zur Verfügung stehenden Excel-Werkzeug des Fraunhofer Instituts für Bauphysik nur bedingt abgebildet werden.

5.1.4.1 Grundlagen und Methodik

Die Bearbeitungsweise und die Grundlagen für die Berechnung des Energiebedarfs und die Berechnung der Energieverbrauchswerte sind unter Kapitel 4.5 dieses Berichts und in den einzelnen Objektberichten dargestellt. Die unterschiedlichen Bilanzgrenzen des Energiebedarfs und die Randbedingungen der Bedarfsberechnung unterscheiden sich deutlich von denen der Verbrauchsmessung. Der Aufwand im Projekt musste an dieser Stelle begrenzt werden. Es wurden deshalb nur einfache Vergleiche zwischen Bedarf und Verbrauch durchgeführt.

Neben den Gesamtbedarfswerten für Wärme, Kälte und Strom wurden in den Bereichen Beleuchtung und Luftförderung auch Teilenergiekennwerte bzw. einzelne Parameter als Referenzwerte verwendet. Die tatsächlich installierte Beleuchtungsleistung wurde mit den Ansätzen der DIN V 18599 (Tabellenverfahren) verglichen (4.5.8). Ebenso wurden die auf Basis von Kurzzeit-Messungen berechneten spezifischen Ventilatorleistungen bzw. spezifischen Energiekennwerte sowie die realen Betriebszeiten der Lüftungsanlagen mit den Randbedingungen und Energiebedarfskennwerten für die Luftförderung nach DIN V 18599 für die einzelnen Zonen verglichen (4.5.7).

Zum Vergleich von Energiebedarf nach DIN V 18599 und realen Betriebsdaten liegt noch keine geschlossene Methodik vor. Es sollte deshalb zunächst nur die Frage beantwortet werden, ob der Vergleich eine Aussage zur Energieeffizienz der Betriebsführung ermöglicht. Als Indikation wurde gewertet, wenn ein Verbrauchswert oder eine sonstiger Kennwert höher als ein Bedarfswert bzw. die Annahme in der DIN V 18599 lag.

5.1.4.2 Ergebnis

Beim Vergleich Wärmeverbrauch – Wärmebedarf (siehe 4.5.3) zeigten zwei Gebäude eine Indikation entsprechend der Definition „Verbrauch > Bedarf“. Bei Gebäude 011 konnten anschließend erhebliche Einsparpotenziale festgestellt werden, die sich zum Teil auf den Wärmeverbrauch bezogen. Anzumerken ist hier allerdings, dass für dieses Gebäude der geringste Wärmebedarf aller Gebäude berechnet wurde.

Für die Kälteerzeugung wurden die Berechnungen des Jahres- Primärenergiebedarfs nach DIN V 18599 und die entsprechenden Verbrauchswerte verwendet, siehe Abbildung 87. Alle Verbrauchswerte lagen über den Bedarfswerten.

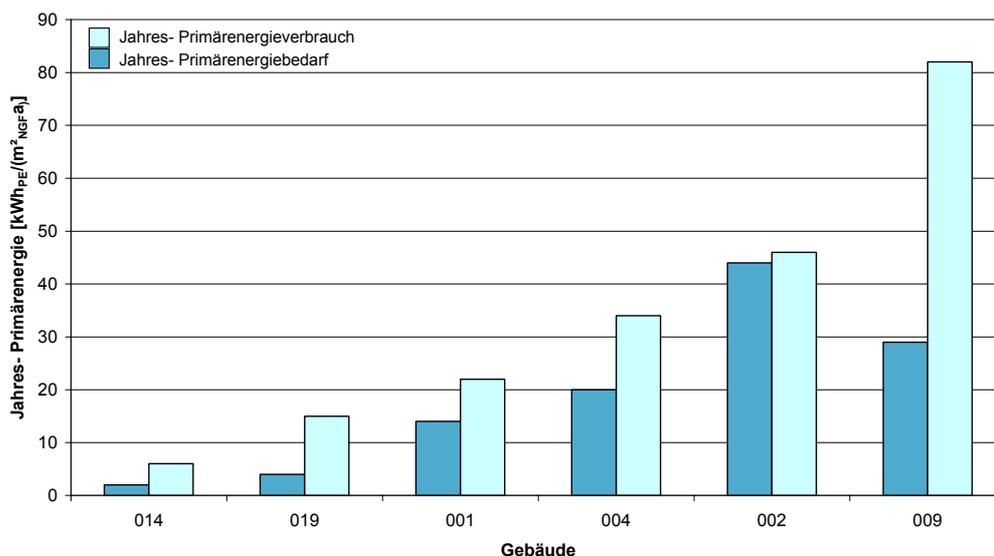


Abbildung 87 Vergleich des gesamten Jahres- Primärenergiebedarfs / –verbrauchs für die Kälteerzeugung

In Bezug auf Optimierungspotenziale bei dem Vergleich der Verbrauchs- und Bedarfswerte für die Kälte ergaben die Werte wenig plausiblen Aussagen. Bei Gebäude 014 konnte kein signifikantes Optimierungspotenzial im Betrieb festgestellt werden, obwohl der Verbrauch mehr als doppelt so hoch war wie der Bedarf, wenn auch insgesamt vergleichsweise niedrig. Der hohe Verbrauch in Gebäude 019 wurde fast ausschließlich durch die Kühlung zentraler IT-Anlagen verursacht. Gleiches gilt in große Maße auch für Gebäude 002, bei dem Bedarf und Verbrauch fast identisch sind.

Der hohe Verbrauch bei Gebäude 009 deutete auf das tatsächlich bestehende Problem eines ineffizienten Betriebs der Kälteanlage und vergleichsweise niedriger Raumlufttemperaturen im Sommer hin.

Abbildung 88 zeigt den Vergleich der Kennwerte für den jährlichen Primärenergiebedarf nach DIN V 18599 für Beleuchtung, Luftförderung und Kälteerzeugung neben dem gesamten Stromverbrauch der Gebäude.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

EVA

Evaluierung von Energie- Konzepten

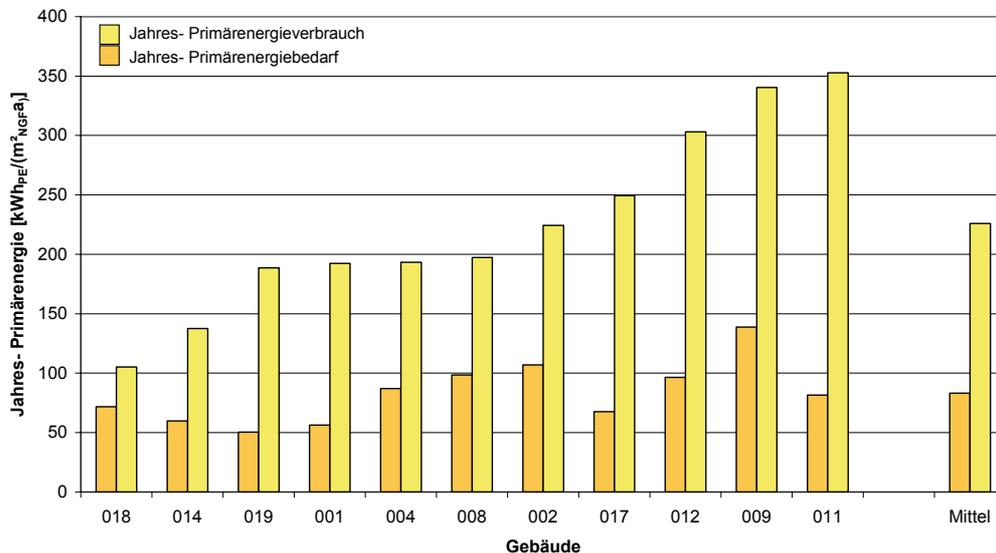


Abbildung 88 Vergleich der Kennwerte für den Jahres-Primärenergiebedarf Strom aus nach DIN V 18599 (Beleuchtung, Luftförderung, Kälteerzeugung) sowie des Gesamtstromverbrauchs der Gebäude (einschließlich Ausstattung)

Alle Verbrauchswerte liegen erwartungsgemäß deutlich, zum Teil um mehr als das 3-fache, über den Bedarfswerten. Eine Aussage in Bezug auf Optimierungspotenziale kann aus dem Vergleich nicht abgeleitet werden.

Der Vergleich von Energiebedarfswerten mit den entsprechenden Verbrauchswerten bringt in der hier dargestellten Form kaum Hinweise auf Optimierungspotenziale. Die Werte ließen nur in einem Fall auf ein konkretes Problem schließen. Gleichzeitig ist der Aufwand zur Durchführung der Berechnung nach DIN V 18599 im Vergleich zur Erhebung der Verbrauchskennwerte erheblich.

Konkrete Hinweise auf Optimierungspotenziale ließen sich aus dem Vergleich der installierten Beleuchtungsleistungen mit den Ansätzen der DIN V 18599 ableiten. Die Reduzierung der installierten Beleuchtungsleistung ist jedoch in der Betriebspraxis nicht immer umsetzbar, da sie oft zu einer optischen Beeinträchtigung führt. In Einzelfällen konnten jedoch Leuchtmittel entfernt bzw. effizientere Regelungen umgesetzt werden.

Die Betriebszeiten sowie die Kennwerte für die Ventilatorleistung und den Energieverbrauch der Lüftungsanlagen konnten mit geringem messtechnischem Aufwand ermittelt werden. Der Vergleich mit den entsprechenden Werten der DIN V 18599 kann einfach und leicht nachvollziehbar durchgeführt werden. In den bearbeiteten Gebäuden konnten jedoch nur durch den Vergleich der Betriebszeiten Einsparpotenziale aufgezeigt werden.

Tabelle 31 zeigt die Bewertung der Methodik auf Basis der Erfahrungen in 19 Gebäuden.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energie- Konzepten

Tabelle 31 Bewertung Vergleich Energiebedarf - Energieverbrauch

Methodik	Der Energiebedarf wird entsprechend DIN V 18599 berechnet. Anschließend werden Verbrauchswerte und sonstige Kennwerte verglichen.
Voraussetzungen	- vollständige Dokumentation einschl. Gebäudeflächen, Angaben zur Gebäudehülle und Klimatisierungsfunktionen. - Verbrauchsdaten
Aufwand Dienstleister	6-10 Arbeitstage einschließlich Bestandsaufnahme
Aufwand Eigentümer	1-2 Arbeitstage
Anwendungs- erfahrungen	- Die Berechnung des Energiebedarfs kann je nach Art, Größe und Komplexität des Gebäudes aufwändig sein. Die Abbildung innovativer Systeme kann mit den vorliegenden Werkzeugen nicht oder nur eingeschränkt erfolgen. Die Umsetzung der DIN V 18599 in zukünftigen Software-Lösungen bleibt abzuwarten. - Da in Zukunft für alle Neubauten und Sanierungen eine entsprechende Berechnung erstellt werden muss, kann diese für die Betriebsoptimierung in Zukunft genutzt werden. Voraussetzung ist, dass die Berechnung im Lebenszyklus gepflegt und in der notwendigen Weise nachgeführt wird. - Teilenergiekennwerte können in Verbindung mit einfachen Prüf- und Messverfahren effektiv genutzt werden. - Die Berechnungen wurden hier ohne Berücksichtigung der individuellen Betriebsführung durchgeführt. Ob ein entsprechend adaptiver Einsatz der Berechnungsmethodik einen aussagekräftigen Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch im Sinne von Modellrechnungen ermöglicht, konnte im Rahmen des Projekts nicht überprüft werden.

5.1.5 Analyse von Daten der Gebäudeautomation

Für die Analyse von Daten der Gebäudeautomation sind parallel zu diesem Projekt u. a. im Rahmen von IEA Annex 40 und 47 Werkzeuge und Methoden entstanden. Diese standen für eine Bewertung allerdings noch nicht zur Verfügung.

5.1.5.1 Grundlagen und Methodik

Daten der Gebäudeautomation ermöglichen eine detaillierte Analyse der Betriebsführung der zentralen Anlagentechnik. Voraussetzung für die Bearbeitung war eine zentrale Leittechnik, eine aussagekräftige Dokumentation der Datenpunkte und ihrer Funktionen sowie die Möglichkeit, Daten aus dem System in verwendbarer Form zu exportieren. Die Daten wurden in der Regel im Zeitschritt von 15-Minuten als Momentanwert aufgezeichnet. Für die Auswertung der Daten im Sinne einer Betriebsoptimierung standen noch keine umfassende Methoden bzw. Werkzeuge zur Verfügung. Die Auswertung erfolgte deshalb in der Regel durch Auswertung von Liniengrafiken von Messwerten einzelner Anlagen.

5.1.5.2 Ergebnis

Daten aus der Gebäudeleittechnik konnten nur im Einzelfall genutzt werden. Insbesondere der Datenexport und die aussagekräftige Dokumentation stellten sich als sehr aufwändig heraus. Die Bearbeitung konnte nur mit erheblichem zeitlichem Vorlauf erfolgen, da in keinem der Gebäude bereits entsprechende Daten aufgezeichnet wurden.

Bei den Gebäuden, bei denen er möglich war, konnten jedoch wichtige Optimierungspotenziale im Bereich Energieeffizienz und Nutzerkomfort identifiziert werden, die sonst nicht erkennbar waren. Diese beziehen sich überwiegend auf die Mess-, Steuer- und Regelungstechnik sowie Anlagen, die ein komplexes Regelungsverhalten aufweisen und bei denen diskontinuierliche Betriebszustände identifiziert werden mussten. Dies betraf u.a. den Betrieb von Befeuchtern und Bauteiltemperierungen, schadhafte Ventile oder



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

auch allgemein die ungenügende Genauigkeit der Sensorik auf Grund mangelhaften Strahlungsschutzes oder fehlerhafte Kalibrierung.

Insbesondere für Gebäude mit komplexen Regelungsstrategien ist die Möglichkeit zur detaillierten Analyse der Daten der Gebäudeautomation unbedingt erforderlich. Um diese wirtschaftlich zu ermöglichen, sollten die Grundlagen für die Datenerfassung einschließlich ggf. zusätzlich installierter Messtechnik unbedingt bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden und als Teil der Gebäudeautomationssysteme umgesetzt werden.

Für die Analyse der Daten stehen mittlerweile z.B. aus dem Projekt OASE Werkzeuge zur effektiveren Visualisierung von regelungstechnischen Zusammenhängen zur Verfügung. Die detaillierte Evaluierung ihrer Effektivität und Wirtschaftlichkeit wird als dringender Forschungsbedarf angesehen, da sie von großer Bedeutung für den optimalen Betrieb innovativer Gebäude sind. Ein zu untersuchender, möglicherweise preistreibender Faktor sollte dabei die Aktualität der Datenanalyse sein. Zwar ist eine automatisierte Datenerfassung heute in der Regel möglich, stellt jedoch zusätzliche Anforderungen an die Infrastruktur. Wenn die Datenauswertung im Sinne einer Betriebsanalyse erfolgt, ist eine Datenübertragung im Wochen- oder Monatsrhythmus ausreichend. Erst für eine kontinuierliche Betriebsüberwachung ist eine tagesaktuelle Übertragung oder Echtzeit-Erfassung notwendig. Ob diese bei den zu erwartenden Einsparpotenzialen wirtschaftlich ist, ist zu klären.

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

Tabelle 32 zeigt eine Zusammenfassung die Bewertung der Methodik auf Basis der Erfahrungen in 19 Gebäuden.

Tabelle 32 Bewertung der Analyse von Daten der Gebäudeautomation und funktionaler Tests

Methodik	Analyse von Liniengrafiken einzelner Systemparameter der Gebäudeautomation.
Voraussetzungen	- Vollständige Dokumentation einschl. Gebäudeflächen, Angaben zur Gebäudehülle und Klimatisierungsfunktionen. - Aussagekräftige Dokumentation der Datenpunkte - Geeigneter Export von Daten der Gebäudeautomation über mehrere Monate
Aufwand Dienstleister	> 10 Arbeitstage (je nach Umfang des Monitorings und Qualität der Dokumentation auch deutlich mehr)
Aufwand Eigentümer	1-2 Arbeitstage (in der Regel ist zusätzlich die Beauftragung eines externen Dienstleisters bzw. der Hersteller des Gebäudeautomationssystems erforderlich)
Anwendungserfahrungen	- In der Regel hoher technischer und organisatorischer Aufwand zu Erlangung aussagekräftiger Daten. - Wenn Daten vorlagen, konnten die entsprechenden Anlagen in der Regel schnell und aussagekräftig analysiert werden. - Es wurden zahlreiche, insbesondere nicht-investive Optimierungspotenziale identifiziert. - Die Anwendung dieser Analysen kann durch die Berücksichtigung in der Planung und Errichtung erheblich vereinfacht werden und stünde damit auch in der Inbetriebnahmephase bereits zur Verfügung.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3635
 Fax: 0531 / 391 - 3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

5.1.6 Zusammenfassung

Zur Analyse des Gebäudebetriebs wurden bei den EVA-Gebäuden verschiedenen Methoden eingesetzt. Die Effektivität der Methoden hinsichtlich der Identifizierung von Optimierungspotenzialen war dabei sehr unterschiedlich.

Die Bestandsaufnahme muss mit Ausnahme der einfachen Kennwertbildung Grundlage jeder Bearbeitung sein, um ein entsprechendes Verständnis für das jeweilige Gebäude zu bekommen. Sie ist in der Regel mit geringem zeitlichem Vorlauf in kompakter Form durchführbar und kann auch bei eingeschränkter Qualität der Gebäudedokumentation erfolgen.

In der Regel können einfache Verbrauchskennwerte im Zuge der Bestandsaufnahme gebildet werden. Auf dieser Grundlage können für einen Experten erkennbare Probleme identifiziert werden. Der Kennwert kann keine konkreten Einsparpotenziale aufzeigen, jedoch bei erheblichen Überschreitungen von Referenzwerten das Vorhandensein von Einsparpotenzialen andeuten und so Argumente für eine weitere Bearbeitung liefern. Er kann außerdem als Basis für die Bewertung von Einsparungen dienen.

Verbrauchskennlinien für Wärme und Kälte konnten meist nur mit zeitlichem Vorlauf für die Installation von Messtechnik und die Datenerfassung erfolgen. Stromdaten wurden von einigen Energieversorgern zur Verfügung gestellt. Es konnten in der Regel keine konkreten Fehlfunktionen abgeleitet werden, jedoch Hinweise für weitere Analysen abgeleitet werden. Der Aufwand bei verfügbaren Daten war in Verbindung mit einer Bestandsaufnahme vernachlässigbar.

Die ersten drei Analysemethoden können mit einem Aufwand durchgeführt werden, der in der Praxis vermutlich ohne vorherige Indizierung von konkreten Einsparpotenzialen vertretbar ist. Sie können Anhaltspunkte für Optimierungspotenziale geben, hängen dabei aber insbesondere bei der Begehung der Gebäude und der Analyse von Kennlinien stark von der Kompetenz und Erfahrung des Bearbeiters ab.

Aus dem Vergleich von Energiebedarf und –verbrauch konnten in diesem Projekt keine Optimierungspotenziale abgeleitet werden. Hier sollten die zurzeit auf den Markt kommenden Software-Produkte genutzt werden, um detailliertere Anwendungen zu erproben.

Die Nutzung von Daten der Gebäudeautomation stellt eine wichtige Möglichkeit zur Betriebsoptimierung dar. Durch ihre Analyse konnten in den entsprechenden Gebäuden zahlreiche Optimierungspotenziale identifiziert werden. Kritischer Punkt an dieser Methode ist die Wirtschaftlichkeit. Zwar konnten einige der Maßnahmen mit geringen Investitionen umgesetzt werden. Jedoch ist der Aufwand der Analyse erheblich und zeitaufwändig.

Insbesondere für letztere Methode ist deshalb für eine wirtschaftliche Anwendung erforderlich, dass die entsprechenden Möglichkeiten für Messung und Datenerfassung und –export in der Planung berücksichtigt werden, um spätere vergleichsweise hohe Kosten zu vermeiden.

Die Definition konkreter Planungsziele in Kombination mit der Definition eindeutiger Prüfmethode für die einzelnen Ziele im Betrieb wird auf Basis der Erfahrungen in diesem Projekt als wichtigste Voraussetzung für die Betriebsoptimierung angesehen. Es besteht Forschungs- und Entwicklungsbedarf insbesondere hinsichtlich des Einsatzes und der Wirtschaftlichkeit von entsprechenden Messkonzepten, der notwendigen Datenerfassungsstruktur und der einzusetzenden Analysemethoden. Die hierzu geplante nächste Phase des Projekts, die die umfassende Analyse und Optimierung des Gebäudebetriebs bei einzelnen Objekten dokumentieren wird, soll durch den Aufbau des Forschungsfelds EnBop – Energetische Betriebsoptimierung umgesetzt werden.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

5.2 Optimierungspotenziale

Potenziale zur Optimierung des Gebäudebetriebs sind ein sehr umfangreiches und vielfältiges Forschungsthema. Da sie nicht Teil der Planung sind (wenn auch ggf. durch sie bedingt), kann das Optimierungspotenzial nicht in herkömmlicher Weise bewertet werden. Ziel des Projekts war es, grundsätzliche Einblicke in die Betriebsführung in den Gebäuden zu erlangen und zu prüfen, ob und in wie weit die „energetische Betriebsoptimierung“ Potenziale für die Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden bietet.

5.2.1 Grundlagen und Methodik

Die Identifikation von Optimierungspotenzialen erfolgte auf Grund der unterschiedlichen Gebäudekonzepte weitgehend individuell. Zur Bewertung wurden die Optimierungspotenziale gruppiert nach nicht- bzw. geringinvestiven und investiven Maßnahmen. Die Bewertung erfolgte überschlägig anhand des zu erwartenden Aufwands zur Umsetzung.

Zur Strukturierung der Ergebnisse wurden die identifizierten Optimierungspotenziale mehreren Klassen zugeordnet. Zum einen erfolgte eine Einstufung nach den Projektphasen Planung und Betriebsführung, in denen die Fehlfunktion verursacht wurde. Planung umfasst dabei die gesamte Konzeption des Gebäudes sowie ggf. im Nachhinein erfolgte Umplanungen oder baulichen Ergänzungen. Unter Betriebsführung wurden alle Aspekte zusammengefasst, die im Betrieb des Gebäudes beeinflusst werden können, also neben der Betriebsweise von Anlagen auch das Nutzerverhalten.

Darüber hinaus wurden die einzelnen Potenziale – soweit möglich – eindeutig einzelnen Gewerken zugeordnet, wie Heizen/Kühlen, Beleuchtung, MSR-Technik etc. Oft betraf ein Problem jedoch neben z.B. der Heizung auch die MSR-Technik. Die Wertung „MSR“ erfolgte nur, wenn die anderen Gewerke nicht direkt betroffen waren, z.B. bei einem fehlenden Strahlungsschutz eines Sensors.

Die einzelnen Aspekte wurden außerdem entsprechend ihren Auswirkungen den Bereichen Energieeffizienz und Nutzerkomfort zugeordnet. Hierbei waren doppelte Wertungen möglich.

In einigen Gebäuden wurden einige Maßnahmen bereits umgesetzt. Diese ergaben sich aus der Projektbearbeitung und waren eigentlich erst für ein Folgeprojekt vorgesehen. Sie sind auch in den Objektberichten dargestellt und zeigen zum Teil signifikante Verbesserungen des Betriebs bei geringen oder keinen Investitionen. In diesem Bericht werden die Erfahrungen zusammengefasst.

Es war im Rahmen des Projekts nicht möglich, eine vollständige Analyse aller bestehenden Anlagen durchzuführen und diese betriebswirtschaftlich zu berechnen. Die Ergebnisse sind deshalb als Schlaglichter zu sehen und stellen nur einen Teil der bestehenden Optimierungspotenziale dar.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

5.2.2 Ergebnis

In den Gebäuden wurden zahlreiche Optimierungspotenziale festgestellt. Tabelle 33 zeigt eine Übersicht der einzelnen Fehlfunktionen bzw. Maßnahmen getrennt nach nicht-/gering-investiven und investiven Maßnahmen.

Tabelle 33 Übersicht über die Probleme, Optimierungspotenziale und Maßnahmen
 Die Zahl in Klammern gibt die Häufigkeit an, in der die Potenziale vorlagen. Einige Fehlfunktionen mit unklaren Ursachen konnten nicht zugeordnet werden.

Nicht-/gering-investiv (30)	Investiv (22)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Außentemperatursensoren defekt/fehlerhaft montiert (2) ▪ Deaktivierte Sensorik und Aktorik im Raum ▪ Energieintensive Befeuchtungsregelung ▪ Fehlerhafte Referenzfühler zur Raumtemperaturregelung ▪ Geringe Heizleistung der BKT durch flinkeren Betrieb der Heizkörper ▪ Gleichzeitige Heizung und Nachtlüftung im Winter ▪ Gleichzeitiges Heizen und Kühlen des Zweileiter-Systems ▪ Keine Umschalthysterese für Heiz-/Kühlsysteme ▪ Natürliche Lüftung der Büros zu den Grünhöfen ▪ Natürliche Nachtlüftung ▪ Nicht kalibrierte bzw. defekte MSR- und Anlagentechnik ▪ Nutzung der Freien Kühlung (3) ▪ Nutzung der Freien Kühlung der IT-Anlagen ▪ Reduzierung der installierten Beleuchtungsleistung (5) ▪ Reduzierung der Laufzeiten der Lüftungsanlagen (4) ▪ Reduzierung des mechanischen Luftwechsels ▪ Regelung der Atriumklappen ▪ Regelung Sonnenschutz nur manuell ▪ Sonnenschutzregelung Ostfassade unpräzise ▪ Zeitprogramme Lüftungsanlagen fehlerhaft 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eingeschränkter Luftwechsel durch verändertes Raumkonzept ▪ Geringe Hinterlüftung des außen liegenden Sonnenschutzes ▪ Geringer mechanischer Luftwechsel ▪ Hohe Ansaugtemperaturen der dezentralen Lüftungsgeräte im Sommer ▪ Hohe Zulufttemperatur an den Fassadenöffnungen ▪ Kältemaschinen für Teillastbetrieb überdimensioniert (2) ▪ Keine separaten Heiz- /Kühlkreise für Nord- und Südfassaden ▪ Keine thermisch aktiven Massen ▪ Lüftführung im Raum unkomfortabel ▪ Lüftungsanlagen ohne Wärmerückgewinnung ▪ Präsenz-/Tageslichtabhängige Regelung der Bürobeleuchtung (3) ▪ Präsenzabhängige Regelung der Beleuchtung in Büros ▪ Präsenzabhängige Regelung der Beleuchtung in WCs (5) ▪ Unklare Funktionen des Bedienpaneels in den Büros ▪ Zusätzliche Dämmung der Bodenplatte über der Tiefgarage ▪ Eingeschränkte Kühlfunktion der Betonkernaktivierung ▪ Geringe Vollbetriebsstunden des BHKWs

Insgesamt wurden in den Gebäuden 55 Fehlfunktionen bzw. Optimierungsansätze identifiziert. Sie sind in den Einzelberichten entsprechend der jeweiligen Bearbeitungstiefe im Detail dargestellt und werden im Folgenden zusammengefasst.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten

5.2.3 Beispiele Heizen/Kühlen

Bei den Heizfunktionen konnten Probleme bei der Abstimmung der Vorrangregelung von flinken und trägen Systemen sowie der zeitlichen Abstimmung von Heiz- und Kühlbetrieb festgestellt werden. Bei Kälteanlagen entstanden Probleme u.a. durch die überdimensionierte Auslegung bzw. die nachträglich Erweiterung von Anlagen u.a. in Verbindung mit leistungsstarker IT-Kühlung. Die Möglichkeit zur freien Kühlung direkt durch Außenluft oder über Rückkühlwerke wurde trotz der grundsätzlichen technischen Möglichkeit überwiegend nicht genutzt, in der Regel mit Verweis auf hydraulische oder regelungstechnische Probleme.

▪ Gleichzeitige Heizung und Nachtlüftung

Auf Grund eines Fehlers in der Sensorik wurde in der Heizperiode gleichzeitig die Nachtlüftung aktiviert.

▪ Geringe Heizleistung der BKT durch flinkeren Betrieb der Heizkörper

Da die Heizkörper deutlich schneller auf Anforderung reagieren als die Betonkernaktivierung (BKT), lag die Heizleistung der BKT unter den Annahmen der Planung. Dadurch konnte zunächst der angestrebte Wärmeentzug aus dem Erdreich nicht erreicht werden.

▪ Keine Umschalthyse- re- se für Heiz-/ Kühlsysteme

Der alternierende Heiz- und Kühlbetrieb der Kapillarrohrmatten war ohne Umschalthyse- re- se programmiert worden. In der Regel werden Temperatur-Grenzwerte der Außenluft bzw. der Raumluft für den Heizbetrieb (unterer Grenzwert) und den Kühlbetrieb (oberer Grenzwert) mit einem Abstand programmiert; der Bereich zwischen den Grenzwerten, in denen weder geheizt noch gekühlt werden soll, bildet die Umschalthyse- re- se, die oft auch durch ein Zeitglied ergänzt wird, das das Umschalten verzögert.

Die fehlende Hysterese führte insbesondere in der Übergangszeit, in denen die Außentemperatur stark schwankt, zu einem häufigen und schlagartigen Umschalten vom Heizbetrieb in den Kühlbetrieb und umgekehrt, siehe Abbildung 89.

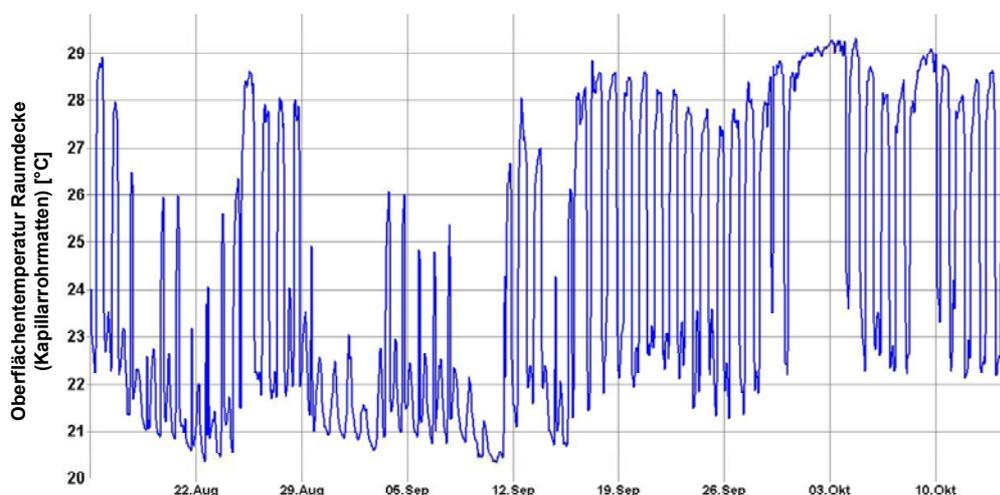


Abbildung 89 Oberflächentemperatur der Raumdecke: unmittelbares Umschalten von Heiz- auf Kühlbetrieb



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

Da die Bauteilaktivierung ein träges System ist und nur langsam auf die Veränderung reagiert, war der Effekt doppelt negativ: der Energieverbrauch stieg deutlich an, da jeweils morgens die gerade erwärmte Decke abgekühlt wurde und abends die gekühlte Decke wieder beheizt wurde. Gleichzeitig spürte der Nutzer hiervon fast nichts, da die Schwankungen zu schnell sind, um größere Temperaturen an der Deckenoberfläche zu erzeugen.

▪ Kältemaschinen für Teillastbetrieb überdimensioniert

Die Kältemaschine lief bei Teillastanforderung nicht zuverlässig, so dass für einen sicheren Betrieb überschüssige Kälte erzeugt und über eine Lüftungsanlage ungenutzt an die Umgebung abgegeben wurde. Als energieeffiziente Lösung kann ein Pufferspeicher integriert werden.

▪ Keine Nutzung der Freien Kühlung

Durch die nachträgliche Integration zusätzlicher Kühlkreise konnte die freie Kühlung über die Rückkühlwerke nicht mehr genutzt werden. Durch den Umbau des hydraulischen Systems kann das Problem gelöst werden.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

5.2.4 Beispiele Raumluftechnische Anlagen

Eines der auffallensten Einsparpotenziale in den Gebäuden stellten die Laufzeiten der Lüftungsanlagen dar. Diese lagen für Bürobereiche teilweise deutlich über 4.000 h/a, obwohl eine Fensterlüftung möglich war. Ein außentemperaturabhängiger Betrieb der Anlagen ausschließlich bei extremen Witterungsbedingungen kann hier erhebliche Einsparungen mit nur geringfügigen Investitionen bringen.

Darüber hinaus zeigten sich Probleme bei Gebäuden mit geringen Luftwechsell, die konzeptionell als Großraumbüros betrachtet wurden. Hier hat der Einbau von Einzelbüros das Lüftungskonzept und damit den Nutzerkomfort beeinträchtigt.

▪ Reduzierung der Laufzeiten der Lüftungsanlagen

Die Lüftungsanlagen der Bürobereiche sind im Einzelfall bis zu 6.000 h/a in Betrieb. Die Betriebsstunden können vermutlich ohne Komfortverlust um 2.000 – 3.000 h/a gesenkt werden.

Das Einsparpotenzial für elektrische Energie liegt bei rund $5 \text{ kWh}_E / (\text{m}^2_{\text{HNFA}})$ bzw. $2,5 \text{ kWh}_E / (\text{m}^2_{\text{NGFA}})$. Das entspricht rund $7,5 \text{ kWh}_{\text{PE}} / (\text{m}^2_{\text{NGFA}})$ bzw. $0,23 \text{ €} / (\text{m}^2_{\text{NGFA}})$ und damit 2-3 % der gesamten Energiekosten. Es entstehen keine Investitionskosten.

▪ Natürliche Lüftung der Büros zu den Grünhöfen

Die Büros zu den Grünhöfen können aufgrund des moderaten Temperaturniveaus (im Winter $12\text{-}15^\circ\text{C}$, im Sommer ca. 26°C bei 25°C Außentemperatur) ganzjährig über die Fenster belüftet werden. Die Zuluftauslässe in den Büros können geschlossen und der Volumenstrom der Lüftungsanlagen reduziert werden.

Das Einsparpotenzial für elektrische Energie liegt bei rund $10 \text{ kWh}_E / (\text{m}^2_{\text{HNFA}})$ bzw. $5 \text{ kWh}_E / (\text{m}^2_{\text{HNFA}})$. Das entspricht rund $15 \text{ kWh}_{\text{PE}} / (\text{m}^2_{\text{NGFA}})$ bzw. $0,45 \text{ €} / (\text{m}^2_{\text{NGFA}})$ und damit 4-6 % der gesamten Energiekosten. Es entstehen keine Investitionskosten.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 konzepten**

▪ Zeitprogramme Lüftungsanlagen fehlerhaft

Auf Grund einer fehlerhaften GLT- Programmierung fielen zeitweise die hinterlegten Zeitprogramme für die Lüftungsanlagen bzw. die Umschaltung von Sommer- auf Winter-Programm aus.

▪ Lüftungsanlagen ohne Wärmerückgewinnung

Die Lüftungsanlagen der Bürobereiche sind ohne Wärmerückgewinnung ausgeführt worden. Die Nachrüstung von Kreislaufverbundsystemen sollte geprüft werden.

▪ Eingeschränkter Luftwechsel durch verändertes Raumkonzept

Die ursprüngliche Raumkonzeption hatte Großraumbüros vorgesehen. Deshalb wurden die Zu- und Abluftöffnungen der Lüftung in den zentralen Bereichen angeordnet. Die nachträgliche Umgestaltung zu Gunsten von Zellenbüros führt nun dazu, dass die Flure konditionierte Luft erhalten, von denen die Büroräume jedoch abgeschnitten sind. Da die Doppelfassade bei starkem Wind komplett schließt und Fensterlüftung dann nicht möglich ist, ist die Möglichkeit zur Lüftung in den Büros zeitweise eingeschränkt.

▪ Energieintensive Befeuchtungsregelung

Die Befeuchtungsregelung für die Büro-Lüftungsanlagen war nicht witterungsabhängig blockiert, so dass ganzjährig eine relative Luftfeuchte von 45-50 % vorgegeben wurde – auch im Sommer: Die Dampfbefeuchtung erfolgt als letzte Stufe der Luftkonditionierung nach der Kühlung. Da diese im Sommerbetrieb auch entfeuchtete, sank die Zuluftfeuchte durch die Kühlung zunächst ab und wurde dann mit heißem Dampf wieder erhöht. Im Ergebnis wurde im Sommer statt kühler trockener Luft warme feuchte Luft in die Büros geblasen.

5.2.5 Beispiele Beleuchtung

Im Bereich der Beleuchtung wurden keine signifikanten Optimierungspotenziale im Betrieb festgestellt. In einigen Bereichen wurde jedoch eine unnötig hohe installierte Beleuchtungsleistung festgestellt, also ein Potenzial, dass in der Planung hätte berücksichtigt werden müssen. Überraschend war auch, dass viele Anlagen nicht mit Präsenzmeldern bzw. einer tageslichtabhängigen Regelung ausgestattet waren. Diese können ggf. im Betrieb nachgerüstet werden.

▪ Präsenz-/Tageslichtabhängige Regelung der Bürobeleuchtung

Die Regelung der Beleuchtung erfolgt in den Büros zurzeit nur manuell. Die Anlagen sollten auf eine Präsenz-/Tageslichtabhängige Regelung umgestellt werden. Das Energieeinsparpotenzial liegt bei 30 – 50 %⁷.

▪ Reduzierung der installierten Beleuchtungsleistung

Die installierte Beleuchtungsleistung in den Allgemeinbereichen (Verkehrs- und Kombizonen) konnte um rund 50% reduziert werden, ohne die Mindestanforderungen nach DIN EN 12464 und den Arbeitsstättenrichtlinien zu unterschreiten. Die Anlagen wurden bereits umgerüstet. Es gab keine Nutzerbeschwerden, siehe Abbildung 90.

⁷ Einsparpotenzial lt. Fördergemeinschaft Gutes Licht



Abbildung 90 Reduzierung der installierten Beleuchtungsleistung vorher - nachher

▪ Präsenzabhängige Regelung der Beleuchtung in WCs

Die Regelung der Beleuchtung in den WCs kann auf eine präsenzabhängige Regelung umgestellt werden.

5.2.6 Beispiele Mess-/Steuer- und Regelungstechnik

Die MSR ist eine zentrale Quelle für Betriebsprobleme. Mehrfach wurden Sensoren im Außen- und Innenbereich vorgefunden, die fehlerhafte Werte lieferten, da sie nicht strahlungsgeschützt, nicht kalibriert oder ungünstig platziert waren. Fehlerhafte Sollwerte oder Regelungsalgorithmen konnten erst durch detaillierte Betriebsanalysen identifiziert werden. Auch hier war eine Verbesserung oft fast ohne Investitionen möglich und führte zu unmittelbaren Verbesserungen.

Besondere Aufmerksamkeit sollte den Mensch-Gebäude-Schnittstellen gewidmet werden. Die Möglichkeiten der Gebäudeautomation schlugen in einigen Fällen in das Gegenteil um, da die entsprechenden Bedienpanelle für die Nutzer kaum verständlich waren. So wurden vorhandene Funktionen möglicherweise falsch oder gar nicht genutzt.

▪ Fehlerhafte Referenzfühler zur Raumtemperaturregelung

Die Referenzfühler für die Raumtemperatur waren auf Grund der einfacheren Installationsführung an der Fassadeninnenseite angebracht. Dies führte zu erhöhten Messwerten, die für die Regelung des Gebäudes nicht geeignet waren. Zurzeit werden in einigen Büros alternative Funksensoren an neutralen Stellen in den Räumen getestet.

▪ Außentempersensoren defekt/fehlerhaft montiert

Die Sensoren zur Messung der Außenlufttemperatur waren nicht optimal strahlungsgeschützt installiert, so dass verfälschte Messwerte für die Regelung des Gebäudes genutzt wurden.

▪ Ausfall der Wärmerückgewinnung

Die Wärmerückgewinnung fiel durch einen defekten Frequenzumformer zeitweise aus. Auf dem zentralen GLT-Rechner wurde keine Störung angezeigt.

▪ Defekte Ventile

Durch defekte Ventile der Heizung und der BKT liefen die Systeme zeitweise mit falschen Systemtemperaturen.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

▪ Nicht kalibrierte Raumtemperaturfühler

Die Raumtemperaturfühler waren nicht kalibriert, so dass die Kühlfunktion zu spät aktiviert wurde. Die Sensoren wurden im Rahmen der Betriebsführung nachkalibriert.

▪ Ausfall der Wetterstation

Die Wetterstation fiel häufig aus, so dass keine Wetterdaten vorlagen. Das Problem wurde im Rahmen der Betriebsführung behoben.

▪ Regelung Sonnenschutz

Der Sonnenschutz am Gebäude wird ausschließlich durch die Nutzer gesteuert, es gibt keine zentrale Regelung. Dadurch kann zum Beispiel am Wochenende kein optimaler Sonnenschutz gewährleistet werden. Zur Reduzierung der sehr hohen Temperaturen im Sommer sollte eine zentrale strahlungsabhängige Regelung eingeführt werden.

5.2.7 Umsetzung und Erfolgskontrolle

Im Rahmen der Evaluierung wurden an einem Gebäude Möglichkeiten für eine signifikante Energetische Betriebsoptimierung festgestellt. Im Folgenden sind die Ergebnisse der Funktionsanalyse dargestellt. Bei diesem Gebäude konnten die dargestellten Maßnahmen bereits größtenteils umgesetzt und ihr Erfolg evaluiert werden.

▪ Außentemperatursensoren defekt/fehlerhaft montiert

Die Außentemperatursensoren waren ungünstig montiert, dass für die Regelung des Gebäudes keine korrekten Werte genutzt wurden.

▪ Sonnenschutzregelung Ostfassade unpräzise

Die Regelung des Sonnenschutzes auf der Ostfassade war nicht exakt auf Sonnenstand und Strahlungsintensität ausgerichtet, so dass es zeitweise zu direkter Einstrahlung kam.

▪ Gleichzeitiges Heizen und Kühlen des Zweileiter-Systems

Das Zwei-Leiter-System wurde über nacheinander geschaltete Wärmeübertrager für den Heiz- und Kühlbetrieb versorgt. Das die beiden Wärmeübertrager nicht gegeneinander verriegelt waren, kam es zu gleichzeitigem Aufheizen und anschließendem Kühlen des Zwei-Leiter-Netzes.

▪ Keine separaten Heiz- /Kühlkreise für Nord- und Südfassaden

Die Büros an den Nord- und Südfassaden wurden durch die gleiche Versorgungsleitung mit Wärme- bzw. Kälte versorgt, so dass ein differenzierter Betrieb nicht möglich war. Darüber hinaus war für die Heizung keine Nacht- oder Wochenendabsenkung angelegt. Die Regelung führte u. a. dazu, dass in kühlen Sommernächten geheizt wurde.

▪ Kältemaschinen für Teillastbetrieb überdimensioniert

Das Gebäude benötigte in den Übergangszeiten und im Winter ausschließlich Kälte für die Kühlung eines kleinen Serverraums. Die vorhandenen Kältemaschinen waren für diesen Teillastbetrieb stark überdimensioniert.

▪ Hohe Ansaugtemperaturen der dezentralen Lüftungsgeräte

Die dezentralen Lüftungsgeräte wurden ohne Referenzfühler betrieben, so dass bei hohen Außentemperaturen stark erhitze Luft aus dem Fassadenbereich in die Räume geblasen wurde. Bei Messungen wurden Lufttemperaturen von bis zu 50°C und damit mehr als 15 K über der Außenlufttemperatur gemessen.

▪ Deaktivierte Sensorik und Aktorik im Raum

Auf Grund des unbefriedigenden Nutzerkomforts wurden Regelventile und Fensterkontakte von den Nutzern teilweise eigenhändig außer Betrieb genommen.

▪ Reduzierung der Laufzeiten der Lüftungsanlagen

Die Lüftungsanlagen liefen zum Teil ohne Nutzungsanforderung nachts und an Wochenenden durch.

▪ Lüftung im Raum unkomfortabel

Die Zuluft aus den dezentralen Lüftungsgeräten wurde im Kühlbetrieb mit tiefen Temperaturen direkt am Boden in den Raum eingeblasen, so dass Temperaturunterschiede zwischen Fuß- und Kopfbereich von bis zu 5 K gemessen wurden, siehe Abbildung 91. Durch einsetzen eines Luftleitblechs vor den Lüftungsgeräten konnte der Unterschied auf unter 2 K reduziert werden.

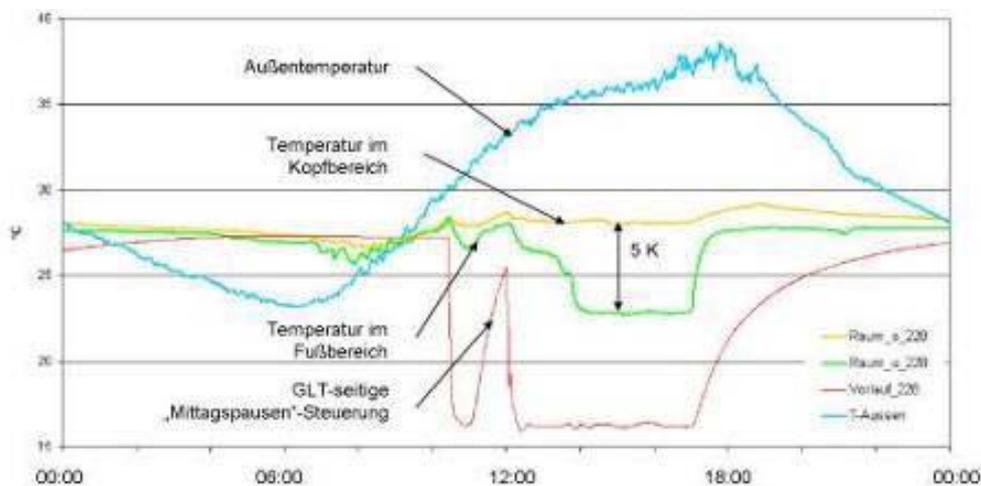


Abbildung 91 Temperaturprofile eines Sommertages in einem Büro vor der Optimierung

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

▪ Unklare Funktionen des Bedienpaneels in den Büros

Das Bedienpaneel verfügt über eine Vielzahl von Funktionen, die nicht selbsterklärend sind, siehe Abbildung 92. Für Nutzer und Hausmeister waren die Funktionen oft unklar.

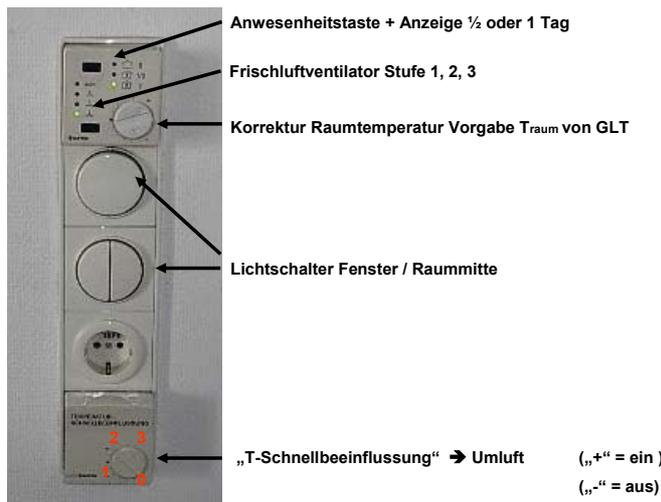


Abbildung 92 Bedienpaneel mit Funktionsbeschreibung

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

Auf Grund der starken Beeinträchtigungen des Nutzerkomforts und des großen Einsparpotenzials beim Energieverbrauch und den Betriebskosten wurde eine Energetische Betriebsoptimierung bereits in 2004 umgesetzt.

Der Bearbeitung durch das Steinbeis- Transferzentrum Energie-, Gebäude- und Solartechnik, Stuttgart, umfasste u.a. den Aufbau eines Langzeit-Monitorings im Bereich der Stromverbräuche der haustechnischen Anlagen und ein Kurzzeit-Monitoring des Nutzerkomforts im Bereich der Büroräume. Die Datenerfassung erfolgt über die Soft- und Hardware der dezem GmbH, Berlin, die Datenauswertung mit Hilfe der Software VEC der ennovatis, Stuttgart.

Auf Grundlage der Gebäudeanalyse wurden sowohl für die haustechnischen Anlagen als auch für die Einzelräume Konzepte zur Betriebsoptimierung entwickelt. Sie umfassten sowohl optimierte Regelungsstrategien als auch Umbauten und Modernisierungsmaßnahmen.

Im Bereich der Gebäudeleittechnik wurde allein durch eine Anpassung der Betriebszeiten und durch Erneuerung von Fühlern eine signifikante Energieeinsparung erreicht. Zusätzlich werden in den Übergangszeiten und im Sommer durch das zeitweise Abschalten der Kältemaschinen und Ersatz durch eine Kleinkälteanlage für das Rechenzentrum die Energieverbräuche reduziert.

Während der Betriebsoptimierung stellte sich heraus, dass die vorhandene, mittlerweile veraltete Gebäudeleittechnik, einige Defekte aufwies und auch die Anforderungen zur differenzierten Betriebszeitenregelung nicht erfüllen konnte. Deshalb wurde der Einbau einer neuen Gebäudeleittechnik empfohlen. Durch Anpassung der Regelung auf benutzerdefinierte Anforderungen konnte insbesondere der Betrieb der Lüftungsanlagen optimiert und reduziert werden.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

Zeitgleich mit der Erneuerung der Gebäudeleittechnik wurden auch die Fassadenlüftungsgeräte in den Büroräumen umgebaut. Die automatische Lüftung wurde auf manuelle Fensterlüftung umgestellt. Dazu wurden die Fassadenlüftungsgeräte von Zu-/Abluftgeräten auf reine Umluftgeräte umgebaut. Durch die damit verbundenen höheren Luftmengen der Fassadenlüftungsgeräte konnte eine Steigerung der Heiz- bzw. Kühlleistung der Geräte erreicht werden. Um die vorhandenen Zugscheinungen zu beheben, wurden Luftleitbleche mit einem 3 cm breiten Spalt an der Oberkante vor die Geräte gesetzt, die den Luftauslass vom Boden auf eine Höhe von ca. 60 cm verlegten und so die Zugscheinungen im Fußbereich reduzierten: eine einfache, aber sehr wirkungsvolle Maßnahme.

Im Zuge der Erneuerung der Gebäudeleittechnik können Zustandswerte der unterschiedlichen haustechnischen Anlagen und der Büroräume aufgezeichnet und ausgewertet werden. An dieser Stelle wurden berechnete bzw. simulierte Daten kombiniert, die zusammen mit den erfassten Stromverbräuchen ein präzises und aussagekräftiges Controlling des Gebäudes ermöglichen.

Ein großer Teil des Stromverbrauchs konnte einzelnen Unterverbrauchern als Prognose zugeordnet werden. Die Prognose wurde anhand von erfassten Messwerten und aufgezeichneten Betriebszeiten erstellt.

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

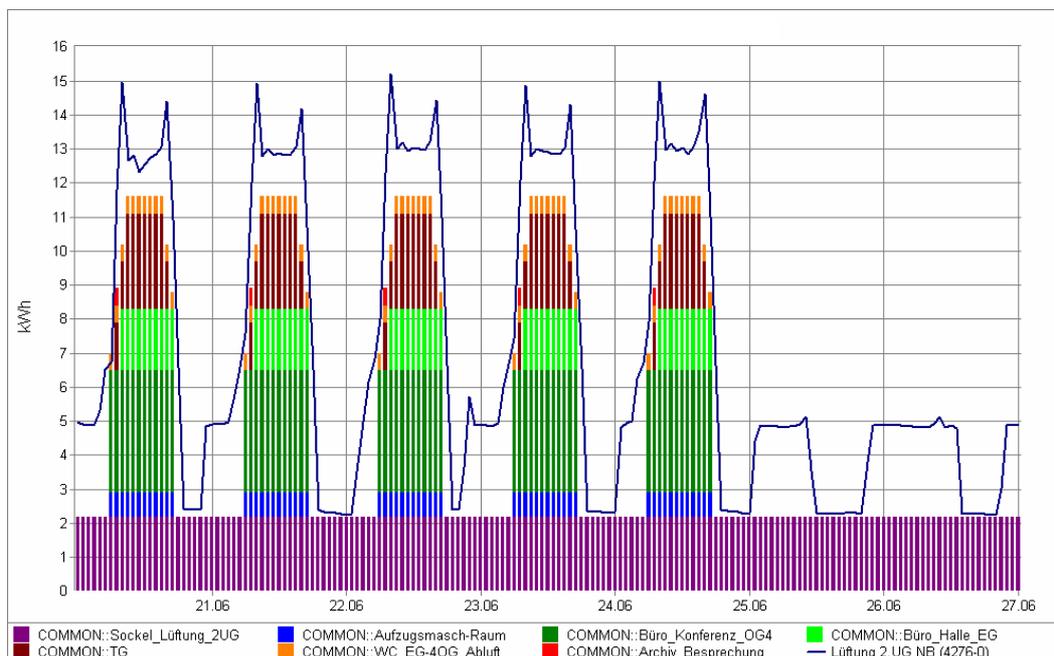


Abbildung 93 Prognostizierte Lastprofile (farbige Balken) und gemessener Stromverbrauch der Lüftungsanlagen (blaue Linie)

Erfolgreich ist auch die neue Regelung der Heizung. Bei moderaten, nächtlichen Außentemperaturen im Winter reduziert sich der Gasverbrauch erheblich. Am Wochenende wird das Gebäude im Absenkbetrieb betrieben. Während der sehr kalten Tage ist der Gasverbrauch erhöht, um das vollständige Auskühlen des Gebäudes zu verhindern. Aber auch während dieser Zeit ist der Absenkbetrieb deutlich erkennbar.

Das Gebäude wurde bereits in 2003/04 evaluiert. Anschließend wurde eine Energetische Betriebsoptimierung umgesetzt. Der Primärenergieverbrauch lag in den Vorjahren bei mehr als $450 \text{ kWh}_{PE}/(\text{m}^2_{NGFA})$. Nach der Energetischen Betriebsoptimierung lag der mittlere Jahres-Primärenergieverbrauch (2004-2006) bei $304 \text{ kWh}_{PE}/(\text{m}^2_{NGFA})$. Die Kennwerte für den Jahres-Endenergieverbrauch lagen bei $64 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2_{NGFA})$ für Strom und $102 \text{ kWh}_E/(\text{m}^2_{NGFA})$ für Wärme.

Auch der Nutzerkomfort verbesserte sich im Zuge der Sanierungsmaßnahmen deutlich. Der Kaltlufteinfluss im Fußbereich ist nicht mehr vorhanden. Der ehemals vertikale Temperaturgradient von 5 K zwischen Kopf- und Fußbereich reduzierte sich auf maximal 2 K. Der Kaltlufteinfluss im Fußbereich wurde somit durch die Leitbleche erfolgreich behoben, siehe Abbildung 94.

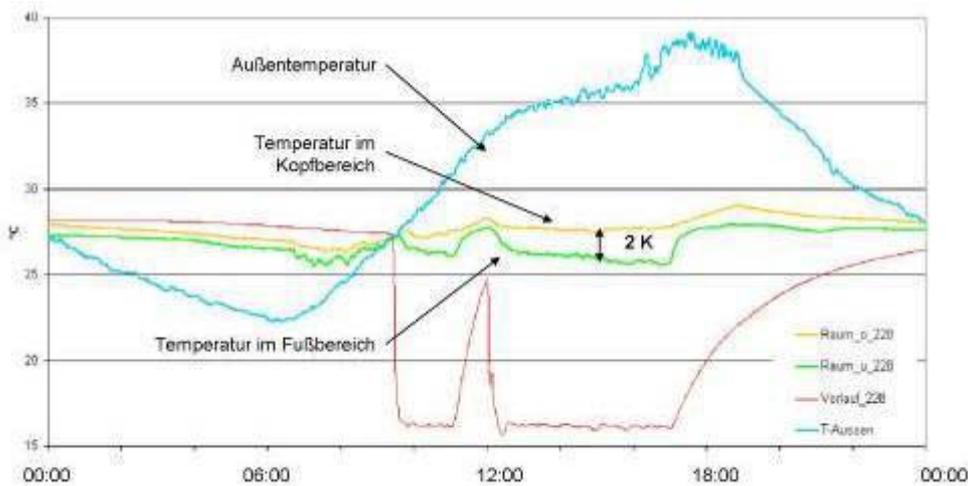


Abbildung 94 Temperaturen nach dem Umbau (Sommer)

Die Umbau- und Sanierungskosten betragen insgesamt ca. 275.000 €. Diese sind in drei Bereiche zu unterteilen:

- Zur Komfortsteigerung in den Büroräumen wurden die Fassadengeräte für ca. 100.000 € auf Umluftbetrieb umgerüstet und die Luftleitbleche installiert.
- Ebenfalls 100.000 € betragen die Instandhaltungskosten, die für den weiteren Betrieb der haustechnischen Anlagen sowieso investiert werden mussten. Diese umfasste die Erneuerung der Gebäudeleittechnik, die aufgrund ihres Alters und nicht mehr zu erhaltender Ersatzteile durchgeführt werden musste.
- Die restlichen 75.000 € sind Mehrinvestitionen, die eine energieeffiziente Raumregelung, eine neue Steuerung der Gebäudeleittechnik und die Umbauten der zentralen Lüftungs- und Kältemaschinen beinhalten.

Die Amortisationszeit der Maßnahmen kann auf Grund der vielen nicht zu bewertenden Vorteile nur bedingt ermittelt werden. Für die allein der Verbesserung der Energieeffizienz dienenden Maßnahmen wurde eine Amortisationszeit durch Einsparungen von weniger als 3 Jahren berechnet. Die Optimierungen im Komfort spürten die Nutzer ab dem ersten Tag.

2007 haben sich die Investitionen in Energieeffizienz amortisiert. Die Betriebskosten werden durch die Reduzierung des Energieverbrauchs um rund 50.000 €/a geringer ausfallen.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

5.2.8 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die bereits umgesetzten Maßnahmen erweisen sich sowohl als dauerhaft effektiv wie auch als hochwirtschaftlich mit Amortisationszeiten unter 3 Jahren. Einzelne Maßnahmen in anderen Gebäuden können ohne jegliche Investition umgesetzt werden und senken so unmittelbar die Betriebskosten und den Energieverbrauch.

Die Zuordnung der Potenziale zu den Phasen, in denen Fehlfunktionen verursacht wurden, die jeweiligen Gewerke und die Auswirkungen sind in Tabelle 34 zusammengefasst.

Tabelle 34 Übersicht über die Fehlfunktionen bzw. Optimierungspotenziale

		Anzahl
Ursache	Energiedesign	24
	Betriebsführung	30
Gewerke	Heizen/Kühlen	11
	Lüftung	17
	Beleuchtung	15
	MSR	12
Auswirkungen auf ¹	Energieeffizienz	45
	Nutzerkomfort	25

¹ Mehrfachnennungen möglich

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

Die Betriebsanalysen bestätigen die Hypothese, die dem Projekt zu Grunde liegt: die Potenziale von innovativen Energiekonzepten werden im Betrieb der Gebäude nicht vollständig ausgenutzt. Dieser Effekt führt zu suboptimaler Performanz sowohl hinsichtlich der Energieeffizienz als auch des Nutzerkomforts.

Überraschend war, dass der Standard des Energiemanagements in der Regel nicht dem hohen Planungsaufwand einzelner Gebäude entspricht. Nur in Ausnahmen wurden regelmäßig Berichte zur Energieeffizienz erstellt. Diese waren einfache Fortschreibungen Energieverbrauchs und keine Überprüfungen von Planungszielen. In anderen Fällen wurden Gesamtenergieverbrauchskennwerte mit den Zahlen anderer Gebäude verglichen.

Die eingesetzten Methoden zeigten, dass mit gezielten Bestandsaufnahmen einschließlich der Überprüfung von leicht feststellbaren Betriebsparametern wie Betriebszeiten Einsparpotenziale identifiziert werden können. Im Gegensatz zu stark standardisierten Gebäuden wie Wohngebäuden oder Schulen sind Kennwerte und Kennlinien nur bedingt geeignet, Optimierungspotenziale in den vergleichsweise komplexen Gebäuden zu identifizieren.

Insbesondere bei Gebäuden mit komplexen Regelungsstrategien ist eine aktive Nutzung der Gebäudeautomation zur Betriebsoptimierung wichtig. Die Voraussetzungen sind bei den meisten Gebäuden durch die Leittechnik grundsätzlich vorhanden. Die technische Umsetzung und die notwendige detaillierte Einarbeitung in die Dokumentation werden jedoch für externe Dienstleister möglicherweise ein erhebliches Hemmnis für eine effektive Nutzung dieser Daten sein.



Die Erfahrungen der Bearbeitung zeigen, dass die beste Möglichkeit der energetischen Betriebsoptimierung eine kontinuierliche Bearbeitung von der Konzeptphase bis in den Regelbetrieb ist. Die meisten der identifizierten Fehlfunktionen hätten durch eine bessere Qualitätssicherung, eine sorgfältigere Inbetriebnahme der Gebäude und der Berücksichtigung mess- und automationstechnischer Grundlagen vermutlich vermieden werden können. Die Umsetzung von Monitoring- Konzepten z.B. entsprechend der Vorgaben der AMEV EnMess 2001 wären für viele Gebäude eine gute, wenn auch nicht immer ausreichende Grundlage, um einen verbesserten Betrieb zu erreichen und langfristig zu sichern. Die Möglichkeit, Daten aus der Gebäudeautomation in geeigneter Form zu exportieren, sollte in den entsprechenden Systemen grundsätzlich gefordert werden.

Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3635
Fax: 0531 / 391 - 3636

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

6 FAZIT UND AUSBLICK

Im Projekt EVA wurden 19 Bürogebäude hinsichtlich ihrer Energieeffizienz und ihres Nutzerkomforts untersucht. Die Ausgangsfragestellungen konnten anhand der untersuchten Gebäude zwar nicht repräsentativ, aber auf Grund der unterschiedlichen Konzepte, die in der Stichprobe vertreten waren, doch aussagekräftig beantwortet werden.

Wie energieeffizient sind heutige Bürogebäude?

Die Bewertung der Gesamtenergieeffizienz hängt vom Standpunkt ab: die Ergebnisse der Gebäude zeigen eine deutliche Effizienzverbesserung in den letzten Jahrzehnten gegenüber Gebäuden, die vor der Einführung der Wärmeschutz- und Energieeinsparverordnungen errichtet wurden. Die untersuchten Gebäude sind im Vergleich zu anderen aktuellen Studien etwas effizienter, in diesem Sinne jedenfalls keineswegs „Energiefresser“. Das Potenzial des technisch Möglichen, das in Demonstrationsgebäuden wie dem Energieforum umgesetzt wurde, wird jedoch insgesamt deutlich überschritten: Der Verbrauch der EVA- Gebäude liegt insgesamt um rund den Faktor 1,5 über den EnBau-Gebäuden.

Bei der Kälteversorgung wurde festgestellt, dass die bei den Witterungsbedingungen in Deutschland mögliche Nutzung von direkter Kühlung über Rückkühlwerke in den Wintermonaten z.B. für die Kühlung von IT- Räumen im Betrieb kaum effektiv genutzt wird.

Die Beleuchtungssysteme werden als überwiegend effizient nach dem Stand der Technik bewertet. Weitere Verbesserungen können durch einen verstärkten Einsatz von Präsenz- und Tageslichtregelungen erreicht werden.

Einsparpotenziale konnten bei den Lüftungsanlagen identifiziert werden, bei denen der Stromverbrauch zur Luftförderung durch eine Reduzierung der Betriebszeiten um teilweise mehr als 50 % gesenkt werden könnte.

Wird ein guter thermischer Nutzerkomfort gewährleistet?

Es wurde in den Gebäuden hinsichtlich der normierten Anforderungen ein weitgehend guter Nutzerkomfort festgestellt. Einschränkungen durch Strahlungsasymmetrie, Zugluftrisiko und Temperaturschichtungen traten so gut wie gar nicht auf.

Das wesentliche Problem, das durchgängig in Messungen und Befragungen festgestellt wurde, ist die sommerliche Überhitzung. In allen Räumen des Langzeit-Monitorings wurden Temperaturen über 26°C festgestellt, im Mittel in 182 h/a während der Nutzungszeit. Auffallend war, dass die Überhitzung nicht signifikant korrelierte mit baulichen Aspekten wie dem Verglasungsanteil der Fassaden oder der Ausrichtung der Räume nach der Himmelsrichtung.

Im Gegenteil wiesen die Untersuchungen darauf hin, dass im Wesentlichen offensichtlich das Nutzerverhalten Einschränkungen des thermischen Komforts verursacht. Hier zeigten die Befragungen im Rahmen des Kurzzeit-Monitorings, dass die Nutzer die Fensterlüftung und den Sonnenschutz häufig nicht im Sinne der Konzepte einsetzen. Dies wirkte sich bei Konzepten zur Kühlung mit niedrigen Leistungen wie der häufig eingesetzten Betonkernaktivierung dahingehend aus, dass einige Räume fast keine, andere rund 400 Überhitzungsstunden im Jahr während der Nutzungszeit aufwiesen.

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Die Messwerte für die CO₂-Konzentration lagen bei rund 30 % aller Messungen im Winter über dem nach der neuen DIN EN 13779 zulässigen Grenzwert von 1.000 ppm. Auffallend war, dass der Unterschied der Anteile zwischen mechanisch (27 %) und über Fenster belüfteten Räumen (32 %) nur gering war. Aus energetischer Sicht war in diesem Zusammenhang bedeutsam, dass in mechanisch belüfteten Räumen im Winter in fast gleichem Maße über die Fenster gelüftet wurde wie in Räumen ohne mechanische Lüftung.

Besteht im Betrieb Optimierungspotenzial hinsichtlich der Energieeffizienz und des Nutzerkomforts und wie kann dieses bei Bürogebäuden identifiziert werden?

Bei den Gebäuden wurden zahlreiche Optimierungspotenziale identifiziert. Diese lagen oft in der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik und waren ohne oder mit geringen Investitionen zu beheben.

Von den eingesetzten Methoden konnten insbesondere mit den Bestandsaufnahmen und den Auswertungen der Daten aus der Gebäudeautomation konkrete Optimierungspotenziale identifiziert werden. Wenig aussagekräftig sind hingegen einfache Verbrauchskennwerte oder Kennlinien. Diese können auf Grund der einfachen Berechnung bzw. Erstellung jedoch in der Regel im Rahmen einer Bestandsaufnahme erarbeitet werden und nach der Optimierung zur Betriebsüberwachung und Bewertung von Einsparungserfolgen genutzt werden.

Welche Erfahrungen können für zukünftige Planungen genutzt werden?

Für zukünftige Planungen werden drei Empfehlungen aus der Bearbeitung abgeleitet:

Zum einen sollten **Planungsziele** hinsichtlich der Energieeffizienz in eindeutig prüfbareren Werten definiert werden. Konzeptzeichnungen, Simulationen und umfangreiche Berechnungsverfahren wie das der DIN V 18599 sind dazu nur bedingt geeignet, da sie messtechnisch nur bedingt überprüft, von Dritten nur schwer nachvollzogen werden können und im Betrieb immer durch abweichende Randbedingungen beeinflusst werden. Die Ziele sollten deshalb in einfacher und kompakter Form dokumentiert werden.

Darüber hinaus sollten sie grundsätzlich in Kombination mit einem nachvollziehbaren Prüfverfahren dokumentiert werden, wie zum Beispiel der Bestimmung von P_{SFP}-Werten durch Kurzzeit-Messungen der Leistungsaufnahme von Lüftungsanlagen im Betrieb.

Eine entsprechende Dokumentation kann dann auch eine belastbarere Grundlage für die zurzeit offensichtlich nur unzureichend definierte Dienstleistung *Energiemanagement* im Rahmen des Facility Managements bilden.

Zur **Betriebsoptimierung** komplexer Gebäudekonzepte ist die Nutzung von Daten der Gebäudeautomation zusammen mit einem effektiven Energie-Messkonzept von besonderer Bedeutung. Da dies im Betrieb nachträglich in der Regel nur mit vergleichsweise hohen Kosten umsetzbar ist, sollten Messkonzept, Datenerfassung und -export bereits in der Planung entwickelt werden. Die Inbetriebnahme sollte anschließend in Zusammenarbeit mit dem Energiedesigner oder Fachplaner und die Überprüfung der konzeptionellen Ziele mit Hilfe der vorgegebenen Prüfmethode erfolgen. Für den Einsatz entsprechender Werkzeuge wird erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf gesehen. Die intensive Zusammenarbeit mit den Herstellern der Gebäudeautomation, die die Automationsinfrastruktur in den Gebäuden erstellen, erscheint zwingend.

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531/391-3635
Fax: 0531/391-3636

Durch das **Nutzerverhalten** wird der thermische Komfort erheblich beeinflusst. Weitere Effizienzsteigerungen sollten vor diesem Hintergrund geprüft werden. So muss bei der Planung von Lüftungsanlagen zur Wärmerückgewinnung die vom Nutzer gewollte Fensterlüftung berücksichtigt werden, da die Untersuchungen signalisieren, dass die Möglichkeit zur Einflussnahme von großer Bedeutung für den empfundenen Komfort ist. Weiterer Forschungsbedarf besteht dahingehend, wie Schnittstellen zur Einflussnahme effektiver gestaltet werden können, um ein sinnvolleres Verhalten der Nutzer zu gewährleisten.

Die Bearbeitung der 19 Bürogebäude stellte sich als wesentlich aufwändiger heraus, als zunächst angenommen. Ursachen waren nicht nur die häufig komplexen Energiekonzepte, die in den Gebäuden umgesetzt worden waren, sondern auch die zum Teil entfernten Standorte der Gebäude und die zeitlichen Abstände zwischen einzelnen Bearbeitungsschritten. Die Bewertung der Optimierungspotenziale kann aussagekräftig nur in realen Projekten quantifiziert werden, in denen Hemmnisse in der Praxis realistisch bewertet werden können.

Während der Bearbeitung von EVA sind in mehrere Projekten Werkzeuge und Methoden zur Betriebsanalyse entwickelt worden. Das Projekt *OASE* (Ebert-Ingenieure) stellt ein Werkzeug zur Visualisierung von Betriebsmustern der Gebäudeautomation vor. *ModBen* des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme [114] entwickelt eine Methodik für ein systematisches Vorgehen bei der Betriebsoptimierung entlang eines Top-Down-Ansatzes. Das IGS startet als Folgeprojekt von EVA die Entwicklung des *Energie-Navigators*, der u.a. Methoden des Datamining für regel- und musterbasierte Analysen zur Optimierung und kontinuierlichen Betriebsüberwachung einsetzen wird.

Projekte dieser Art sollen in Zukunft im Forschungsschwerpunkt EnOB unter dem Dach des neuen Forschungsfelds EnBop – Energetische Betriebsoptimierung zusammengefasst werden. EnBop setzt drei Schwerpunkte:

1. Fallstudien zum Betrieb von innovativen Gebäuden und Einsatz neuer Technologien und Methoden der Betriebsoptimierung
2. Empirische Untersuchungen zur Betriebsführung in Gebäuden einschl. Langzeit-Untersuchungen zur Überprüfung der Wirtschaftlichkeit und Dauerhaftigkeit von Verbesserungsmaßnahmen.
3. Entwicklung von Werkzeugen, Methoden und Dienstleistungen zur energetischen Betriebsoptimierung

Das IGS wird entsprechende Forschungsprojekte mit einem Begleitforschungsteam unterstützen, Inhalte koordinieren und Werkzeuge zur Querschnittsanalyse und Dokumentation zur Verfügung stellen. Ziel ist es, in den nächsten Jahren effektive Werkzeug und Methoden für die energetische Betriebsoptimierung bereitzustellen und eine umfassende Erfahrungsgrundlage über die erreichbaren Potenziale zur Verbesserung der Energieeffizienz und des Nutzerkomforts in Nicht-Wohngebäuden zu entwickeln.

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531/391-3635
Fax: 0531/391-3636

7 ANHANG

7.1 Begriffe und Abkürzungen

Es werden Festlegungen und Erläuterungen für im Projekt verwendete Fachbegriffe dargestellt, um eine einheitliche Nomenklatur zu gewährleisten.

7.1.1 Energie

Primärenergie:	Energie von Energieträgern, die noch keiner Umwandlung unterworfen wurden (Anfang der Prozesskette)
Primärenergiefaktoren:	Empirisch ermittelte Kennwerte für die Umrechnung von (gemessenen) Endenergiemengen in Primärenergiemengen. In EVA werden die Kennwerte nach GEMIS [13] zugrunde gelegt.
Endenergie:	Energie nach der Gewinnung, Aufbereitung und Umwandlung von Primärenergieträgern, z.B. Erdgas, elektrische Energie und Fernwärme.
Nutzenergie:	Energie, die am Ende einer Umwandlungskette dem Verbraucher für unterschiedliche Anwendungen zur Verfügung steht (z.B. Licht, Wärme oder mechanische Energie).
Endenergiebedarf:	Energie nach der Gewinnung, Aufbereitung und Umwandlung von Primärenergieträgern, z.B. Erdgas, elektrische Energie und Fernwärme. Mit „Energiebedarf“ werden Energie- bzw. Stoffmengen bezeichnet, die zur Erreichung von Sollwerten notwendig sind (z.B. nach rechnerischer Ermittlung entsprechend der Wärmeschutzverordnung). Der Bedarf ist immer ein Rechenwert, kein Messwert.
Endenergieverbrauch:	Mit „Verbrauch“ werden Energie- bzw. Stoffmengen bezeichnet, die im Betrachtungszeitraum tatsächlich umgewandelt wurden, z.B. die vom Energieversorger gelieferten Gas- oder Strommengen (Messwerte).

Energiekennwerte sind in diesem Bericht grundsätzlich hinsichtlich der beschriebenen Energiemenge und der Bezugsfläche indiziert, z.B. $100 \text{ kWh}_{PE}/(\text{m}^2_{NGFA})$.

7.1.2 Flächen und Volumen

In EVA werden die Begriffe der DIN 277 und einige abgeleitete Flächen verwendet. Als Bezugsgrößen der Kennwerte für Energie und Kosten werden vorwiegend folgende Größen verwendet:

BRI:	„Der Brutto-Rauminhalt ist der Rauminhalt des Baukörpers, der nach unten von der Unterfläche der konstruktiven Bauwerkssohle und im übrigen von den äußeren Begrenzungsflächen des Bauwerks umschlossen wird“.
BRI _b :	Der beheizte Brutto-Rauminhalt ist der Rauminhalt des Baukörpers abzüglich aller nicht beheizten oder nur temperierten Räume.

EVA

Evaluierung von Energiekonzepten



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

- V_e : V_e bezeichnet das beheizte Gebäudevolumen, das nach den Vorgaben und Regeln der EnEV ermittelt wurde.
- A: A bezeichnet die gesamte Wärme übertragende Hüllfläche eines Gebäudes, die nach den Vorgaben und Regeln der EnEV ermittelt wurde.
- BGF: „Die Brutto-Grundfläche ist die Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Bauwerkes.“
- NGF: „Die Netto-Grundfläche ist die Summe der nutzbaren, zwischen den aufgehenden Bauteilen befindlichen Grundflächen aller Grundrissebenen eines Bauwerkes“.
- NGF_r : Die beheizte (reduzierte) Nettogrundfläche ist die NGF abzüglich aller nicht beheizten oder nur temperierten Flächen, in der Regel Tiefgaragen, Atrien und Doppelfassaden.
- HNF: „Die Hauptnutzfläche entspricht der NGF abzüglich der Verkehrs-(VF) und Funktionsflächen (FF) sowie der Nebennutzflächen (NNF). Die HNF wird entsprechend verschiedener Nutzungsarten in die Gruppen HNF 1-6 unterteilt“.

Energiekennwerte sind in diesem Bericht grundsätzlich hinsichtlich der beschriebenen Energiemenge und der Bezugsfläche indiziert, z.B. $100 \text{ kWh}_{PE}/(\text{m}^2_{NGFA})$.

7.2 Messtechnik

7.2.1 Strommessungen

Für die Messung der Wirkleistung wurde folgende Messtechnik verwendet:

Fluke 433/434 Three Phase Power Quality Analyser, Fluke Deutschland GmbH

7.2.2 Langzeit-Monitoring

Für die Messung der Raumlufttemperaturen und der relativen Raumluftfeuchte im Langzeit-Monitoring wurde folgende Messtechnik verwendet:

HOBO-Datenlogger der Serien U10-001, U12 Temp, U12 Temp/RH und U12 4 external, Synotech Sensor und Meßtechnik GmbH

7.2.3 Spot-Monitoring

Für die raumklimatischen Messungen der im Kurzzeit-Monitoring wurde folgende Messtechnik als Teile des IGS MobileLAB verwendet:

	Erfasste Größen und Messprinzip	Messgenauigkeit und –bereich.	Ansprechzeit
Innova Typ MM0060	Dieser Messfühler erfasst die operative Raumtemperatur infolge Strahlung und Konvektion. Größe, Gestalt, Farbe und Positionierung entsprechen menschliche Voraussetzungen.	$\pm 0,2 \text{ K}$; t_{op} (5 bis 40°C) $\pm 0,5 \text{ K}$; t_{op} (-20 bis 50°C)	1 Min.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

Innova Typ MM0034	Messfühler zur Erfassung der Lufttemperatur mittels eines strahlungsgeschützten Pt100-Sensors.	$\pm 0,2 \text{ K}$; t_a (5 bis 40°C) $\pm 0,5 \text{ K}$; t_a (-20 bis 50°C)	20 Sek.
Innova Typ MM0036	Der Strahlungstemperatur-Sensor besteht aus zwei gleichen Sensorseiten, die unabhängig voneinander die Strahlungstemperatur zweier sich gegenüberliegenden Halbräume messen.	$\pm 0,5 \text{ K}$; $(t_r - t_a) < 15\text{K}$ $\pm 1 \text{ K}$; $(t_r - t_a) < 25\text{K}$ $\pm 2 \text{ K}$; $(t_r - t_a) < 50\text{K}$	15 sek..
Innova Typ MM0037	Zur Ermittlung der Taupunkttemperatur wird ein Spiegel zur Kondensation der Umgebungsluft abgeführt. Der Kondensationspunkt entspricht der TP-Temperatur.	$\pm 0,5 \text{ K}$; $(t_r - t_{\text{dew}}) < 10\text{K}$ $\pm 1 \text{ K}$; $(t_r - t_{\text{dew}}) < 25\text{K}$	1 Min. Messintervall (3 Min.)
Innova Typ MM0038	Die Ermittlung der Luftgeschwindigkeit nach dem Prinzip eines Konstanttemperatur-Anemometers. Erfasst wird die elektrische Leitung zur Aufrechterhaltung einer konstanten Temperatur-Differenz zwischen dem Prüf- und Referenzsensor.	$\pm(0,05 \cdot v_a + 0,05)$; $v_a < 1\text{m/s}$ $\pm(0,1 \cdot v_a)$; $1 < v_a < 10\text{m/s}$	< 0,2 Sek.
Ahlborn 7814-20	Eine Linse bündelt die vom Objekt abgestrahlte Infrarotenergie auf einen Detektor, der die Energie in ein elektrisches Signal umwandelt, um die Oberflächentemperatur zu messen. Der Detektor muss vor der Messung auf die Emissionsfaktor und Eigenschaften des Messobjektes abzustimmen.	$\pm 1 \text{ K}$ (0 bis 900°C) $\pm 2 \text{ K}$ (-30 bis 0°C)	250 mSek.
DK302EXT- CMOSens	Miniaturdatenlogger mit externem Sensor zur Erfassung der Luftfeuchte und -temperatur.	$\pm 2 \text{ \% RH}$; (10 bis 90%) $\pm 0,5 \text{ K}$; (-30 bis 120°C)	2 Sek.
Vaisala GMW22	Die CO ₂ -Konzentration wird nach den Infrarot-Absorptionsverfahren erfasst. In der Testkammer des Sensors erfolgt die Messung der Absorption der IR-Strahlung durch das CO ₂ .	$< \pm(30\text{ppm} + 2 \text{ \% v. Mw.})$; bei 25°C (0 bis 2000 ppm) t_a (-5 bis 45°C); ϕ (0 bis 85 %)	1 Min.
ETR Luqas I	Zur Ermittlung des Anteils an „flüchtige organische Verbindungen“ (TVOC). Der ermittelte Wert ist referenzlos, jedoch als Vergleich innerhalb der Messreihe zu verwenden.	Unabhängig von t_a und ϕ (Fehler max. 3% v. Mw.)	< 5 Sek.
Gossen MAVO- Monitor	Erfassung der Leuchtdichte mit einem Silizium-Fotoelement und integrierte Korrekptionsfilter.	1 bis 1999 cd/m^2 $\pm(2,5 \text{ \% v. Mw.} + 4 \text{ Digits})$ (Fehler max. 3% v. Mw.)	< 2 Sek (Erfahrungswert)



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531/391-3635
Fax: 0531/391-3636

7.2.4 Wetterdaten

Als Messdaten für die Außenlufttemperatur wurden Daten verwendet von

- DWD – Deutscher Wetterdienst
- Meteocontrol GmbH

sowie Messwerte aus den jeweiligen Gebäudeautomationssystemen verwendet.

7.3 Software

Im Folgenden werden die in EVA genutzten Software-Anwendungen beschrieben.

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

7.3.1 Berechnungswerkzeug zur DIN V 18599

Zu Berechnung des Energiebedarfs der Gebäude wurde das Excel-basierte Rechenprogramm zur Anwendung der DIN V 18599 des IBP - Fraunhofer Instituts für Bauphysik verwendet.

7.3.2 Radiance

Die **Radiance Software** ist ein diffuser Raytracer, welcher von Greg Ward Larson am Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) in Berkeley, Kalifornien, entwickelt wurde. Die Software implementiert eine streuende, oder "stochastische", Methode des *Raytracing*, welche für die Simulation der diffusen Lichtstreuung und -Verteilung in Innenräumen optimiert ist.

Radiance ist zurzeit das leistungsfähigste und robusteste System für die Simulation der Lichtpropagation in Gebäuden, insbesondere des *Tageslichtes*. Sie ist in der Lage Bilder in fotorealistischer (oder vielmehr "foto-genauer") Qualität zu erzeugen. Darum speichert sie in den Bilddateien auch nicht die sonst üblichen Werte der Bild-*Helligkeit*, sondern verwendet ein spezielles Dateiformat, um die echten Werte der *Leuchtdichten* der gezeigten Oberflächen festzuhalten. Abgesehen davon kann Radiance auch Werte der *Beleuchtungsstärke* an beliebigen Punkten im Raum ermitteln, was unter anderem zur Berechnung von *Tageslichtquotienten* auf der *Arbeitsebene* nützlich ist.

7.3.3 Primero

PRIMERO-Licht simuliert auf der Basis von stündlichen Wetterdatensätzen die Versorgung von Räumen mit Tageslicht, das von der diffusen Einstrahlung der Himmelskugel angeboten wird, und den verbleibenden Strombedarf für die künstliche Beleuchtung.

7.3.4 Excel

Für die Datenverarbeitung und Auswertung sowie die meisten grafischen Darstellungen wurde Excel/Microsoft Office als Tabellenkalkulationsprogramm verwendet.

7.3.5 ennovatis VEC

Die Software VEC – Visual Energy Center der ennovatis GmbH wurde für die Auswertung von Zeitreihendaten der Gebäudeautomation verwendet.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel: 0531/391-3635
 Fax: 0531/391-3636

7.4 Dokumentationsunterlagen

Die teilnehmenden Unternehmen wurden gebeten, folgende Unterlagen zur Verfügung zu stellen bzw. Bearbeitungen zu ermöglichen:

	Unterlage	Format/ Erläuterung
1.	Planunterlagen Gebäude (Grundrisse, Schnitte...)	wenn möglich CAD-Pläne (dxf/dwg-Format), sonst Papier (A3/A4)
2.	Planunterlagen Technische Anlagen	wenn möglich CAD-Pläne (dxf/dwg-Format), sonst Papier (A3/A4), ggf. Datenblätter zu einzelnen Hauptkomponenten
3.	Wärmeschutznachweis / Wärmepass	Das Dokument sollte bei den Revisionsunterlagen oder ggf. beim verantwortlichen Bauphysik-/Statikbüro vorhanden sein
4.	Abrechnungen des EVU	Es sollen die Abrechnungen für Strom, Wärme, Gas, Kälte etc. der letzten drei Jahre untersucht werden
5.	Verträge des EVU	Aktuelle Verträge für Strom, Wärme, Gas, Kälte etc. und evtl. zusätzliche Leistungen wie Contracting, Trafo-Miete u.a.
6.	Dokumentation der GLT	Handbuch, Dokumentation des Herstellers, Screenshots (nach Abstimmung)
7.	Ortsbegehung	In der ersten Phase werden in der Regel 1 – 2 Begehungen des Gebäudes (Technikzentralen, Standardbüro, sonstiges) mit einem Betriebstechniker notwendig sein.
8.	Fotos	Zur Dokumentation des Gebäudes werden Fotos der relevanten Bauteile und Anlagen zu Dokumentationszwecken gemacht.
9.	Nutzerumfrage	Es sollen von ca. 25 Mitarbeitern je Gebäude Fragebögen zur Gebäudenutzung ausgefüllt werden (im Verlauf der Grobanalyse).
10.	Ansprechpartner	Ansprechpartner für das Projekt EVA vor Ort (z.B. Betriebstechniker, Eigentümervertreter)

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

Im Zuge der Bearbeitung wurden individuell zusätzliche Unterlagen angefragt.



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

Zu Ihrer Nahrungsaufnahme

10. Bitte geben Sie an, welche **Nahrungsmittel** Sie in den letzten 15 Minuten zu sich genommen haben.

- | | | | | | |
|----------------|-----------------------|------------------|-----------------------|--------|-----------------------|
| Warmes Getränk | <input type="radio"/> | Koffein- Getränk | <input type="radio"/> | Essen | <input type="radio"/> |
| Kühles Getränk | <input type="radio"/> | Zigaretten | <input type="radio"/> | Nichts | <input type="radio"/> |

Zu Ihrem Aktivitätsniveau

11. Welche **Aktivität** haben Sie in der angegebenen Zeit überwiegend gemacht ?

	<u>(innen)</u>			<u>(außen)</u>		
	Sitzen	Stehen	Gehen	Gehen	Laufen	Auto Fahren
Akt.1 in den letzten 10 Minuten	<input type="radio"/>					
Akt.2 in den vorigen 10 Minuten vor Akt. 1	<input type="radio"/>					
Akt.3 in den vorigen 10 Minuten vor Akt. 2	<input type="radio"/>					
Akt.4 in den vorigen 30 Minuten vor Akt. 3	<input type="radio"/>					

Zu Ihrer Bekleidung

12. Bitte beschreiben Sie, welche **Kleidungsstücke** Sie im Moment tragen.

FüÙe									
Strümpfe	<input type="radio"/>	(keine)	<input type="radio"/>	Dünne	<input type="radio"/>	Dicke	<input type="radio"/>	Wolle	<input type="radio"/>
Schuhe	<input type="radio"/>	(keine)	<input type="radio"/>	Leichte	<input type="radio"/>	StraÙen-	<input type="radio"/>	Winter- /Stiefel	<input type="radio"/>
Mittelschicht									
UnterwäÙche	<input type="radio"/>	(keine)	<input type="radio"/>	Kurze	<input type="radio"/>	Lange	<input type="radio"/>	Schwerer Stoff	<input type="radio"/>
T-Shirt	<input type="radio"/>	(keine)	<input type="radio"/>	Kurzer Ärmel	<input type="radio"/>	Langer Ärmel	<input type="radio"/>	Schwerer Stoff	<input type="radio"/>
Hemde/Bluse	<input type="radio"/>	(keine)	<input type="radio"/>	Schulter frei	<input type="radio"/>	Kurzer Ärmel	<input type="radio"/>	Langer Ärmel	<input type="radio"/>
AuÙenschicht									
Hose	<input type="radio"/>	(keine)	<input type="radio"/>	Kurze	<input type="radio"/>	anliegend	<input type="radio"/>	Locker fallend	<input type="radio"/>
Kleider	<input type="radio"/>	(keine)	<input type="radio"/>	Kurzer Ärmel	<input type="radio"/>	Langer Ärmel	<input type="radio"/>	Schwere Stoff	<input type="radio"/>
Röcke	<input type="radio"/>	(keine)	<input type="radio"/>	Minirock	<input type="radio"/>	Knieläng	<input type="radio"/>	Knöchelläng	<input type="radio"/>
Pullover	<input type="radio"/>	(keine)	<input type="radio"/>	Kurzer Ärmel	<input type="radio"/>	Langer Ärmel	<input type="radio"/>	Rollkragen	<input type="radio"/>
Jacke	<input type="radio"/>	(keine)	<input type="radio"/>	Leichte	<input type="radio"/>	Schwere	<input type="radio"/>	Anzugsjacke	<input type="radio"/>

13. **Insgesamt** empfinde ich meinen Arbeitsplatz als:

sehr unangenehm	<input type="radio"/>	sehr angenehm						
-----------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------

14. Wenn Sie noch irgend etwas **über Ihren Arbeitsplatz** oder diesen kurzen Fragebogen mitteilen möchten, können Sie dies hier tun:

- Vielen Dank! -

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

7.6 Quellen und Literatur zum Projekt

- [1] Jacob, Werner: „Out of Rosenheim“, Deutsche Bauschrift, Gütersloh, 11/2002
- [2] Dassler, Friedrich: „Vertikale Stadtlandschaft“, Intelligente Architektur 35, Seiten 26-33, Leinfelden-Echterdingen, 2002
- [3] Oswalt, Philipp (Hrsg.); mit Susanne Rexroth: „Wohltemperierte Architektur“, Heidelberg, 1994
- [4] Gertis, Karl: „Sind neuere Fassadenentwicklungen bauphysikalisch sinnvoll? Teil 2: Glas-Doppelfassaden (GDF)“, Bauphysik 21, Heft 2, 1999
- [5] Müller, H.F.O., C. Nolte, T. Pasquay (Hrsg.): Klimagerechte Fassadentechnologie: II. Monitoring von Gebäuden mit Doppelfassaden“, VDI-Fortschrittsberichte, Dortmund, 2002
- [6] Schulz, Matthias: „Leben im Schwitzkasten (Life in the Headlock)“, Der Spiegel, Hamburg, 47/2004
- [7] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Energiedaten Deutschland 2004, Stand: 30.11.2005
- [8] Voss, K.; Wagner, A.; Löhnert, G.; Wambsganß, M.; ‚Bürogebäude mit Zukunft‘; TÜV Verlag, 2005
- [9] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz von Gebäuden (Wärmeschutzverordnung-WärmeschutzV), Bundesgesetzblatt 16.08.1994
- [10] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV), Bundesregierung, November 2001
- [11] DIN EN 832:1998-12: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs, Beuth Verlag, Berlin 1998
- [12] DIN V 4108-1-10: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, Beuth Verlag, Berlin 1982-2001
- [13] DIN 4701-10:2001-02: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnische Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Beuth Verlag, Berlin 2001
- [14] VDI 2067, Blatt 1: „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen: Grundlagen und Kostenberechnung“, September 2000
- [15] Richtlinie 2002/91/EG Des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, 16.12.2002
- [16] Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV), Bundesregierung, Juli 2007
- [17] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden, Teil 1-12, 2005-7, Beuth-Verlag, Berlin, 2005
- [18] VDI 3807-1:2007-3, Teil 1: „Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude“, März 2007
- [19] Commerzbank AG: „Ökobilanzbericht: Commerzbank Filialregionen Bielefeld, Köln, Mainz und Nürnberg“, Frankfurt am Main 1998
- [20] Zürcher Kantonalbank: „Ökobilanz-Bericht 2000“, Zürich 2001



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

- [21] Allianz Group: „Nachhaltigkeit in der Allianz Group – Statusbericht 2005“, München 2005
- [22] MIBAG Property + Facility Management: „Energie- und Stoffe-Report 2004 für die Credtie Suisse Group“, 2005
- [23] Swiss RE: „Nachhaltigkeitsbericht 2004“, Zürich 2005
- [24] Benchmarking Report 2003, IFMA – International Facility Management Association, 2003
- [25] Jones Lang Lasalle: „OSCAR 2003 Büronebenkostenanalyse“, Hamburg, 2003
- [26] Siegel, Carl; Rudolf Wonneberg et alt.: Bau- und Betriebskosten von Büro- und Verwaltungsbauten, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, 1979
- [27] Brendel, T.; Güttler, G.: Energiekennzahlen im Hochbau; BMFT Bericht T 83-092, Frankfurt am Main, 1983
- [28] Seibel, Markus; Ulrich Finke, Klaus Fitzner: „Untersuchung zum Energieverbrauch in Bürogebäuden“, in: Ki Luft- und Klimatechnik, Seiten 347-352, 8/1996
- [29] Geiger, B; W. Gruber und W. Megele: „Energieverbrauch und Einsparung in Gewerbe, Handel und Dienstleistung, Heidelberg, 1999
- [30] Zeine, Carl: „Verbrauchskennwerte 1999: Energie- und Wasserverbrauchskennwerte in der Bundesrepublik Deutschland“, ages GmbH, Münster 2000
- [31] Weber, Lukas; Urs-Peter Menti, Ivan Keller: „Energieverbrauch in Bürogebäuden“, Bundesamt für Energie, Bern, Mai 1999
- [32] Wambsgaß, Matthias; Sabine Froehlich: „Energien : Energiekennwerte und Verbrauchsanalysen für neun Verwaltungsgebäuden der Deutsche Bahn AG – Geschäftsbereich Netz“
- [33] Voss, Karsten; Günter Löhnert; Sebastian Herkel; Andreas Wagner; Mathias Wambsgaß: „Bürogebäude mit Zukunft“; TÜV-Verlag, Köln 2005
- [34] SolarBau:MONITOR: Energieeffizienz und Solarenergienutzung im Nichtwohnungsbau – Konzepte und Bauten, Voss, Löhnert, Wagner, Freiburg, 2001
- [35] Eicke-Henning, Werner; Michael Jäckel: „Mehr Gebäudequalität mit weniger Energie-Ein Vergleich zweier Bürogebäude“, Impuls Programm Hessen
- [36] Therburg, Ingo: „Energiecontrolling in Bürogebäuden“, Energiereferat der Stadt Frankfurt, Frankfurt am Main, Juni 2002
- [37] Jahresbericht Energie- und Gebäudemanagement des Landes Niedersachsen: Verbrauchs- und Kostencontrolling, Landesbauabteilung der Oberfinanzdirektion Hannover, Januar 2004
- [38] Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abt. Energiewirtschaft (Hrsg.): Energiebericht – Fortschreibung für das Jahr 2003, Stuttgart, 2004
- [39] Ebert-Ingenieure München: Energiesparkonzepte für 1000 städtische Gebäude, München, 2002
- [40] www.arge-benchmark.de
- [41] Verordnung über Arbeitsstätten, 12.08.2004, BGB II S. 2179
- [42] Arbeitsstätten-Richtlinie, Bundesministerium für Arbeit, Bek. des BMA vom 8. Mai 2001 - IIIb 2-34507-17, BArbBI Nr. 6-7/2001 S.94

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

- [43] VDI 6011: Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung, August 2002
- [44] prEN 13779:2005: Lüftung von Nicht-Wohngebäuden - allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlageanlagen, Mai 2005
- [45] DIN 1946-2: Raumluftechnik, Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln), Januar 1994
- [46] DIN EN ISO 7730: Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und der lokalen thermischen Behaglichkeit, Oktober 2003
- [47] DIN EN 7726: Umgebungsklima - Instrumente zur Messung physikalischer Größen, April 2002
- [48] VDI 6022, Blatt 1: Hygiene-Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen, Februar 2005
- [49] DIN 33403-1-3: Klima am Arbeitsplatz und in der Umgebung, August 2000
- [50] VDI 2078: Berechnung der Kühllast klimatisierter Gebäude bei Raumkühlung über gekühlte Raumumschließungsflächen, Februar 2003
- [51] DIN 4108:2003-07: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Juli 2003
- [52] ISSO-74:2004: Thermische Behaaglijkheid, Publication 74, ISSO, Rotterdam 2004
- [53] ASHRAE 55: 2004: Thermal environmental conditions for human occupancy, ASHRAE Inc., Atlanta, USA 2004
- [54] prEN 15251-2006-05: Bewertungskriterien für den Innenraum einschließlich Temperatur, Raumlufqualität, Licht und Lärm
- [55] LG Bielefeld: Urteil vom 16.4.03, AZ: 3 O 411/01
- [56] OLG Köln, Urteil vom 28.10.91, AZ: 2 U 185/90
- [57] OLG Hamm, Urteil vom 18.10.94, AZ: 7 U 132/92
- [58] OLG Düsseldorf, Urteil vom 4.6.98, AZ: 24 U 194/96
- [59] OLG Rostock, Urteil vom 29.12.00, AZ: 3 U 83/98
- [60] KG Berlin, Urteil vom 2.9.02, AZ: 8U 146/01
- [61] Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Siedlungswesen: Energieeinsparung contra Behaglichkeit, Forschungen Heft 121, Bonn 2007
- [62] VDI 6011 Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung, August 2002 bis April 2006
- [63] DIN 5034 Tageslicht in Innenräumen, Januar 1999
- [64] Bischof, Wolfgang; Monika Bullinger-Naber; Boris Kruppa; Bernd Hans Müller; Rudolf Schwab; Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden, Ergebnisse des ProKlimA-Projektes, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2003
- [65] DIN EN 12464 Beleuchtung von Arbeitsplätzen, Januar 2002
- [66] DIN 6169 Farbwiedergabeeigenschaften von Lichtquellen in der Beleuchtungstechnik, Januar 1976
- [67] Michael Szerman: „Auswirkungen der Tageslichtnutzung auf das energetische Verhalten von Bürogebäuden“, Bauphysik 18, Heft 4, 1996



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

- [68] DIN 5035 Beleuchtung mit künstlichem Licht, Juli 2006
- [69] Hennings, Dr. Detlef: „Elektrische Energie im Hochbau - Leitfaden Elektrische Energie“, Institut für wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2000
- [70] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau, November 1989
- [71] DIN pr 18041: Hörsamkeit in kleinen und mittelgroßen Räumen, April 2003
- [72] Bischof, Wolfgang et al.: „Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden-Ergebnisse des ProKlimA-Projekts“, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2003
- [73] Daniels, Klaus: „Technologie des ökologischen Bauens: Grundlagen und Maßnahmen, Beispiele und Ideen“, Birkhäuser, Basel 1999
- [74] Fisch, Norbert M., Stefan Plesser: „Energiedesign der Zukunft“, Deutsche Bauzeitschrift, 3/2005, S. 54-59
- [75] Hausladen, Gerhard: „ClimaDesign: Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik mehr können“, Callwey, München 2005
- [76] Eisele: „Bürobauatlas: Grundlagen, Planung, Technologie, Arbeitsplatzqualitäten“, Callwey, München 2005
- [77] DIN 277-1 und 2:2005: Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau, 2005
- [78] Marktreport 2004, DEGI, Deutsche Gesellschaft für Immobilienfonds, Frankfurt 2004
- [79] DIN 276: Kosten im Hochbau, Juni 1993
- [80] BKI Baukosten 2004, Teil 1, Statistische Kostenkennwerte für Gebäude, Baukosteninformationsdienst Stuttgart
- [81] BKI Objektdokumentation, BKI Kostenplaner Version 7.01, 2004, Baukosteninformationsdienst Stuttgart
- [82] SolarBau:MONITOR, Objektdokumentationen www.solarbau.de
- [83] Plakoda, PLANungs- und KOSTenDATen, Landesbetrieb Vermögen und Bau, Version 2.5, 2005
- [84] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Normalherstellungskosten 2000
- [85] DIN 18960:1999-08: Nutzungskosten im Hochbau, Beuth-Verlag, August 1999
- [86] GEFMA 100-1: Facility Management Grundlagen, GEFMA e.V. deutscher Verband für Facility Management, Bonn, Juli 2004
- [87] DIN 32736: Gebäudemanagement, August 2000
- [88] AMEV Nr. 78: Geräteausstattung zur Energie- und Medienefassung (EnMess 2001), Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Einrichtungen, Berlin 2001

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**



Mühlenpfordtstr. 23
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391 - 3555
 Fax: 0531 / 391 - 8125
 e-mail: igs@tu-bs.de
 www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
 Zimmerstr. 24b
 D - 38106 Braunschweig
 Tel.: 0531 / 391-3635
 Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
 von
 Energie-
 Konzepten**

- [89] AMEV EVA 92: Energieverbrauchserfassung und Grundlagen zur Auswertung für öffentliche Gebäude, Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Einrichtungen, Bonn 1992
- [90] AMEV Nr. 87: Hinweise für Planung, Ausführung und Betrieb der Gebäudeautomation in öffentlichen Gebäuden (Gebäudeautomation 2005), Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Einrichtungen, Berlin 2005
- [91] DIN 8930 Teil 5: Kälteanlagen und Wärmepumpen - Terminologie - Teil 5: Contracting, Beuth-Verlag, 2003:11
- [92] AMEV Nr. 80: Hinweise für die Durchführung von Energiespar- Contracting in der öffentlichen Verwaltung“ (Energiespar- Contracting 2001), Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Einrichtungen, Berlin 2001
- [93] VDI 3807-1:2007-03: Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude – Grundlagen, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2007
- [94] SIA 380: Energie im Hochbau, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 1995
- [95] MEG - Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden, DS-plan, Forschungsprojekt 2002 - 2005
- [96] www.eplabel.org
- [97] Baumann, Oliver: OASE – Optimierung der Automationsfunktionen betriebstechnischer Anlagen mit Hilfe der dynamischen Simulation als Energie-Management System, Ebert-Ingenieure München, 2005
- [98] IEA Annex 47 „Cost-effective Commissioning for Existing and Low Energy Buildings“, www.iea-annex47.org
- [99] „Energie in Deutschland“, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2006
- [100] „Facility Manager“, Oktober 2007
- [101] Baupreisindizes November 2004, statistisches Bundesamt Fachserie 17, Reihe 4, Januar 2005
- [102] IBP Fraunhofer Instituts für Bauphysik: Excel-basiertes Rechenprogramm zur Anwendung der DIN V 18599, Stuttgart, 2006
- [103] Erhorn-Kluttig, Heike; Hans Erhorn; Edelgard Gruber: „Evaluierung des dena ergänzenfeldversuchs für Nichtwohngebäude“, IBP-Bericht WB 128/2005, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Stuttgart, 2005
- [104] Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch für Heizung+Klimatechnik, Oldenburg 2007, S. 1097
- [105] Schiller, G.E. et al., 1988: „A Field Study of Thermal Environments and Comfort in Office Buildings“. Centre for the Built Environment; University of California, Berkley; No. 3164 (RP-462).
- [106] Donnini, G.; et al., 1996: “Field Study of Occupant Comfort and Office Thermal Environments in a Cold Climate” ASHRAE Transactions; RP-821: 205-220; Centre of Building Studies, Concordia University, Montreal, Canada.
- [107] de Dear, R.; et al., 1997: “Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference” Macquarie University, Sydney NSW 2109 Australia and Centre for Environmental Design Research, University of California, Berkley, CA 94720 USA; Final Report, ASHRAE RP-884.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

- [108] McCartney, K.J.; Nicol, J.F.; 2002, 2001: "Developing an adaptive control algorithm for Europe: Results of the SCATs project". Oxford Centre for Sustainable Development, Oxford Brookes University
- [109] Fanger, P. O.: "Thermal Comfort". Technical University of Denmark, Laboratory of heating and Air Conditioning; Danish Technical Press, Copenhagen, 1970
- [110] Morgan, C.; de Dear, R.; 2003: „Weather, clothing and thermal adaptation to indoor climate"; Division of Environmental and Life Sciences, Macquarie University; Climate Research; Vol. 24: 267-287; Sydney, Australia.
- [111] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden, Teil 1-12, 2005-7, Beuth-Verlag, Berlin, 2005
- [112] VDI 3807-1:2007-3: Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude, VDI, März 2007
- [113] DIN 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnische Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, August 2003
- [114] www.modben.org

7.6.1 Literaturangaben und Anhang zu den Nutzerbefragungen

- [Backhaus et al. 2006] Backhaus, K.; Erichson, B; Plinke, W.; Weiber, R., Multivariate Analysemethoden, Springer Verlag 2006
- [Bischof et al. 1993] Bischof, W. et al. ; ‚Sick Building Syndrom – Forschung und Erkenntnisumsetzung'; Verlag C.F. Müller; Karlsruhe; 1993
- [Bischof et al. 2003] Bischof; W. et. al; ‚Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden'; Ergebnisse des ProKlimA-Projektes; Fraunhofer IBR Verlag; 2003
- [Boerstra et al. 2003] Boerstra, A.C.; Raue, A.K.; Kurvers, S.K.; van der Linden, A.C.; Hogeling, J.J.N.M.; de Dear, R.; ‚A new dutch adaptive thermal comfort guideline'; Proceedings Healthy Buildings 2003
- [Bortz, Döring 2003] Bortz, J.; Döring, N.; ‚Forschungsmethoden und Evaluation', Springer Verlag, 2003 (3. Auflage)
- [Brosius 2002] Brosius, F.; ‚SPSS 11'; mitpVerlag; 2002
- [ISO 7730:2005] prEN ISO 7730:2005; ‚Ergonomics of thermal environment'; Beuth Verlag, 2005
- [Gossauer 2006] Gossauer, E.; Leonhart, R., Wagner, A.; ‚Nutzerzufriedenheit am Arbeitsplatz'; Gesundheitsingenieur Nr. 5, Oktober 2006.



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

EVA

**Evaluierung
von
Energie-
konzepten**

- [Gossauer 2006] Gossauer, E.; Leonhart, R.; Wagner, A.; 'A Survey on Workplace Occupant Satisfaction - a Study in Sixteen German Office Buildings'; Proceedings of EPIC Conference; Lyon; November 2006
- [Fahrenberg 2002] Fahrenberg, J.; Bolkenius, K.; Maier, S.; Schmidt, M.; Förster, F.; Hüttner, P.; Käßler, Ch.; Leonhart, R.; 'Evaluation des negativen Retrospektionseffekts: Untersuchung mit MONITOR'; Forschungsbericht Nr. 156 des Psychologischen Instituts der Universität Freiburg; 2002
- [Herkele et al. 2005] Herkele, S.; Knapp, U.; Pfafferott, J.; 'A Preliminary Model of User Behaviour Regarding the Manual Control of Windows in Office buildings'; Konferenz IBPSA; Montreal; 2005
- [Lienert, Raatz 1998] Lienert, G., Raatz, U., 'Testaufbau und Testanalyse', Beltz Verlag, 1998 (6. Auflage)
- [Morgan et al. 2002] Morgan, C.A.; de Dear, R.; Brager, G.; 'Climate, clothing and adaptation in the built environment'; Proceedings Indoor Air 2002; S. 98-103
- [Pfafferott 2004] Pfafferott, J.; 'Enhancing the Design and the Operation of Passive Cooling Concepts'; Dissertation an der Universität Karlsruhe; Fraunhofer IBR Verlag, 2004
- [Pfafferott, Kalz 2007] Pfafferott, J.; Kalz, D.; 'Thermoaktive Bauteilsysteme – Nichtwohnungsbauten energieeffizient heizen & kühlen auf hohem Komfortniveau'; BINE Info I/2007
- [Pfafferott 2007] Pfafferott, J.; Herkele, S.; Kalz, D.; Zeuschner, A.; 'Comparison of low-energy office buildings in summer using different thermal comfort criteria'; Energy & Buildings (Special Issue), im Druck (stand April 2007)
- [Plesser 2003] Plesser, S.; Bremer, C.; Fisch, N.; 'EVA – Forschungsprojekt zur Evaluierung von Energiekonzepten: Auf dem Prüfstand.'; Intelligente Architektur 43; Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH; Leinfelden-Echterdingen; 2003
- [Plesser 2005a] Plesser, S.; Bremer, C.; Fisch, M.N.; 'EVA – Forschungsprojekt zur Evaluierung von Energiekonzepten: Auf dem Prüfstand V', Intelligente Architektur 53; Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH; Leinfelden-Echterdingen; 2005
- [Plesser 2005b] Plesser, S.; Gerder, F.; Bremer, C.; Fisch, M.N.; 'EVA – Forschungsprojekt zur Evaluierung von Energiekonzepten: Auf dem Prüfstand IV – Neubau Informatikzentrum der TU Braun-



Mühlenpfordtstr. 23
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391 - 3555
Fax: 0531 / 391 - 8125
e-mail: igs@tu-bs.de
www.tu-bs.de/institute/igs

Labor:
Zimmerstr. 24b
D - 38106 Braunschweig
Tel.: 0531 / 391-3635
Fax: 0531 / 391-3636

EVA

Evaluierung von Energie- konzepten

- schweig'; Intelligente Architektur 51; Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH; Leinfelden-Echterdingen; 2005
- [Recknagel et al. 2000] Recknagel, H., Sprenger, E., Schramek, R., Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenbourg Verlag, 2000
- [Rozynski 2006] Rozynski, M.; 'Simulation auf der Grundlage des Test Reference Year (TRY) ein geeignetes Bewertungskriterium?'; Bauphysik Nr. 5; 2006; S. 330-332
- [Voss et al. 2005] Voss, K.; Wagner, A.; Löhnert, G.; Wambsganß, M.; 'Bürogebäude mit Zukunft'; TÜV Verlag, 2005
- [Wagner et al. 2006a] Wagner, A.; Kleber, M.; Gropp, T.; 'Neubau Ostarkade der KfW-Bankengruppe, Frankfurt a. M.: Monitoring und Betriebsoptimierung im Rahmen von Solarbau, Teilkonzept 3'; Abschlussbericht unter: www.kfw-monitoring.de
- [Wagner et al. 2006b] Wagner, A.; Moosmann, C. ; Gropp, T.; 'Untersuchungen zum sommerlichen thermischen Komfort am ITC-WGT in Karlsruhe; Vortrag; März 2006
- [Wirtz, Nachtigall 2002a] Wirtz, M., Nachtigall, Ch.; 'Deskriptive Statistik, Statistische Methoden für Psychologen', Teil 1, Juventa Verlag, 2002
- [Wirtz, Nachtigall 2002b] Wirtz, M., Nachtigall, Ch.; 'Wahrscheinlichkeitsrechnung und Interferenzstatistik, Statistische Methoden für Psychologen', Teil 2, Juventa Verlag, 2002

7.6.2 Links

Im Folgenden sind einige Internet-Links zum Institut für Gebäude- und Solartechnik, den Projektpartnern und themenverwandten Forschungsprojekten aufgeführt.

www.igs.bau.tu-bs.de
www.stz-egs.de
www.fbta.uni-karlsruhe.de
www.mp-gruppe.de
www.dezem.de
www.energydesign-bs.de
www.EnOB.info