



INSTITUT WOHNEN
UND UMWELT

LEE

Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau

Vollständig überarbeitete Fassung

Juli 2000

Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt
im Auftrag des
Hessischen Ministeriums für
Umwelt, Landwirtschaft und Forsten

Autor:

Dr. Detlef Hennings

Mitarbeit:

Eberhard Hinz

Dr. Bernd Steinmüller

Marc Großklos

Autoren der Entwurfsfassung von 1995/96:

Dr. Witta Ebel

Michael Jäkel

Projektberatung:

Prof. Dr. Lothar Rouvel, TU München

Prof. Dr. Gerhard Hausladen, Univ. GH Kassel

Thomas Schilling, KSP Architekten, Frankfurt/Main

Dietmar Jergus, Ing.-Büro Jergus, Limburg

Michael Hörner, Amstein + Waltert, Frankfurt/Main

Projektbegleitung beim Auftraggeber:

Gabriele Purper

Rüdiger Schweer

Axel Bretzke

Vorwort

Eine am Ziel der Nachhaltigkeit orientierte Energiepolitik muss Konsequenzen daraus ziehen, dass der Einsatz der fossilen Energieträger, auf denen unsere Energieversorgung bisher basiert, mit schädlichen Umweltauswirkungen verbunden ist. Kohlendioxid und andere klimarelevante Spurengase heizen die Erdatmosphäre auf und drohen zur Klimakatastrophe zu führen; Stickoxid und Schwefeldioxid belasten mit dem sauren Regen Boden, Gewässer und ganze Ökosysteme.

Die hessische Landesregierung hält deshalb den sparsamen Umgang mit den Ressourcen für unumgänglich. Energiebedingte Umweltbelastungen sind zu minimieren. Alle Möglichkeiten sind auszuschöpfen, um die gemeinsam von Bund und allen Bundesländern getragenen Klimaschutzziele, die Verminderung der Kohlendioxidemissionen um 25 % bis zum Jahr 2005 im Vergleich zum Basisjahr 1990, zu erreichen und die technische und wirtschaftliche Weiterentwicklung der erneuerbaren Energien voranzutreiben, damit sie in den nächsten Jahrzehnten eine tragende Rolle in der Energieversorgung übernehmen können.

Die wesentlichen Beiträge zur CO₂-Verminderung bis zum Jahr 2005 müssen jedoch über Energiesparmaßnahmen und rationelle Energienutzung erbracht werden, da die Nutzung der erneuerbaren Energien bis dahin noch nicht viel beitragen kann. Die Potenziale zur Einsparung von Wärme und Strom sind in allen Verbrauchssektoren reichlich vorhanden. So hat die Musteruntersuchungen zur Stromeinsparung, die das Land vor einigen Jahren im öffentlichen Gebäudebestand durchgeführt hat, die Resultate auch anderer vergleichbarer Studien bestätigt. Die zu wirtschaftlichen Bedingungen erzielbaren Stromeinsparungen in diesen Gebäuden betragen 20 bis 60 % ihres gegenwärtigen Stromverbrauchs.

Diese Potenziale werden, wie im Wärmebereich auch, noch nicht ausreichend genutzt. Die Einspartekniken sind vorhanden, es mangelt aber beispielsweise an der ausreichenden Information und Qualifikation der beteiligten Investoren und Planer.

Der vorliegende Leitfaden "Elektrische Energie im Hochbau" will hier Abhilfe schaffen. Er stellt ein gut zu handhabendes Werkzeug dar, mit dessen Hilfe eine integrale Planung und Optimierung des rationellen Einsatzes elektrischer Energie in Dienstleistungsgebäuden möglich ist. Inhalte des Leitfadens sind die Darstellung des Planungsablaufs, ein Kennwertverfahren zur Verwertung und Verbesserung von elektrischen Anwendungen im Gebäudebereich als Maßnahme zur Investitions- und Betriebskostenreduzierung sowie Hinweise für Planung und Optimierung. Der Leitfaden richtet sich sowohl an die Bauherren bzw. Investoren als auch die an der Gebäude- und Technikplanung Beteiligten, also die Architekten, Planer, Ingenieure und Energieberater.

Der erste Leitfaden wurde vom Institut Wohnen und Umwelt im März 1995 fertig gestellt. Daran schloss sich erfreulicherweise ein reges Interesse von Ingenieurbüros, Architekten, Energieagenturen und Verwaltungen an. Nach mehrjähriger Erprobung in der Praxis hat das Institut Wohnen und Umwelt den Leitfaden überarbeitet und aktualisiert. Die Anregungen aus der Praxis und der empirischen Prüfung der Grenz- und Zielwerte sowie neue Entwicklungen im Bereich Technik und Normung/Richtlinien wurden in dieser Überarbeitung berücksichtigt.

Zusammen mit dem Leitfaden "Energie im Hochbau" stellt der überarbeitete Leitfaden ein brauchbares und praxisnahes Planungsinstrument für die integrale Gebäudeplanung dar, dem eine möglichst breite Anwendung zu wünschen ist.

Die CD-ROM zum Leitfaden Elektrische Energie (LEE)

Dem gedruckten LEE ist eine CD-ROM beigelegt, auf der einige EDV-Hilfen für die Anwendung mit dem LEE bereitgestellt werden: Die Formulare für die Dokumentation von LEE-Analysen, eine mit dem LEE verwendbare Version des 'Stromsparcheck', ein Programm zur Optimierung des Kühl- und Heizbedarfs einer Gebäudezone sowie ein Rechenblatt zur Bestimmung des Jahresheizenergiebedarfs. Ferner enthält die CD-ROM den vollständigen LEE-Text als elektronisches Dokument, so dass diese auch ohne den gedruckten Text verwendet werden kann.

Systemvoraussetzung für volle Funktion der CD-ROM ist das Betriebssystem Windows 95 oder höher. Die EDV-Hilfen zum LEE benötigen die Tabellenkalkulations-Software Excel ab Version 5. Einige Teile der CD-ROM können auch unter anderen Betriebssystemen genutzt werden, sofern die Programme 'Acrobat Reader' oder 'Excel' verfügbar sind. Weitere Information und Hinweise zur Benutzung enthält die Datei 'LEEstart.txt' bzw. 'LEEstart.htm' auf der CD-ROM.

Adresse für Rückmeldungen

Der LEE soll auch in Zukunft verbessert werden. Deshalb werden Erfahrungsberichte, Hinweise auf Fehler und Anregungen zur Verbesserung erbeten an folgende Adresse:

LEE-Projekt
Institut Wohnen und Umwelt
Annastr. 15
64 285 Darmstadt

oder per e-mail an: d.hennings@iwu.de

Inhalt

1. Einführung	7
1.1 Ziele des LEE.....	7
1.2 Adressaten	7
1.3 Die Systematik des LEE	9
1.4 Geltungsbereich, Systemgrenzen	10
2. Die Vorgehensweise bei der Planung mit dem LEE	12
2.1 Integrale Planung mit dem LEE	12
2.2 Die Anwendung des LEE im Planungsablauf	14
2.3 Das Zusammenwirken der Beteiligten am Planungsprozess	17
2.4 Der Bezug zur HOAI.....	18
3. Das Analyse- und Bewertungsverfahren mit Kennwerten.....	21
3.1 Übersicht.....	21
3.2 Aufstellen der Energiematrix	23
3.2.1 Einteilung nach Energiedienstleistungen.....	23
3.2.2 Einteilung nach Betriebseinheiten	24
3.2.3 Die Struktur der Energiematrix.....	25
3.3 Rechenverfahren für die Energiedienstleistungen.....	26
3.3.1 Beleuchtung	26
3.3.2 Lüftung und Klimatisierung	36
3.3.3 Diverse Haustechnik.....	48
3.3.4 Arbeitshilfen	53
3.3.5 Zentrale Dienste	56
3.4 Primärenergetische Bewertung.....	58
3.5 Wirtschaftliche Bewertung	58
4. Technische Planungs- und Optimierungshinweise	61
4.1 Das Gebäude als Gesamtsystem.....	61
4.2 Hinweise zu einzelnen Energiedienstleistungen	61
4.2.1 Licht und Beleuchtung	62
4.2.2 Lüftung und Klimatisierung	70
4.2.3 Arbeitshilfen	81
Anhänge :	84
A 1. Allgemeines.....	84
A 1.1 Definitionen der Begriffe.....	84
A 1.2 Abkürzungen und Formelzeichen	86
A 1.3 Quellen und Literatur.....	87
A 2. Organisatorisches	91
A 2.1 Mögliche Anforderungen des Bauträgers (Beispiele)	91
A 2.2 Mögliche Pflichtenheftpunkte (Beispiele).....	91
A 3. Materialien zum Kennwertverfahren.....	92
A 3.1 Allgemeine Information	92
A 3.2 Formblätter für die LEE-Dokumentation	94
A 3.3 Zusätzliche Information für die Kennwertberechnung	104
A 3.4 Tabellen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung	114

1. Einführung

1.1 Ziele des LEE

Der 'Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau' soll zu einem rationellen Einsatz elektrischer Energie in Dienstleistungsgebäuden beitragen. Diese Gebäudeklasse weist neben dem Heizenergieverbrauch einen bedeutenden Stromverbrauchs- und -kostenanteil auf, der durch die nachgefragten Energiedienstleistungen der Haustechnik (Beleuchtung, Lüftung, Kühlung, Klimatisierung, usw.) und der Gebäudenutzung (z.B. Arbeitshilfen) bedingt ist. In zahlreichen Gebäuden übertrifft, primärenergetisch gesehen, der Strombedarf den Bedarf an Heizenergie.

Es lohnt daher, Dienstleistungsgebäude nicht nur hinsichtlich der Heizenergie, sondern auch bezüglich des Strombedarfs auf Einsparmöglichkeiten hin zu untersuchen. Eine Optimierung bezüglich des Strombedarfs kann neben einer deutlichen Reduzierung des Energiekonsums auch interessante Kostensenkungen bewirken.

Ziel des Leitfadens ist es, für die energetische Verbesserung Vorgehensweisen, Bewertungsmaßstäbe und Rechenverfahren, sowie zusätzliche Planungshinweise zur Verfügung zu stellen. Als 'Werkzeuge' für die Minimierung des Stromeinsatzes in diesen Anwendungsbereichen stellt der Leitfaden bereit :

- Ein Verfahren für die Bestimmung von Kennwerten des elektrischen Energieverbrauchs
- Grenz- und Zielwerte als Maßstab für die Bewertung des Energieverbrauchs
- Hinweise für die Planung und Optimierung des Gebäudes und der technischen Ausstattung

1.2 Adressaten

Der Leitfaden richtet sich an alle diejenigen Personen, die auf der Planungsebene mit dem Bau, der Erhaltung und Sanierung, oder mit dem Betrieb von Dienstleistungsgebäuden befasst sind : Bauherren und Betreiber, Architekten, Ingenieure und Energieberater.

Bauherren / Investoren

Diese erhalten Hinweise und Hilfen, die es ihnen erleichtern, geeignete inhaltliche und organisatorische Vorgaben für einen energiegerechten Planungsprozess zu machen. Durch eine energetische Verbesserung von Gebäude und Anlagen lassen sich häufig sowohl die Investitions- als auch die Betriebskosten senken. Bei vermieteten Gebäudes verbessern niedrige Betriebskosten die Vermietungschancen und erhöhen den erzielbaren Mietpreis.

Die im Leitfaden vorgeschlagene Aufbereitung der energetischen Daten macht erkennbar, wie sich die Realisierung einzelner Komfort- und Nutzungsanforderungen in den Bereichen Beleuchtung, Lüftung, Klima und Geräteausstattung auf den Energiebedarf und damit auch auf die Betriebskosten auswirken.

Architekten, Planer, Fachingenieure

Für Architekten und Haustechnikplaner enthält der Leitfaden Empfehlungen und Berechnungsverfahren zur energetischen Planung und Sanierung von Anlagen und Gebäuden sowie Hinweise zur energiebewussten Systemwahl und -auslegung und zu einer integralen Planungspraxis.

Energetische Aspekte gewinnen bei der Gebäude- und Anlagenplanung zunehmend an Gewicht. Geringe Energie- und Anlagenkosten sind für kosten- und umweltbewusste Auftraggeber bereits heute eine wichtige Forderung. Es ist zu erwarten, dass die aus dem Energieeinsatz resultierenden Umweltprobleme zukünftig zu einer Verteuerung der Energie und damit verbunden zu höheren Anforderungen an die energetische Effizienz der Gebäude führen werden.

Energiebeauftragte oder -controller

In größeren und komplexeren Bauprojekten ist es oft sinnvoll, eine Person als Energiebeauftragten oder Energie-Controller einzusetzen. Dessen Aufgaben bestehen darin, den Planungsprozess unter Energiegesichtspunkten zu begleiten und dabei die energetischen Eigenschaften des gesamten Gebäudes im Auge zu haben, in allen Planungsschritten energierelevante Anforderungen zu vertreten, die Fachplaner in Energiefragen zu beraten, die energetischen Auswirkungen der Planung in ihren Varianten zu prüfen und zu berechnen, sowie Anregungen zur energetischen Optimierung zu geben.

Betreiber

Großen Einfluss auf den Energieverbrauch hat die Art, wie die elektrischen Einrichtungen genutzt und betrieben werden. Zur Aktivierung des in der Betriebsweise liegenden Einsparpotentials ist eine kontinuierliche Erfassung und Auswertung des Energieverbrauchs erforderlich. Hierzu werden inhaltliche und organisatorische Anregungen gegeben.

1.3 Die Systematik des LEE

Der LEE stellt Methoden und Hilfsmittel für die energetische Verbesserung von Gebäuden auf drei verschiedenen Ebenen bereit :

- der organisatorischen Planungsebene mit einer Anleitung für die Vorgehensweise,
- der Analyse- und Bewertungsebene mit einem Energiekennwert-Verfahren,
- der technischen Ebene mit Hinweisen für die Planung und Optimierung.

Anleitung für die Vorgehensweise

Diese soll es erleichtern, die energetischen Gesichtspunkte an geeigneten Stellen im Planungsprozess einzugliedern. Dabei wird von einer 'Integralen Planung' des Gebäudes und der Gebäudetechnik ausgegangen als einer Voraussetzung für den optimalen Energieeinsatz. Dieses Vorgehen kann sowohl auf die Neubau-Planung als auch mit vorgeschalteter IST-Analyse auf Bestandsgebäude angewendet werden.

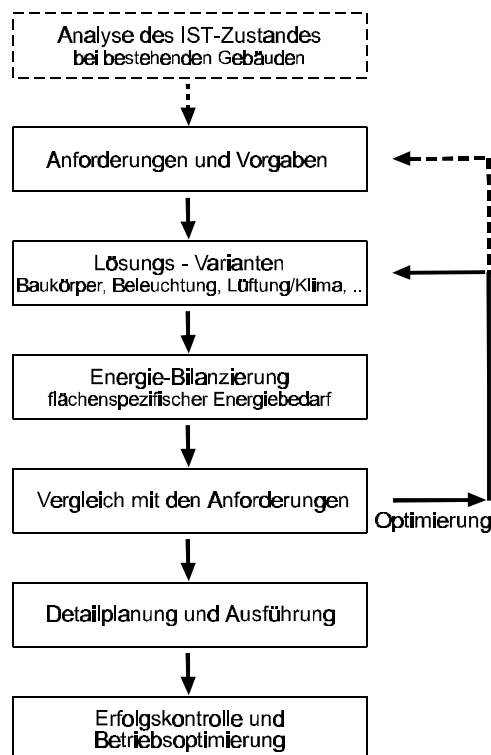


Abb. 1.1

Die Abbildung 1.1 zeigt eine Übersicht über die Abfolge der Schritte, mit denen ein energetisch optimiertes Planungsergebnis erreicht werden kann. Die einzelnen Schritte werden in Kapitel 2 beschrieben.

Das Energiekennwert-Verfahren

Eine zentrale Rolle in der energetischen Analyse und Optimierung nimmt das Kennwertverfahren ein. Die hier verwendeten **Kennwerte** beschreiben den Jahres-Energiebedarf bezogen auf die jeweilige Nutzfläche. Dies erlaubt eine Bewertung des Energiebedarfs mit einem vom individuellen Gebäude unabhängigen Maßstab. Zur Differenzierung werden Kennwerte für verschiedene Arten der **Energiedienstleistung** (Beleuchtung, Lüftung/Klima, Arbeitshilfen, usw.) definiert. Mit einer zusätzlichen Aufschlüsselung der Kennwerte nach

1.4 Geltungsbereich, Systemgrenzen

Der Anwendungsbereich

Der vorgesehene Anwendungsbereich des LEE sind Gebäude im Dienstleistungsbereich, wobei sowohl der Neubau als auch die energetische Sanierung erfasst werden. Zu den Dienstleistungsgebäuden zählen unter anderem :

- Bürogebäude
- Schulen
- Hochschulinstitute
- Bibliotheken
- Rechenzentren
- Restaurants
- Verkaufsflächen
- Lager
- Sport- /Schwimmbhallen
- Heime
- Wirtschaftsgebäude / Betriebszentralen

Es ist jedoch möglich, die Vorgehensweise und die Rechenverfahren sinngemäß auch auf andere Gebäude zu übertragen, wobei für diese Fälle in der Regel keine anwendbaren Grenz- und Zielwerte vorliegen.

Systemgrenzen - Abgrenzung zum Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung (LEG)

Im LEE werden schwerpunktmäßig die Energiedienstleistungsbereiche Licht, Kraft, Prozesse (Bereitstellung von Licht, frischer Luft, Kälte, Arbeitshilfen, usw.) behandelt. Die Erzeugung von elektrischer Energie wird nicht betrachtet.

Die Energiedienstleistung Wärme (Heizung und Warmwasserbereitung) ist Gegenstand des Leitfadens Energiebewusste Gebäudeplanung (/LEG/). Für die zukünftige Weiterentwicklung ist vorgesehen, die Leitfäden LEE und LEG zu einem einheitlichen Planungsinstrument für den Gesamtenergiebedarf von Gebäuden zusammenzuführen.

2. Die Vorgehensweise bei der Planung mit dem LEE

2.1 Integrale Planung mit dem LEE

Der Energiebedarf eines Gebäudes wird von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt, angefangen bei der Nutzungsart und den Anforderungen an das Innenklima über die Konstruktionen der Gebäudehülle, die Geometrie und Fensteranordnung, die Gebäudetechnik, und vieles mehr. Die Auswirkungen der verschiedenen Faktoren sind außerdem vielfach gegenseitig abhängig. Wegen dieser zum Teil komplexen Zusammenhänge erfordert eine Planung, die ein energetisch optimiertes Ergebnis zum Ziel hat, dass die verschiedenen Gebäudeaspekte im Zusammenhang betrachtet und berücksichtigt werden.

Der 'integrale' Planungsablauf

Bei der integralen Planung wird der Tatsache Rechnung getragen, dass der spätere Gebäudebetrieb ein komplexes Zusammenwirken vieler verschiedenartiger Funktionen und Eigenschaften bedeutet. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist, dass die Fachleute für die verschiedenen Funktionseinheiten des Gebäudes im Planungsprozess bereits frühzeitig im gegenseitigen Austausch stehen.

Zur integralen Planung gehört des Weiteren eine Steuerung des Planungsablaufes, die Optimierungszyklen in den fortschreitenden Prozess einfügt. Ein Optimierungszyklus besteht aus den Schritten: Definition von Anforderungen, konkrete Umsetzung auf der jeweiligen Planungsstufe, Bewertung des Planungsergebnisses und Vergleich mit den Anforderungen. Dieses Vorgehen wird auf den fortschreitenden Planungstufen wiederholt, so dass auf jeder Stufe das Ergebnis aus der Betrachtung des gesamten Systems resultiert.

Eine integrale Planungsweise ist optimale Voraussetzung für die Anwendung des LEE. Wichtige Elemente des integralen Planungsablaufs mit dem LEE sind :

- Definition der Anforderungen an das Gebäude in einem Katalog oder Pflichtenheft
- Frühzeitige Beteiligung der Fachingenieure an der Gesamtplanung
- Optimierung in den verschiedenen Planungsphasen
- Überprüfung der Ergebnisse anhand der Anforderungen auf jeder Planungsstufe

Diese Planungsweise bewirkt auch, dass die Beteiligten frühzeitig Information über die Konsequenzen jedes Planungsschritts erhalten.

Die integrale Planungsweise schafft wesentlich bessere Voraussetzungen für ein gutes Gesamtergebnis als eine konventionelle Planung, bei der einzelne Planungsbereiche sequentiell mit geringem Informationsaustausch über wechselseitige Einflüsse abgearbeitet werden¹. Bei der integralen Planungsweise können Chancen besser genutzt werden, wie etwa eine geringfügige Änderung des Gebäudekonzepts, mit der der Energiebedarf so weit gesenkt wird, dass die technischen Anlagen wesentlich kleiner dimensioniert werden können. Eine Klimaanlage kann eventuell einfach weglassen werden, weil das Gebäude bereits 'passiv' hinreichend klimatisiert ist.

¹ So wird beispielsweise 'traditionell' der Haustechnik-Planer erst hinzugezogen, nachdem der Architekt das Gebäudekonzept weitgehend fertiggestellt hat. Dieser plant dann eine Anlage, die die Innenklima-Anforderungen auf jeden Fall erfüllt und die zur 'Sicherheit' überdimensioniert ist.

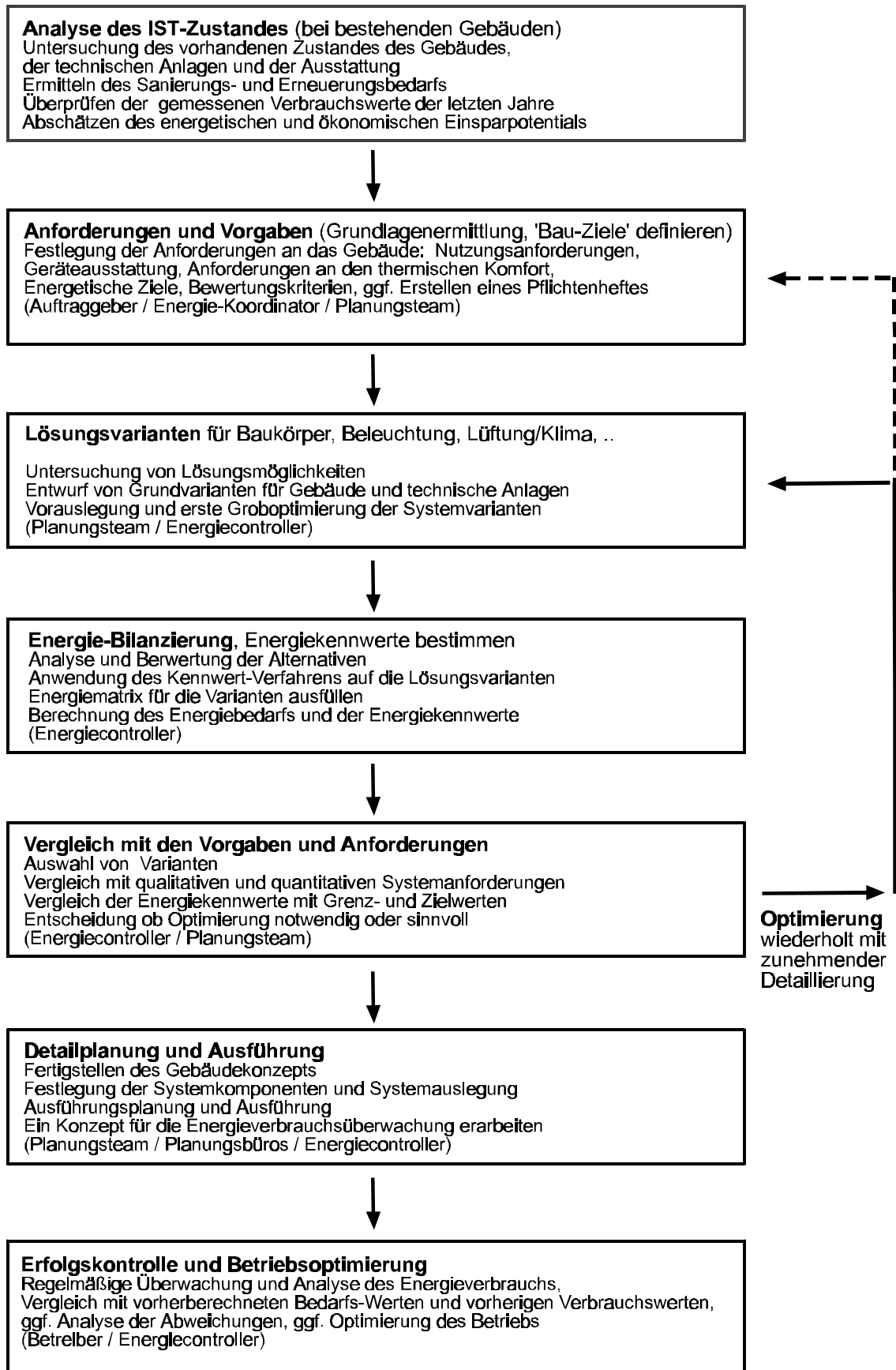


Abb. 2.1 Schema der Vorgehensweise bei der Anwendung des LEE im Planungsprozess

Der Nutzen für den Auftraggeber

Dem Auftraggeber bietet eine integrale Planung die Möglichkeit, den komplexen Planungsablauf stärker als bisher bis in die einzelnen technischen Systeme hinein zu überblicken und zu beeinflussen. Durch die Bewertung und Bilanzierung innerhalb des Planungsprozesses erhält er genauere Angaben, wie sich unterschiedliche bauliche Konzepte, Komfortansprüche und Anlagensysteme auf die Investitions- und Betriebskosten auswirken.

Den Fachplanern eröffnet die integrale Planung die Möglichkeit, während der Genehmigungsplanung und der Ausführungsplanung stärker als bisher Einfluss auf die Baukonstruktion, die Anlagenstandorte und die räumlichen Anordnungen der jeweiligen Komponenten zu nehmen. Die Verwirklichung energiesparender Innovationen wird gefördert. Die Abstimmung mit anderen Gewerken erfolgt frühzeitig, Fehlplanungen und überdimensionierte Anlagen können vermieden werden.

Dem Betreiber bieten energetisch optimierte Gebäude außer geringeren Betriebskosten Vorteile im Hinblick auf die Verfügbarkeit, Komfort und die Anwenderfreundlichkeit der haustechnischen Systeme. Eine aus energetischen Gründen eingesetzte bedarfsangepasste Regelung der einzelnen Energiedienstleistungssysteme sorgt für bessere Klima- und Arbeitsplatzbedingungen.

2.2 Die Anwendung des LEE im Planungsablauf

Analyse des IST-Zustandes (bei bestehenden Gebäuden)

Der erste Schritt der Planung einer Sanierung oder des Umbaus eines bestehenden Gebäudes ist die Analyse des aktuellen Zustandes.

Eine erste Einschätzung kann anhand der jährlichen Verbrauchskennwerte², bezogen auf die Gebäudenutzung, erfolgen. Mit Bezugswerten, die der VDI 3807-2 entnommen werden können³, lässt sich ein Vergleich mit Gebäuden gleicher Nutzungsart anstellen. Dies liefert eine grobe Information, ob der Energieverbrauch des Gebäude für die Nutzungsart hoch oder niedrig liegt, also ob eine Energieanalyse besonders dringlich ist. Keine Information liefert diese Betrachtung darüber, welche Verbraucher den Energieverbrauch dominieren und wo Einsparpotentiale zu erwarten sind. Daher ist zusätzlich eine detailliertere Analyse zu empfehlen, die eine Identifizierung der Verbraucher und von Einsparpotentialen erlaubt. Ein zu diesem Zweck geeignetes Werkzeug ist der 'Stromsparcheck'⁴, in dem der Stromverbrauch in eine Energiematrix aufgeteilt wird, die mit dem LEE kompatibel ist. Darüber hinaus können die Einsparmöglichkeiten grob eingeschätzt werden.

Definition der Ziele und Anforderungen

Voraussetzung für ein erfolgreiches Bauprojekt ist es, dass zu Beginn die Vorgaben und Ziele des Projektes präzise festgelegt werden. Dabei sollen nach Möglichkeit die Ziele unabhängig vom Lösungsweg beschrieben werden, damit die Planungsfreiheit nicht unnötig eingeschränkt wird und mögliche gute Lösungen nicht bereits anfangs ausgeschlossen werden.

Energetisch besonders relevant ist die vorgesehene Nutzung des Gebäudes und die damit eng verbundenen Anforderungen an das Innenklima und die Beleuchtung. Je präziser die Nutzungsanforderungen definiert sind, umso eher sind 'maßgeschneiderte' Lösungen möglich, die die Anforderungen bei minimalem Energiebedarf optimal erfüllen. Als direkte ener-

² Auf die Nutzfläche bezogene Verbrauchsdaten.

³ Bezugswerte für hessische Landesliegenschaften können auch bei der Energiewirtschaftlichen Beratungsstelle der Oberfinanzdirektion Frankfurt erfragt werden.

⁴ /IMPULS 1998/.

getische Zielvorgabe eignet sich ein auf die Nutzungsart bezogener energetischer Standard, wie er im LEE in Form von Grenz- und Zielwerten für Energiekennwerte definiert ist. Wichtig ist bei der Wahl der Vorgaben für die Planung, dass diese das Lösungsspektrum nicht weiter einschränken als zwingend notwendig.

Wenn ein Architekturwettbewerb vorgesehen ist, bietet es sich an, die energetischen Ziele bereits in die Auslobung aufzunehmen und in der Bewertung der eingereichten Beiträge zu berücksichtigen. Dazu ist es sinnvoll, wenn der Jury entsprechende Fachleute angehören oder als Berater zur Seite stehen.

Lösungsansätze in der Vorplanung

Ausgehend von den Anforderungen und Zielen werden Lösungsvarianten entwickelt. Jede Variante wird in ihren baulichen Konsequenzen vorgeplant, die notwendigen technischen Anlagen werden vor-ausgelegt. In dieser Planungsphase entscheidet sich, ob die Gesamt-Optimierung des Gebäudes gelingt, denn hier wird die Grundlage für das Zusammenwirken von Baukörper und Gebäudetechnik bestimmt. Deshalb ist es von besonderer Bedeutung, dass bei der Festlegung und Entwicklung von Planungsvarianten neben den Architekten, Bauingenieuren und Bauphysikern auch die Fachingenieure für Licht, Lüftung/Klima, usw. im Planungsteam vertreten sind.

Zusammen mit den folgenden Schritten, der Bewertung sowie der Auswahl und Entscheidung, bildet die Variantenvorplanung die zentrale Schleife bei der Planung eines optimierten Gebäudes. Diese wird nach Bedarf in mehreren Zyklen durchlaufen, wobei meist einzelne Varianten als weniger geeignet herausfallen, und der Grad der Detaillierung steigt, bis eine favorisierte Variante gefunden ist.⁵

Bilanzierung und Bewertung

Sobald Planungsvarianten gewählt, ausreichend präzise beschrieben und mit Zahlen auf der Vorplanungsebene versehen sind, kann ein Vergleich mit den Projektzielen und eine Bewertung anhand der vorgegebenen Kriterien erfolgen.

Als Bewertungsgrößen werden hierzu Energiekennwerte gebildet und nach Bedarf genauere Verfahren wie thermische Gebäude- und Anlagensimulation, Tageslichtberechnungen, usw. angewendet. Neben den Energiekennwerten sind als Kriterien der Bewertung beispielsweise Informationen über die zu erwartende thermische Behaglichkeit oder die Beleuchtung von Interesse.

Optimierung

Die Optimierung erfolgt im Wesentlichen zyklisch. Nachdem eine oder mehrere Lösungsvarianten gefunden sind, auf ihre Realisierbarkeit geprüft und grob dimensioniert worden sind, wird in der Bewertung jede Variante anhand der vorher definierten Ziele und Bewertungskriterien daraufhin überprüft, in wieweit die Vorgaben erfüllt sind. Aufgrund dieser Prüfung wird entschieden, ob einzelne Lösungsvarianten als ungeeignet ausgeschieden werden oder aber verbessert und dann erneut überprüft werden sollen. Wenn eine Variante als geeignete und beste Lösung für die Vorgaben festgestellt ist, wird die Detailplanung, eingeschränkt auf den ausgewählten Ansatz, begonnen.

In einzelnen Fällen kann sich im Optimierungsprozess ergeben, dass eine Zielvorgabe oder bestimmte Kombination von Zielen nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand

⁵ Auch wenn eine Planung in der Praxis oft nicht dem idealisierten Muster folgt, ist es nützlich, den Ideal-Planungsablauf als Leitschnur zu nutzen. Insbesondere ist es vorteilhaft, die drei Funktionen der Zielsetzung, des Planens und des Bewertens klar zu unterscheiden. In größeren Projekten kann dies durch personelle Trennung erfolgen.

erreichbar ist. In solchen Fällen muss der Prozess mit einer Überprüfung der Planungsziele neu begonnen werden. Dies bedeutet meist Zeitverlust und soll vermieden werden, beispielsweise indem die Planungsziele sich auf das Wesentliche beschränken.

Detailplanung und Ausführung

In der Ausführungsplanung geht es darum, den in der Vorplanung festgelegten optimierten Lösungsansatz in konkrete technische und bauliche Detaillösungen umzusetzen. Hier kommt es auf die Sorgfalt der Planung und die Abstimmung der Fachplaner untereinander an. Die Konzepte sollten zu diesem Zeitpunkt nur in Ausnahmefällen noch geändert werden, denn dies ist in der Regel mit zusätzlichem zeitlichen und finanziellen Aufwand verbunden. Da die Systeme auf dieser Planungsstufe weitgehend festliegen, können technische Richtwerte für die optimierte Auslegung der Anlagen gute Dienste leisten. Es ist auch nützlich, die energetische Bewertung nach erfolgter Detailplanung mit den nun genaueren technischen Daten zu wiederholen, denn zu diesem Zeitpunkt lassen sich Korrekturen der Auslegung noch leichter anbringen als nach begonnener Ausführung. Wenn in der Ausführungsplanung bereits ein Messkonzept und die Messeinrichtungen vorgesehen werden, wird die spätere Verbrauchsüberwachung erheblich erleichtert.

In der Ausführungsphase sollte die Planung so weit ausgereift sein, dass keine wesentliche Veränderungen mehr notwendig sind. Wichtig ist hier, durch eine gute Bauleitung und Bauüberwachung die Umsetzung der Planungsvorgaben und eine hohe Ausführungsqualität auch unter dem Energieaspekt sicherzustellen.

Betriebsphase

Zu Beginn der Betriebsphase, etwa innerhalb des ersten Betriebsjahres, geht es in der Betriebsüberwachung darum, festzustellen, ob alle Systeme in der vorgesehenen Weise ihre Funktion erfüllen, und ggf. Korrekturen anzubringen. Energetisch ist von Interesse, ob die prognostizierten Energiebedarfswerte eingehalten werden. Bei Abweichungen, insbesondere bei Überschreitungen, gilt es die Ursachen herauszufinden. Je detailliertere Information die Messeinrichtung für den Energieverbrauch liefert, umso leichter wird eine solche Analyse fallen. Von besonderem Nutzen ist es, wenn einzelne Verbrauchergruppen über separate Verbrauchszähler erfasst werden. Bei nach Bedarf geschalteten Verbrauchern (beispielsweise Lüftern) können auch Betriebsstundenzähler gute Dienste leisten.

Nach der Anlaufphase ist es sinnvoll, den Energieverbrauch regelmäßig, zum Beispiel monatlich, aufzuzeichnen und etwa jährlich zu überprüfen. Veränderungen des Verbrauchs können durch eine geänderte Nutzung oder durch Umbauten der Anlagen bedingt sein. Ein gestiegener Verbrauch kann aber auch auf fehlerhafte Anlagen oder ungünstig eingestellte Regeleinrichtungen hinweisen. Deshalb sollen in einem solchen Fall die Ursachen ermittelt und ggf. beseitigt werden. Für die Aufteilung des Verbrauchs bietet sich die Energiematrix des LEE als Analyseschema an.

2.3 Das Zusammenwirken der Beteiligten am Planungsprozess

Für eine erfolgreiche integrale Planung ist es hilfreich, auch die Rollenverteilung und Funktionen der am Planungsprozess Beteiligten zu beachten. Im Folgenden werden einige Hinweise zum Zusammenwirken der Beteiligten am Planungsprozess gegeben.

Auftraggeber bzw. Investoren stellen die Anforderungen an das Projekt. Dazu gehören auch die energetischen Anforderungen, die sinnvollerweise mit Hilfe des Energiebeauftragten erstellt werden. Die Auftraggeber fragen - ggf. mit Unterstützung des Energiebeauftragten - in allen Planungsphasen die Erfüllung der Anforderungen ab.

Energiebeauftragter / Energiecontroller

Zumindest in größeren Projekten ist es nützlich, wenn vom Auftraggeber oder von der Projektleitung ein Energiebeauftragter oder Energiecontroller mit dem Auftrag eingesetzt wird, alle energetisch relevanten Fragestellungen im Projekt zu koordinieren und zu überwachen. Dazu gehört es, den energetischen Anforderungskatalog zu erstellen oder zu überprüfen, die notwendigen Informationen an die einzelnen Fachplaner zu geben und von diesen abzufragen, in jeder Planungsphase die Einhaltung der Vorgaben zu überprüfen und ggf. Optimierungsschritte einzuleiten, sowie die messtechnische Überprüfung und das Monitoring des Energieverbrauchs nach Fertigstellung vorzubereiten. Falls kein gesonderter Energiebeauftragter bestimmt ist, nimmt einer der beteiligten Planer oder Fachingenieure dessen Aufgaben wahr, beispielsweise der Planer für technische Gebäudeausrüstung.

Fachplaner / Fachingenieure

Sie werden, anders als in der konventionellen Planung oft üblich, frühzeitig in die Planung einbezogen und sind Mitglieder des Vorplanungsteams bzw. des Planungsteams in allen für ihr Gewerk relevanten Phasen.

Nutzer / Betreiber

sind häufig nicht identisch mit den Auftraggebern, beispielsweise bei vermieteten Gebäuden. Stehen die Nutzer bereits bei der Planung fest, so ist es sinnvoll, dass sie ebenfalls im Planungsteam vertreten sind. So kann erreicht werden, dass die Nutzungsanforderungen in der Planung präziser berücksichtigt werden.

2.4 Integrale Planung mit der HOAI

In der bestehenden Honorarordnung wird die Planungsleistung primär abhängig von der jeweiligen Investitionssumme honoriert. Dies wirkt sich eher hemmend auf die Planung energetisch optimierter Gebäude aus, insbesondere wenn zugleich Investitionen eingespart werden. Die Motivation der Fachplaner, energetische Belange stärker als bisher zu berücksichtigen, wird dadurch eingeschränkt, dass die Bezahlung des damit verbundenen Mehraufwandes als besondere Leistung separat ausgehandelt werden muss und dass eine Verminderung der Anlagengröße eine Verminderung des Honorars zur Folge hat.

Für die Fachplaner und den Architekten beinhaltet die integrale Planung im Vergleich zur traditionellen Planung vor allem in der Vorplanungs- und Projektierungsphase zusätzliche Leistungsanforderungen.

In erster Linie sind bei der integralen Planung die Architekten und die Fachplaner für die technische Gebäudeausrüstung gefragt. Nach HOAI § 15, Leistungsbild Objektplanung für Gebäude, und § 73, Leistungsbild Technische Ausrüstung, können bei integraler Planung folgende Grundleistungen bzw. besondere Leistungen zur Verrechnung vereinbart werden:

Leistungsbereich I : "Definition der Ziele und Lösungsansätze" (Grundlagenermittlung und Vorplanung)⁶

für den Architekten

- nach HOAI § 15(1) Prüfung der Umweltverträglichkeit
- nach HOAI § 15(2) Untersuchung verschiedener Lösungsmöglichkeiten nach grundsätzlich verschiedenen Anforderungen
- nach HOAI § 15(2) Aufstellen einer Bauwerks- und Betriebskosten-Nutzen-Analyse

für den Planer der technischen Gebäudeausrüstung

- nach HOAI § 73(1) Systemanalysen, Optimierung für energiesparendes Bauen, Wirtschaftlichkeitsberechnungen
- nach HOAI § 73(2) Durchführen von Versuchen und Modellversuchen (Simulation)

Bei einer extensiven Auslegung decken sich die in der HOAI genannten Leistungen durchaus mit den bei der integralen Planung erforderlichen Arbeitsschritten bzw. Leistungen.

Leistungsbereich II : "Bilanzierung, Bewertung und Optimierung" (Entwurfsplanung)

Die Abstimmung und Integration der Fachplanungen findet sich in den Grundleistungen. Als besondere Leistungen können geltend gemacht werden:

für den Architekten

- nach HOAI § 15(3) Analyse der Alternativen / Varianten und deren Wertung mit Kostenuntersuchung (Optimierung); Wirtschaftlichkeitsberechnung

für den Planer der technischen Gebäudeausrüstung

- nach HOAI § 73(3) Erarbeiten von Daten für die Planung Dritter, detaillierter Wirtschaftlichkeitsnachweis, Betriebskostenberechnungen.

⁶ In Klammern ist jeweils angegeben, unter welchen HOAI-Paragrafen die jeweilige Einzelleistung fällt. In Fällen, wo der Wortlaut des Leitfadens wesentlich von dem der HOAI abweicht, wurde die HOAI-Formulierung angegeben.

Leistungsbereich III : "Detail- und Ausführungsplanung"

Die Ausführungsplanung nach HOAI § 15 (5) und § 73 (5) sieht keine weiteren besonderen Leistungen vor, die für die integrale Planung herangezogen werden können. Die Ausführungen in Kapitel 2.2 sind bei der Bearbeitung der Grundleistungen zu beachten.

Leistungsbereich IV : "Betriebsphase / Nachkontrolle"

Diese Phase beinhaltet: Durchführen des Messprogramms und Vergleich der Energieverbrauchswerte mit den Planungswerten des Pflichtenheftes sowie eventuelle Nachoptimierungen (Regelung, Laufzeiten, Nachrüstungen). Diese Leistungen sind nicht in der HOAI aufgeführt und sollten nach vorhergehender Kalkulation auf Stundenabrechnungsbasis angeboten werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bei extensiver Auslegung sich die in der HOAI genannten Leistungen durchaus mit den in der integralen Planung erforderlichen Arbeitsschritten bzw. Leistungen decken.

Die Tabelle 2.1 soll Architekten und Planern die Einordnung der bei der Anwendung des Leitfadens "Elektrische Energie im Hochbau" zu erbringenden Leistungen in die HOAI erleichtern. Hierzu wurden die bei der Anwendung des Leitfadens erforderlichen Leistungen den HOAI-Rubriken "Grundleistungen" und "Besondere Leistungen" zugeordnet.

Besondere Vereinbarungen

Bei einer energetisch optimierten Planung kann es durchaus zu kleiner dimensionierten Anlagen oder zum Wegfall ganzer Anlagenteile gegenüber einer konventionellen Planung kommen, so dass Investitionskosten eingespart werden. Dies kann, analog zum kostensparenden Bauen, zu einem Interessengegensatz zwischen Auftraggeber und Planer führen, wenn dessen Honorar an das Investitionsvolumen gekoppelt ist. In diesem Fall kann es interessant sein, für die Planungsleistung ein investitionsunabhängiges (Fest-) Honorar und eventuell sogar eine zusätzliche Erfolgsprämie⁷ zu vereinbaren, die bei Erreichen eines klar definierten Ziels⁸ zu zahlen ist.

⁷ Vgl. dazu auch § 5, Abs. 4a der HOAI.

⁸ Wichtig ist dabei, dass das Ziel eindeutig und nachprüfbar ist, beispielsweise das Einhalten eines Zielwertes für den Energiebedarf für Lüftung/Klima, gemessen in den ersten drei Betriebsjahren.

Tab. 2.1

Einordnung der Leistungspunkte des energetischen Optimierungsverfahrens in den HOAI-Leistungskatalog

	Grundleistungen	Besondere Leistungen
Leistungsbereich I	1. Grundlagenermittlung	
	<ul style="list-style-type: none"> • Energetische Zielsetzungen und Nutzungsanforderungen formulieren (§73) • Entscheidungshilfen für die Auswahl der an der Planung Beteiligten formulieren (§15) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bestandsaufnahme (§15) • Systemanalyse u. Optimierung für energiesparendes Bauen (§73) • Prüfen der Umweltverträglichkeit (§15)
Leistungsbereich II	2. Vorplanung	
	<ul style="list-style-type: none"> • Klären der energetischen Zusammenhänge im Hinblick auf eine rationellen Energieverwendung (§15) • Untersuchen und Bewerten alternativer Lösungsmöglichkeiten (§15; §73) • Vorauslegung der technischen Systeme (§73) • Wirtschaftlichkeitsvorbetrachtungen (§73) • Integrieren der Leistung anderer (§15) 	<ul style="list-style-type: none"> • Organisation einer integralen Planung (§15: Aufstellen eines Organisationsplanes) • Untersuchen von Lösungen für grundsätzlich verschiedene Anforderungen (§15) • Simulationsrechnungen (§73: Durchführen von Modellversuchen) • Aufstellen einer Betriebs- Kosten-Nutzen-Analyse (§15)
Leistungsbereich III	3. Entwurfsplanung	
	<p style="text-align: center;">Feinoptimierung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Systemauslegung (§73) • Berechnen der Energiekennwerte • Vergleich mit Systemanforderungen • Aufstellen der Energiematrix • Vergleich mit Zielsetzungen (§15 u. 73: Durcharbeiten des Planungskonzeptes. §15: Berücksichtigen energie-wirtschaftlicher Anforderungen. Integrieren der Leistung anderer) <p style="text-align: center;">Systemwahl</p> <ul style="list-style-type: none"> • (§73: Festlegen aller Systeme u. Anlagenteile. • Fertig stellen des Gebäudekonzeptes) 	<p style="text-align: center;">Optimierungszyklen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Koordination der Gesamtoptimierung (freie Vereinbarung) • Analyse von Alternativen und deren Wertung mit Kostenuntersuchung. Optimierung (§15) • Betriebskostenberechnungen (§73) • Detaillierter Wirtschaftlichkeitsnachweis (§73) • Änderungen des Gebäudekonzeptes • Änderungen der Systemauslegung (jeweils freie Vereinbarung)
Leistungsbereich IV	4. Genehmigungsplanung	
	5. Ausführungsplanung	
		Planung eines Messkonzeptes zur Kontrolle des Energieverbrauchs (freie Vereinbarung)
	6/7. Ausschreibung / Vergabe	
	8. Objektüberwachung	
	9. Objektbetreuung	
		<ul style="list-style-type: none"> • Planung u. Organisation der Energieverbrauchskontrolle (freie Vereinbarung) • Überwachen der Verbrauchswerte innerhalb der Gewährleistungsfrist (freie Vereinbarung)

3. Das Analyse- und Bewertungsverfahren mit Kennwerten

3.1 Übersicht

Für die Analyse und Bewertung des elektrischen Energiebedarfs werden die Verbraucher des betrachteten Gebäudes zunächst nach zwei Merkmalen eingeteilt:

Das erste Unterscheidungsmerkmal ist die **Betriebseinheit (BE)** des Gebäudes, zu der der jeweilige Stromverbraucher gehört. In vielen Fällen sind die Betriebseinheiten identisch mit **Gebäudezonen** gleichartiger Funktion, wie z.B. 'Großraumbüros', 'Einzelbüros', 'Verkehrszonen', 'Küche'. Andere Betriebseinheiten lassen sich nicht in einer Zone lokalisieren, wie beispielsweise das Heizungssystem⁹.

Die zweite Einteilung der Verbraucher erfolgt nach dem Typ der **Energiedienstleistung (EDL)**, also der Art des Nutzens, den der jeweilige Verbraucher erbringt. Im LEE werden folgende Energiedienstleistungen behandelt: Beleuchtung, Lüftung und Klimatisierung, Diverse Haustechnik, Arbeitshilfen und Zentrale Dienste¹⁰.

Diese zweidimensionale Einteilung nach Betriebseinheiten und Energiedienstleistungen erlaubt es, jeden Stromverbraucher einer Zelle der **Energiematrix** zuzuordnen (Abb. 3.1).

EDL BE / Zone	Haustechnik			Betriebseinrichtungen		Summen
	Beleuchtung	Lüftung und Klimatisierung	diverse Haustechnik	Arbeits-hilfen	zentrale Dienste	
Einzelbüros						
Großraumbüro						
Rechenzentrum						
Kantine						
Verkehrszonen						
Heizsystem						
Aufzüge						
Summen						

Abb. 3.1 Raster für die (elektrische) Energiematrix eines Gebäudes. Den (hier leeren) Feldern können die Stromverbraucher zugeordnet werden.

Nachdem die Stromverbraucher auf die Zellen der Energiematrix aufgeteilt sind, wird der erwartete Strombedarf für jede einzelne Zelle berechnet. Das Verfahren hierzu ist in den folgenden Kapiteln im Einzelnen beschrieben. Als Betrachtungszeitraum dient in der Regel ein Jahr. Werden die Strombedarfswerte zeilenweise aufsummiert, so ergeben sich Werte für den gesamten Strombedarf der Zonen bzw. Betriebseinheiten. Die spaltenweisen Summen ergeben die Gesamtwerte für die Energiedienstleistungen. Die Summe über alle Zellen ergibt den gesamten elektrischen Jahresenergiebedarf des Gebäudes. Dieser Wert kann bei im Betrieb befindlichen Gebäuden mit dem gemessenen Jahresverbrauch (Zählerablesung) verglichen und somit als Kontrollgröße des Kennwert-Verfahrens verwendet werden.

⁹ Die elektrische Hilfsenergie des Heizungssystems ist Gegenstand des LEE.

¹⁰ Die nutzungsbedingten Betriebseinrichtungen sind 'Arbeitshilfen', wenn sie lokal den Arbeitsplätzen zugeordnet sind (z.B. Arbeitsplatz-PCs), anderenfalls zählen sie als 'Zentrale Dienste'.

Für die Bewertung der ermittelten Energiebedarfswerte anhand von Referenzwerten ist ein weiterer Schritt erforderlich. Die Ziel- und Grenzwerte sollen unabhängig vom einzelnen Gebäude und insbesondere von der Gebäudegröße gültig sein. Aus diesem Grund erfolgt der Vergleich nicht in Form absoluter Energiebedarfswerte, sondern als spezifische Energiebedarfswerte, genannt **Energiekennwerte**.

Als Standard-Bezugsgröße der Energiekennwerte dient die **Energiebezugsfläche (A_{EB})**, definiert als die Nettonutzfläche nach DIN 277-2, die mit einer Energiedienstleistung versorgt wird. Im Fall der Beleuchtung oder Belüftung ist die Energiebezugsfläche identisch mit der Fläche der Betriebseinheit. Die Energiedienstleistung 'Hilfsenergie Heizung' (Bestandteil der 'Diversen Haustechnik') wird auf die gesamte beheizte Nutzfläche des Gebäudes bezogen.

Diese **flächenbezogenen Energiekennwerte (e)** sind einfach zu berechnen als Division des absoluten Energiebedarfs (E) durch die Energiebezugsfläche :

$$e = E / A_{EB} \quad (\text{Gl. 3.1})$$

Die flächenbezogenen Energiekennwerte erlauben als von der Gebäudegröße und damit vom einzelnen Gebäude unabhängiges Maß einen Vergleich verschiedener Gebäude und eine Bewertung anhand gebäudeunabhängiger flächenbezogener Ziel- und Grenzwerte. Wichtig ist bei allen Vergleichen und Bewertungen, dass die Ziel- und Grenzwerte sich auf die Nutzungsarten der jeweils betrachteten Betriebseinheit (bzw. Gebäudezone) beziehen. So sind zum Beispiel für die Beleuchtung eines Großraumbüros mit wenig Tageslichtnutzung andere Referenzwerte erforderlich als für die Beleuchtung von tageslichtbezogenen Einzelbüros. Aus diesem Grunde erfordert eine solche Bewertung einen Satz von Ziel- und Grenzwerten für verschiedenartige Nutzungen (siehe Kap. 3.3). In allen Fällen, wo solche Werte vorliegen, ist die flächenbezogene Bewertung einfach und übersichtlich möglich.

Beispiel 3.1 : Flächenbezogene Energiekennwerte

In einer Bürozone mit wenig Tageslicht und einer Nutzfläche von $A_{EB} = 1000 \text{ m}^2$ betrage der absolute Jahresenergiebedarf für Beleuchtung $E_B = 45 \text{ 000 kWh/a}$.

Der flächenbezogene Energiekennwert für Beleuchtung ergibt sich dann als $e_B = E_B / A_{EB} = 45 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$.

Der Grenzwert für Beleuchtung Großraumbüro beträgt $55 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$

Der Zielwert für Beleuchtung Großraumbüro beträgt $35 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$

In diesem Beispiel wird also die Anforderung des Grenzwertes eingehalten, der Zielwert wird aber nicht erreicht.

In einigen Anwendungsfällen kann es sinnvoll sein, den Energiebedarf auf eine andere Größe zu beziehen, beispielsweise auf die Anzahl der Arbeitsplätze eines Betriebes oder auf die produzierte Menge eines Produktes. Dies geschieht in analoger Weise zum Bezug auf die Nutzfläche. Allerdings ist die jeweils geeignete Bezugsgröße vom Einzelfall abhängig und kann sehr unterschiedlich sein. Daher wird diese Möglichkeit im LEE nicht weiter ausgeführt.

Ziel- und Grenzwerte der flächenbezogenen Energiekennwerte gibt der LEE nur für eine Auswahl häufig auftretender Nutzungsarten vor. Als weitere Bewertungs- und Auslegungshilfen werden für verschiedene Energiedienstleistungen zusätzlich technische **Richtwerte** vorgegeben, beispielsweise für spezifische Leistungen, Wirkungsgrade oder Vollbetriebsstunden. Dabei wird zwischen einfachen Richtwerten (entsprechend den Grenzwerten) und verbesserten Richtwerten (entsprechend den Zielwerten) unterschieden. Die einzelnen Richtwerte erlauben in der Regel nur eine Bewertung der technischen Auslegung, nicht aber des Energiebedarfs, denn dieser hängt auch von der Betriebsweise der Anlagen ab.

3.2 Aufstellen der Energiematrix

3.2.1 Einteilung nach Energiedienstleistungen

Die verschiedenen Energiedienstleistungen in einem Gebäude werden zwecks besserer Übersichtlichkeit nach Typen der Energiedienstleistung eingeteilt und zusammengefasst zu **Energiedienstleistungssystemen**. In Tabelle 3.1 sind die EDL-Systeme in Gebäuden zusammengestellt. Für jedes dieser Systeme werden die Energiebedarfswerte separat berechnet. Anschließend können diese anhand der zugehörigen Ziel- und Grenzwerte bewertet werden. Eine Liste mit Beispielen für die Zuordnung von Verbrauchern zu den Energiedienstleistungen befindet sich im Anhang A 3.1.

	EDL-System (Kürzel)	Nutzenergiebereich
Betriebseinrichtungen (BR)	Arbeitshilfen (AH)	Bereich Licht, Kraft, Prozesse (behandelt im LEE)
	Zentrale Dienste (ZD)	
Haustechnik (HT)	Beleuchtung (B)	
	Lüftung und Klimatisierung (LK)	
	Diverse Haustechnik (DT)	
	Warmwasserbereitung (WW)	Bereich Wärme : (behandelt im LEG)
Raumheizung (H)		

Tabelle 3.1 Einteilung der EDL-Systeme im Hochbau. Die Optimierung der EDL-Systeme im Nutzenergiebereich Wärme sind nicht Gegenstand dieses Leitfadens, sondern werden im Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung /LEG/ behandelt und sind hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt.

3.2.2 Einteilung nach Betriebseinheiten

Das Gebäude wird zu Beginn des Bewertungsverfahrens in Betriebseinheiten unterteilt. Dabei kann eine Betriebseinheit aus einer Gebäudezone mit Räumen gleichartiger Nutzung bestehen (z.B. Einzelbüros), oder große Teile des Gebäudes durchdringen, ohne in einer bestimmten Gebäudezone lokalisiert zu sein (z.B. das Heizsystem).

Bei Betriebseinheiten, die aus einer Gebäudezone mit mehreren Räumen bestehen, sind folgende Kriterien wichtig bei der Einteilung :

- die in einer Zone zusammengefassten Räume sollen identische oder sehr ähnliche Anforderungen an Belüftung, Klimatisierung und Beleuchtung aufweisen
- die in einer Zone zusammengefassten Räume sollen identische oder sehr ähnliche Anforderungen an Tätigkeiten und Ausstattung der Arbeitsplätze sowie möglichst gleiche Nutzungszeiten aufweisen.

Bei größeren Zonen mit einer Vielzahl von gleichartigen Räumen empfiehlt es sich, zur Vereinfachung jeweils einen typischen Raum zu definieren, anhand dessen die Basisdaten und Energiekennzahlen ermittelt werden können. Die Ergebnisse werden dann auf die Fläche der Betriebseinheit hochgerechnet.

Abbildung 3.2 zeigt die Einteilung in Betriebseinheiten am Beispiel einer Etage eines Bürogebäudes. Für die Betriebseinheiten 2 und 4 bietet es sich an, jeweils nur einen typischen Raum zu betrachten und zu berechnen.

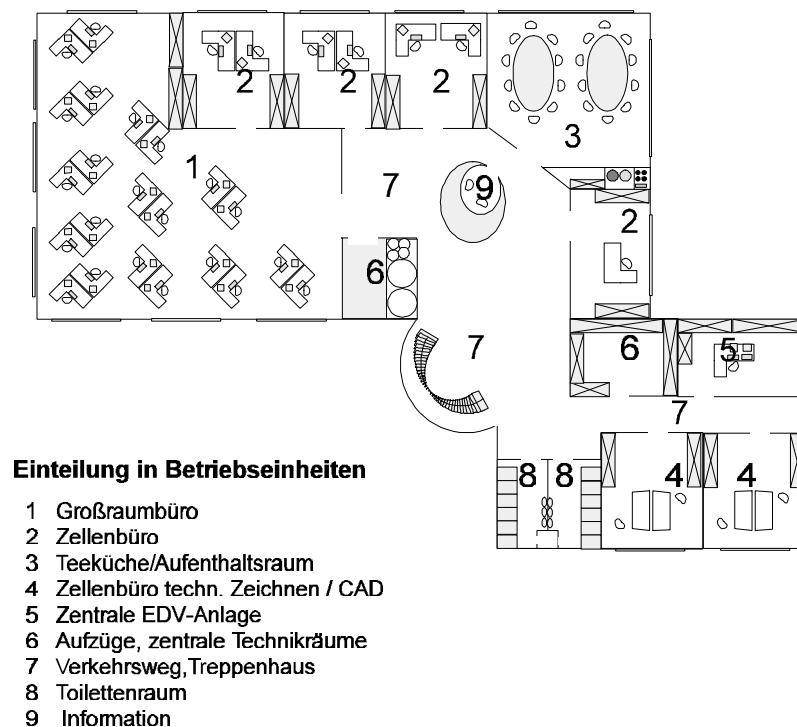


Abb. 3.2

Zu jeder Betriebseinheit sind folgende Basisdaten erforderlich:

- die Energiebezugsfläche der BE (Nettogrundfläche entsprechend DIN 277-2)
- die jährliche Nutzungszeit der BE
- der durchschnittliche Personenbelegungsgrad der BE
- die jährliche Anlagenbereitschaftszeit

3.2.3 Die Struktur der Energiematrix

Die Energiematrix ermöglicht einen Gesamtüberblick über den Energieverbrauch des Gebäudes, denn hier sind alle Verbrauchsanteile in einer Tabelle zusammengestellt. Die Energiematrix ist eine Vervollständigung der Struktur in Abb. 3.1. Ein Ausschnitt des Matrix-Formulars ist in Abb. 3.3 wiedergegeben. Die vollständigen Formblätter für das Erstellen einer Energiematrix können dem Anhang entnommen werden.

Energiematrix			Gebäudebezeichnung :				
			Standort :				
Betriebseinheit / Zone			Haustechnik				Lüftung
Nr.	Bezeichnung	Fläche A_{EB} [m ²]	Beleuchtung				E_L [kWh/a]
1	2	3	E_B [kWh/a]	e_B [kWh/(m ² a)]	g_B [kWh/(m ² a)]	z_B [kWh/(m ² a)]	8
4	5	6	7				
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
gesamtes Gebäude							

Abb. 3.3 Ausschnitt aus dem Energiematrix-Formular für ein Gebäude.¹¹
Das vollständige Formular findet sich in Anhang A 3.2.

In die Energiematrix werden für jede Betriebseinheit und jede EDL die Energiebedarfsdaten und -kennzahlen¹² und soweit vorhanden auch die jeweils gültigen Ziel- und Grenzwerte eingetragen, so dass ein direkter Vergleich und eine Bewertung möglich ist.

Über den eigentlichen Anwendungsbereich des LEE hinaus werden auch die Energiebedarfsdaten für elektrische Warmwasserbereitung und elektrische Raumheizung in die Matrix eingetragen¹³. Dies hat den Sinn, dass die Summe über alle errechneten absoluten elektrischen Energiebedarfswerte des Gebäudes einen Wert ergibt, der mit dem gesamten tatsächlichen Stromverbrauch (Zählerablesungen oder EVU-Abrechnungen) verglichen werden kann. Mit dieser Kontrollsumme lassen sich Aussagen über die Genauigkeit der Energiematrix machen. Bei größeren Abweichungen muss die Matrix überprüft und ggf. korrigiert werden.

¹¹ Die Abkürzungen A_{EB} , E_B , e_B , g_B , z_B , usw. werden in Kapitel 3.3 erläutert.

¹² Die hier verwendeten Daten beziehen sich auf die Endenergie Strom. Um die Werte mit anderen Energieträgern vergleichen zu können, müssen sie auf Primärenergie umgerechnet werden. Bei der Endenergie Strom erfolgt dies, indem alle Endenergiedaten (Verbrauch, Bedarf, Kennzahlen) mit einem Umrechnungsfaktor von etwa 3 (genauer 2.97 bei deutschem 'Strommix' /GEMIS 3.08/) multipliziert werden, um die entsprechenden Primärenergiedaten zu erhalten. In Kapitel 3.4 ist Umrechnung von Endenergie in Primärenergie beschrieben.

¹³ Die vorhandene Abgrenzung zwischen dem LEE und dem Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung (LEG) nach Dienstleistungen (Licht, Kraft, Prozesse auf der einen, Raumwärme und Warmwasser auf der anderen Seite) bewirkt, dass Elektrowärme Gegenstand des LEG ist und gegebenenfalls informativ in die Matrix des LEE übertragen wird. Erst mit der Integration der beiden Verfahren zu einem Leitfaden Gesamtenergie entfällt dieser Umstand.

3.3 Rechenverfahren für die Energiedienstleistungen

3.3.1 Beleuchtung

Funktionelle Systemanforderungen

Die Energiedienstleistung Beleuchtung muss primär das geeignete Licht für die Raumnutzung bereitstellen. Für Räume in Dienstleistungsgebäuden betrifft die wichtigste quantitative Anforderung die Beleuchtungsstärke auf den jeweiligen Arbeitsflächen. Diese **Normbeleuchtungsstärke E_n** gibt die für die Nutzungsart des Raums festgelegte Mindestbeleuchtungsstärke in Lux an (vgl. Tabelle 3.2). Darüber hinaus gibt es abhängig von der Raumnutzung Anforderungen an Blendfreiheit, Kontraste, Farbqualität, Flackerfreiheit, Ästhetik der Beleuchtung, usw.. Schließlich soll bei der Planung jeder Beleuchtung auf eine nach Möglichkeit weitgehende Nutzung des Tageslichts geachtet werden (Siehe dazu auch die Planungs- und Optimierungshinweise in Kap 4.).

Nutzungsart	E_n
Büroräume (fensterorientierte Arbeitsplätze)	300 lx
Büroräume	500 lx
Großraumbüros	750 lx
EDV, Datenverarbeitung, CAD	500 lx
Unterrichtsräume	300 lx
Verkaufsräume	300 lx
Flure, Verkehrswege in Gebäuden	100 lx

Tabelle 3.2: Normbeleuchtungsstärken E_n auf der Arbeitsebene für einige Raumnutzungsarten. Weitere Werte können DIN 5035-2 entnommen werden.

Die Anforderung an die Beleuchtungsstärke wirkt sich direkt auf den Energiebedarf für Beleuchtung aus. Die übrigen technischen Anforderungen sind vorwiegend für die Auswahl und Anordnung der Lichtquellen von Bedeutung und wirken sich indirekt über die Wirkungsgrade auf den Energiebedarf aus. Eine verstärkte Tageslichtnutzung senkt in der Regel die jährlichen Betriebsstunden der Beleuchtung und damit auch deren Energiebedarf.

Energetische Systemanforderungen: Grenz- und Zielwerte

Energetisch bestehen an die Beleuchtung Anforderungen in Form von Grenz- und Zielwerten für den spezifischen Energiebedarf. Da unterschiedliche Raumnutzungen mit sehr verschiedenen Anforderungen an die Beleuchtung verbunden sind, sind die Grenz- und Zielwerte in Abhängigkeit von der Nutzung definiert. In Tabelle 3.3 sind diese Werte für einige wichtige Nutzungsarten aufgelistet.

Die Tabelle gibt lediglich für häufig auftretende Nutzungsarten flächenbezogene Grenz- und Zielwerte vor. Für Fälle, in denen diese Werte nicht anwendbar sind, dienen die nachfolgenden Richtwerte für die Effizienz und die Vollbetriebszeit der Beleuchtung.

Nutzungsart	Nutzungszeit	Nennbeleuchtungsstärke	Tageslichtnutzung ^{*)}	Nutzungsfrequenz	Grenzwert	Zielwert
	[h / a]				[Lux]	g_B
					[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
Büro	2750	300	überwiegend	dauernd	10	3.5
		500	zum Teil	dauernd	22	12
		500	ohne	dauernd	40	25
		750	ohne	dauernd	55	35
Großraumbüro	2000	300	überwiegend	häufig	7.5	3
		500	zum Teil	häufig	15	8
		500	ohne	häufig	30	20
Sporthalle	2000	300	zum Teil	häufig	10	5.5
Verkauf	3600	300	ohne	dauernd	35	25
		300+ ^{**) 5W/m²}	ohne	dauernd	55	42
Restaurant	3600	200	überwiegend	häufig	9	6
		200	zum Teil	häufig	13	7
		200	ohne	häufig	16	11
Hotelzimmer	2000	200	überwiegend		3.5	2
Bettzimmer	8760	200	überwiegend		10	5
Verkehrsflächen	2750	100	überwiegend	häufig	4.5	1.8
		100	ohne	häufig	12	8
Lager	2750	100	ohne	wenig	2.2	1.0
		100	ohne	häufig	4.5	2.5
		200	ohne	dauernd	18	11
Werkstatt	2750	300	überwiegend	dauernd	10	3.5
		300	zum Teil	dauernd	15	8
Parkgeschosse	2750 ^{***)}	100	ohne	häufig	12	7.5
	6500 ^{****)}	100	ohne	häufig	28	18

*) überwiegend mit Tageslicht bedeutet: Raumtiefe < 5m und Verhältnis Fenster- zu Bodenfläche > 30%
zum Teil mit Tageslicht bedeutet: Raumtiefe > 5m oder Verhältnis Fenster- zu Bodenfläche < 30%
**) Mit zusätzlicher Dekorationsbeleuchtung.
***) Parkgeschosse in Büro- oder Gewerbebauten: Nutzungsstunden der zugehörigen Hauptnutzung
****) öffentliche Parkhäuser

Tabelle 3.3 Ziel- und Grenzwerte des flächenspezifischen Strombedarfs der Beleuchtung bei einigen Raumnutzungsarten¹⁴.

¹⁴ Die Grenz-, Ziel- und Richtwerte des LEE sind aus der Schweizer Norm /SIA 380-4/ übernommen, soweit dies möglich war. Alle Grenz- und Zielwerte sind mit einem Faktor 1 / 0.9 umgerechnet, da die Werte der SIA 380-4 auf Bruttogrundflächen, die Werte des LEE aber auf Nettogrundflächen bezogen sind. Darüber hinaus wurden einige Werte für die Anwendung in Deutschland korrigiert, wo andere funktionelle Systemanforderungen dies notwendig machten, beispielsweise bei anderen Anforderungen an die Beleuchtungsstärke.

Richtwerte der installierten Lampenleistung

Als Maßstab für die Effizienz werden in Tabelle 3.4 Richtwerte der installierten Lampenleistung pro Fläche bei verschiedenen geforderten Beleuchtungsstärken vorgegeben. Dabei entsprechen die einfachen Richtwerte ($\rho_{B,e}$) den Grenzwerten und die verbesserten Richtwerte ($\rho_{B,v}$) den Zielwerten des flächenspezifischen Energiebedarfs.

Nennbeleuchtungsstärke	flächenspezifische installierte Lampenleistung	
	einfacher Richtwert $\rho_{B,e}$	verbesserter Richtwert $\rho_{B,v}$
50 lx	3.2 W / m ²	2.5 W / m ²
100 lx	4.5 W / m ²	3.5 W / m ²
300 lx	10.0 W / m ²	7.5 W / m ²
500 lx	15.0 W / m ²	11.0 W / m ²
750 lx	20.0 W / m ²	16.0 W / m ²
1000 lx	25.0 W / m ²	21.0 W / m ²

Tabelle 3.4 Einfache und verbesserte Richtwerte der flächenspezifischen installierten Lampenleistung bei verschiedenen Nennbeleuchtungsstärken. Zwischenwerte können bei Bedarf interpoliert werden.

Richtwerte für Volllaststunden

Als zweite Größe werden Richtwerte für die Volllaststunden der Beleuchtung für verschiedene Nutzungsarten vorgegeben (in Tabelle 3.5). Die Werte beziehen sich auf bestimmte, in der Tabelle angegebene Nutzungszeiten. Falls im konkreten Fall deutlich abweichende Nutzungszeiten vorliegen, müssen die Volllaststunden korrigiert werden, wobei zu berücksichtigen ist, in welchen Tages- oder Nachtzeiten Stunden hinzukommen oder wegfallen (vgl. dazu auch Anhang A 3.1).

Nutzungsart	Nutzungszeit ¹⁵ [h / a]	Nennbeleuchtungsstärke [Lux]	Tageslichtnutzung ^{*)}	Nutzungsfrequenz	Richtwerte der Volllaststunden Beleuchtung	
					einfach h _{B,e} [h / a]	verbessert h _{B,v} [h / a]
Büro	2750	300	überwiegend	dauernd	1000	500
		500	zum Teil	dauernd	1500	1100
		500	ohne	dauernd	2750	2400
		750	ohne	dauernd	2750	2400
Schulraum	2000	300	überwiegend	häufig	750	400
		500	zum Teil	häufig	1000	750
		500	ohne	häufig	2000	1800
Verkauf	3600			dauernd	3600	3000
Restaurant	3600	200	überwiegend	häufig	2000	1700
		200	zum Teil	häufig	3000	2000
		200	ohne	häufig	3600	3300
Hotelzimmer	2000	200	überwiegend		500	400
Bettzimmer	8760	200	überwiegend		1500	1000
Verkehrsflächen	2750	100	überwiegend	häufig	1000	500
		100	ohne	häufig	2750	2400
Lager	2750		ohne	wenig	500	300
			ohne	häufig	1000	750
			ohne	dauernd	2750	2200
Werkstatt	2750	300	überwiegend	dauernd	1000	500
		300	zum Teil	dauernd	1500	1100
Parkgeschosse	2750 ^{**))}		ohne	häufig	2750	2200
	6500 ^{***))}		ohne	häufig	6500	5500

^{*)} überwiegend mit Tageslicht bedeutet: Raumtiefe < 5m und Verhältnis Fenster- zu Bodenfläche > 30%
zum Teil mit Tageslicht bedeutet: Raumtiefe > 5m oder Verhältnis Fenster- zu Bodenfläche < 30%
^{**))} Parkgeschosse in Büro- oder Gewerbebauten: Nutzungsstunden der zugehörigen Hauptnutzung
^{***))} öffentliche Parkhäuser

Tabelle 3.5 Einfache und verbesserte Richtwerte für die Volllaststunden bei verschiedenen Nutzungsarten¹⁶.

Mit Hilfe der Richtwerte lassen sich Grenz- und Zielwerte des flächenspezifischen Energiebedarfs berechnen. Der Grenzwert ergibt sich aus den einfachen Richtwerten und der Zielwert analog aus den verbesserten Richtwerten:

$$g_B = p_{B,e} * h_{B,e} / 1000 \quad (Gl. 3.2 a)$$

$$z_B = p_{B,v} * h_{B,v} / 1000 \quad (Gl. 3.2 b)$$

¹⁵ Bei abweichenden Nutzungszeiten vgl. Anhang A 3.1.3 zur Korrektur der Volllaststunden.

¹⁶ Zur Herkunft der Grenz-, Ziel- und Richtwerte vgl. die Fußnote zu Tabelle 3.3.

¹⁷ Die Division durch 1000 erfolgt wegen der Einheiten: g, z in [kWh/(m² a)], p in [W/m²], h in [h/a].

Die Aufgabe der Dimensionierung und Optimierung der Beleuchtung besteht nun darin, die funktionellen Anforderungen zu erfüllen und dabei den gültigen Grenzwert des Strombedarfs zu unterschreiten sowie nach Möglichkeit den Zielwert zu erreichen.

Die energetischen Kennwerte der Beleuchtung werden für jede Betriebseinheit separat bestimmt. Dabei sollen innerhalb der Betriebseinheit sowohl die Anforderungen an die Beleuchtung als auch die Betriebszeiten einheitlich sein. Die Berechnung erfolgt in zwei Teilen, der Bestimmung des Leistungsbedarfs (technische Auslegung der Beleuchtung) und dem Ermitteln der Vollbetriebszeit.

Berechnung des elektrischen Leistungsbedarfs für Beleuchtung mittels Planungs-Software

Wird eine Beleuchtungsanlage mit einer Planungs-Software dimensioniert, die es erlaubt die Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene unter Berücksichtigung der Raumgeometrie, der Oberflächen, der Leuchtenanordnung und -typen und der verwendeten Lampen zu berechnen (wie z.B. DIALux /DIAL/), dann kann die **Anschlussleistung (P_{\max})** direkt aus dem Ergebnis abgelesen werden (Summe der Leistung aller Lampen). Die **spezifische Leistung (p)** ergibt sich aus:.

$$p = P_{\max} / A_{EB} \quad (\text{Gl. 3.3})$$

Manuelle Berechnung des elektrischen Leistungsbedarfs für Beleuchtung

Die manuelle Berechnung erfolgt in mehreren Schritten, die im Folgenden dargestellt sind. Als Erstes wird anhand der Beleuchtungsanforderungen die **flächenspezifische Leistung (p)** bzw. die **Anschlussleistung (P_{\max})** der Beleuchtung bestimmt.

$$p = \frac{E_n}{\eta_{\text{Raum}} * \eta_{\text{Lampe}} * \eta_{\text{Leuchte}} * \upsilon} \quad (\text{Gl. 3.4})$$

und

$$P_{\max} = \frac{E_n * A_{EB}}{\eta_{\text{Raum}} * \eta_{\text{Lampe}} * \eta_{\text{Leuchte}} * \upsilon} = p * A_{EB} \quad (\text{Gl. 3.5})$$

Folgende Werte (Wirkungsgrade) werden für die Berechnung benötigt :

Die **Lichtausbeute** (η_{Lampe}) eines Lampentyps gibt an, wie groß der Lichtstrom (in Lumen [lm]) pro Watt elektrischer Leistung ist. Typspezifische Werte lassen sich aus Datenblättern der Lampenhersteller entnehmen. Liegt kein Datenblatt vor, dann können Standardwerte dem Anhang A 3.3.1 entnommen werden. Die typischen Lichtausbeuten verbreiteter Lampentypen liegt in folgenden Größenbereichen :

Standard-Glühlampen	$\eta_{\text{Lampe}} = 5 \dots 15 \text{ [lm/W]}$
Halogen-Glühlampen	$\eta_{\text{Lampe}} = 12 \dots 22 \text{ [lm/W]}$
Kompakt-Leuchtstofflampen mit EVG ¹⁸	$\eta_{\text{Lampe}} = 40 \dots 60 \text{ [lm/W]}$
Leuchtstofflampen	$\eta_{\text{Lampe}} = 60 \dots 90 \text{ [lm/W]} * \eta_{\text{VG}}$

¹⁸ EVG: Elektronisches Vorschaltgerät; VVG: verlustarmes V.; KVG: konventionelles V.

Der Wirkungsgrad eines Vorschaltgeräts (η_{VVG}) lässt sich aus dessen Verlustleistung (P_{VVG}) und der Nennleistung der angeschlossenen Lampe¹⁹ (P_{Lampe}) errechnen :

$$\eta_{\text{VVG, KVG}} = P_{\text{Lampe}} / (P_{\text{Lampe}} + P_{\text{VVG}}) \quad \text{bei VVG's, KVG's} \quad (\text{Gl. 3.6 a})$$

$$\eta_{\text{EVG}} = 1.1 * P_{\text{Lampe}} / (P_{\text{Lampe}} + P_{\text{VVG}}) \quad \text{bei EVG's.} \quad (\text{Gl. 3.6 b})$$

Mit dem Faktor 1.1 wird die Steigerung der Lichtausbeute von Leuchtstofflampen um etwa 10% beim Betrieb mit EVG berücksichtigt. Typische Wirkungsgrade von Vorschaltgeräten liegen in folgenden Bereichen :

Konventionelle Vorschaltgeräte	$\eta_{\text{KVG}} = 0.75 \dots 0.85$
Verlustarme Vorschaltgeräte	$\eta_{\text{VVG}} = 0.80 \dots 0.90$
Elektronische Vorschaltgeräte	$\eta_{\text{EVG}} = 0.95 \dots 1.05$ (incl. erhöhter Lichtausbeute)

Aus den Orientierungswerten für die Lichtausbeute ist zu erkennen, dass Leuchtstofflampen etwa um einen Faktor 5 energieeffizienter beleuchten als Glühlampen.

Der **Leuchtenwirkungsgrad** (η_{Leuchte}) gibt an, welcher Anteil des von der Lampe abgestrahlten Lichtstroms die Leuchte verlässt. Dieser hängt von der Geometrie und den Oberflächeneigenschaften der Leuchte ab und kann sehr unterschiedliche Werte annehmen. Zur Orientierung können folgende Angaben für einige Leuchtentypen dienen (vgl. Anhang (3.1.4)) :

Decken-Einbauleuchten	$\eta_{\text{Leuchte}} = 0.35 \dots 0.5$
geschlossene Wannenleuchten	$\eta_{\text{Leuchte}} = 0.55 \dots 0.75$
Spiegelraster- und Reflektorleuchten	$\eta_{\text{Leuchte}} = 0.70 \dots 0.90$

Genauere Angaben über Wirkungsgrade für bestimmte Leuchten können den Hersteller-Datenblättern entnommen werden.

Der **Raumwirkungsgrad** (η_{Raum}) gibt an, welcher Anteil des aus den Leuchten im Raum austretenden Lichtstroms die Nutzebene erreicht. In den Raumwirkungsgrad gehen sowohl die geometrischen und lichtphysikalischen Eigenschaften des Raumes als auch die geometrische Anordnung und die Richtcharakteristik der Beleuchtung ein.

Der Raumwirkungsgrad kann sehr unterschiedliche Werte annehmen. Im günstigsten Fall - also direkte Beleuchtung, ideale Anordnung der Leuchten, Decke und Wände mit hohem Reflexionsgrad - kann der Raumwirkungsgrad Werte von 0.8 bis 0.9 annehmen. In ungünstigen Fällen sind Werte unter 0.2 möglich. Die grafische Ermittlung des Raumwirkungsgrades η_{Raum} ist im Anhang A 3.3.1 beispielhaft gezeigt.

Mit dem **Verschmutzungsfaktor** (ν) (auch: Verminderungsfaktor) wird eine Abschwächung des Lichtes durch Schmutz oder degenerierte Oberflächen berücksichtigt (siehe auch A 3.1.5.) Der Kehrwert des Verschmutzungsfaktors wird in der Lichttechnik als Planungsfaktor bezeichnet. Typische Werte für den Verschmutzungsfaktor sind :

Verschmutzung normal :	$\nu = 0.8$
Verschmutzung erhöht :	$\nu = 0.7$
Verschmutzung stark :	$\nu = 0.6$

¹⁹ Bei mehreren angeschlossenen Lampen muss die Summe der Nennleistungen eingesetzt werden.

Berechnung des Energiebedarfs für elektrische Beleuchtung

Der **Energiebedarf (E_B)** für die elektrische Beleuchtung einer Betriebseinheit wird ermittelt mit :

$$E_B = P_{\max} * b_a * f_v \quad (\text{Gl. 3.7})$$

mit b_a : [h/a] Jährliche Bereitschaftszeit der Beleuchtungsanlage
 f_v : [-] Vollbetriebszeitfaktor (0 ... 1)

Die **jährliche Bereitschaftszeit (b_a)** der Beleuchtungsanlage ist bei den üblichen Nutzungsarten identisch mit der Nutzungszeit der Betriebseinheit ($b_a = b_n$). Falls b_a während der Planung nicht bekannt ist, kann die Standardnutzungszeit verwendet werden. Für Betriebseinheiten mit büroähnlicher Nutzung beträgt die Standardnutzungszeit 11 Stunden pro Tag. Dabei sind gleitende Arbeitszeiten und Reinigungszeiten berücksichtigt. Bei 250 Betriebstagen im Jahr bedeutet das eine jährliche Bereitschaftszeit von 2750 h/a.

Der **Vollbetriebszeitfaktor (f_v)** ist eine dimensionslose Zahl (0 .. 1) und beschreibt die Tatsache, dass in vielen Fällen die elektrische Beleuchtung während eines Teils der Bereitschaftszeit nicht oder nur teilweise benötigt wird, z.B. weil an vielen Arbeitsplätzen zeitweise die erforderliche Beleuchtungsstärke schon durch Tageslicht erreicht wird²⁰. Der Anteil der täglichen Nutzungszeit, in dem eine Beleuchtung mit Tageslicht ausreichend ist, variiert mit der Jahreszeit und ist darüber hinaus abhängig von :

- dem Tageslichtquotienten des Raumes
- der Länge der täglichen Nutzungszeit
- der Lage der Nutzungszeit im Tagesverlauf.

Ein Vollbetriebszeitfaktor $f_v = 1$ gilt für alle Fälle, in denen die elektrische Beleuchtung betriebsbedingt während der gesamten Bereitschaftszeit voll betrieben wird, z.B. bei :

- innenliegenden Räumen mit konstanter Belegung oder Benutzung
- Verkaufsräumen (konventionell geplant und beleuchtet)
- Rechenzentren
- Räumen mit stark lichtabhängiger Sondernutzung (z.B. Operationssaal, Versuchslabor).

Für die übrigen Fälle setzt sich der Faktor f_v zusammen aus dem Tageslichtanteil (f_{TL}) der Beleuchtung, dem Nutzungsfaktor (f_{Nutz}), der die Nutzungshäufigkeit in der Betriebszeit berücksichtigt und einem Regelfaktor (f_{Regel}), der den Einfluss der Steuerungs- oder Regelungsart der Beleuchtung beschreibt.

$$f_v = (1 - f_{TL}) * f_{Nutz} * f_{Regel} \quad (\text{Gl. 3.8})$$

Der **Tageslichtanteil (f_{TL})** kann aus Anhang 3.3.1 für verschiedene Beleuchtungsbedingungen und Betriebszeiten entnommen werden. Ein Beispiel ist in Abb. 3.4 grafisch dargestellt. Der Nutzungsfaktor (f_{Nutz}) kann Werte von 1.0 (ständige Nutzung, z.B. Großraumbüro) über 0.8 (häufige Nutzung, z.B. Gruppenbüro) und 0.6 (z.B. Einzelbüro) bis nahe 0 (seltene Nutzung, z.B. Kellerräume) annehmen. Der Regelfaktor kann mit 1.0 für kontinuierlich tageslichtabhängige, 1.1 für mehrstufige Regelung und mit 1.2 für Handsteuerung angenommen werden. Im Fall der automatischen Regelung muss auch eine automatische vollständige Abschaltung außerhalb der Betriebszeiten sichergestellt sein.

²⁰ Genügend Tageslicht ist dann vorhanden, wenn am schlechtesten Arbeitspunkt im Raum das 0,6-fache der Nennbeleuchtungsstärke erreicht wird. (DIN 5034 Teil1)

²¹ Obwohl das Produkt der Faktoren in Gl. 3.8 größer als 1 werden kann, ist der Maximalwert von $f_v = 1$.

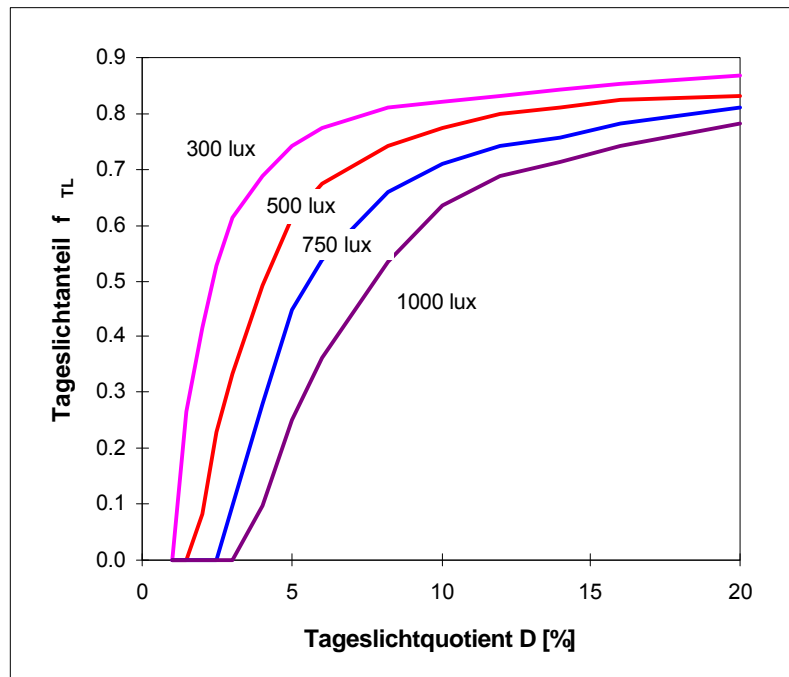


Abb. 3.4 Abhängigkeit des Tageslichtanteils f_{TL} der Beleuchtung vom Tageslichtquotienten D bei verschiedenen Nennbeleuchtungsstärken (tägliche Betriebszeit 11 Std., 7 - 18 Uhr, tageslichtgesteuerte Beleuchtung).

Der **Tageslichtquotient (D)** gibt das Verhältnis der Beleuchtungsstärke im Rauminneren E_i (z.B. auf der Arbeitsfläche) zur Beleuchtungsstärke unter freiem Himmel E_a an : $D = E_i / E_a$. Üblicherweise wird der Wert für bedeckten Himmel verwendet. Der Tageslichtquotient kann mit Hilfe der DIN 5034 oder mit einer Tageslicht-Software ermittelt werden. Abb. 3.5 zeigt beispielhaft den Verlauf des Tageslichtquotienten mit der Raumtiefe eines Büroraums.

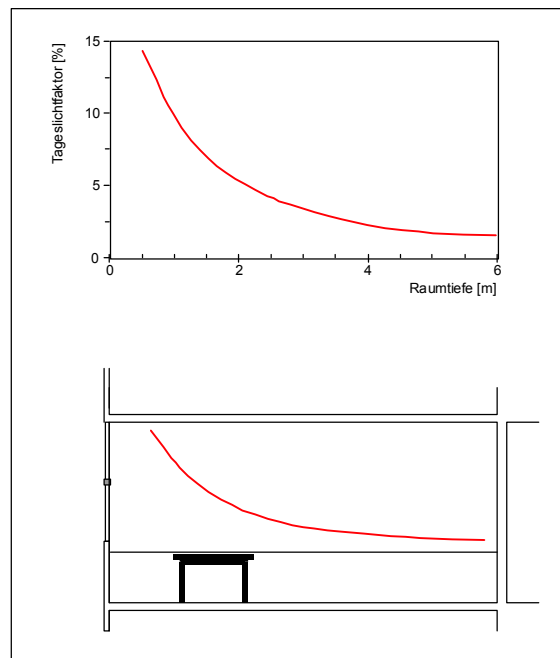


Abb. 3.5 Beispiel für die Abhängigkeit des Tageslichtquotienten auf der Arbeitsebene eines Büroraums von der Entfernung zu den Fenstern bei bedecktem Himmel. (keine äußere Verschattung)

Bei Betriebseinheiten mit großer Raumtiefe und einer entsprechenden Anzahl von Arbeitsplatzeinheiten in der Tiefe ist die separate Bestimmung des Tageslichtquotienten sowie des Faktors f_v und der jährliche Energiebedarf für die einzelnen Arbeitsreihen ratsam.

Der Vergleich mit Ziel- und Grenzwerten

Mit dem flächenspezifischen Energiekennwert ist eine mit den Ziel- und Grenzwerten vergleichbare Größe errechnet. Der Vergleich erfolgt in der Energiematrix, deren entsprechender Ausschnitt in Abb. 3.7 wiedergegeben ist.

Betriebseinheit / Zone			Haustechnik			
Nr.	Bezeichnung	Fläche A_{EB} [m ²]	Beleuchtung			
1	2	3	E_B [kWh/a] 4	e_B [kWh/(m ² a)] 5	g_B [kWh/(m ² a)] 6	z_B [kWh/(m ² a)] 7
1						
2	Einzelbüros	100	500	5	10	3.5
3	Großraumbüro	200	7000	35	55	35
4						

Abb. 3.7 Beispiel für die Eintragung der Kennwerte für Beleuchtung in die Energiematrix, zusammen mit den Grenzwerten g_B und den Zielwerten z_B .

3.3.2 Lüftung und Klimatisierung

Funktionelle Systemanforderungen

Die Energiedienstleistung Lüftung und Klimatisierung besteht aus einer fallweise unterschiedlichen Zusammenstellung der Teildienstleistungen Zuluft, Abluft, Wärmerückgewinnung, Kühlung, Be- und Entfeuchtung, wie zum Beispiel :

- nur Zuluft oder nur Abluft
- Zuluft und Abluft, mit oder ohne Wärmerückgewinnung
- nur Kühlung
- Lüftung und Kühlung
- volle Klimatisierung einschließlich Be- und Entfeuchtung.

Eine reine Lüftungsanlage dient primär der Versorgung von Innenräumen mit Frischluft und der Abfuhr von Luftbeimengungen (Wasserdampf, Geruchs- und Schadstoffe, Staub). Darüber hinaus kann eine Lüftungsanlage auch der Abfuhr von Wärmelasten dienen. Im Falle mechanischer Be- und Entlüftung beheizter Räume ist in der Regel eine Wärmerückgewinnung aus der Abluft energetisch sinnvoll.

Im Fall der Kühlung oder Klimatisierung ist der Luftstrom häufig Transportmedium für 'fühlbare' Wärme (der Zuluftstrom wird vorgeheizt oder -gekühlt) und für Latentwärme (der Zuluftstrom wird be- oder entfeuchtet). Wenn der Luftstrom auch als Wärmetransportmedium genutzt wird, kann für diesen Zweck wegen der geringen spezifischen Wärmekapazität der Luft ein gegenüber dem Frischluftbedarf erhöhter Luftstrom erforderlich sein. In diesen Fällen können andere technische Lösungen, z.B. mit Wasser als Wärmetransportmedium, energetisch günstiger sein. In jedem Fall sollen vor der Planung einer Anlage für Lüftung und Klimatisierung die Möglichkeiten, Stoff- und Wärmelasten zu senken, ausgeschöpft werden (vgl. Planungshinweise in Kap. 4).

Primäre quantitative Systemanforderung an die Lüftung ist der **Norm-Volumenstrom (V_N)** für die jeweilige Raumnutzung. Dieser wird überwiegend als personenbezogener Mindest-Volumenstromwert v_o in Normen (DIN 1946-2 und DIN 18017-3) und Arbeitsstätten-Richtlinien (ASR 5) vorgegeben und liegt abhängig von der Nutzungsart im Bereich von 20 - 60 m³/(h P) (vgl. Tabelle 3.6). Über die Volumenstromanforderung hinaus können Anforderungen an die Art der Durchströmung der Räume, maximale Luftgeschwindigkeit, minimale und maximale Zulufttemperatur, usw. bestehen.

Die Volumenstromanforderung hat direkt, die übrigen Anforderungen können indirekt über die Systemauslegung Auswirkungen auf den Energiebedarf für Lüftung haben. Außerdem kann die Betriebsweise einer Lüftungsanlage den Energiebedarf erheblich beeinflussen.

Der Zweck einer Anlage zur Kühlung oder Klimatisierung eines Gebäudes oder von Gebäudезonen ist es, dort das Innenklima mit technischen Mitteln in einem erwünschten Bereich von Temperatur- und ggf. Feuchtezuständen zu halten, der ohne eine solche Anlage zumindestens zeitweise überschritten würde.

Der Energieaufwand für eine Gebäudeklimatisierung wird auf mehreren Ebenen beeinflusst: Primär bestimmen die am Gebäudestandort vorkommenden Außenklima-Zustände und der geforderte Innenzustands-Bereich zusammen mit im Inneren anfallenden Lasten an fühlbarer und latenter Wärme den für die Klimatisierung notwendigen Aufwand an Nutzenergie (Kälte und Wärme). Die Konstruktion des Gebäudes selbst wirkt sich auf die Höhe der anfallenden Wärmelasten aus (solarer Wärmeeintrag direkt, Tageslichtnutzung indirekt über Wärme der elektrischen Beleuchtung) und über die Speichermassen dämpfend und verzögernd auf die Wärmelasten. Die Nutzungsart hat über die anwesenden Menschen und deren Tätigkeiten, die Beleuchtungsanforderungen sowie über Geräte und Maschinen im Zusammenhang mit Betriebszeiten und -profilen meist wesentlichen Einfluss auf die Wärme-

und Feuchtelasten im Gebäude. Schließlich bestimmen der Typ, die Auslegung und die Betriebsweise der Anlagentechnik weitgehend, welcher elektrische und anderweitige Endenergieaufwand benötigt wird, um den Bedarf an Nutzenergie bereitzustellen und damit das gewünschte Innenklima herzustellen.

Nutzungsart	personenbezogener Min.Volumenstrom nach DIN	Referenz- belegung	flächenspezifischer Volumenstrom bei Referenzbelegung
	V_o [m ³ /(h*P)]	R [m ² /P]	V_s [m ³ /(h*m ²)]
Einzelbüros	40	10	4
Großraumbüro	60	10	6
Gaststätte, Restaurant	30	3	8
Schulräume	30	2	15

Tabelle 3.6 Norm-Volumenstromwerte für einige Raumnutzungsarten.
(siehe auch DIN 1946-2, DIN 18017-3, ASR 5)

Energetische Systemanforderungen: flächenbezogene Grenz- und Zielwerte

Für einige, häufig auftretende Nutzungsarten gibt der LEE in der folgenden Tabelle Grenz- und Zielwerte des flächenbezogenen Energiebedarfs für Lüftung und Klimatisierung vor.

Nutzungsart	Betriebszeit [h/a]	Personen-Besetzungsdichte [m ² / P]	mittlere Wärmelast [W / m ²]	weitere Nutzungsbedingung	flächenbezogene Energiebedarfs-Anforderung		Beispiele
					Grenzwert g _{LK} [kWh/(m ² a)]	Zielwert z _{LK} [kWh/(m ² a)]	
Zonen mit Fensterlüftung und ohne Kühlung					0	0	
Büro	2750	15	< 20	Nichtraucher	3.0	1.5	Büro mit normaler techn. Ausstattung
		15	< 20	Raucher	7.5	3.0	
		10	30	Nichtraucher	12.0	6.0	Büro mit hoher Technisierung
		10	30	Raucher	18.0	7.5	
	2000	7	< 20	Nichtraucher	4.6	1.5	normaler Schulraum
		10	30	Nichtraucher	9.0	3.6	hoch technisierter Übungsraum
		3	40	Nichtraucher	18.0	6.0	Hörsaal
Verkauf	3600	8	< 20	Nichtraucher	7.5	2.2	einfacher Laden
		5	30	Nichtraucher	18.0	7.5	Food-, Nonfoodläden
		3	40	Nichtraucher	36.0	15.0	Mode-, Warenhaus
Restaurant	3600	2.0		50% Raucher	15.0	4.2	geringe Belegung
		1.2		50% Raucher	24.0	9.0	mittlere Belegung
Hotelzimmer	2000	10		Raucher	9.0	3.0	
Bettzimmer	8760	15	< 20	Nichtraucher	11.0	6.0	
Verkehrsflächen	2750*			15 m ³ /(m ² h)	9.0	3.0	Garderobe, Sanitäräume
Lager	2750*			3 m ³ /(m ² h) wenig genutzt	1.5	0.7	Archiv
				3 m ³ /(m ² h) häufig gen.	3.0	1.5	Lager in Verkaufsläden
				3 m ³ /(m ² h) ständig gelüft	15.0	6.0	Lager für empfindliche Güter
Werkstatt	2750			15 m ³ /(m ² h)	18.0	6.0	mit bes. Anford. an Schadstoff- oder Wärmeabfuhr
Parkgeschosse **	2750*			2 m ³ /(m ² h)	1.5	0.9	Parkgeschosse in Büro- oder Gewerbebauten
	6500			3 m ³ /(m ² h)	3.6	1.5	öffentliche Parkhäuser

*) Betriebszeit der zugehörigen Hauptnutzung
**) ohne bauliche Öffnungen

Tabelle 3.7 Grenz- und Zielwerte des flächenbezogenen Energiebedarfs für Lüftung und Klimatisierung (g_{LK} und z_{LK}) für häufig auftretende Nutzungsarten²⁴.

²⁴ Zur Herkunft der Grenz-, Ziel- und Richtwerte vgl. die Fußnote zu Tabelle 3.3.

Für Fälle, in denen diese Werte der obigen Tabelle nicht anwendbar sind, werden im Folgenden Richtwerte für spezifische Leistungen und Vollbetriebszeiten vorgegeben, aus denen sich für einen breiteren Bereich von Anwendungsfällen flächenbezogene Grenz- und Zielwerte ableiten lassen.

Richtwerte für Ventilatorwirkungsgrad, Druckverlust und volumenstromspezifische Leistung

Die volumenstromspezifischen Leistungsrichtwerte leiten sich aus Vorgaben für die mittleren Ventilatorwirkungsgrade und die gesamten Druckverluste von Lüftungsanlagen ab. Die zugrundegelegten mittleren Ventilatorwirkungsgrade hängen von der Anlagengröße (maximaler Gesamtvolumenstrom) ab und sind in Tabelle 3.8 aufgelistet. Tabelle 3.9 enthält die Vorgaben für die gesamten Druckverluste der Anlagen. Dabei werden vier Anlagenklassen unterschieden :

- Klasse 1 : reine Abluftanlagen
- Klasse 2 : Be- und Entlüftungsanlagen ohne Wärmerückgewinnung (WRG)
- Klasse 3 : Be- und Entlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG)
- Klasse 4 : Be- und Entlüftungsanlagen mit Kühlung/Klimatisierung und WRG

max. gesamter Volumenstrom [m ³ / h]	einfacher Richt- wert $\eta_{V,e}$ [-]	verbesserter Richtwert $\eta_{V,v}$ [-]
bis 100	0.25	0.30
300	0.30	0.40
1000	0.50	0.55
5000	0.55	0.60
10 000	0.60	0.65
ab 15 000	0.65	0.70

Tabelle 3.8 Einfache und verbesserte Richtwerte ($\eta_{V,e}$ und $\eta_{V,v}$) der mittleren Ventilator-Wirkungsgrade für Lüftungsanlagen unterschiedlicher Größe. Zwischenwerte können interpoliert werden²⁵. (nach /RAVEL 1993/)

²⁵ Die Richtwerte in den Tabellen 3.8 und 3.9 sind abgeleitet aus folgenden Quellen: /RAVEL 1993/, /Recknagel, Sprenger/, /Werner, et.al., 1995/, Herstellerangaben, eigene Berechnungen.

Art der Anlage	Anlagenklasse	gesamter Volumenstrom ²⁶ [m ³ / h]	einfacher Richtwert Δp_e [Pa]	verbesserter Richtwert Δp_v [Pa]
Reine Abluftanlage	1	bis 300	250	150
		1000	300	200
		ab 10 000	400	300
Zu- und Abluftanlage ohne WRG ²⁷	2	1000	600	400
		ab 10 000	800	600
Zu- und Abluftanlage mit WRG	3	bis 300	500	300
		1000	700	450
		ab 10 000	1000	600
Zu- und Abluftanlage mit Wärmetauschern für Kühlung bzw. Klimatisierung und WRG	4	3000	1000	600
		ab 10 000	1200	900

Tabelle 3.9 Einfache und verbesserte Richtwerte (Δp_e und Δp_v) des gesamten Druckverlusts von Lüftungsanlagen unterschiedlicher Größe und Anlagenklasse²⁸. Zwischenwerte können interpoliert werden.²⁹

Aus den Vorgaben für Ventilatorwirkungsgrad und gesamten Druckverlust lassen sich die einfachen und verbesserten Richtwerte der volumenstromspezifische Leistung ($p_{Vol,e}$ und $p_{Vol,v}$) direkt berechnen mit :

$$p_{Vol,e} = \Delta p_e / \eta_{V,e} \quad 30 \quad \text{(Gl. 3.11a)}$$

bzw.

$$p_{Vol,v} = \Delta p_v / \eta_{V,v} \quad \text{(Gl. 3.11b).}$$

²⁶ Zwischenwerte können interpoliert werden.

²⁷ Zu- und Abluftanlagen für beheizte Räume sollen in der Regel mit Wärmerückgewinnung ausgeführt werden. Dies führt bei guter Auslegung normalerweise zu einer Nettoeinsparung an Primärenergie durch die Lüftungsanlage.

²⁸ Die Werte beziehen sich auf die gesamte Anlage, bei den Klassen 2 bis 4 also auf die Summe von Zu- und Abluftweg.

²⁹ Vgl. auch Fussnote zu Tabelle 3.8.

³⁰ Die Einheiten in Gl. 3.11 sind: $\Delta p_{e/v}$ in [Pa], $p_{Vol,e/v}$ in [W/(m³/sec)]

Richtwerte für die Vollbetriebszeit Lüftung

Für die Vollbetriebsstunden von Lüftungsanlagen werden für einige häufig vorkommende Nutzungsarten ebenfalls Richtwerte vorgegeben, die in der folgenden Tabelle zusammengefasst sind.

Nutzungsart	Betriebszeit [h/a]	Nutzungsbedingungen	Vollbetriebsstunden Luftförderung	
			einfacher Richtwert h_{L_e} [h/a]	verbesserter Richtwert h_{L_v} [h/a]
Büro	2750	mit mechanischer Lüftung	2750	2000
Schulraum	2000	Normale Schulräume, Übungsräume Chemie, usw.	2000	1200
		Hör-, Konferenzsaal	1500	500
Verkauf	3600	mit mechanischer Lüftung	3300	2000
Restaurant	3600	mit mechanischer Lüftung	1000	700
Hotelzimmer	2000	mit mechanischer Lüftung	2000	1300
Bettzimmer	8760	mit mechanischer Lüftung	8760	8000
Verkehrsflächen	2750 [*]	Garderobe, Sanitärräume mit mechanischer Lüftung	1000	500
Lager	2750 [*]	wenig genutzt	1000	600
		häufig genutzt	1500	1000
		dauernde Lüftung notwendig	8760	5500
Werkstatt	2750	mit Anforderungen an die Stoff- oder Wärmeabfuhr	2000	1000
Park-geschosse ^{**}	2750 [*]	in Büro- und Gewerbebauten	1500	1000
	6500	öffentliche Parkhäuser	2000	1200
^{*)} Betriebszeit der zugehörigen Hauptnutzung ^{**)} ohne bauliche Öffnungen				

Tabelle 3.10 Einfache und verbesserte Richtwerte (h_{L_e} und h_{L_v}) der Vollbetriebsstunden von Lüftungsanlagen bei verschiedenen Raumnutzungsarten.³¹

Mittels der angegebenen Richtwerte lassen sich Grenz- und Zielwerte (g_L und z_L) des flächenspezifischen Energiebedarfs für Lüftung auf folgende Weise errechnen³²:

$$g_L = h_{L_e} \cdot v \cdot \Delta p_e / (\eta_{V,e} \cdot 3.6 \cdot 10^6)^{33} \quad (\text{Gl. 3.12a})$$

bzw.

$$z_L = h_{L_v} \cdot v \cdot \Delta p_v / (\eta_{V,v} \cdot 3.6 \cdot 10^6) \quad (\text{Gl. 3.12b}),$$

wobei v den flächenspezifischen Volumenstrom angibt.

³¹ Zur Herkunft der Grenz-, Ziel- und Richtwerte vgl. die Fußnote zu Tabelle 3.3.

³² Dabei werden die einfachen Richtwerte für die Berechnung des Grenzwertes und die verbesserten Richtwerte für die Berechnung des Zielwertes verwendet.

³³ Die Grössen müssen in folgenden Einheiten eingesetzt werden: $h_{L_{e/v}}$ in [h/a], v in [$\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$], $\Delta p_{e/v}$ in [Pa], das Ergebnis hat die Einheit [$\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$].

Richtwerte für die spezifische Leistung bei Kühlung

Für diejenigen Fälle, in denen die Grenz- und Zielwerte für Lüftung und Klimatisierung aus Tabelle 3.10 nicht anwendbar sind, und zugleich ein Kühlbedarf vorliegt, sind in Tabelle 3.11 Richtwerte der flächenspezifischen Leistung vorgegeben. Diese Werte ergeben sich abhängig von den internen Lasten durch Personen, Beleuchtung und Arbeitshilfen im Durchschnitt über die tägliche Nutzungsdauer (mittlere interne Wärmelast).

Mittlere interne Wärmelast p_{WL} [W/m ²]	mittlere flächenspezifische Leistung Kühlung	
	einfacher Richtwert p_{ke} [W/m ²]	verbesserter Richtwert p_{kv} [W/m ²]
30	12	10
40	16	13

Tabelle 3.11 Richtwerte für die flächenspezifische Leistung Kühlung, abhängig von der mittleren Wärmelast.³⁴

Bei der Ermittlung der mittleren internen Wärmelast³⁵ wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Personen geben bei leichter Tätigkeit (Büroarbeit) eine wirksame fühlbare Wärmeleistung von 70 W/Person ab. Bei Bürotätigkeit sind die Personen durchschnittlich während 6 Stunden pro Betriebstag anwesend. Bei einer Belegungsdichte von 10 m² pro Person ergibt das im Mittel über einen 11-stündigen Betriebstag eine mittlere Wärmelast von ca. 4 W/m².
- Die Wärmelast für eine effiziente Beleuchtung wird (bei Büronutzung) mit 10W/m² über die gesamte Betriebszeit angenommen, unabhängig davon, wie groß der Anteil des Tageslichts an der Beleuchtung ist. Es wird davon ausgegangen, dass direkte Sonnenstrahlung, die zu einer höheren Wärmelast führen würde, von einem Sonnenschutz abgehalten wird.
- Die Wärmelast durch Arbeitshilfen wird angenommen mit 0 W/Person bei niedrigem, 50 W/Person bei mittlerem und 150 W/Person bei hohem Technisierungsgrad. Bei einer Belegungsdichte von 10m² pro Person ergibt das im Mittel über einen 11-stündigen Betriebstag mittlere Wärmelasten von ca. 3 W/m² bei mittlerem und von etwa 10 W/m² bei hohem Technisierungsgrad.

Die spezifische Leistung der Kühlung ergibt sich, indem die mittlere innere Wärmelast durch die mittlere Leistungszahl³⁶ der Kühlanlage geteilt wird. Dem einfachen Richtwerten liegt eine Leistungszahl von 2.5, den verbesserten Richtwerten liegt eine Leistungszahl von 3.0 zugrunde.

³⁴ Zur Herkunft der Grenz-, Ziel- und Richtwerte vgl. die Fußnote zu Tabelle 3.3.

³⁵ Die hier verwendete mittlere innere Wärmelast dient nur zur Berechnung der Grenz-, Ziel- und Richtwerte. Sie ist nicht geeignet als Auslegungsgröße für die Anlagen.

³⁶ Unter der mittleren Leistungszahl wird hier das Verhältnis von Kälteleistung zum gesamten Strombedarf verstanden, einschließlich dem Antrieb der Kältemaschine, aller Hilfsaggregate und Pumpen, und einschließlich einer ggf. für die Kühlung notwendigen Erhöhung der Luftförderung.

Richtwerte für die Vollbetriebszeit bei Kühlung

Nutzungsart	Betriebszeit [h/a]	Mittlere interne Wärmelast p_{wL} [W/m ²]	Vollbetriebsstunden Kühlung	
			einfacher Richt- wert $h_{K e}$ [h/a]	verbesserter Richtwert $h_{K v}$ [h/a]
Büro	2750	30	550	400
		40	800	600
Schulraum	2000	30	400	250
		40	600	350
Verkauf	3600	30	650	400
		40	1000	600

Tabelle 3.12 Richtwerte für die Vollbetriebsstunden Kühlung, abhängig von der mittleren inneren Wärmelast und der Nutzungszeit.³⁷

In Tabelle 3.12 sind Richtwerte der Vollbetriebsstunden für Kühlung vorgegeben. Die Richtwerte für die Vollbetriebsstunden Kühlung betragen bei mittleren Wärmelasten von 30 W/m² 20%, bei Wärmelasten von 40 W/m² 30% der entsprechenden Richtwerte für die Volllaststunden Luftförderung.

Grenz- und Zielwerte aus Richtwerten

Aus den Richtwerten für spezifische Leistung und für Vollbetriebsstunden lassen sich Grenz- und Zielwerte (g_L und z_L) des flächenspezifischen Energiebedarfs für Kühlung auf folgende Weise errechnen³⁸:

$$g_K = h_{K e} * p_{K e} \quad (\text{Gl. 3.13a})$$

bzw.

$$z_K = h_{K v} * p_{K v} \quad (\text{Gl. 3.13b}).$$

Grenz- und Zielwerte des flächenspezifischen Energiebedarfs für Lüftung-Klima (g_{LK} und z_{LK}) ergeben sich als Summe der entsprechenden Werte für Lüftung und für Kühlung.

$$g_{LK} = g_L + g_K \quad (\text{Gl. 3.14a})$$

bzw.

$$z_{LK} = z_L + z_K \quad (\text{Gl. 3.14b}).$$

³⁷ Zur Herkunft der Grenz-, Ziel- und Richtwerte vgl. die Fussnote zu Tabelle 3.3.

³⁸ Dabei werden die einfachen Richtwerte für die Berechnung des Grenzwertes und die verbesserten Richtwerte für die Berechnung des Zielwertes verwendet.

Berechnung des Energiebedarfs einer Lüftungsanlage

Sofern keine genauere Berechnungsmethode verfügbar ist und keine Messwerte vorliegen (bei Sanierungsobjekten), kann der elektrische Leistungsbedarf (P_L) für jeden Betriebszustand einer Lüftungsanlage näherungsweise berechnet werden mit:

$$P_L = V \cdot \Delta p / \eta \quad (\text{Gl. 3.15})$$

wobei V = Volumenstrom im Betriebszustand
 Δp = gesamter Druckverlust im Betriebszustand
 η = Ventilatorwirkungsgrad im Betriebszustand³⁹

Wird die Lüftungsanlage in verschiedenen Betriebszuständen betrieben, so ist das **Teillast-Verhalten** der Anlage von Bedeutung. Theoretisch sinkt der pneumatische Leistungsbedarf bei unverändertem Kanalnetz mit der dritten Potenz des Volumenstroms (also bei halbiertem Volumenstrom auf ein Achtel). In der Praxis ist der Zusammenhang meist weniger steil: Im günstigen Fall kann der Leistungsbedarf etwa als proportional dem Quadrat des Volumenstroms angenommen werden, bei Abschaltung von Teilnetzen ist die Leistung etwa proportional dem Volumenstrom, und im ungünstigen Fall der Drosselung kann die Abnahme weniger als proportional sein.

Der Ventilator-Wirkungsgrad sinkt in der Regel im Teillastbereich. Als Näherung kann angenommen werden, dass der elektrische Leistungsbedarf sich aus einem dem pneumatischen Leistungsbedarf proportionalen Anteil und einem fixen Anteil zusammensetzt. Abb. 3.8 zeigt den aus dieser Annahme resultierenden Verlauf des Ventilatorwirkungsgrades, wenn der fixe Anteil 30% der Nennleistung beträgt.

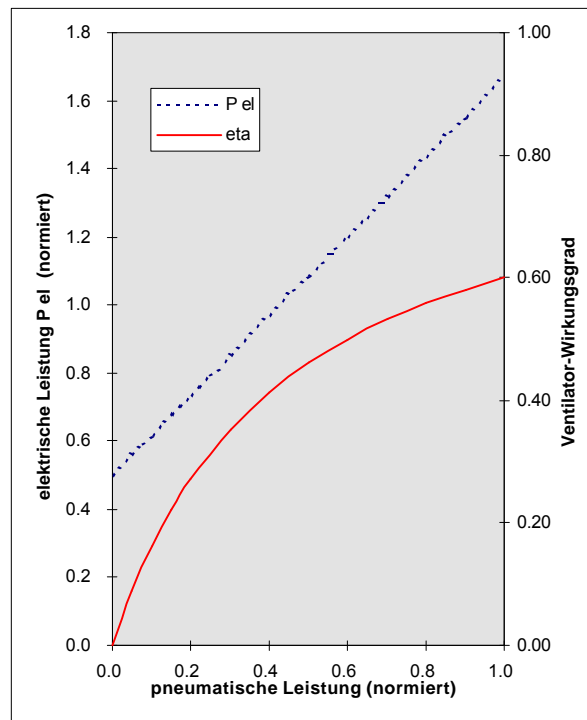


Abb. 3.8 Leistungsbedarf und Wirkungsgrad eines Ventilators bei Teillast. Alle Leistungen sind auf die pneumatische Nennleistung normiert.

Wird die Lüftungsanlage in mehreren Betriebszuständen mit elektrischen Leistungen P_{L1} , P_{L2} , P_{L3} , ... und Teilbetriebszeiten b_{N1} , b_{N2} , b_{N3} , ... betrieben, so ergibt sich der **elektrische Energiebedarf** aus:

$$E_L = P_{L1} \cdot b_{N1} + P_{L2} \cdot b_{N2} + P_{L3} \cdot b_{N3} + \dots \quad (\text{Gl. 3.16a})$$

Alternativ kann der Energiebedarf mittels eines Anlagenbetriebsfaktors (f_1) näherungsweise berechnet werden (die Werte f_1 sind im Anhang A 3.3.2 tabelliert) :

$$E_L = P_L \cdot b_N \cdot f_1 \quad (\text{Gl. 3.16b})$$

Falls die Lüftungsanlage mehrere Betriebseinheiten versorgt, muss für jeden Betriebszustand der Wert P_L aus Gl. 3.15 entsprechend der Teilvolumenströme auf die Betriebseinheiten aufgeteilt werden. Gl. 3.16 muss dann separat für jede Betriebseinheit berechnet werden.

³⁹ Der Ventilatorwirkungsgrad muss gegenüber den Hersteller-Angaben um einen Faktor von ca. 0.8 vermindert werden, um die unvollständige Anpassung des Ventilators zu berücksichtigen.

Der **flächenspezifische Energiekennwert** für die Lüftung einer Betriebseinheit ergibt sich dann aus:

$$e_L = E_L / A_{EB} \quad (\text{Gl. 3.17})$$

Im Fall einer reinen Lüftungsanlage ohne Klimatisierung werden die Werte E_L und e_L zusammen mit den zugehörigen Grenz- und Zielwerten (g_L und z_L) in die Energiematrix eingetragen.

Berechnung des Energiebedarfs für Kühlung / Klimatisierung

Falls eine Kühlung oder Klimatisierung erfolgt, liegen oft sehr variable Betriebsbedingungen für die entsprechende Anlage vor. In vielen Fällen variiert die abzuführende Wärmelast, und die Anlage arbeitet bei wechselnden Innen- und Außenklima-Zuständen. Um genauere Prognosen des Energiebedarfs für ein derart variables System zu machen, ist die dynamische Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens einschließlich der zeitlichen Nutzungsprofile und der Anlagentechnik erforderlich⁴⁰. Ein geeignetes Simulationsverfahren liefert beispielsweise den Jahresenergiebedarf für Kühlung E_K als ein direktes Ergebnis⁴¹.

In Fällen, in denen keine Ergebnisse dynamischer Simulationsrechnungen zur Verfügung stehen, ist nur eine grobe **Abschätzung des Energiebedarfs** möglich:

Wesentliche Faktoren, die den Kühl-Leistungsbedarf bestimmen, sind die notwendige Luftmenge, der angenommene extreme Außenklima-Zustand am Ort, der gewünschte Innenklima-Zustand (bzw. Behaglichkeitsbereich) sowie die abzuführende Wärme- und Feuchte-last. Der Jahresenergiebedarf wird darüber hinaus von der Häufigkeit verschiedener Außenklima-Zustände und wesentlich vom zeitlichen Nutzungsprofil bestimmt.

Zunächst wird (aus einem h-x-Diagramm) die Enthalpiedifferenz zwischen dem Außenluft-Zustand (z.B. 32°C, 12 g/kg)⁴² und dem Luftzustand hinter dem Kühlregister (z.B. 15°C, 10 g/kg) ermittelt. Dies entspricht der Wärmemenge, die der Zuluft entzogen werden muss. Anschließend wird geprüft, ob die an den Zuluftauslässen beispielsweise mit 18°C ausströmende Luft die (gemittelte) Wärmelast der Innenräume aufnehmen kann, ohne den gewünschten Behaglichkeitsbereich zu überschreiten. Falls dies nicht ausreicht, muss die zusätzliche Wärmelast⁴³ zu der zuluftbedingten Wärmemenge addiert werden. Diese Gesamt-Wärmemenge muss die Anlage abführen.

Wenn der Innenraum mit genügend thermischer Speichermasse⁴⁴ versehen ist, kann die thermische Last über die tägliche Betriebszeit gemittelt werden. Wenn zusätzlich die Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung besteht, kann die Mittelung über den gesamten Tag erfolgen.

Viele Anlagen arbeiten in einem großen Teil ihrer Betriebszeit unter Teillast. Neben dem geringeren Kälteleistungsbedarf muss dann auch der (meist verringerte) Teillast-Wirkungsgrad berücksichtigt werden (vgl. Abb. 3.9). Es kann auch energetisch günstiger sein, mit erhöhter Luftförderung die Wärme abzuführen, anstatt zu kühlen.

⁴⁰ Geeignete Software für solche Simulationen ist am Markt erhältlich /EA-NRW, 1999/. Da deren Anwendung einige Erfahrung mit thermischer Gebäude- und Anlagensimulation erfordert, ist es für viele Planer von Vorteil, die Simulation als Dienstleistung spezialisierter Firmen oder wissenschaftlicher Institute in Anspruch zu nehmen.

⁴¹ Falls dies nicht bereits in der Simulationssoftware erfolgt, muss der Wert E_K um einen Anteil für Pumpen und andere Hilfsaggregate erhöht werden.

⁴² Zu Rechenwerten für Außenklima-Bedingungen und Daten siehe VDI 2078, DIN 4710.

⁴³ Diese kann beispielsweise über Kühldecken oder mittels erhöhtem Volumenstrom abgeführt werden. In dem zweiten Fall muss auch die Steigerung des Energiebedarfs für Luftförderung berücksichtigt werden.

⁴⁴ Siehe DIN EN ISO 13786, DIN V 4108-6 (1999)

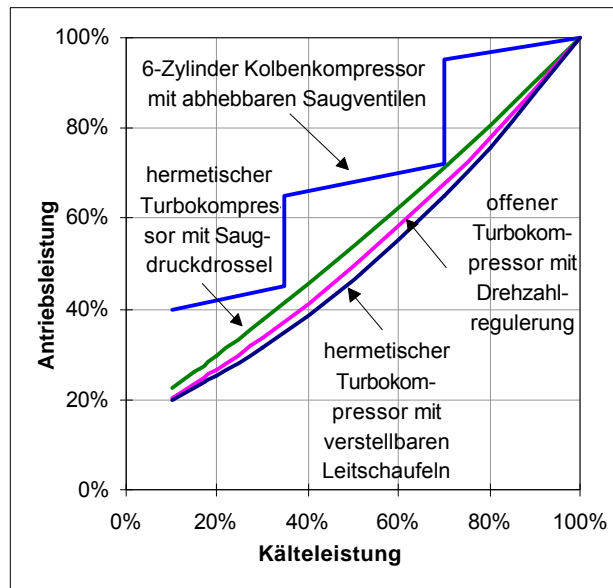


Abb. 3.9 Teillastverhalten von Kältemaschinen
(nach /Recknagel, Sprenger, Hönnmann/)

Um den Energiebedarf zu schätzen, müssen in der Regel mehrere (repräsentative) Betriebszustände, entsprechend verschiedenen Außenluft-Zuständen oder betriebsbedingt unterschiedlichen Wärmelasten betrachtet werden. Für jeden Betriebszustand (i) erfolgt die Abschätzung des Leistungsbedarfs P_{ki} . Ebenso wird jedem Betriebszustand eine Teilbetriebszeit b_{Ni} zugeordnet (z.B. nach Enthalpie-Statistik, siehe DIN 4710). Dann kann der Energiebedarf als Summe abgeschätzt werden:

$$E_K = P_{K1} * b_{N1} + P_{K2} * b_{N2} + P_{LK} * b_{N3} + \dots \quad (\text{Gl. 3.18})$$

Soweit dies in der Berechnung noch nicht berücksichtigt ist, muss das Ergebnis mit einem Zuschlag für Hilfsantriebe (z.B. Kühlmittel-Pumpen) von 10 - 15% versehen werden.

Zur Bewertung des sommerlichen Verhaltens des Baukörpers und der energetischen Qualität der Anlagen-Auslegung siehe auch DIN V 4108-6 (1999).

Der gesamte **Jahresenergiebedarf Lüftung-Klima (E_{LK})** ergibt sich als Summe :

$$E_{LK} = E_L + E_K \quad (\text{Gl. 3.19})$$

und der **flächenspezifische Jahresenergiebedarf Lüftung-Klima (e_{LK})** aus :

$$e_{LK} = E_{LK} / A_{EB} \quad (\text{Gl. 3.20})$$

Die beiden Werte E_{LK} und e_{LK} werden in die entsprechenden Felder der Energiematrix eingetragen. Die für die Berechnung des Energiebedarfs Lüftung-Klima relevanten Daten können in den Datenerfassungsblättern Lüftung und Kälte (Abb. 3.10) protokolliert werden.

LEE - Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau										Datenerfassungs-Blatt für : Lüftung		Blatt Nr. 1 von 1			
Objekt : Beispiel-Bürogebäude										bearbeitet von :		Datum 01.07.99			
										Zeichen X					
Nr	Zone / BE	Fläche A _{EB} [m ²]	Anzahl [Personen]	Frischluft pro Person [m ³ /(P*h)]	spez. Volumenstrom Personen- bezogen [m ³ /(m ² h)]	strom zus. Fläch- bezogen [m ³ /(m ² h)]	absoluter Volumen- strom V [m ³ / h]	Gesamt- Druck- verlust Δp [Pa]	Ventilator- Wirkungs- grad η _v [-]	Betriebs- stunden pro Betriebstag [h / d]	Betriebstage pro Jahr [d / a]	Regelungsart	Anlagen- betriebs- faktor f _i [-]	Jahres-Energiebedarf absolut E _k [kWh / a]	Energiebedarf spezifisch e _k [kWh / (m ² a)]
	Büros 1	100	10	40	4.		400.	600.	0.6	11	250	1-stufig	1	306	3.1
	Großraumbüro	100	10	40	4.		400.	600.	0.6	11	250	1-stufig	1	306	3.1
	Flure	25	0	0	0.	0.5	12.5	600.	0.6	11	250	1-stufig	1	10	0.4
	Großraumbüro alt	100	10	40	4.	4.	800.	2000.	0.4	12	350	1-stufig	1	4667	46.7
Summe Energiebedarf für Lüftung													5287 kWh / a		

LEE - Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau										Datenerfassungs-Blatt für : Kühlung		Blatt Nr. 1 von 1		
Objekt : Beispiel-Bürogebäude										bearbeitet von :		Datum 01.07.99		
										Zeichen X				
Nr	Zone / BE	Fläche A _{EB} [m ²]	Anzahl [Personen]	mittlere tägliche Anwesenheit [h / d]	mittlere innere Wärmelasten Personen Beleuch- tung Arbeits- hilfen [W / m ²] [W / m ²] [W / m ²]	gesamt [W / m ²]	mittl. Leistungs- zahl [-]	mittl. spez. Leistung [W / m ²]	Betriebs- stunden pro Betriebstag [h / d]	Voll- benutzungs- stunden [h / a]	Jahres-Energiebedarf absolut E _k [kWh / a]	Energiebedarf spezifisch e _k [kWh / (m ² a)]		
	Büros 1	100	10	6	3.82	10	4.	17.82	3.	5.9	11	400	238	2.4
	Großraumbüro	100	10	6	3.82	10	4.	17.82	3.	5.9	11	800	475	4.8
	Flure	25	0	0	0.	4	0.	4.	0.		11	0		
	Großraumbüro alt	100	10	6	3.5	20	6.	29.5	2.5	11.8	12	3000	3540	35.4
Summe Energiebedarf für Kühlung											4253 kWh / a			

Bild 3.10 Datenerfassungsblätter für Lüftung (oben) und für Kälte (unten) in verkleinerter Darstellung⁴⁵. Die Anlagenbetriebsfaktoren sind in Anhang 3.3.2 tabelliert.

⁴⁵ Die Datenerfassungsblätter für Lüftung und Kälte sind in Originalgröße im Anhang 3.2 wiedergegeben.

3.3.3 Diverse Haustechnik

Funktionelle Systemanforderungen

Unter dem Begriff 'Diverse Haustechnik' werden all diejenigen haustechnischen Einrichtungen mit elektrischem Energieverbrauch zusammengefasst, die nicht den Kategorien 'Beleuchtung', 'Lüftung' oder 'Klimatisierung' zuzuordnen sind. Dementsprechend können sehr verschiedenartige Stromverbraucher in dieser Kategorie möglich sein (z.B. Aufzüge, Fahrtreppen, Abwasserpumpen,), so dass außer für den Anteil Hilfsenergie Heizung keine spezifischen funktionellen Systemanforderungen gestellt werden.

Energetische Systemanforderungen

Ebenso wie bei den funktionellen Systemanforderungen werden aufgrund der Vielfalt der möglichen Verbraucher keine speziellen energetischen Systemanforderungen gestellt.

Jedoch sind bei der Planung und Ausführung der Anlagen drei Aspekte mit jeweils möglichen Reduzierungen des Energieverbrauchs beachtenswert :

- In einem relativ frühen Planungsstadium fällt oft eine Entscheidung der Systemwahl : Es wird ein Anlagentypus gewählt, der die gewünschte Energiedienstleistung erbringen soll. In diesem Stadium lohnt sich oft, zu prüfen, ob mit einer anderen Wahl die gleiche oder eine gleichwertige Dienstleistung mit geringerem oder vollständig ohne den Einsatz elektrischer Energie bereitgestellt werden kann.
- Die Systemauslegung / Anlagenplanung hat oft erheblichen Einfluss auf den resultierenden Energiebedarf im späteren Anlagenbetrieb. Dazu gehört beispielsweise die richtige Dimensionierung, die Abstimmung der Anlagenkomponenten untereinander, usw..
- Ebenso gibt es Einsparpotentiale, die von der Betriebsweise der Anlage abhängen. Dazu gehören an den Bedarf angepasste Betriebszeiten, Abschaltung in Leerlaufzeiten, Steuer- und Regelstrategien, usw.

Grenzwerte und Zielwerte bestehen für die 'Diverse Haustechnik' nicht.

Berechnung des Energiebedarfs

Für die Berechnung des Energiebedarfs werden hier einige allgemeine Regeln angegeben, die der Nutzer des LEE auf seinen konkreten Fall anwenden kann.

Sofern keine detaillierten Rechenvorschriften oder Computerprogramme für die Berechnung des Energiebedarfs im konkreten Fall vorliegen, ist in der Regel die Berechnung über die maximale Betriebsleistung der betreffenden Anlage und das zeitliche Betriebsprofil und daraus abgeleiteten Vollbenutzungsstunden empfehlenswert.

Die maximale Betriebsleistung ist häufig nicht identisch mit der in Datenblättern oder auf Typenschildern angegebenen Nennleistung. Im Zweifelsfall ist (bei bestehenden Anlagen) eine Messung der tatsächlich aufgenommenen Leistung in den wichtigsten Betriebszuständen hilfreich.

Der zweite wichtige Faktor ist das Zeitprofil des Betriebs. Viele Anlagen sind durch zwei Haupt-Betriebszustände gekennzeichnet : Einen akuten Betriebszustand mit voller Leistungsaufnahme und einen Standby-Zustand mit deutlich reduzierter Leistungsaufnahme. Je nach den Zeitanteilen der beiden Zustände dominiert der Vollbetriebs- oder der Standby-Zustand den jährlichen Strombedarf.

In diesem Fall errechnet sich der Anteil $E_{DT,i}$ der Anlage zum absoluten Energiebedarf Diverse Haustechnik mit :

$$E_{DT,i} = P_{Volllast} * t_{Volllast} + P_{stby} * t_{stby} \quad (Gl. 3.21)$$

wobei:	$P_{Volllast}$	[kW]	volle Leistungsaufnahme der Anlage
	$t_{Volllast}$	[h/a]	Volllast-Betriebszeit der Anlage
	P_{stby}	[kW]	Standby-Leistungsaufnahme der Anlage
	t_{stby}	[h/a]	Standby-Betriebszeit der Anlage

Bei komplexeren Zeitprofilen muss entweder mit mehreren Betriebszuständen analog zu Gl. 3.21 aufsummiert werden, oder aber auf grafischem oder numerischen Weg eine äquivalente Vollbenutzungsstundenzahl ($t_{Vollben}$) gebildet werden (vgl. Abb. 3.11). Dann gilt :

$$E_{DT,i} = P_{Vollben} * t_{Vollben} \quad (Gl. 3.22)$$

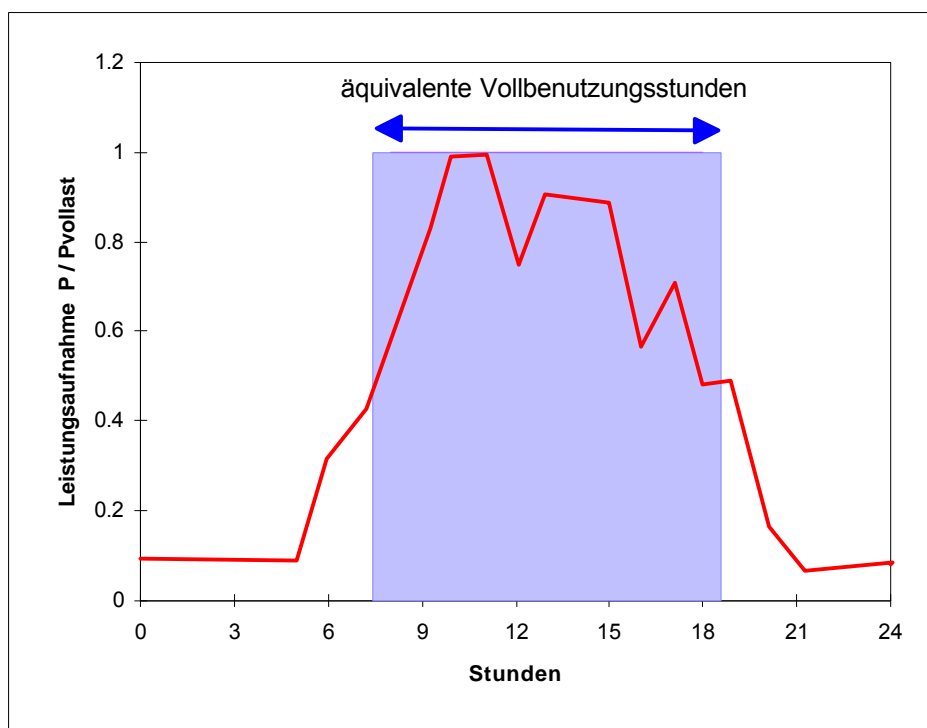


Abb. 3.11 Zeitprofil der Leistungsaufnahme einer Anlage an einem Tag und äquivalente Vollbenutzungsstunden.

Der **absolute Energiebedarf Diverse Haustechnik (E_{DT})** einer Betriebseinheit ergibt sich als Summe aller Anteile $E_{DT,i}$.

Den **flächenspezifischen Energiekennwert Diverse Haustechnik (e_{DT})** erhält man mittels Division durch die Energiebezugsfläche⁴⁶ der Betriebseinheit (A_{EB}).

$$e_{DT} = E_{DT} / A_{EB} \quad (Gl. 3.23)$$

⁴⁶ Nettogrundfläche (vgl. Kap. 3.1)

Hilfsenergie Heizung

Ein spezieller Anteil der Diversen Technik ist die Energiedienstleistung 'Hilfsenergie Heizung'. Diese dient dazu, die benötigte Heizwärme vom Bereitstellungsort (Heizkessel, Fernwärmeübergabe, usw.) an alle Bestimmungsorte im Gebäude (z.B. Heizkörper) zu verteilen. Ebenfalls dazu zählt das Umwälzen des Warmwassers im Verteilsystem.

Den Energiebedarf bestimmen neben dem Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser (der zu transportierenden Wärmemenge) die zeitliche Verteilung der Wärmenachfrage, die Transportwege, die Auslegung und der hydraulische Abgleich des Verteilrohrnetzes sowie die Auswahl, Dimensionierung und Steuerung bzw. Regelung der Pumpen⁴⁷.

Energetische Systemanforderungen an die 'Hilfsenergie Heizung'

Für die Energiedienstleistung 'Hilfsenergie Heizung' bestehen Systemanforderungen in Form eines Grenzwerts für den flächenbezogenen Jahresenergiebedarf aller Hilfssysteme, die zur Deckung des Raumwärmebedarfs und des Warmwasserbedarfs dienen. In besonderen Anwendungsfällen (z.B. hoher Warmwasserbedarf) oder im Gebäudebestand, sofern keine wärmetechnische Sanierung des Gebäudes erfolgt, soll der Wert für Hilfsenergie Heizung 1% des Wärmebedarfes für Warmwasser und Raumheizung nicht überschreiten. Ein Zielwert für Hilfsenergie Heizung besteht derzeit nicht.

Voraussetzung	Grenzwert für den flächenbezogenen Jahresenergiebedarf für alle Hilfssysteme Heizung
Bei Neubauten und Sanierungen mit Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes:	0.8 kWh/(m²*a)
Bei Sanierungen ohne Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes und bei Sonderanwendungen:	1 % des Jahresnutzenenergiebedarfs für Raumheizung und Warmwasser

Tabelle 3.13 Anforderungen an das Teilsystem 'Hilfsenergie Heizung'

Berechnung der Hilfsenergie Heizung

Da die Umwälz- und Zirkulationspumpen in den meisten Fällen die dominierenden Verbraucher der Energiedienstleistung Hilfsenergie Heizung sind, konzentrieren sich die Berechnungsverfahren auf diesen Anteil. Die Bestimmung erfolgt in mehreren Schritten :

- Bei Neuanlagen wird zunächst der Endenergiebedarf für Raumheizung und Warmwasserbereitung berechnet, z.B. mit Hilfe des /LEG/. Die im LEG beschriebene Optimierungsplanung für die Gebäudehülle soll bereits im frühen Gebäudeplanungsstadium durchgeführt werden, so dass der Wärmebedarf nach Möglichkeit minimiert ist.
- Die Umwälzpumpen sollen mit Hilfe üblicher Rohrnetzrechnungsprogramme ausgelegt werden. Zu beachten ist, dass diese Programme bereits intern mit einem Sicherheitsfaktor arbeiten. Das rechnerische Ergebnis soll daher nicht mit einem weiteren Sicherheitszuschlag versehen werden.
- Mit der Anschlussleistung der gewählten Pumpe in der eingestellten Betriebsstufe und der zu erwartenden Vollbetriebszeit wird der Energiebedarf berechnet.

⁴⁷ Eine detailliertere Beschreibung der Optimierung von Verteilnetz und Pumpen sowie des hydraulischen Abgleichs findet sich in /Brandt, 1998/.

Folglich ergibt sich der **absolute Energiebedarf Hilfsenergie Heizung E_{HH}** aus :

$$E_{HH} = P_{max} * b_v = P_{max} * b_a * f_v \quad (\text{Gl. 3.24})$$

wobei:	E_{HH}	[kWh/a]	Energiebedarf Hilfsenergie Heizung
	P_{max}	[kW]	Anschlussleistung in der eingestellten Betriebsstufe
	b_v	[h/a]	Vollbetriebszeit der Anlagen
	b_a	[h/a]	Anlagenbereitschaftszeit
	f_v	[-]	Vollbetriebszeitfaktor

Die Vollbetriebszeit ist die jeweilige Anlagenbereitschaftszeit multipliziert mit dem Vollbetriebsfaktor f_v . Der Vollbetriebszeitfaktor beschreibt den Einfluss der Steuerung und Regelung der Anlagen. Für drehzahlgeregelte Pumpen⁴⁸ kann f_v mit 0,7 angenommen werden, sofern keine genauere Angabe vorhanden ist⁴⁹. Bei schaltuhrgesteuerten Pumpen (z.B. Warmwasser-Umwälzpumpen) ist der Vollbetriebszeitfaktor identisch mit dem eingeschalteten Anteil an der Anlagenbereitschaftszeit, beispielsweise ist bei einer Umwälzpumpe mit 20 min Einschaltzeit pro Stunde $f_v = 0.33$.

Da sich der Energiekennwert Hilfsenergie Heizung auf die gesamte benötigte Hilfsenergie für Raumwärme und Warmwasser bezieht, können Umwälzpumpen und Warmwasserzirkulationspumpen gemeinsam betrachtet werden⁵⁰. Der absolute Energiebedarf Hilfsenergie Heizung ist also die Summe des Energiebedarfs aller Anlagen in diesem Bereich.

Der **flächenbezogene Energiekennwert Hilfsenergie Heizung (e_{HH})** ergibt sich durch Bezug auf die mit Warmwasser und Raumwärme versorgte Nutzfläche (A_{EB} , Energiebezugsfläche⁵¹) :

$$e_{HH} = E_{HH} / A_{EB} \quad (\text{Gl. 3.25})$$

Der Wert e_{HH} wird mit dem Grenzwert für Hilfsenergie Heizung verglichen.

Hinweis zur Sanierung

Im Gebäudebestand wird der Energiekennwert Hilfsenergie Heizung durch Messungen ermittelt oder über die maximale Leistung und die Betriebsstunden abgeschätzt. Dazu kann es notwendig sein, während der Messwerterfassung die verschiedenen Betriebszustände der Heizungsanlage zu wählen, um einen Überblick über die Verbrauchscharakteristik unter den einzelnen Lastzuständen zu erhalten. Alternativ können die Herstellerangaben Verwendung finden.

⁴⁸ Zu Einsatzbereichen drehzahl geregelter Pumpen, zur Auswahl des Regelungssystems und zur Dimensionierung siehe /Brandt, 1998/.

⁴⁹ Eine genauere Berechnung des Energiebedarfs bei geregelten Umwälzpumpen für Raumheizung ist möglich, wenn das thermische Verhalten von Gebäude und Anlagentechnik dynamisch simuliert wird. Wegen des Aufwands wird diese Methode auf Sonderfälle beschränkt bleiben.

⁵⁰ Die Beiträge der einzelnen Pumpen müssen allerdings in der Regel getrennt berechnet werden, da sich die Betriebszeiten unterscheiden können.

⁵¹ Nettogrundfläche (vgl. Kap. 3.1)

Dokumentation der Daten für Diverse Technik

Die Werte E_{DT} und e_{DT} werden in die entsprechenden Felder der Energiematrix übernommen. Die für die Berechnung des Energiebedarfs Diverse Technik relevanten Daten der einzelnen Verbraucher können im Datenerfassungsblatt Diverse Technik (Abb. 3.12) protokolliert werden.

LEE - Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau				Datenerfassungs-Blatt für :			Diverse Technik							
Objekt : Beispiel-Bürogebäude				bearbeitet von :			Blatt Nr. 1 von 1		Datum 01.07.99 Zeichen X					
Nr	Zone / Betriebseinheit	Fläche A_{EB} [m ²]	Anlage	Betriebszustand 1			Betriebszustand 2			Betriebszustand 3			Jahres-Energiebedarf	
				Leistung P_1 [W]	Zeit t_1 [h / a]	Energie- bedarf [kWh / a]	Leistung P_2 [W]	Zeit t_2 [h / a]	Energie- bedarf [kWh / a]	Leistung P_3 [W]	Zeit t_3 [h / a]	Energie- bedarf [kWh / a]	absolut E_{DT} [kWh / a]	spezifisch e_{DT} [kWh / (m ² a)]
	ges. Gebäude	800	Aufzug	5000	200	1000	150	8500	1275				2275	2.8
	ges. Gebäude	800	Heizungspumpe	150	5000	750	0	3760	0				750	0.9
Summe Energiebedarf für Diverse Technik												3025 kWh / a		

Abb. 3.12 Datenerfassungsblatt für Diverse Technik in verkleinerter Darstellung⁵².

⁵² Das Datenerfassungsblatt für Diverse Technik ist in Originalgröße im Anhang 3.2 wiedergegeben.

3.3.4 Arbeitshilfen

Funktionelle Systemanforderungen

Als Arbeitshilfen werden im LEE alle diejenigen elektrischen Geräte bezeichnet, die zur Ausstattung der Arbeitsplätze gehören. In Büros sind dies insbesondere die PC's mit Zubehör wie Arbeitsplatzdrucker, Scanner sowie Geräte für Telekommunikation wie Telefone, Faxgeräte, Modems, usw.

Energetische Systemanforderungen

Für Arbeitshilfen bestehen zurzeit keine quantitativen energetischen Systemanforderungen⁵³. Vielmehr wird die Empfehlung gegeben, zum Einen bei der Beschaffung von Arbeitshilfen jeweils nach Stand der Technik die energieeffizientesten Geräte des Marktes auszuwählen, und zum Anderen den Betrieb energetisch zu optimieren. Im Einzelnen sind dabei folgende Punkte beachtenswert:

1. Der Einsatz energieeffizienter Geräte :

Bei der Neubeschaffung und beim Ersatz soll auf einen niedrigen Energiebedarf geachtet werden. Dazu gehört auch die für den jeweiligen Zweck geeignete und nicht überdimensionierte Gerätewahl.

Viele elektronische Geräte weisen drei Betriebszustände mit unterschiedlichem Energieverbrauch auf : der voll eingeschaltete Betriebszustand, der Standby-Zustand (Gerätebereitschaft bei oft deutlich reduziertem Stromverbrauch) und der ausgeschaltete Zustand. Da die Geräte zum Teil keinen 'echten' Netzschalter besitzen, der das Gerät komplett vom Stromnetz trennt, sondern nur einen Schalter, der die Gerätefunktion stilllegt, verbraucht das Gerät auch im scheinbar ausgeschalteten Zustand Strom (offensichtlich ist dies bei Geräten mit Steckernetzteil, aber auch bei anderen Geräten ist es häufig anzutreffen). Je nach Betriebsweise des Gerätes spielt der Stromverbrauch im Vollbetrieb, im Standby oder im 'Aus'-Zustand die größte Rolle für den Gesamtverbrauch.

Hilfe bei der Gerätewahl im Bürobereich können Listen über sparsame Geräte⁵⁴, Testberichte oder Marktübersichten in Fachzeitschriften geben.

2. Senkung des Energiebedarfs über die Betriebsweise der Geräte :

Eine energetisch günstige Betriebsweise bedeutet in den meisten Fällen, dass Geräte nur dann im Vollbetrieb arbeiten, wenn sie tatsächlich genutzt werden, dass sie bei kürzeren Nutzungspausen (z.B. bis eine Stunde) manuell oder automatisch in den Standby-Zustand versetzt werden und bei längeren Nutzungspausen ausgeschaltet und ggf. vom Stromnetz getrennt werden.

Weitere Information zur Auswirkung von Gerätewahl und Betriebsweise auf den Strombedarf ist in Kapitel 4.2.3 enthalten.

⁵³ Dies hat insbesondere den Grund, dass der Markt für Telekommunikations- und Bürogeräte, die einen großen Teil der Arbeitshilfen ausmachen, sich in einem so raschen Wandel befindet, so dass quantitative Anforderungen bereits nach kurzer Zeit obsolet werden können.

⁵⁴ z.B. Liste stromsparender Geräte (Büro- und Unterhaltungselektronik), herausgegeben von der Gemeinschaft Energielabel Deutschland /GED/; im Internet unter www.Impulsprogramm.de.

Bestimmung des Energiebedarfs für Arbeitshilfen

Da die Anzahl der Arbeitshilfen in einem Gebäude sehr hoch sein kann (mehrere Geräte pro Arbeitsplatz), ist es empfehlenswert, jeweils einzelne Räume auszuwählen, die für größere Zonen / Betriebseinheiten repräsentativ sind, diese Räume detailliert zu analysieren und anschließend auf die gesamten Betriebseinheiten hochzurechnen.

Für jede Geräteart (Geräte ähnlicher technischer Daten und Betriebsweise) muss dazu die Leistungsaufnahme in allen relevanten Betriebszuständen ermittelt werden (z.B. Vollbetrieb, Standby, 'Aus'). Die Nennleistungen, die in Datenblättern oder auf Typenschildern angegeben sind, sind dabei oft nur von geringem Nutzen, da die tatsächliche Leistungsaufnahme häufig deutlich darunter liegt⁵⁵. Genauere Werte lassen sich mit kleinen Leistungs- und Verbrauchsmessgeräten ermitteln, die in die Netzzuleitung eingeschleift werden. Anhaltswerte für die Leistungsaufnahme verschiedener Bürogeräte gibt Tabelle 3.14.

Solche Messungen im Fall der Bestandsaufnahme bei einer Sanierung können neben der Leistungsaufnahme auch mit Stichproben des Verbrauchs einschließlich effektiver Nutzungszeiten über den Messzeitraum ergänzt werden.

Falls keine geeignete Verbrauchsmessung vorliegt, kann der Energiebedarf mittels der Leistungsaufnahme und der Zeitanteile der verschiedenen Betriebszustände berechnet werden. Weist eine Geräteart die drei Betriebszustände 'Ein', 'Standby' und 'Aus' mit den Leistungsaufnahmen P_{ein} , P_{standby} und P_{aus} auf, und wird mit den Zeitanteilen t_{ein} , t_{standby} und t_{aus} in den Betriebszuständen betrieben, dann beträgt der gesamte Energiebedarf für ein Gerät dieser Art :

$$E_{\text{AH},i} = P_{\text{ein}} * t_{\text{ein}} + P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}} + P_{\text{aus}} * t_{\text{aus}} \quad (\text{Gl. 3.26})$$

Geräteart	Betriebszustand	einfacher Richtwert Leistungsaufnahme	verbesserter Richtwert Leistungsaufnahme
Standard-PC ⁵⁶ (ohne Monitor)	Vollbetrieb aus	40 W 0 W	25 W ⁵⁷ 0 W
Monitor mit 15" / 17" (38/43 cm) Bildschirmdiagonale	Vollbetrieb Standby aus	60 / 70 W 5 W 0 W	30 / 35 W 3 W 0 W
Arbeitsplatz-Drucker	Standby aus	6 W 0 W	3 W 0 W
Zentral-Drucker ⁵⁸	Standby aus	8 W 0 W	5 W 0 W

Tabelle 3.14 Richtwerte für den Stromverbrauch einiger Bürogeräte⁵⁹

⁵⁵ zum Beispiel beträgt die Nennleistung eines Standard-PC (ohne den Monitor) laut Typenschild auf dem Netzteil 220 W. Die gemessene Stromaufnahme im Betrieb liegt bei 40 W.

⁵⁶ Für normale Büroanwendungen (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation und Ähnliches).

⁵⁷ Dieser Wert kann bei Verwendung von 'Notebook'-Rechnern auch einschließlich des dort integrierten Monitors eingehalten werden.

⁵⁸ Drucker, die von mehreren PC-Arbeitsplätzen genutzt werden, oder an Arbeitsplätzen mit besonders hohem Seitendurchsatz (z.B. Sekretariat).

⁵⁹ Die Richtwerte wurden abgeleitet aus /RAVEL, 1997/, /GED/, eigene Messungen.

Der **absolute Energiebedarf Arbeitshilfen** (E_{AH}) einer Betriebseinheit ergibt sich als Summe aller Anteile $E_{AH,i}$.

Den **flächenspezifischen Energiekennwert Arbeitshilfen** (e_{AH}) erhält man mittels Division durch die Energiebezugsfläche⁶⁰ der Betriebseinheit (A_{EB}).

$$e_{AH} = E_{AH} / A_{EB} \quad (\text{Gl. 3.27})$$

Die Werte E_{AH} und e_{AH} werden in die entsprechenden Felder der Energiematrix übernommen. Die für die Berechnung des Energiebedarfs relevanten Daten der einzelnen Verbraucher können im Datenerfassungsblatt Arbeitshilfen (Abb. 3.13) protokolliert werden.

LEE - Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau										Datenerfassungs-Blatt für :		Arbeitshilfen				
Objekt :					bearbeitet von :					Blatt Nr.	1					
Beispiel-Bürogebäude										von	1					
										Datum	01.07.99					
										Zeichen	X					
Nr	Zone / Betriebseinheit	Fläche A_{EB} [m ²]	Standort(e) Raum / Räume	Geräteart Typ	Anzahl	Betriebszustand Vollbetrieb			Betriebszustand Standby			Betriebszustand 'Aus'			Jahres-Energiebedarf	
						Leistung pro Gerät P_{ein} [W]	Zeit t_{ein} [h / a]	Energie- bedarf [kWh / a]	Leistung pro Gerät $P_{standby}$ [W]	Zeit $t_{standby}$ [h / a]	Energie- bedarf [kWh / a]	Leistung pro Gerät P_{aus} [W]	Zeit t_{aus} [h / a]	Energie- bedarf [kWh / a]	absolut E_{AH} [kWh / a]	spezifisch e_{AH} [kWh / (m ² a)]
	Einzel-Büros	120	Büros 1-10	Standard-PC m. Mon	10	100	1200	1200	30	500	150	0	7060	0	1350	11.3
	Einzel-Büros	120	Büros 1,2	Laser-Drucker xy	2	300	50	30	20	1550	62	8	7160	115	207	1.7
	Einzel-Büros	120	Büros 3-10	Tintenstrahl-Drucker	8	20	50	8	5	1550	62	0	7160	0	70	0.6
Summe Energiebedarf für Arbeitshilfen															1626.56 kWh / a	

Abb. 3.13 Datenerfassungsblatt für Arbeitshilfen in verkleinerter Darstellung⁶¹.

⁶⁰ Nettogrundfläche (vgl. Kap. 3.1)

⁶¹ Das Datenerfassungsblatt für Arbeitshilfen ist in Originalgröße im Anhang 3.2 wiedergegeben.

3.3.5 Zentrale Dienste

Funktionelle Systemanforderungen

Unter dem Begriff 'Zentrale Dienste' werden all diejenigen nutzungsbedingten Einrichtungen und Geräte mit elektrischem Energieverbrauch zusammengefasst, die nicht den einzelnen Arbeitsplätzen zugeordnet sind. Dies können sehr verschiedenartige Stromverbraucher sein (z.B. zentrale EDV-Anlagen, Druckereinrichtungen, Telefonanlagen, Kücheneinrichtungen,.....). Aufgrund der möglichen Vielfalt werden für die zentralen Dienste keine spezifischen funktionellen Systemanforderungen gestellt.

Energetische Systemanforderungen

Ebenso wie bei den funktionellen Systemanforderungen werden aufgrund der Vielfalt der möglichen Verbraucher keine speziellen energetischen Systemanforderungen gestellt. Grenzwerte und Zielwerte bestehen für die 'Zentralen Dienste' nicht.

Jedoch kann bei der Planung und Ausführung der Anlagen sowie der Betriebsweise oft eine erhebliche Einsparung an elektrischer Energie bewirkt werden. Die entsprechenden Punkte zur Anlagenplanung und zur Betriebsweise sind aus Kap. 3.3.3 sinngemäß übertragbar.

Berechnung des Energiebedarfs

Für die Berechnung des Energiebedarfs werden hier nur allgemeine Regeln angegeben: Sofern keine detaillierten Rechenvorschriften oder Computerprogramme für die Berechnung des Energiebedarfs im konkreten Fall vorliegen, ist in der Regel die Berechnung über die maximale Betriebsleistung⁶² der betreffenden Anlage und das zeitliche Betriebsprofil und daraus abgeleitete Vollbenutzungsstunden (analog Kap. 3.3.3) oder die Summierung über eine Anzahl repräsentativer Betriebszustände zu empfehlen. Im zweiten Fall ergibt sich der Energiebedarf einer Anlage ($E_{ZD,i}$) als Summe über alle Betriebszustände:

$$E_{ZD,i} = P_{i,1} * t_{i,1} + P_{i,2} * t_{i,2} + \dots \quad (\text{Gl. 3.28})$$

wobei: $P_{i,j}$ [kW] Leistungsaufnahme im Betriebszustand j
 $t_{i,j}$ [h/a] Betriebszeit im Betriebszustand j

Der **absolute Energiebedarf Zentrale Dienste (E_{ZD})** einer Betriebseinheit ergibt sich als Summe aller Anteile $E_{ZD,i}$.

Den **flächenspezifischen Energiekennwert Zentrale Dienste (e_{ZD})** erhält man mittels Division durch die gesamte Energiebezugsfläche⁶³ aller zugehörigen Betriebseinheiten (A_{EB}).

$$e_{ZD} = E_{ZD} / A_{EB} \quad (\text{Gl. 3.29})$$

⁶² Die maximale Betriebsleistung ist häufig nicht identisch mit der in Datenblättern oder auf Typenschildern angegebenen Nennleistung. Im Zweifelsfall ist (bei bestehenden Anlagen) eine Messung der tatsächlich aufgenommenen Leistung in den wichtigsten Betriebszuständen hilfreich.

⁶³ Nettogrundfläche (vgl. Kap. 3.1)

3.4 Primärenergetische Bewertung

Wenn als Optimierungsgröße der gesamte Energiebedarf für den Betrieb eines Gebäudes bestimmt werden soll, dann müssen in der Regel Anteile des Energiebedarfs summiert werden, die mit verschiedenen Energieträgern gedeckt werden. Neben dem elektrischen Energiebedarf ist dies in den meisten Gebäuden in erster Linie der Energiebedarf für Heizung und Warmwasser, der großenteils mit Gas, Öl oder Fernwärme gedeckt wird.

Dazu werden alle Anteile des Gesamtenergiebedarfs in ihre jeweiligen Primärenergiebedarfswerte umgerechnet und damit untereinander vergleichbar gemacht. Die einzelnen Primärenergie-Bedarfswerte werden dann zu einem gesamten Primärenergiebedarf summiert. Die Umrechnung der Endenergiebedarfswerte erfolgt mittels der Primärenergiefaktoren (f_{PE}) für die jeweiligen Energieträger.

$$E_{\text{prim}} = E_{\text{end}} \cdot f_{PE} \quad (\text{Gl. 3.30})$$

In der nachfolgenden Tabelle ist die Umrechnung von Endenergie auf Primärenergie an einem Beispiel gezeigt. Darüber hinaus werden auch die vom Energiebedarf verursachten CO₂-äquivalenten Emissionen berechnet. Die Tabelle 3.16 listet Primärenergie- und CO₂-Emissionsfaktoren für verschiedene Energieträger auf, die in der Berechnung verwendet werden können.

Endenergie-anteil	Energieträger	Endenergiebedarf	Primärenergiefaktor	Primärenergiebedarf	CO ₂ -Emissionsfaktor	äquivalente CO ₂ -Emission
		[kWh _{End} / a]	[kWh _{Prim} / kWh _{End}]	[kWh _{Prim} / a]	[gCO ₂ äquiv / kWh _{End}]	[kgCO ₂ äquiv / a]
ges. Strombedarf	Strom	50 000.	2.97	148 500.	689	34 450.
Heizenergie	Erdgas H	100 000.	1.07	107 000.	232	23 200.
Summen		-	-	255 500.	-	57 650.

Tab. 3.15 Ein Beispiel für die Summierung der Anteile des Primärenergiebedarfs.

Ein Primärenergie-Kennwert kann gebildet werden, indem der gesamte Primärenergiebedarf auf die Energiebezugsfläche⁶⁵ des Gebäudes bezogen wird. Analog dazu kann ein Kennwert für CO₂-äquivalente Emissionen gebildet werden.

⁶⁵ Nettogrundfläche (vgl. Kap. 3.1)

Primärenergie- und CO ₂ -Emissionsfaktoren			
		Primär- energie- faktor	CO ₂ -Äquivalent- Emissions- faktor ¹⁾
Endenergieträger		kWh _{prim} / kWh _{end}	g _{CO2} / kWh _{end}
Brennstoffe ²⁾	Heizöl EL	1.10	297
	Erdgas H	1.07	232
	Flüssiggas	1.09	257
	Steinkohle	1.07	410
	Braunkohle	1.20	455
	Brennholz	1.01	55
	Holz hackschnitzel	1.06	33
Strom	Strom-Mix	2.97	689
'Fernwärme' ³⁾	70% KWK	0.71	214
	35% KWK	1.10	306
	0% KWK	1.49	398
'Nahwärme' ⁴⁾	70% KWK	0.62	-84
	35% KWK	1.03	113
	0% KWK	1.43	311
berechnet mit GEMIS 3.08			
Bilanziert wurden die vorgelagerte Kette für die Endenergie bis zur Übergabe im Gebäude			
1) klimawirksame Emissionen (CO ₂ , CH ₄ , CO, NMVOC, NO _x , N ₂ O) ausgedrückt in CO ₂ -Äquivalenten			
2) Bezugsgröße: unterer Heizwert H _u			
3) Steinkohle-Kondensationskraftwerk (= Anteil KWK) + Heizöl-Spitzenkessel			
4) Erdgas-BHKW (= Anteil KWK) + Erdgas-Spitzenkessel			
(Zwischenwerte können interpoliert werden)			

Tab. 3.16 Primärenergie- und CO₂-Emissionsfaktoren für verschiedene Energieträger, berechnet mit GEMIS 3.08⁶⁶.

⁶⁶ /GEMIS/ Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme, Version 3.08.

3.5 Wirtschaftliche Bewertung

Ein zentraler Gesichtspunkt bei Entscheidungen in der Gebäude- und Anlagenplanung sind die entstehenden Kosten. Oftmals werden in der Praxis nur die Investitionskosten als Entscheidungskriterium herangezogen und die Betriebskosten außer Acht gelassen. Dies kann in den resultierenden Gesamtkosten zu ausgesprochen unwirtschaftlichen Lösungen führen. Besser ist es daher, die Gesamtkosten, also die Summe aus Investitions- und Betriebskosten, für Entscheidungen heranzuziehen.

Die wirtschaftlichen Einspareffekte durch energetische Verbesserungen können so hoch sein, dass beispielsweise bei älteren RLT-Anlagen unter Umständen eine Sanierung oder Erneuerung der Anlage allein aus eingesparten Energiekosten finanziert werden kann. In derartigen Fällen mit hohem ökonomischen Einsparpotential, in denen aber die notwendigen Investitionsmittel nicht verfügbar sind, kann es interessant sein, die entsprechenden Energiedienstleistungen von einem Dritten im Contracting-Verfahren zu beziehen, der die Erneuerungsinvestitionen vornimmt (vgl. dazu: /Meixner, 1996/, /HMUEJFG, 1998/).

Für die Berechnung der Gesamtkosten ist es notwendig, Investitions- und Betriebskosten in untereinander vergleichbarer Weise darzustellen. In der Annuitäten-Methode geschieht dies in Form jährlicher Kosten⁶⁷. Der in der Regel dominierende Anteil der Betriebskosten sind die Energiekosten. Diese werden als **mittlere jährliche Energiekosten** $K_{e,m}$ (gemittelt über die Nutzungsdauer der betrachteten Anlage) aus den jährlichen Energiekosten bei gegenwärtigem Energiepreis ($K_{e,0}$) mittels eines Mittelwert-Faktors m_e berechnet, der von der jährlichen Energiepreis-Änderungsrate, der Nutzungsdauer und dem Kalkulations-Zinssatz abhängig ist.

$$K_{e,m} = K_{e,0} * m_e \quad (\text{Gl. 3.31})$$

Die **jährlichen Kapitalkosten** K_i berechnen sich aus den Investitionskosten I_0 und dem Annuitätsfaktor $a_{p,n}$ zum Kalkulationszins p und zur Nutzungsdauer n .

$$K_i = I_0 * a_{p,n} \quad (\text{Gl. 3.32})$$

Von den Investitionen müssen zuvor eventuelle Zuschüsse abgezogen werden. Die Annuitätsfaktoren $a_{p,n}$ und die Mittelwertfaktoren m_e sind im Anhang A 3.4 tabelliert.

Die **jährlichen Gesamtkosten** K_a ergeben sich als Summe von Energie- und Kapitalkosten

$$K_a = K_{e,m} + K_i \quad (\text{Gl. 3.33})$$

Zu den Gesamtkosten werden sonstige Betriebskosten (für Wartung, Verwaltung, Versicherung, etc.) addiert. Zinsvergünstigungen, Steuervorteile, usw. werden abgezogen.

Wichtig ist ferner, dass die gesamte Berechnung einheitlich in nominalen Werten (also einschließlich Inflation) oder aber einheitlich in realen Werten (inflationsbereinigt) erfolgt. Zudem muss beachtet werden, dass die Eingabedaten der Gesamtkosten-Rechnung das Ergebnis empfindlich beeinflussen können und deshalb sorgfältig bestimmt werden sollen. Unsicherheiten ergeben sich aus der Tatsache, dass einige Annahmen der Berechnung nur geschätzt werden können, da sie sich auf zukünftige Entwicklungen beziehen, wie beispielsweise die mittleren jährlichen Energiekosten. Auch bei momentan sinkendem Energiepreis ist es daher ratsam, zumindestens mit konstantem Energiepreis zu rechnen.

⁶⁷ Eine ausführlichere Darstellung der Methodik findet sich im 'Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung' /LEG/, und bei /Feist, 1988/. Zur Kostenrechnung siehe auch VDI 2067.

4. Technische Planungs- und Optimierungshinweise

4.1 Das Gebäude als Gesamtsystem

Die Minimierung des Strombedarfs, das primäre Thema des LEE, ist ein Teilbereich der energetischen Optimierung des gesamten Gebäudes. Da es zwischen den einzelnen Energiedienstleistungen im Gebäude wechselseitige Einflüsse gibt, führt eine unabhängige Optimierung einzelner Teilsysteme, z.B. nur Beleuchtung oder nur Wärmedämmung, ohne dass dabei die Wechselwirkungen beachtet werden, oft zu einem energetisch wie wirtschaftlich deutlich suboptimalen Gesamtergebnis.

In der Konsequenz aus dieser Tatsache gilt, es dem Zusammenwirken des **gesamten Gebäudes als ein System** in der Planung und der energetischen Optimierung Rechnung zu tragen. In der praktischen Anwendung bedeutet das:

- In der Planung zuerst festzustellen, welche Freiheitsgrade bestehen und wo unveränderliche Randbedingungen sind. In der Vorplanungsphase eines Neubaus ist zum Beispiel die Planungsfreiheit recht groß, Einschränkungen bestehen oft nur in der Lage und Umgebung des vorgesehenen Bauplatzes, in den Anforderungen durch die geplante Nutzung des Gebäudes und in Bauvorschriften und Richtlinien. Ebenfalls große Freiheit, wenngleich weniger als beim Neubau, gibt es im Fall umfangreicher Sanierungen. Den jeweils verfügbaren Freiheitsraum gilt es für die energetische Optimierung zu nutzen⁶⁸.
- Bei der energetischen Gesamt-Optimierung ist es notwendig, das Gesamtergebnis mit einheitlichem Maßstab zu bewerten. Um den Bedarf an verschiedenen Energieträgern vergleichen zu können, ist es sinnvoll, alle Energiebedarfswerte auf Primärenergie umzurechnen. Der gesamte Primärenergiebedarf ist dann Maßstab für die energetische Qualität des Gebäudes.
- Die isolierte Optimierung einzelner Energiedienstleistungen hat dort ihre Berechtigung, wo lediglich einzelne Systeme saniert oder ausgetauscht werden, wo es aber keine Möglichkeit gibt, andere Teilsysteme zu verändern; beispielsweise, wenn nur die Beleuchtung erneuert wird und die Möglichkeiten, das Tageslicht zu nutzen bereits ausgeschöpft sind. Allerdings ist es auch hier sinnvoll, die Auswirkung auf das Gesamtsystem Gebäude zu überprüfen.
- Bei allen technischen Anlagen gilt es, diese nach dem tatsächlichen Bedarf richtig zu dimensionieren. Mehrfache Sicherheitsfaktoren können zu erheblicher Überdimensionierung mit erhöhtem Energiebedarf und vermeidbaren Investitionskosten führen. Dies gilt für alle Anlagen einschließlich der Stromversorgung (z.B. Trafo-Station, USV-Anlage).

Es gibt einige Bereiche der Planung von Gebäuden, die meist großen Einfluss auf den Energiebedarf haben, und denen bei der Optimierung deshalb besondere Beachtung geschenkt werden soll. Bei Bürobauten und ähnlich genutzten Gebäuden zählen dazu:

- Die Nutzung des Tageslichtes
- Sommerlicher Wärmeschutz
- Winterlicher Wärmeschutz der Gebäudehülle
- Lüftung und Dichtigkeit der Gebäudehülle
- Innere Wärmequellen

⁶⁸ In der Beschreibung des Vorgehens zur energetischen Optimierung kann der Eindruck entstehen, die energetische Optimierung werde als das einzige Planungsziel angesehen. Selbstverständlich ist dies nicht der Fall, sondern es ist hier lediglich der Fokus der Beschreibung auf die Energieaspekte gelenkt, und andere Aspekte sind weggelassen, um nicht von diesem Fokus abzulenken.

4.2 Hinweise zu einzelnen Energiedienstleistungen

Die Hinweise in den folgenden Abschnitten sind in erster Linie als Anregungen zu verstehen, welche technischen Lösungen beachtenswert sind. Sie sind nicht in dem Sinn absolut, dass eine Planung nach den Hinweisen ohne eigene Optimierung immer zum energetisch besten Ergebnis führt. In einzelnen Fällen können auch abweichende Lösungen zu besseren Resultaten führen.

4.2.1 Licht und Beleuchtung

Drei für den Energiebedarf wesentliche Aspekte der Beleuchtung werden in diesem Kapitel erörtert:

- Die Nutzung des Tageslichtes verringert in vielen Fällen den Bedarf an Kunstlicht und damit an elektrischer Energie deutlich. Insbesondere bei Neubauten, aber auch bei größeren Sanierungen, besteht hier oft Planungsspielraum zugunsten des Tageslichtes.
- Die energieeffiziente Auslegung der Beleuchtungsanlagen
- Die Betriebsweise der Beleuchtung nach dem tatsächlichen Bedarf

Tageslichtnutzung

Intensive Tageslichtnutzung kann sowohl den Komfort und das Wohlbefinden in einem Gebäude steigern als auch den Gesamt-Energiebedarf senken. Beides ist jedoch nicht automatisch der Fall, wenn einfach die Fensterflächen vergrößert werden. Es müssen eine Reihe von Regeln beachtet werden, damit sich das positive Potential der Tageslichtnutzung entfalten kann:

- Das **Tageslicht muss gut verteilt** sein. Ein möglichst großer Anteil der Nutzfläche soll Tageslicht erhalten. Möglichst viele Arbeitsplätze sollen in der Tageslichtzone liegen⁶⁹. In der Neubauplanung, aber auch beim Einrichten von Arbeitsplätzen, kann dies Konsequenzen für die geometrische Anordnung von Gebäudeteilen, die Raumtiefen und Raumteilung, die Gestaltung von Fenstern und bis zur Aufstellung von Möbeln haben.
- Zentrales Element der Tageslichtnutzung ist die **Gestaltung der Fenster**. Dabei kann als Grundregel gelten, dass je höher ein Fensterelement über der Arbeitsfläche angeordnet ist, umso tiefer dringt das Licht in den Raum ein, umso wertvoller ist der Beitrag zur Beleuchtung. Deshalb sind hohe Räume mit sturzfrei bis unter die Decke reichenden Fenstern für das Tageslicht sehr nützlich. Fensterelemente in mittlerer Höhe (1 bis 2 m über Fußboden) beleuchten in erster Linie die Bereiche in unmittelbarer Fensternähe. Fensterflächen unterhalb der Brüstungshöhe leisten keinen Beitrag zur Tageslichtversorgung der Arbeitsplätze.
- Die Tageslichtnutzung hat auch **Auswirkung auf andere thermische Eigenschaften** des Gebäudes. So wird durch das Sonnenlicht zugleich das Gebäude erwärmt. In der Heizperiode kann das erwünscht sein. In der warmen Jahreszeit muss aber für eine Begrenzung des solaren Wärmeeintrags gesorgt werden. Dies geschieht zuerst, indem die Fenster in ihrer Größe und Anordnung nach den Kriterien Tageslicht und Sichtmöglichkeit (nach außen) geplant werden. Des Weiteren ist ein bedarfsabhängig beweglicher Sonnenschutz an allen Fenstern empfehlenswert, die nicht nach Norden gerichtet sind. Empfehlenswerte Verglasungen sind gute Wärmeschutzgläser, sofern sie im sichtbaren Spektralbereich einen hohen Transmissionsgrad aufweisen (> 60%). Von verdunkelnden Sonnenschutzverglasungen ist dagegen abzuraten, da diese den Raum ständig verdun-

⁶⁹ Als Tageslichtzonen werden Flächen bezeichnet, deren Tageslichtquotient in der Nutzebene mindestens 3% beträgt.

keln ohne einen wirkungsvollen Überhitzungsschutz zu bieten. Ebenfalls schädlich für den sommerlichen Wärmeschutz sind Fensterflächen unterhalb der Arbeitsebene. Ältere großflächige Verglasungen mit hohem k-Wert ($k > 2 \text{ W/m}^2\text{K}$) können erhebliche Wärmeverluste im Winter zur Folge haben; sie sollten durch Wärmeschutzverglasungen ersetzt werden und bei Fassaden-Neugestaltung eventuell auch nach Tageslicht-Gesichtspunkten verkleinert werden.

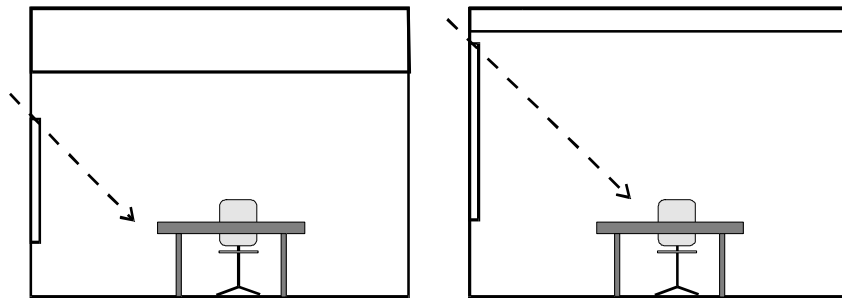
- Die **Farbgebung** im Raum kann die Lichtverhältnisse deutlich beeinflussen. Empfehlenswert sind helle Oberflächen, in erster Linie an der Decke, aber auch an Rück- und Seitenwänden sowie in den Fensterlaibungen.
- **Lichtlenkung** kann gute Dienste leisten, wenn sie zweckmäßig eingesetzt wird. Zuerst gilt es zu unterscheiden, ob eine Lichtlenkung ihre Wirkung vorwiegend mit dem direkten Sonnenlicht oder aber mit diffusem Himmelslicht entfalten soll. Der erste Fall kann sehr auffällige Wirkungen erzeugen, so dass er vorwiegend für die gestalterische Nutzung von Licht in Gebäuden geeignet ist. Für die Tageslichtbeleuchtung an Arbeitsplätzen macht der zeitlich sehr variable Einfallswinkel den Einsatz des direkten Sonnenlichtes kompliziert und aufwendig. Eine einfach realisierbare Ausnahme stellen Sonnenschutz-Lamellenjalousien dar, wenn mittels im geeigneten Winkel angestellten Lamellen ein Teil des abgehaltenen Sonnenlichtes an die Raumdecke reflektiert wird, um damit den Raum in die Tiefe recht gleichmäßig auszuleuchten. Voraussetzung dafür ist eine helle Färbung der Lamellen und nicht zu große Verschmutzung. Die Lenkung diffusen Himmelslichtes erfordert wegen der geringeren Intensität recht große Eintrittsflächen, um eine deutliche Wirkung zu erzielen. Außerdem muss beachtet werden, dass es aus Intensitäts-Gründen sinnvoll ist, Licht aus einem größeren Himmelsausschnitt zu nutzen. Die mit dem großen Winkelausschnitt verbundene Richtungsstreuung bedingt wiederum, dass das Licht nur über kurze Strecken 'transportiert' werden kann.

Generell gilt es zu beachten, dass Lichtlenkung niemals die insgesamt verfügbare Lichtmenge vergrößert, sondern nur deren Verteilung im Raum verändert. Meist ist eine gleichmäßigere Ausleuchtung in die Raumtiefe das Ziel, wobei das Tageslicht in Fensterhöhe zugunsten der fensterfernen Bereiche geschwächt wird.

- In einstöckigen Bauten oder im obersten Geschoss anderer Gebäude lässt sich in Räumen großer Tiefe mittels **Oberlichtern** ('Deckenfenstern') die Tageslichtzone erheblich vergrößern, im Idealfall auf den gesamten Raum ausdehnen. Eine nahezu ideale Form des Oberlichts ist das Nord-Shed, bei dem guter Sonnen- und Blendschutz mit großflächigem Tageslicht-Einfall verbunden werden kann.
- Zonen mit geringeren Beleuchtungsanforderungen, wie Verkehrszonen, können oft über Atrien oder Lichthöfe, über Lichtschächte oder durch verglaste Zwischenwände zumindestens zeitweise ausreichend Tageslicht erhalten.
- Die künstliche Beleuchtung soll in Tageslichtzonen separat schaltbar sein, oder mit Helligkeitssensoren und automatischer Schaltung oder Regelung versehen sein. Dies wirkt sich sowohl auf den Strombedarf als auch auf die innere Wärmelast positiv aus.

Hohe Räume und bis dicht unter die Decke reichende Fenster

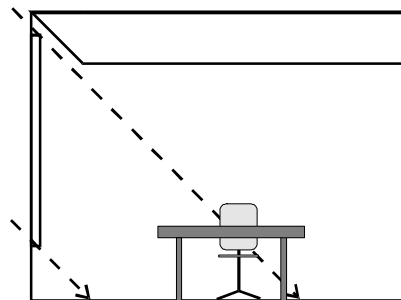
sorgen für bessere Ausleuchtung in die Raumtiefe



Angeschrägte Decke

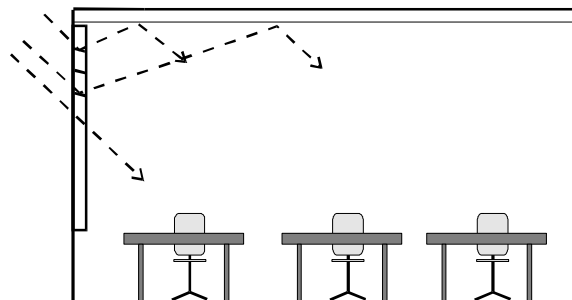
Im Fall abgehängter Decken kann ein schräger Ausschnitt nach oben mit entsprechend nach oben gezogenen Fenstern eine bessere Ausleuchtung in die Raumtiefe bewirken.

Licht, das unterhalb der Arbeitsfläche einfällt, wird auf dem Boden größtenteils absorbiert, und trägt zur Beleuchtung nicht bei.



Lichtlenkung im oberen Fensterbereich

Im oberen Bereich der Fenster wird das einfallende Licht mittels Prismen, spiegelnder Lamellen oder Hologramme an die Decke umgelenkt, die es wiederum diffus oder leicht spiegelnd in den tieferen Raum reflektiert.



Checkliste zur Tageslichtnutzung

- Form und Ausrichtung des Gebäudes optimieren, möglichst viele Räume / Flächen erhalten Tageslicht, Arbeitsplätze in den Bereich der Fenster legen.
- Fenster und Fassaden optimieren (Fensteranordnung, -größe, -höhe, größere Raumhöhe) helle, hohe Räume mit hohen Fenstern, ggf. Reflektoren
- Sonnenschutz und Tageslichtnutzung abstimmen
- Die künstliche Beleuchtung im Tageslichtsektor separat schalten, am besten mit Helligkeitssensoren und automatischer Schaltung oder Regelung
- Lichthöfe, große Oberlichter und Lichtschächte (Oberlichter mit Verschattung!)
- Helle Farben für die Raumbegrenzungsflächen, besonders für Decke und Rückwand des Raumes sowie Fensterbänke und Fensterlaibungen
- ggf. mittels Lichtlenkung die Ausleuchtung der Raumtiefe verbessern.

Beispiel: Messresultate für Büros:

Einschaltzeit der Beleuchtung /SIA380-4/
(in % der Arbeitszeit)

Raumzone	Ohne intensive Tageslichtnutzung	Mit intensiver Tageslichtnutzung und Lichtregelung
fensternah	72%	19%
fensterferner	78%	42%

Wärmelast durch Beleuchtung

Maßnahmen zur verbesserten Tageslichtnutzung (vergrößerte Fensterflächen) können insbesondere bei Gebäuden mit hohen internen Lasten durch hohe Personendichte oder großzügiger Ausstattung mit Arbeitshilfen zu hohen Wärmelasten führen, die dann energie- und kostenaufwendig aus dem Gebäude entfernt werden müssen. Daher gilt es, die Fensterflächen nicht unnötig groß zu dimensionieren und eine temporäre Verschattung als unabdingbaren Bestandteil der intensiven Tageslichtnutzung vorzusehen.

Ebenso bewirkt die elektrische Beleuchtung eine innere Wärmelast, die zu überhöhter Raumtemperatur beitragen kann. Daher ist eine energieeffiziente Beleuchtung von doppeltem Nutzen: neben der Energieeinsparung reduziert sie auch das Risiko der Überwärmung.

Technische Hinweise zur Ausleuchtung von Büroräumen

Im Folgenden werden einige Beleuchtungssysteme für Büroräume vorgestellt. Alle Systeme haben Vor- und Nachteile, welche für den jeweiligen Anwendungszweck zwischen Planer und Benutzer diskutiert werden sollten. Bei größeren Objekten kann die Einrichtung von Modellarbeitsplätzen sinnvoll sein, um die Eigenschaften der verschiedenen Beleuchtungssysteme zu testen.

Mit Sicherheit ist die Anschlussleistung oder der Energiebedarf nicht die allein ausschlaggebende Größe, sondern der (oft subjektive) Sehkomfort für den Benutzer ist mit zu bedenken. Dazu gehören nicht nur Nennbeleuchtungsstärke im Umfeld des Benutzers, sondern auch helle Decken und Wände, ansprechende architektonische Lösungen, Anpassungsmöglichkeiten für den einzelnen Benutzer und Flexibilität bei Nutzungsänderungen.

Bei ausreichender Raumhöhe ergibt die teilweise indirekte Beleuchtung (System 2) bessere Lichtverhältnisse als eine rein direkte Beleuchtung (System 1). Für EDV-Arbeitsplätze sollten die Systeme 1 und 2 regelbar sein. Günstig ist System 3 mit regelbarem Direktanteil und festem indirekten Lichtanteil bei den Arbeitsplatzleuchten. Bei Verwendung mehrerer kleiner Leuchten ist System 4 ebenfalls gut geeignet für den Einsatz an EDV-Arbeitsplätzen.

Die Standarddaten, die den angegebenen Zahlen zugrundeliegen, sind eine Beleuchtungsstärke von 500 Lux auf der Arbeitsfläche und 2750 Betriebsstunden pro Jahr.

Der Reflexionsgrad ist mit 0.7 an der Decke, 0.5 an den Wänden und 0.2 am Boden angenommen.

1. Spiegelrasterleuchten, direkt strahlend

Montage direkt an der Decke oder in abgehängte Decke eingelassen

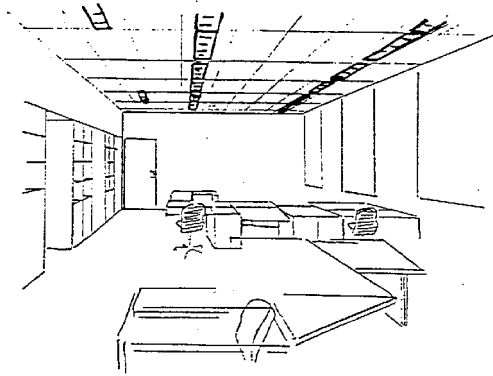
typische Beleuchtungsdaten:

- Installierte Leistung 10 - 15 W/m² bei 500 Lux
- Einschaltzeiten bei Benutzungszeit 2750 h/a und bedarfsgerechter Nutzung:

fensternah	ca. 500 h/a
teilweise fensterorientiert	ca. 1400 h/a
wenig fensterorientiert	über 2000 h/a

Vorteile:

- guter Schutz vor Direktblendung
- guter Leuchten-Betriebswirkungsgrad möglich.
- Reduktion der Wärmelast bei Ablufführung durch die Leuchte



Einschränkungen / Nachteile:

- geringe Beleuchtung vertikaler Flächen und der Decken, dadurch große Helligkeitsunterschiede und unbefriedigende Raumwirkung
- Bei Ablufführung durch die Leuchte ist eine abgehängte Decke erforderlich, so dass Decke als thermisch wirksame Speichermasse entfällt.
- störende Reflexe und Spiegelungen bei ungünstiger Leuchtenanordnung möglich
- störende periphere Lichtwahrnehmung, vor allem für Brillenträger

2. Spiegelrasterleuchten, direkt-indirekt strahlend

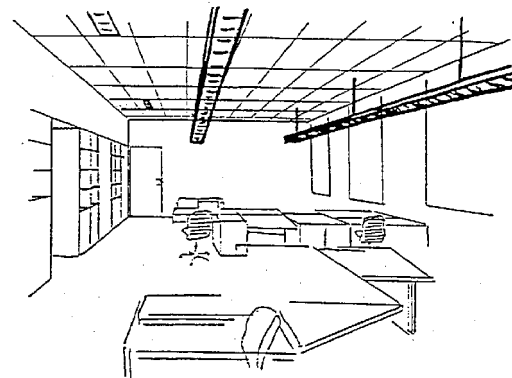
Montage unter der Decke mit Pendeln

typische Beleuchtungsdaten:

- Installierte Leistung 12 - 20 W/m² bei 500 Lux abhängig vom Reflexionsgrad der Decke
- Einschaltzeiten:
ähnlich wie bei direktstrahlenden Leuchten

Vorteile:

- geringere Helligkeitsunterschiede zwischen horizontaler Arbeitsfläche und vertikalen Flächen der Umgebung.
- verbesserte Raumwirkung, helle Decke
- bei hohem Reflexionsgrad der Decke guter Beleuchtungswirkungsgrad möglich.



Einschränkungen / Nachteile:

- Nur bei genügender Deckenhöhe möglich
- ebene, matt reflektierende Decke mit hohem Reflexionsgrad erforderlich
- keine Ablufführung durch die Leuchte, also volle Wärmelast im Raum. Deshalb ist eine große wirksame thermische Speichermasse im Raum empfehlenswert, also nach Möglichkeit eine massive Decke.
- störende Reflexe und Glanz möglich

3. Zwei-Komponenten-Beleuchtung

Allgemeinbeleuchtung (ca. 60%), direkt oder teils indirekt, und Arbeitsplatzleuchten (ca. 40% Anteil).

typische Beleuchtungsdaten:

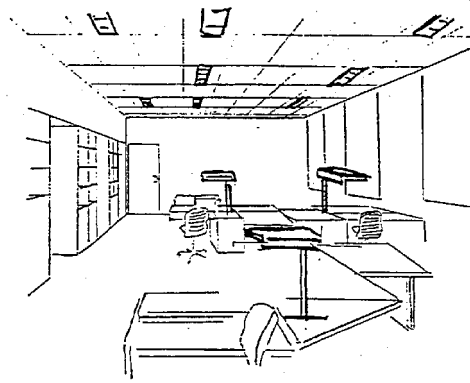
- Allgemeinbeleuchtung 8 - 12 W/m² bei 300 Lux
pro Büro-Arbeitsplatz ca. 25 W
pro Zeichen-Arbeitsplatz ca. 45 W
- Einschaltzeiten der Allgemeinbeleuchtung
fensternah ca. 400 h/a
teilweise fensterorientiert ca. 1000 h/a
Einschaltzeiten der Arbeitsplatzbeleuchtung
fensternah ca. 500 h/a
teilweise fensterorientiert ca. 2400 h/a

Vorteile:

- geringer Energiebedarf, da Arbeitsplatzleuchten individuell nach Bedarf geschaltet werden.
- gute Möglichkeit für individuelle Einflussnahme auf einen Teil der Beleuchtung
- geeignet für Arbeitsplätze mit sehr variablen Anwesenheitszeiten

Einschränkungen / Nachteile:

- bei direkter Allgemeinbeleuchtung große Helligkeitsunterschiede zwischen horizontalen und vertikalen Flächen; unzureichende Beleuchtung vertikaler Flächen.
- Glanzstörungen bei direkter Allgemeinbeleuchtung und freier Möblierung kaum vermeidbar.
- Ausgeprägte Schatten bei ungünstiger Leuchten-Anordnung.



4. Arbeitsplatz-orientierte Indirekt-Beleuchtung

Leuchten mit Fluoreszenz- oder Hochdrucklampen, an den Arbeitsplätzen angeordnet, individuell schaltbar.

typische Beleuchtungsdaten:

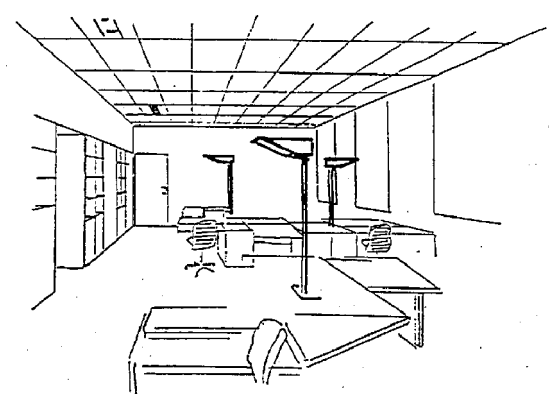
- Bei kleinen Räumen ca. 20 W/m² bei 500 Lux
Bei großen Räumen je nach Arbeitsplatzdichte
15 - 20 W/m² bei 500 Lux
- Einschaltzeiten bei Benutzungszeit 2750 h/a
und bedarfsgerechter Nutzung:
fensternah 500 - 700 h/a
teilweise fensterorientiert ca. 1400 h/a

Vorteile:

- in größeren Büros mit vielen kleinen Leuchten Einschaltzeiten bereichsweise nach Anwesenheit; bei individuell bedarfsabhängiger Schaltung der Lampen reduzierter Energiebedarf.
- gute visuelle Lichtqualität, ausgeglichene Lichtverteilung, Beleuchtungs-Schwerpunkte in der Arbeitszone, für Bildschirmarbeit gut geeignet, wenig Störung durch Glanz und Spiegelungen
- leicht an Möblierungsänderungen anpassbar
- geeignet für Arbeitsplätze mit sehr variablen Anwesenheitszeiten

Einschränkungen / Nachteile:

- ebene, matt reflektierende Decke mit hohem Reflexionsgrad erforderlich
- Das Betriebsverhalten von Hochdruck-Entladungslampen muss beachtet werden: Einbrennzeit von einigen Minuten nach dem Einschalten und Abkühlpause von 10 min nach dem Ausschalten. Dadurch Einschränkung bei der individuellen Schaltung und Überbrückungs-Beleuchtung für die Dunkelphase nötig.
- Flimmerneigung bei ungeeigneten Hochdruck-Entladungslampen
- relativ hoher Preis



Vorschaltgeräte sind notwendig für den Start und den Betrieb von Leuchtstofflampen. Dazu muss das Vorschaltgerät zunächst eine hohe Zündspannung liefern und während des Betriebes für den richtigen Strom sorgen.

Bei magnetischen Vorschaltgeräten wird der Strom durch die Lampe durch die magnetische Selbstinduktion einer Spule begrenzt. Magnetische Vorschaltgeräte sind als **konventionelle Vorschaltgeräte (KVG)** mit einer hohen Verlustleistung und als **verlustarme Vorschaltgeräte (VVG)** mit einem verbesserten Wirkungsgrad verfügbar. Die kleinsten Verlustleistungen weisen **elektronischen Vorschaltgeräte (EVG)** auf. EVG bewirken Energieeinsparung auf zwei Wegen: durch Reduzierung der Verlustleistung und durch eine um 10-15% erhöhte Lichtausbeute der Lampen. Darüber hinaus weisen EVG weitere Vorteile auf. Die folgende Liste fasst die Eigenschaften zusammen.

Eigenschaften elektronischer Vorschaltgeräte (EVG):

- EVG haben geringere Verlustleistungen als konventionelle Vorschaltgeräte.
- Beim Betrieb mit einem EVG steigt die Lichtausbeute der Lampen um 10-15%, bedingt durch den Hochfrequenzbetrieb.
- Wegen der geringeren Abwärme der EVG können mehrere Schaltkreise für die EVG in einem einzigen Gehäuse untergebracht werden, so dass eine Einsparung von einem weiteren Watt pro Lampe entsteht.
- Beleuchtungssysteme sind häufig überdimensioniert, um die Mindestbeleuchtungsstärke auch dann noch zu garantieren, wenn Schwankungen im Stromnetz oder suboptimale Temperaturen zu einer Unterbelichtung führen würden. EVG sind weniger empfindlich für diese Einflüsse, so dass kein Anlass zur überdimensionierten Auslegung besteht. Einsparungen bis über 10% sind möglich.
- Lichtsysteme werden häufig überdimensioniert, um einen Ausgleich für den Abfall der Beleuchtungsstärke während der Lebensdauer der Lampen zu schaffen (Planungsfaktor!). Mit Hilfe der Dimmung kann die Beleuchtungsstärke dann automatisch angehoben werden, wenn der Lichtstrom altersbedingt oder durch Verschmutzung zurückgeht. Über die Lebensdauer einer Lampe können somit bis zu 14% der Energie eingespart werden.
- Neuere EVG-Typen können gedimmt und in Verbindung mit Tageslichtsensoren in einer tageslichtabhängig geregelten Beleuchtung eingesetzt werden. In fensternahen Zonen können bis zu 50% der Energie eingespart werden.
- Durch den Hochfrequenzbetrieb wird die maximale Lichtausbeute bei einer 3°C höheren Lampenkörpertemperatur als bei Lampen mit herkömmlichen Vorschaltgeräten erreicht. Dieser Wert ist in der Praxis einfacher einzuhalten.
- EVG schalten sich selbsttätig ab, wenn die Lampe defekt ist. Somit wird die Energie gespart, die magnetische Vorschaltgeräte benötigen, um dauernde Startversuche durchzuführen.
- Lampen mit EVG sind schaltfester als Lampen mit konventionellem Vorschaltgerät. Die Lampenlebensdauer steigt um 30-50%.
- Wahrnehmbares Lampenflimmern und stroboskopische Effekte treten infolge des Hochfrequenzbetriebs nicht mehr auf. Ebenso entfällt das Brummen der Drosseln.
- Der Leistungsfaktor ist nahe 1. Maßnahmen zur Phasenkompensation sind nicht nötig.

Steuerung und Regelung der Beleuchtungsanlage

Der Energiebedarf einer Beleuchtungsanlage ist im Wesentlichen abhängig von der installierten Leistung, die durch die Art der Anlage und deren Auslegung festgelegt ist, und von der Vollbetriebszeit der Anlage. Letztere ist einmal durch die Raumnutzungsart bedingt, wird aber auch stark von der Betriebsweise beeinflusst. Wenn die elektrische Beleuchtung von Hand geschaltet wird, brennen Lampen häufig vom Benutzer "unbemerkt" den ganzen Tag hindurch, auch wenn es nicht nötig ist. Eine wirkungsvolle Einsparung kann durch automatische Steuerung der Beleuchtungsanlage erfolgen.

Die einfachste Methode der Steuerung zur Stromeinsparung ist das Ausschalten bei Nichtbedarf. Als Signalgeber können Bewegungsmelder, um die Anwesenheit von Personen zu erfassen, und Photozellen zur Helligkeitsmessung dienen. In einer solchen Steuerung werden beim Überschreiten einer gewählten Beleuchtungsstärke oder bei fehlender Bewegung im Raum über einige Minuten die Lampen ausgeschaltet. Bei mehrreihigen Beleuchtungsanlagen sollte die lichtabhängige Abschaltung reihenweise erfolgen. Bei der Verwendung von Bewegungsmeldern müssen "tote Winkel" bedacht werden, die durch den Bewegungsmelder nicht erreicht werden können. In solchen Winkeln befindliche Personen werden nicht erfasst, was zu gefährlichen Situationen führen kann. In Räumen mit Hochlagern ist daher in jeder Reihe ein Bewegungsmelder zu installieren. Einige Bewegungsmelder mit Schallsensoren können sowohl auf Bewegung als auch auf Geräusche reagieren. Eine Zweitnutzung der installierten Bewegungsmelder als Alarmanlage bietet sich an.

Sehr großen Komfort bietet eine tageslichtgeregelte Beleuchtungssteuerung, die die Beleuchtungsstärke dem natürlichen Tageslicht anpasst. Die Anpassung kann stufig oder kontinuierlich erfolgen, wobei bei einer Stufenschaltung die Differenzen zwischen den einzelnen Stufen nicht größer als 30% sein sollen, um eine Adaption des Auges an die veränderte Beleuchtungsstärke zu ermöglichen. Wichtig ist aber, dass eine solche geregelte Anlage bei Nichtbedarf, also bei Abwesenheit von Personen, und bei ausreichendem Tageslicht sich selbsttätig vollständig abschaltet, um zu gewährleisten, dass die Anlage außerhalb der Betriebszeiten ausgeschaltet ist.

Die Lichtsensoren können an der Außenfassade oder im Innenraum angebracht werden, wobei eine Steuerung über innenliegende Sensoren auch die Auswirkung von Verschattungsmaßnahmen berücksichtigt. Eine Messung der Beleuchtungsstärke direkt am Arbeitsplatz setzt sich zunehmend durch. Bei tiefen Räumen sollten mehrere voneinander unabhängige Steuer- und Schaltkreise installiert werden. Die Benutzer sollen zu jeder Zeit in der Lage sein, in die Steuerung einzugreifen. Andernfalls werden Steuereinrichtungen außer Betrieb gesetzt (z.B. Lichtfühler überklebt).

- 1) Hauptschalter pro Raum: wird normalerweise einmal pro Arbeitstag ein- bzw. ausgeschaltet. Er setzt die gesamte Beleuchtungsanlage in Funktion.
- 2) Anwesenheitsfühler (Infrarot) pro Raum: schaltet die Beleuchtung beim Betreten des Raumes ein bzw. beim Verlassen zeitverzögert aus.
- 3) Lichtfühler pro Reihe: regeln die Beleuchtungsstärke des Kunstlichtes stufenlos und passen sie so den Bedürfnissen entsprechend an.
- 4) Handregler pro Reihe
- 5) Verstärker pro Reihe
- 6) Leuchten mit regelbaren Vorschaltgeräten

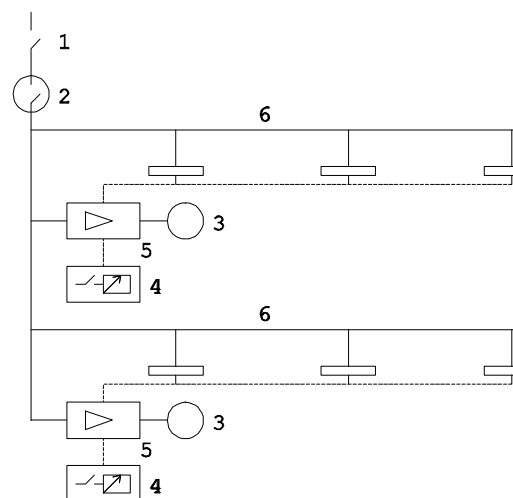


Abb. 4.1 Beispiel für eine geregelte Beleuchtungsanlage /RAVEL/. Wichtig: In die automatische Regelung kann mit Hilfe der Handsteuerung eingegriffen werden!

4.2.2 Lüftung und Klimatisierung

Die Optimierung von Lüftung und Klimatisierung beginnt wenn immer möglich mit einer Optimierung des Gebäudes. Um vorhandene Potentiale der Einsparung von Energie, Betriebs- und Investitionskosten zu erschließen, ist bei Neubauten und größeren Umbauten oder Sanierungen eine Betrachtung des Gesamtsystems aus Gebäude und Anlagentechnik angebracht, bevor die Gebäudetechnik im Einzelnen geplant wird.⁷⁰

Optimierung des Gebäudes unter Lüftungs- und Klima-Gesichtspunkten

Bei der Gestaltung des Baukörpers gilt es eine Reihe von Punkten zu beachten, die sich sowohl auf die Effizienz einer Lüftungsanlage, den Bedarf an technischer Klimatisierung als auch auf das thermische Innenklima auswirken können.

- Die **Geometrie und Orientierung** des Gebäudes sowie benachbarter Bauten haben Einfluss auf die jahres- und tageszeitliche Besonnung und Abschattung. Die Geometrie bedingt also die Möglichkeiten, das Tageslicht zu nutzen, aber auch die solaren Wärmegewinne. Diese Wärmegewinne können im Winter erwünscht, in der warmen Jahreszeit aber unerwünscht sein.
- Die **Größe und Anordnung der Fenster** wirkt sich im Zusammenhang mit der Fassaden-Orientierung und verschattenden Objekten auf das Tageslicht und auf solare Wärmegewinne aus (weitere Hinweise auch im Abschnitt 4.2.1 über Tageslichtnutzung). Fensterflächen, die weit größer bemessen sind, als für die Tageslichtnutzung vorteilhaft ist, führen leicht zu hohen solaren Gewinnen, die nur mit hohem Aufwand an Gebäudetechnik und oft zusätzlichem Energieeinsatz zu beherrschen sind.
- Für den **sommerlichen Wärmeschutz** ist an besonnten Fassaden (nach Ost, West, Süd) meist eine außen liegende Verschattungseinrichtung erforderlich, um ein behagliches sommerliches Innenklima zu gewährleisten und hohe Kühllasten zu vermeiden. Diese soll nach Möglichkeit dem jeweiligen Bedarf entsprechend einstellbar sein und sowohl bei Besonnung als auch an trüben Tagen eine gute Tageslichtversorgung erlauben (siehe auch Abschnitt 4.2.1). Den besten Sonnenschutz bieten außen liegende, hinterlüftete Jalousien. Empfehlenswert ist auch eine automatische Jalousiesteuerung, die Besonnung, Tageslicht, Temperaturen und Windgeschwindigkeit (bei Sturm hochfahren!) berücksichtigt.
- Eine **gute Wärmedämmung** der Gebäudehülle wirkt sich primär auf den Heizwärmebedarf positiv aus. Darüber hinaus trägt sie ganzjährig zu einem behaglichen Innenklima bei und verhindert an warmen Tagen zusätzliche Aufheizung des Innenraums durch Transmissions-Wärmegewinne von besonnten Fassaden und Dächern.
- Eine gute **Dichtheit der Gebäudehülle** ist ohnehin notwendig, um unerwünschte Wärmeverluste, Zugerscheinungen und Bauschäden durch Fugenlüftung zu verhindern. Erhöhte Anforderung an die Dichtheit besteht, wenn mechanisch gelüftet wird und Wärmehückgewinnung oder technische Klimatisierung erfolgt. Denn in diesen Fällen vermindern unkontrollierte Nebenluftströme die Wirksamkeit der Anlagen.
- Die **Speicherfähigkeit der Baukonstruktion** wirkt sich ausgleichend auf das thermische Innenklima aus. Damit können Spitzenlasten des Kühlbedarfs erheblich vermindert werden, oder es kann ohne nennenswerte Einbuße an Behaglichkeit vollständig auf Kühlung verzichtet werden. Für die Wirksamkeit der Wärmespeicherung ist entscheidend, dass die speichernden Bauteile aus Materialien mit hoher Wärmespeicherfähigkeit und hoher

⁷⁰ Siehe zum diesem Thema auch die Dokumentation 'Energieeffiziente Lüftungstechnische Anlagen' /RAVEL 1993/.

Wärmeleitfähigkeit bestehen (beispielsweise Beton oder schwerem Mauerwerk), wobei für den tageszeitlichen Ausgleich nur die raumseitig obersten 5 bis 10cm zur Wirkung kommen. Darüber hinaus ist es wichtig, dass die speichernden Materialien großflächig mit der Raumluft in Kontakt sind. Nach Möglichkeit sollen daher Decken nicht abgehängt und Fußböden nicht aufgeständert werden, damit keine wärmeisolierenden Luftschichten die Wärmespeicherung verhindern. Falls eine Deckenverkleidung erforderlich ist, beispielsweise für die akustische Bedämpfung⁷¹, dann soll diese großflächig und mit großem Querschnitt hinterlüftet werden. Allerdings kann in diesem Fall kein Austausch über Wärmestrahlung mit der Speichermasse stattfinden.

- Mit der **Wahl emissionsarmer Baustoffe und Inneneinrichtungen** wird dafür Sorge getragen, dass mit dem nutzungsbedingten Mindestluftwechsel eine gute Luftqualität erreicht wird. Es soll verhindert werden, dass der Volumenstrom der Lüftungsanlage zur Verdünnung und Abführung vermeidbarer Emissionen erhöht werden muss.
- Durch das bauliche Trennen von Zonen unterschiedlicher Nutzungsart und unterschiedlicher Anforderungen an das Raumklima kann jede Zone geeignet versorgt werden, ohne dass Überdimensionierungen notwendig sind. Ebenso ist es wichtig, Raucher- und Nichtraucherzonen zu separieren.
- Der **Raumbedarf für lüftungs- und klimatechnische Anlagen** muss frühzeitig in der Planung berücksichtigt werden, um späteren Komplikationen vorzubeugen. Kurze Lufttransportwege sparen sowohl Raum als auch Transportenergie ein. Hingegen ist es nützlich, für die Luftkanäle großzügige Querschnitte bereitzustellen, da dies den Bedarf an Antriebsenergie erheblich senken kann. Genügend Raum für die Klimazentrale(n) verhindert, dass aus Raumnot eine energetisch ungünstige Anlage eingebaut werden muss. Frischlufteinlässe⁷² sollen an wenig belastetem Ort angeordnet werden (nicht zu nahe an Abgasquellen, nicht direkt über sonnenbestrahlten Dächern, usw.). Schließlich muss bei der Lageplanung der Lüftungstechnik der Brandschutz berücksichtigt werden.

Bedarfsgerechte und optimierte Anlagenplanung

Nachdem eine gebäudeseitige Optimierung stattgefunden hat, gilt es für den verbleibenden Lüftungs- und Klimatisierungsbedarf eine angepasste und energetisch günstige Lösung zu finden. Dabei sind folgende Punkte beachtenswert:

- Die **Anforderungen an die Raumluft und das Innenklima** aufgrund der geplanten Nutzung des Gebäudes definieren. Dabei ist es vorteilhaft, das Gebäude nach Nutzungsart in Zonen einzuteilen (z.B. Einzelbüros, Großraumbüro, Verkehrszone, zentrale EDV, Küche, ...) und die Anforderungen für jede Zone festzulegen.
- Feststellen, **welche Einrichtungen für Lüftung und Klimatisierung notwendig sind**, ggf. zonenweise. Möglicherweise sind einzelne Anlagen überflüssig, wenn die Anforderungen geringfügig verändert werden. So kann beispielsweise, wenn die Temperaturgrenze für klimatisierte Büroräume ohne Kühlung nur an wenigen Tagen im Jahr überschritten wird, evtl. die Anlage und damit Investitionen eingespart werden, ohne das Innenklima nennenswert zu beeinträchtigen.
- Den Bedarf an **Frischlufzufuhr für die jeweilige Nutzung** feststellen und den mechanischen Lufttransport minimieren. Dem liegt die Forderung zugrunde, dass die im Raum befindlichen Materialien emissionsarm ausgewählt werden und somit so wenig Schadstoffe wie möglich abgeben, die weggelüftet werden müssen. Bei Nutzungen mit stark variierender Personenbelegung oder anderen Lasten kann eine bedarfsabhängige Au-

⁷¹ Eine mögliche Alternative kann ein Akustikputz sein, insofern dieser nicht wärmedämmend wirkt.

⁷² Vgl. auch DIN 1946.

ssenluftzufuhr (z.B. über CO₂-, Feuchte- oder Bewegungs-Sensoren gesteuert) zweckmäßig sein.

- Die inneren **Wärmelasten feststellen und** soweit möglich **minimieren**. Dabei sind die tatsächlich unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit anfallenden Lasten⁷³ mit ihrem Tagesgang relevant.
- Zonenweise prüfen, ob eine Kühlung oder Klimatisierung notwendig ist und ggf. die Kühllast ermitteln.
- Bei örtlich **konzentrierten Quellen** von Wärme, Feuchte, Schad- oder Geruchsstoffen diese nach Möglichkeit direkt, mit geringstmöglicher Belastung der Raumluft, abführen. Größere Quellen sollten, soweit möglich, räumlich abgetrennt werden.
- Die Luftströmung im Raum soll eine **gute Raumdurchspülung** gewährleisten. Als Kenngröße dient die Lüftungswirksamkeit (ϵ_V)⁷⁴. Werte über 1 entsprechen einer guten Wirksamkeit, beispielsweise Verdrängungslüftung.
- Einsatz von **Wasserkühlsystemen** statt Kühlung über Luft.
- Die Möglichkeiten der **freien Kühlung** mit kühler Aussenluft nutzen, entweder direkt oder über einen Wasserkreislauf, wenn damit der Gesamtenergieverbrauch reduziert werden kann. Die Effizienz einer Nachtlüftung mit Ventilatoren hängt von der Speicherfähigkeit des Gebäudes und vom Energiebedarf für die Luftförderung ab. Eventuell ist der Einsatz einer Kältemaschine energetisch günstiger als die Förderung großer Mengen ungekühlter Außenluft.
- Im Gebäude anfallende **Abwärme nutzen**, soweit dies wirtschaftlich vertretbar ist. Verwendungsmöglichkeiten sind beispielsweise Heizungsunterstützung, Warmwasserbereitung oder bei genügend hohem Temperaturniveau Kühlung über Ab- oder Adsorptionskältemaschinen.
- Mit dem Einsatz von Luft-Erdregistern oder anderen Erdreich-Wärmetauschern mit geringem Energieaufwand die Zuluft im Winter vorerwärmen und im Sommer vorkühlen.
- Für Räume mit unterschiedlichen Anforderungen an das Raumklima und für Räume mit unterschiedlichen Betriebszeiten soll die Anlage individuelle Steuerungen ermöglichen.
- Mit einem **Messkonzept für Verbrauchsdaten**, das bereits in der Anlagenplanung berücksichtigt ist, wird die spätere Betriebsüberwachung erheblich erleichtert.

Auswahl und Auslegung der Anlagen-Komponenten

- Wird bei der Dimensionierung des Luftkanalnetzes und der Auswahl der Apparate auf **kleine Strömungsgeschwindigkeiten und geringe Druckverluste** geachtet, dann kann der Leistungsbedarf für die Luftförderung auf niedrigem Niveau gehalten werden.
- Auf gute **Wirkungsgrade der Ventilatoren** achten. Besondere Aufmerksamkeit verdienen die Einbaubedingungen, denn eine schlechte pneumatische Anpassung kann den Wirkungsgrad erheblich verschlechtern. Die Auslegung eines Ventilators soll so erfolgen, dass im ganzen Anwendungsbereich ein möglichst guter Wirkungsgrad erzielt wird, auch im Teillastbereich, und dass die häufigsten Betriebszustände nahe dem Wirkungsgradmaximum liegen.
Gute Wirkungsgrade lassen sich mit Radialventilatoren mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln sowie mit guten Axialventilatoren erzielen (ca. 85% ohne Motor). Beim Ventilatoreinbau ist darauf zu achten, dass dies strömungsgünstig erfolgt. Durch einen strö-

⁷³ Leistungsangaben auf Typenschildern liegen oft weit über der tatsächlich aufgenommenen Leistung und sind für die Anlagenauslegung deshalb ungeeignet.

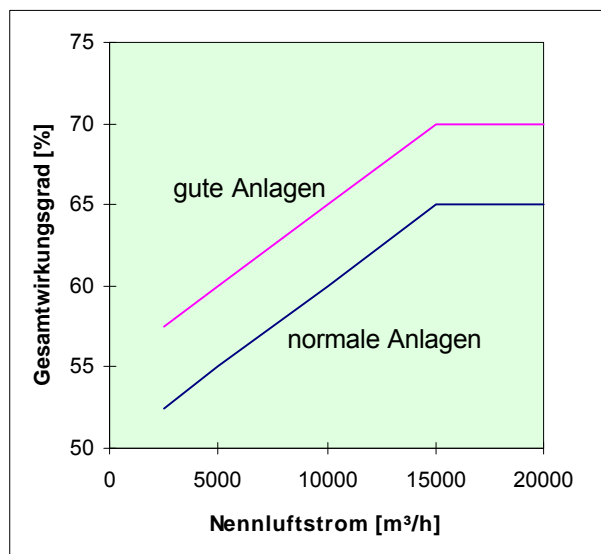
⁷⁴ Zur Definition der Lüftungswirksamkeit siehe z.B. /Recknagel, Sprenger, Hönnmann/.

mungungünstigen Einbau kann sich der Ventilatorwirkungsgrad um 10% und mehr verschlechtern.

Neben dem Ventilator entscheidet der Motor über die Höhe des Gesamtwirkungsgrades. Im Leistungsbereich oberhalb von 10 kW lassen sich mit Drehstrommotoren gute Ergebnisse erzielen. Sie sind in allen Leistungsgrößen und mit umschaltbaren Polpaarzahlen erhältlich. Es gibt auch verlustoptimierte Bauformen mit verbessertem Wirkungsgrad. Nachteilig ist, dass der Wirkungsgrad von Asynchronmotoren bei kleinen Teillasten stark abfällt. Für Leistungen unter 10 kW eignet sich der elektronisch kommutierte Motor. Er ist einfach regelbar und weist bereits im Nennbetriebspunkt gegenüber einem frequenzgeregelten Standard-Drehstrommotor einen um 15% höheren Wirkungsgrad auf. Auch im unregelmäßigen Betrieb amortisieren sich die höheren Anschaffungskosten durch den höheren Wirkungsgrad in wenigen Jahren. Weitere Vorteile sind eine um 50% geringere Verlustwärme, ein niedrigeres Gewicht und die geringere Baugröße.

Abb. 4.2

Richtwerte für den Gesamtwirkungsgrad von Ventilatoren inkl. Motor und Antrieb im optimalen Arbeitspunkt (nach /RAVEL 1993/)



- Anlagen mit erwärmter oder gekühlter Zuluft sollen in der Regel mit Wärmerückgewinnungsanlagen ausgerüstet werden.
- Falls eine Befeuchtung der Raumlufte erforderlich ist, soll diese auf das zulässige Minimum beschränkt bleiben und im Allgemeinen adiabatisch erfolgen. Eine Befeuchtung der Raumlufte soll in der Regel zusammen mit einer Wärmerückgewinnung mit Feuchtaustausch eingesetzt werden.
- Wenn eine mechanische Kälteerzeugung erforderlich ist, soll die Kaltwassertemperatur so hoch wie möglich und die Kondensationstemperatur so tief wie möglich gewählt werden. Kurzfristige Lastspitzen können ggf. mit Kältespeichern aufgefangen werden. Die bei der Kälteerzeugung anfallende Abwärme soll so weit als möglich genutzt werden.
- Kältemittel- und Kaltwasserleitungen sollen nicht nur gegen Schwitzwasser, sondern auch für möglichst geringe Kälteverluste isoliert werden. Die Verteilung soll zonenweise abschaltbar sein.

Betriebsphase und Betriebsweise der Anlagen

- Der Energiebedarf für Heizen und Kühlen kann erheblich reduziert werden, wenn die **Raumlufteemperatur in einem möglichst weiten Bereich frei schwingen kann**. Je weiter die Sollwerte für Heizen und Kühlen auseinanderliegen, umso besser wird die Speicherfähigkeit des Gebäudes ausgenutzt. Bei Büroräumen wird im «Winterbetrieb» allgemein ein Betriebsbereich der Raumlufteemperatur von 20 bis 25 °C als angemessen betrachtet, im Kühlbetrieb (sofern überhaupt erforderlich) liegt er bei 22 bis 27°C, wobei an Hitzetagen mit maximalen Außentemperaturen über 30 °C auch höhere Innentem-

peraturen als zumutbar gelten. In vielen Nebenräumen ist ohne weiteres eine deutlich größere Variation der Raumlufttemperatur möglich. Dieser Spielraum soll so weit als möglich ausgenutzt werden.

- **Zweckmäßige Raumluftfeuchte einhalten:**

Der Behaglichkeitsbereich erstreckt sich für die relative Luftfeuchtigkeit von 30 bis 65% bzw. 11.5 g/kg. Gelegentliche Unterschreitungen bis 20% r.F. und gelegentliche Überschreitungen bis 75% r.F. sind physiologisch unbedenklich. In Büro- und Wohnbauten ist im Allgemeinen keine Befeuchtung der Luft erforderlich. Klagen wegen zu trockener Luft im Winter sind häufig auf zu hohe Aussenlufttraten, zu hohe Belastungen der Raumluft mit Verunreinigungen oder auf zu hohe Raumlufttemperaturen zurückzuführen.

- Eine möglichst **bedarfsgerechte Betriebsweise** der Lüftungstechnischen Anlagen soll angestrebt werden. Die wirksamste Maßnahme besteht in einer vollständigen Abschaltung der Anlage in den Zeiten, in denen sie nicht benötigt wird. Dies kann z.B. sehr einfach über eine Zeitschaltuhr mit Wochenprogramm realisiert werden. Wenn die Anlage in Betrieb sein muss, soll nur so viel Luft wie nötig gefördert werden. Dazu sollte die Anlage mit stufigen oder stufenlos einstellbaren Antrieben ausgerüstet sein. Eine automatische Regulierung der Luftmengen kann über CO₂- oder Mischgassensoren realisiert werden.
- Im Winter ist die Sonnenstrahlung durch die Fenster ein willkommener Beitrag zur Reduktion des Heizenergiebedarfes. Während der Heizsaison soll der Sonnenschutz lediglich als Blendschutz eingesetzt werden, um die erwünschten Wärmegewinne möglichst wenig zu reduzieren.

- **Vermeidung unnötiger externer und interner Wärmelasten im Sommer**

Der Sonnenschutz soll im Sommer die unerwünschte Erwärmung des Raumes bzw. eine Erhöhung des Kühlleistungsbedarfes durch eindringende Sonnenstrahlung verhindern. Allerdings soll er so eingestellt werden, dass eine gute Tageslichtnutzung möglich ist. Für die Wirksamkeit ist auch wichtig, dass der Sonnenschutz rechtzeitig, d.h. beim ersten Eintreffen von direkter Strahlung auf das Fenster, und nicht erst aufgrund zu hoher Raumlufttemperaturen betätigt wird.

Alle **internen Wärmelasten** sollen auf das unumgängliche Maß herabgesetzt werden:

- Die Notwendigkeit der wärmeabgebenden Apparate überprüfen.
 - Aufstellung von Wärmequellen außerhalb der Komfortzonen bevorzugen.
 - Möglichkeiten zur Reduktion der Wärmeabgabe nutzen (Teillast, Standby, Abschalten).
 - Bei der Beschaffung von Apparaten auf kleinen Stromverbrauch und die Möglichkeiten eines bedarfsgerechten Betriebs und einer direkten Wärmeabfuhr achten.
 - Bei unvermeidbaren größeren Lasten nach Möglichkeit eine direkte Wärmeabfuhr über ein geschlossenes Wasser- oder Luftsystem vorsehen.
- **Regelmäßige Kontrolle und Wartung**
Die Einhaltung der oben aufgeführten Maßnahmen soll regelmäßig kontrolliert werden. Die regelmäßige Wartung der Anlagen soll immer auch folgende Punkte umfassen:
 - Kontrolle und wenn nötig Ersatz der Filtermatten
 - Kontrolle der Flach- oder Keilriemenspannung
 - Reinigung der Anlagekomponenten inkl. Luftdurchlässe
 - Reinigung der Fühler und Kontrolle der Sollwerte
 - Führen einer **Energiebuchhaltung** und Vergleiche mit den Vorjahreswerten vornehmen. Die dazu notwendigen Messeinrichtungen sollen frühzeitig eingeplant werden.
 - Die Erfahrung zeigt, dass bei vielen Anlagen unter Berücksichtigung der tatsächlichen Betriebsbedingungen und Nutzungen ein großes **Optimierungspotential** besteht. Dazu sind nach der Abnahme der Anlagen häufig weitere Messungen und langfristige Messprogramme zweckmäßig.

Hinweise zur Regelung von Ventilatoren

Die Ventilatorleistung nimmt im Idealfall mit der dritten Potenz des Volumenstroms ab⁷⁵, sofern der Druck im Lüftungssystem nicht auf einem bestimmten Wert gehalten werden muss. In Lüftungssystemen mit geringen Konstantanteilen des Druckes ermöglicht eine bedarfsgangepasste Absenkung des Volumenstromes daher eine drastische Verminderung des Energieverbrauchs.

Die Regelung des Ventilatorvolumenstromes bzw. des Anlagendrucks ist auf verschiedene Weise möglich:

- Bypass-Regelung durch eine Kurzschlussverbindung mit Drosselklappe zwischen Druck und Saugseite des Ventilators. Regelbereich: 85 - 100 %. Sehr unwirtschaftlich, da der Ventilator immer mit voller Leistung läuft. Ist nicht zu empfehlen.
- Drosselregelung mit verstellbarer Klappe bei konstanter Drehzahl. Die hierdurch erzielbare Energieeinsparung ist gering. Regelbereich zwischen 50 und 100%.
- Polumschaltung bei Asynchronmotoren. Sehr guter Wirkungsgrad, jedoch nur stufenweise Drehzahlverstellung und nur wenige Stufen möglich.
- Drallregelung bei konstanter Drehzahl. Hierbei wird dem Luftstrom vor Eintritt in das Laufrad durch verstellbare Schaufeln ein Vordrall in Laufrichtung erteilt. Guter Wirkungsgrad; die Ventilatorleistung sinkt etwa proportional mit dem Volumenstrom. Regelbereich etwa 65 bis 100%. Ist ein größerer Regelbereich erforderlich, lassen sich mit einer Kombination von Drallregelung und Polumschaltung sehr gute Ergebnisse erzielen.
- Laufschaufelregelung von Axialventilatoren durch im Lauf verstellbare Schaufeln (bei konstanter Drehzahl). Sehr guter Wirkungsgrad in einem Regelbereich 50% - 100%.
- Drehzahlregelung des Motors. Sehr gute Wirkungsgrade in einem weiten Regelbereich lassen sich mit elektronisch kommutierten Motoren und Drehstrommotoren in Verbindung mit Frequenzumrichter erreichen. Die Energieeinsparung ist vor allem bei häufigem tiefem Teillastbetrieb hoch. Im Leistungsbereich bis 5 kW besitzen hierbei elektronisch kommutierte Motoren aufgrund ihrer geringen Verluste die besten Wirkungsgrade.

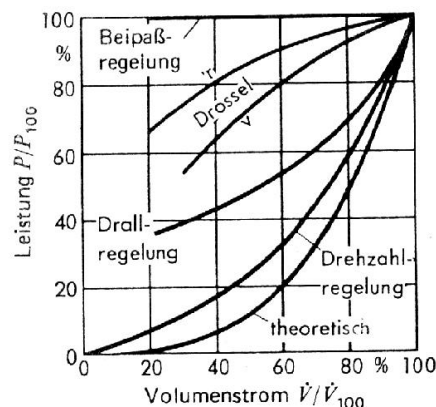
Abb. 4.3 Relativer Leistungsbedarf von Radialventilatoren bei verschiedenen Regelmethode(n) (ohne Verluste des Antriebmotors)

Die Kurve für die Drehzahlregelung gilt auch für die Laufschaufelregelung bei Axialventilatoren.

r = rückwärts gekrümmt,

v = vorwärts gekrümmt (Trommelläufer)

theoretisch: $P \sim (V / V_{100})^3$



Als energetisch und wirtschaftlich ähnlich günstig haben sich je nach Anwendungsfall folgende Verfahren zur Volumenstromregelung erwiesen:

- Kombination von polumschaltbaren Motoren und Drallregelung.
- Drehzahlverstellung
- Schaufelradverstellung bei Axialventilatoren

⁷⁵ In der Praxis ist die Reduzierung meist etwas geringer, so dass bei guter Auslegung und wenig Konstantdruck-Anteil die Antriebsleistung als näherungsweise proportional der zweiten Potenz des Volumenstroms angenommen werden kann. Auch das bewirkt eine drastische Reduzierung im Teillast-Betrieb.

Optimierungsmöglichkeiten bei bestehenden Anlagen

Im Betrieb bestehender Lüftungstechnischer Anlagen gibt es meist Optimierungsmöglichkeiten auf folgende Weise:

- Verminderung des zu fördernden Luftvolumenstromes durch eine Anpassung des Volumenstromes an den Bedarf. (Nachrüstung einer entsprechenden Ventilatorregelung, Anpassung der Zuluftvolumenströme und der Ventilatorgröße);
- Reduzierung der Anlagenlaufzeiten durch Abstimmung auf die Nutzungszeiten.

Eine Verminderung des Volumenstromes ermöglicht in Anlagen mit niedrigem Konstantdruckanteil in Verbindung mit einer effizienten Ventilatorregelung eine drastische Absenkung des Energieverbrauchs. Kürzere Laufzeiten der Lüftungszentrale senken den Energieverbrauch unmittelbar.

Hinweise zur Optimierung der Anlagenregelung

Durch das Ausnutzen der **Toleranzbereiche beim Behaglichkeitsempfinden** lassen sich ohne Komforteinbuße erhebliche Energieeinsparungen erzielen.

- Wird die Raumtemperatur abhängig von der Außentemperatur angehoben, so spart dies nicht nur Energie, sondern verbessert auch die Behaglichkeit.
- Mit der Vorgabe unterschiedlicher Sollwerte für Heizen und Kühlen wird die Speicherfähigkeit des Gebäudes ausgenutzt.
- Vorgabe eines Raumlufffeuchtebereiches zwischen 30 und 65%. Voraussetzung ist eine direkte Regelbarkeit der Raumlufffeuchte (nicht einsetzbar bei einer Taupunktregelung).
- Zyklisches Ein- u. Ausschalten der Anlage bei Systemen mit konstantem Volumenstrom.

Bedarfsanpassung des Außenluftvolumenstromes

Die Außenluftbehandlung betrifft alle Klimatisierungsfunktionen. Durch eine Verminderung des Außenluftvolumenstromes lassen sich daher deutliche Energieeinsparungen erzielen. Bei einer stark wechselnden Belegung empfiehlt sich eine Steuerung des Außenluftanteils in Abhängigkeit von der Luftqualität. Als Regelgröße kann die CO₂- oder eine Mischgaskonzentration verwendet werden.

Bedarfsanpassung der Raumluff-Sollwerte

Liegen tageszeitlich unterschiedliche Nutzungsanforderungen vor, lässt sich durch eine Anpassung der Raumluffsollzustände an die jeweiligen Anforderungen bezüglich Temperatur, Feuchte und Außenluftanteil der Energiebedarf vermindern.

Enthalpiegeführter Betrieb

Wird durch einen enthalpiegeregelten Mischluftbetrieb⁷⁶ der Energieinhalt der Ab- und Außenluft genutzt, lässt sich der erforderliche Zuluftzustand mit geringerem Energieaufwand erreichen (gilt nur für Altanlagen mit Umluft).

Lastabhängige Primärlufttemperatur

Im Heizfall vergrößert eine Anhebung der Primärlufttemperatur das Wärmerückgewinnungspotential. Bei VVS-Anlagen⁷⁷ vermindert sich im Kühlfall durch eine Absenkung der Zulufttemperatur der Volumenstrom und damit der Förderenergiebedarf.

Lastabhängige Regelung des Sekundärnetzes bei Induktionsanlagen

Mit einer lastangepassten Anhebung der Kaltwassertemperatur bzw. Absenkung der Warmwassertemperatur im Sekundärnetz verbessert sich der Nutzungsgrad der Kälte- bzw. Wärmeerzeugung.

⁷⁶ Die Enthalpie wird als Regelgröße für den Umluftanteil verwendet.

⁷⁷ Anlagen mit variablem Volumenstrom.

Anlagenbetriebszeit

Energetisch günstig ist eine möglichst kurze, auf den realen Bedarf abgestimmte Anlagenbetriebszeit. Das Einsparpotential durch eine Betriebszeitverkürzung wird begrenzt durch den damit verbundenen Anstieg der Lastspitze zu Betriebsbeginn.

Funktionsüberwachung

Klimaanlagen sind komplexe Systeme. Um die Qualität der Regelung, mögliche Fehlfunktionen und den Effekt von Optimierungsmaßnahmen erkennbar zu machen, empfiehlt sich eine permanente Überwachung des Energieverbrauchs. Grundlage dafür ist die messtechnische Erfassung der relevanten Verbrauchsdaten. Die hierfür erforderlichen Vorkehrungen sollten bereits bei der Anlagenplanung berücksichtigt und mitgeplant werden.

Folgende Messgeräte sollten mindestens vorhanden sein:

Ventilatorbetriebsstundenzähler, Wasserzähler für die Befeuchtung, Wärmemengenzähler, Kälteanlagenbetriebsstundenzähler, ggf. Startzähler für die Kälteverdichter.

Optimierungsmöglichkeiten durch Zentrale Leittechnik

Die Zentrale Leittechnik (ZLT) ermöglicht es, im Gebäude verteilte haustechnische Anlagen von einer zentralen Stelle aus zu überwachen, zu steuern und zu regeln. Die Vorteile unter dem Energieaspekt resultieren aus den Möglichkeiten Information zusammenzuführen, gemeinsam zu verarbeiten und das Steuern und Regeln verschiedener Anlagen zu koordinieren.

Beispiel für einen solchen Einsatz ist die kombinierte Steuerung von Sonnenschutz, Beleuchtung und Lüftungs- und Klimaanlage abhängig von den Temperatur- und Feuchte-Werten innen und außen, der solaren Einstrahlung und weiteren Messgrößen.

Eine solche kombinierte Steuerung ermöglicht es, die einzelnen Anlagen in ihrer Funktion sowohl auf die momentanen Anforderungen als auch untereinander abzustimmen. So kann in dem Beispiel der Sonnenschutz in der warmen Jahreszeit jeweils nur soweit geschlossen werden, dass der Lichtsensor noch genügend Tageslicht meldet, in der Heizperiode dagegen wird er so weit geöffnet, dass noch keine Blendung durch zu viel Tageslicht eintritt. Auf diese Weise können der Bedarf an elektrischer Beleuchtung und an Kühlung im Betrieb jeweils auf ein gemeinsames Optimum gebracht werden.

Voraussetzung für die korrekte Funktion solcher integralen Steuerungen sind eine genaue Kenntnis der Gebäude-Eigenschaften und Anlagen-Funktionen und eine sorgfältige Programmierung der Steuerung. Ebenso müssen Änderungen in der Anlagentechnik jeweils in den Steuerungs-Algorithmen berücksichtigt werden.

Auch an einzelnen Anlagen lassen sich durch entsprechende Programme zur Betriebsüberwachung, Störungsüberwachung, Zeitschaltung und Energieoptimierung Energieeinsparungen erzielen. Beispiele für derartigen Einsatz der zentralen Leittechnik sind:

- Realisierung komplizierter Zeitschaltpläne
- gleitendes Einschalten von HLK-Anlagen
- enthalpieabhängige Steuerung der Wärmerückgewinnung bei Klimaanlagen
- zyklisches Schalten von HLK-Anlagen
- energieoptimaler Betrieb von Anlagen zur Wärme- und Kälteerzeugung
- Steuerung von Sonnenschutz und Beleuchtung in Abhängigkeit von Außenhelligkeit, zeitlichen Nutzungsprofilen, Windverhältnissen, Raumtemperaturen, etc.
- Von Betriebszustand und Außenklima beeinflusste Sollwerte in der Anlagensteuerung.

Beispielsweise kann eine Kälteanlage mit mehreren Kältemaschinen, leistungsregelbaren Kühltürmen und zahlreichen Kälteverbrauchern so betrieben werden, dass

- die Kaltwassertemperatur jeweils an der oberen Grenze dessen liegt, was zur Abfuhr der vorhandenen Kältelasten maximal zulässig ist,
- der Einschaltzeitpunkt und die Leistung der einzelnen Kälteaggregate energieoptimal gewählt wird, die Rückkühlleistung jeweils so groß eingestellt wird, dass der Gesamtenergieverbrauch für Kälteerzeugung und Rückkühlung minimal wird.

Hinweise zur Optimierung der Luftbehandlungsprozesse

Luftbefeuchtung

Wäscherbefeuchtung ist häufig energetisch günstiger als die primärenergieaufwendige strombetriebene Dampfbefeuchtung. Taupunktgeregelte Luftwäscher stellen hierbei eine energetisch unbefriedigende Lösung dar, da die Luft, ob erforderlich oder nicht, auf die Taupunkttemperatur heruntergekühlt wird. Durch den Einsatz stufenlos regelbarer Luftwäscher (Spritzwasserregelung) lassen sich ca. 7% des Jahresenergiebedarfs einsparen. Luftbefeuchtungsanlagen weisen häufig hygienische Probleme auf. Es sollte überprüft werden, ob nicht auf eine Befeuchtung der Luft verzichtet werden kann.

Bypassregelung am Luftkühler

Systeme, die die Luftfeuchte durch eine Taupunktregelung konstant halten, benötigen für die Abkühlung der Luft auf die Taupunkttemperatur (13 °C) und die anschließende Nacherwärmung der Luft einen hohen Energieeinsatz. Sofern für den Betrieb des Entfeuchters tiefe Kältemitteltemperaturen zur Verfügung stehen, lassen sich durch eine Bypass-Feuchteregelung Energieeinsparungen bei der Kälteerzeugung und Nachheizung erzielen (Einsparpotential: insgesamt ca. 14% bei einer Induktions- VVS-Anlage)

Kältemaschinen-Rückkühlung

Die Leistungen der Kältemaschine und der Kältemaschinenkühlung müssen aufeinander abgestimmt sein. Zu geringe Antriebsleistungen bei den Einrichtungen zur Kältemaschinenkühlung führen zu höheren Verflüssigungstemperaturen und damit zu schlechteren Arbeitszahlen. Eine Erhöhung der zu erzeugenden Kaltwassertemperatur verbessert die Arbeitszahl. Die Kaltwassertemperatur sollte daher lastabhängig geregelt und jeweils nur so tief gewählt werden, wie es zur Abdeckung der momentanen Last erforderlich ist.

Nutzung freier Energiequellen

Wärmerückgewinnung

Das Wärmerückgewinnungspotential ist umso größer, je höher die Luftwechselrate in einem Gebäude ist. Die Höhe des möglichen Wärmerückgewinns wird stark durch die Art der Feuchteregelung beeinflusst. Den höchsten Wärmerückgewinn ermöglicht der spritzwassergeregelte Wäscher. Ein lastabhängiges Anheben der Zulufttemperatur (Primärlufttemperatur) vergrößert das Wärmerückgewinnungspotential.

Feuchterückgewinnung

Die Luftbefeuchtung gehört zu den energieaufwendigsten Klimatisierungsfunktionen. Durch eine Feuchterückgewinnung (FRG) lassen sich daher erhebliche Energieeinsparungen erzielen. Die FRG ist vor allem im Falle einer elektrischen Dampfbefeuchtung zur Senkung des Stromverbrauchs von Bedeutung.

Freie Kühlung

Bei Kühlsystemen, die mit einem hohen Umluftanteil oder mit Wasser (Induktionsanlagen, Kühldecken) betrieben werden, lässt sich der Kälteenergiebedarf durch die Kühlung des Kühlmediums mit kalter Außenluft über einen Wärmetauscher vermindern. Je höher die

Zuluft- oder Kühlwassertemperatur liegt, desto mehr Energie kann dadurch eingespart werden. Gute Einsatzmöglichkeiten für die freie Kühlung bietet eine Bauteilkühlung, zum Beispiel der Decken.

Hinweise zu verschiedenen Klimatisierungs-Techniken

Induktions- und VVS-Anlagen

Induktions- und **Variabel-Volumen-Strom**-Systeme benötigen deutlich weniger Energie als Einkanal- und Zweikanalsysteme mit konstantem Volumenstrom. Bei kleinen Lasten und großen Luftströmen sind Induktions- und Variabel-Volumenstromsysteme gleichwertig, bei großen Lasten sind Induktionssysteme energetisch günstiger.

Induktionsanlagen:

Da bei Induktionsanlagen große Temperaturdifferenzen zwischen der Zu- und Raumluft zulässig sind, muss nur so viel Luft transportiert werden, wie zur Deckung des Frischluftbedarfs erforderlich ist. Dadurch ergibt sich ein vergleichsweise geringer Energiebedarf für die Förderung und Luftbe- und -entfeuchtung. Energetisch nachteilig ist, dass die Induktionsauslässe relativ hohe Druckdifferenzen benötigen.

VVS-Systeme:

Der Energiebedarf für die Luftförderung ist geringer als bei Konstantvolumenstrom-Systemen und höher als bei Induktionsanlagen. Die energetische Qualität von VVS-Anlagen wird von der Effizienz der Ventilatorregelung wesentlich mitbestimmt. Im Falle von Drosselregelungen sind die Energieverluste so hoch, dass die Vorteile des VVS-Systems nicht zum Tragen kommen. Der Außenluftvolumenstrom und damit der Energiebedarf für die Be- und Entfeuchtung der Luft ist höher als bei Induktionsanlagen. Mischluftbetrieb ist nur eingeschränkt möglich, da eine ausreichende Frischluftzufuhr auch in Räumen mit geringen Lasten und den damit verbundenen geringen Zuluftvolumenströmen gewährleistet sein muss.

Stille Kühlung mit Kühldecken

Die Stille Kühlung gehört zu den energieeffizientesten Kühlverfahren. Die Investitionskosten für Kühldecken sind ähnlich wie diejenigen von VVS-Systemen und Induktionsanlagen.

Vorteile:

- Der Energietransport durch Wasser benötigt wesentlich weniger Energie als durch Luft.
- Durch die niedrige Bauteiltemperatur vermindert sich die empfundene Temperatur. Dadurch kann die maximale Raumlufttemperatur ohne Komforteinbuße von 26 °C auf 28 °C angehoben werden.
- Da der Außen- und Zuluftvolumenstrom nur den Frischluftbedarf decken muss, ist der Energiebedarf für die Luftförderung und die Luftbe- und -entfeuchtung gering.
- Aufgrund der hohen Kühlwassertemperatur (ca. 17 °C) kann ein großer Teil des Kälteenergiebedarfs durch freie Kühlung gedeckt werden.

Nachteile:

- Die Zuluft muss bei hohen Luftfeuchtwerten entfeuchtet werden, um Tauwasserbildung an den Kühlelementen zu verhindern. (Sofern die Luft sowieso entfeuchtet wird, spielt dies keine Rolle.)
- Kühlelemente aus Metall besitzen einen hohen Herstellungsenergiebedarf.

Stille Kühlung mit Quell-Lüftung

Vorteile:

Der geringe Zuluftvolumenstrom und der niedrige Auslassdruck führen zu einem geringen Energiebedarf für die Luftförderung.

Nachteile:

Da bei der Quelllüftung nur geringe Temperaturdifferenzen zwischen Zuluft und Raumtemperatur möglich sind, kann im Falle einer Taupunktentfeuchtung die Kaltluft nicht unmittelbar zur Raumkühlung genutzt werden.

Adiabatische Kühlung

Der Einsatz einer adiabatischen Abluftkühlung ermöglicht bei energetisch guten Gebäuden eventuell einen völligen Verzicht auf eine Kälteanlage. Hierbei wird die Abluft durch die adiabate Verdunstung von eingesprühtem Wasser abgekühlt. Die gekühlte Abluft kühlt dann über einen Wärmetauscher die Zuluft. Im Winter lässt sich der Wärmetauscher zur Wärmerückgewinnung einsetzen. Damit vermindern sich sowohl der Heiz- als auch der Elektroenergiebedarf.

Absorptions-Kältemaschinen

Steht Abwärme mit einem ausreichend hohem Temperaturniveau (mindestens ca. 80°C, z.B. aus Kraft-Wärme-Kopplung) zur Verfügung, bietet sich der Einsatz von Absorptions-Kältemaschinen an. Falls über das gesamte Jahr ein kontinuierlicher Wärme- bzw. Kältebedarf besteht, kann der Einsatz von BHKWs sinnvoll sein.

Sorptive Entfeuchtungs- und Kühlungsverfahren

Sofern geeignete Abwärmquellen (ca. 90 °C) zur Verfügung stehen, ermöglichen sorptive Entfeuchtungsverfahren (Absorption oder Adsorption von Wasserdampf durch hygroskopische Stoffe) eine energiesparende Vollklimatisierung ohne Kältemaschine und FCKW. Die Luftkühlung erfolgt bei Sorptionsanlagen durch die adiabate Verdunstung von Wasser. Reicht die Kühlleistung der Abluft nicht aus, wird die Zuluft verstärkt sorptiv entfeuchtet und durch adiabate Verdunstung gekühlt.

Verfahrensbeschreibung:

- Die Abluft wird durch adiabate Verdunstung gekühlt.
- Die Außenluft wird sorptiv entfeuchtet und erwärmt sich dabei.
- Die getrocknete und erwärmte Außenluft wird durch die Abluft vorgekühlt.
- Die vorgekühlte Luft wird durch die adiabate Verdunstung von Wasser auf die gewünschte Temperatur und Feuchte gebracht.
- Die bereits vorewärmte Abluft wird auf ca. 80 °C erhitzt und zur Regeneration des Entfeuchters eingesetzt.

Entsprechende Klimageräte werden zu Preisen angeboten, die mit konventionellen Anlagen vergleichbar sind.

4.2.3 Arbeitshilfen

Die Verbrauchergruppe Arbeitshilfen umfasst alle elektrischen Bürogeräte und Büroeinrichtungen, wie z.B. PC, Drucker, FAX-Gerät oder Reißwolf.

Wie bei nahezu allen elektrischen Verbrauchern, gilt es auch bei den Arbeitshilfen auf drei-erlei Einsparmöglichkeiten zu erkunden:

- der Notwendigkeit, die erwünschte Dienstleistung mit elektrischer Energie zu erbringen
- der Auswahl energieeffizienter Apparate und Geräte
- der Optimierung der Betriebszeiten.

Außerdem gilt es zu beachten, dass es bei vielen Arbeitshilfen drei Verbrauchs-relevante Betriebszustände gibt :

- Im **normalen Betriebszustand** ist das Gerät zur tatsächlichen, momentanen Nutzung bereit. Ältere Geräte sind häufig nach dem Einschalten direkt in diesem Zustand und behalten ihn bei bis zum Ausschalten oder manuellen Aktivieren des Standby. Modernere Geräte schalten oft nach einer Zeit ohne tatsächliche Nutzung selbsttätig in den Standby-Zustand um. Bei vielen PCs ('Energy Star') und Monitoren lässt sich diese Stromsparfunktion über die Geräteeinstellung aktivieren.
- Der **Standby-Zustand** ist ein Zwischenzustand, bei dem das Gerät betriebsbereit bleibt, aber verbrauchsintensive Funktionen reduziert oder abgeschaltet sind. Sobald das Gerät benutzt wird, geht es selbsttätig in den Vollbetriebs-Zustand über. Der Standby-Zustand eignet sich für kürzere Nutzungspausen bis maximal etwa 1 Stunde.
- Im **'Aus'-Zustand** wird nur dann kein Strom verbraucht, wenn das Gerät vom Stromnetz elektrisch getrennt ist. Bei vielen neueren Geräten bewirkt der 'Ein-Aus'- oder 'Netz'-Schalter keine solche Trennung vom Netz, sondern versetzt das Gerät nur in einen weiteren Standby-ähnlichen Zustand mit kontinuierlichem Stromverbrauch (zum Beispiel bei PCs, die sich über die Tastatur starten lassen).

Wie viel diese drei Betriebszustände zum Stromverbrauch beitragen, hängt von der Nutzungsweise des Geräts ab. Da 'Standby' oder 'Aus' oft einen viel größeren Zeitraum einnehmen als der Vollbetrieb, können diese Zustände in solchen Fällen auch einen wesentlichen oder gar dominierenden Anteil des Stromverbrauchs bewirken.

Hinweise zur Planung und Neubeschaffung

- Bei der Neubeschaffung von Geräten auf die Leistungsaufnahme nicht nur im Vollbetrieb, sondern auch im 'Standby' und im 'Aus'-Zustand achten. Dies gilt besonders für Geräte, bei denen häufig Betriebspausen auftreten, wie Druckern und Kopierern. Hilfe bei der Auswahl kann die Geräteliste der GED (Gemeinschaft Energielabel Deutschland) geben⁷⁸.
- Notebook-Rechner benötigen bei gleicher Dienstleistung etwa um einen Faktor fünf weniger Strom (ca. 20W bei Netzbetrieb) als ein Desktop-PC mit Röhrenmonitor (ca. 100W im Normalbetrieb). Die Bildqualität ist bei modernen Notebook-PC's⁷⁹ teilweise augenfreundlicher als bei Röhrenmonitoren, da prinzipbedingt frei von Unschärfe und Flim-

⁷⁸ Diese regelmäßig aktualisierte Liste /GED/ ist erhältlich über das 'Impuls-Programm Hessen', An-nastr. 15/16, 64285 Darmstadt, oder im Internet unter 'www.impulsprogramm.de'.

⁷⁹ Dies gilt für Rechner mit TFT-Display und anderen Techniken gleicher Bildqualität. Auch die nutz-bare Bildgröße ist ähnlich: ein 13"-TFT-Display entspricht in der Bildgröße etwa einem 15"-Röhren-Monitor, 15"-TFT einer 17"-Röhre.

mern⁸⁰. Zur Verbesserung der Ergonomie kann an den Notebook-PC eine externe Tastatur und 'Maus' angeschlossen werden.

- Desktop-Rechner mit röhrenlosen Flachbildschirmen ausstatten (in TFT- oder vergleichbarer Technik). Damit wird der Energieverbrauch für den Monitor auf etwa die Hälfte, für den gesamten Rechner auf rund zwei Drittel reduziert. Es gelten die gleichen Vorteile für die Augen der Nutzer wie bei Notebook-PC's. Moderne Flachbildschirme kommen den Röhrengeräten in der maximalen Leuchtdichte etwa gleich.
- Drucker nach Möglichkeit mit sehr niedrigem Standby- und Aus-Strombedarf beschaffen. Falls Laserdrucker mit höherem Strombedarf erforderlich sind, diese nach Möglichkeit als Zentralgeräte für jeweils mehrere Arbeitsplätze einsetzen und mit Schaltuhr versehen.
- Bei der Geräte-Auswahl (z.B Kopierer) auf den tatsächlichen Leistungsbedarf achten und die Geräte nicht überdimensionieren. Das spart Strom und Kosten. Kopierer mit eingebauter Schaltuhr-Funktion bevorzugen.
- Bei Telefaxgeräten besonders auf geringe Standby-Leistungsaufnahme achten. Bei hohem Seitendurchsatz gewinnt auch die Leistungsaufnahme im Vollbetrieb an Bedeutung. Bei Fax-Empfang über PC ein Modem oder ISDN-Interface mit Speicherfunktion verwenden; anderenfalls muss der PC ständig in Betrieb sein, was energetisch sehr ungünstig ist.

Hinweise zur Einrichtung und Verschaltung

- Jeden Arbeitsplatz mit einer schaltbaren Steckdosenleiste ausstatten, an der alle Geräte des Arbeitsplatzes angeschlossen sind (PC, Monitor, ggf. Drucker, usw.). Sind die Arbeitsplätze mit Halogen-Arbeitsplatz-Leuchten ausgestattet, so ist es angebracht, auch diese an die Steckerleiste anzuschließen, da die Leuchten selber meist nur hinter dem Transformator abgeschaltet werden.
- Zentrale Drucker und Kopierer über Schaltuhren betreiben, so dass die Geräte außerhalb der Betriebszeit abgeschaltet sind. Es gibt Schaltuhren, die zusätzlich ein vorübergehendes Einschalten mit selbsttätigem Abschalten nach einer vorgewählten Zeit erlauben.

Hinweise zu Betrieb und Nutzung der Arbeitshilfen

- Standby-Funktionen soweit möglich aktivieren. Bildschirmschoner-Programme bewirken keine Einspareffekte und behindern eventuell die Standby-Funktion, da sie dem Rechner eine Nutzung vorgaukeln.
- Stromsparfunktionen bei PC's aktivieren.
- Bei längeren Nutzungspausen (ab ca. 20 min.) nicht benötigte Geräte (PC, Monitor, Drucker) abschalten.
- Beim Verlassen des Arbeitsplatzes alle Geräte, die nicht zwingend weiter betrieben werden müssen, vom Stromnetz trennen, am besten über eine schaltbare Steckdosenleiste.

Hinweise zu Einrichtung und Betrieb von Computernetzen

Ein Computernetz besteht in der Regel aus einem oder mehreren Server-Rechnern, die oft ununterbrochen in Betrieb sind, dem Datennetz, meist mit Verteilstationen und aus den Arbeitsplatzrechnern und Peripheriegeräten wie Druckern. Energieeinsparmöglichkeiten bestehen hier insbesondere bei den Betriebszeiten der einzelnen Komponenten:

- Prüfen, ob es Zeiten gibt, zu denen das gesamte Netz einschließlich Servern abgeschaltet werden kann, beispielsweise am Wochenende. Eventuell gibt es darüber hinaus

⁸⁰ Beispielsweise hat der Autor aus diesem Grund beim Erstellen des Textes einen Notebook-Rechner mit TFT-Display verwendet.

Zeiten, zu denen einzelne Komponenten abgeschaltet werden können, z.B. Drucker per Schaltuhr über Nacht abschalten.

- Nach Möglichkeit vermeiden, dass alle Arbeitsplatzrechner häufiger über Nacht oder gar über das Wochenende eingeschaltet bleiben, etwa um die Daten zu sichern. In den meisten Fällen sind die zu sichernden Datenmengen so gering, dass die Übertragung zum Server ohne weiteres während der normalen Betriebszeiten erfolgen kann, von wo die Sicherung auf Band o.ä. dann über Nacht geschehen kann. Dann ist nur Nachtbetrieb des Servers nötig.
- Bei unterbrechungsfreier Stromversorgung (USV) des Servers eine Überdimensionierung vermeiden.

Ein Computernetz kann auch genutzt werden, um Energiespar-Hinweise an alle Beschäftigten in einem Betrieb zu verteilen.

Beispiel 4.1 : Energiebedarf für einen Arbeitsplatzdrucker⁸¹

Ein Arbeitsplatz ist mit einem Laserdrucker ausgestattet.

Die Leistungsaufnahme des Druckers beträgt :

im Druckbetrieb	P_{ein}	=	300 W
im Standby-Betrieb	P_{standby}	=	20 W
'ausgeschaltet'	P_{aus}	=	8 W

Der Drucker ist an 200 Arbeitstagen des Jahres jeweils für 8 Std. in Betrieb, davon etwa 15 min. im Druckbetrieb, die restliche Zeit in 'standby'.

Die Zeitanteile im Jahr betragen also :

im Druckbetrieb	t_{ein}	=	50 h / a
im Standby-Betrieb	t_{standby}	=	1550 h / a
'ausgeschaltet'	t_{aus}	=	7160 h / a

Es resultieren folgende Verbrauchs-Anteile:

im Druckbetrieb	E_{ein}	=	15.0 kWh / a
im Standby-Betrieb	E_{standby}	=	31.5 kWh / a
'ausgeschaltet'	E_{aus}	=	57.3 kWh / a
gesamt	E_{ges}	=	103.8 kWh / a

Wird der Laserdrucker durch einen Tintenstrahldrucker ersetzt, der im 'aus'-Zustand vom Netz getrennt ist und folgende Leistungsdaten hat :

im Druckbetrieb	P_{ein}	=	20 W
im Standby-Betrieb	P_{standby}	=	5 W
'ausgeschaltet'	P_{aus}	=	0 W

Dann ändern sich die Verbrauchs-Daten so :

im Druckbetrieb	E_{ein}	=	1.0 kWh / a
im Standby-Betrieb	E_{standby}	=	7.8 kWh / a
'ausgeschaltet'	E_{aus}	=	0.0 kWh / a
gesamt	E_{ges}	=	8.8 kWh / a

⁸¹ Dieses Beispiel soll zeigen, wie groß die Unterschiede im Energiebedarf bei Druckern sein können. Da die Zahlenwerte für einzelne Druckertypen sehr unterschiedlich sind, kann das Beispiel nicht verallgemeinert werden. Jeder konkrete Anwendungsfall muss mit den aktuellen Gerätedaten berechnet werden.

Anhänge :

A 1. Allgemeines

A 1.1 Definitionen der Begriffe

Bereitschaftszeit b_a [h/a]

Zeit, während der eine Anlage innerhalb eines Jahres in Betrieb bzw. betriebsbereit ist.

Betriebseinheit

Betriebseinheiten sind Gebäudeteile mit gleichartiger Nutzung. Beispiele für Betriebseinheiten: Büro, Verkauf, Versammlungsraum, Küche.

Brutto-Grundfläche BGF [m²]

Früher als Bruttogeschossfläche bezeichnet = Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen ohne nicht nutzbare Dachflächen, berechnet zwischen äußeren Maßen in Fußbodenhöhe, einschl. äußerer Bekleidung, aber ohne konstruktive oder gestalterische Vor- und Rücksprünge. Im LEE werden alle Kennwerte auf Netto-Grundflächen bezogen. Eine Umrechnungstabelle für Netto- und Bruttogrundflächen befindet sich im Anhang A 3.1.2.

Energiebedarf (absolut) E [kWh/a]

Berechneter absoluter jährlicher Endenergiebedarf einer Betriebseinheit oder eines Gebäudes für den Bezug einer Energiedienstleistung. Er wird in die Energiematrix eingetragen.

Energiebedarf (spezifisch) e [kWh/(m² a)]

Jahresenergiebedarf einer Betriebseinheit oder eines Gebäudes für den Bezug einer Energiedienstleistung, bezogen auf die Energiebezugsfläche der Betriebseinheit bzw. des Gebäudes.

Energiebezugsfläche A_{EB} [m²]

Die Energiebezugsfläche ist die Nettogrundfläche (=Nutzfläche) gemäß DIN 277, Teil 2, der betrachteten Betriebseinheit oder Gebäudezone. Die Energiebezugsfläche des gesamten Gebäudes ist die Nettogrundfläche, für deren Nutzung eine Beleuchtung, Beheizung oder Klimatisierung notwendig ist (ohne Parkflächen und Technikräume). In einigen Fällen ist die Ermittlung der Nettogrundfläche gar nicht oder nur sehr schwer möglich. Für diese Fälle findet sich im Anhang (A 3.1.2) eine Tabelle mit Umrechnungsfaktoren von Brutto- auf Nettoflächen.

Energiedienstleistung (ED)

Dienstleistung, die von einem technischen System unter Einsatz von Energie erbracht wird. Beispiele für haustechnische ED sind Beleuchtung, Außenluftzufuhr, Klimatisierung, EDV, Transport.

Energiedienstleistungssystem (EDS)

Technisches System, das unter Einsatz von Energie eine Dienstleistung liefert. Im Bereich Licht, Kraft und Prozesse werden folgende Energiedienstleistungssysteme unterschieden. Im Bereich Haustechnik sind dies: Beleuchtungseinrichtungen (B), Lüftungs- und Klimatisierungsanlagen (LK), sowie Diverse Haustechniken (DT), z.B. Umwälzpumpen für Heizung und Warmwasser, Anlagen für Kommunikation und Übertragung, Verteilung der elektrischen Energie sowie zum Waren- und Personentransport. Im Bereich der Betriebseinrichtungen gehören dazu: Arbeitshilfen in den Arbeitsräumen (AH) sowie Zentrale Dienste (ZD), also Einrichtungen in separaten Räumen, wie beispielsweise zentrale EDV-Geräte, Waschmaschinen, zentrale Kopiergeräte.

Energiekennwerte Elektrizität e_e, e_{eht} [kWh/(m² a)]

Kennwerte für den jährlichen spezifischen Elektroenergieverbrauch von EDS, Betriebseinheiten oder des gesamten Objektes (ohne Park- und Außenflächen und ohne den Bereich Wärme) für Licht, Kraft und Prozesse, untergliedert nach Elektrizität insgesamt e_e und Elektrizität für Haustechnik e_{eht} . Bezugsfläche ist die Energiebezugsfläche, d. h. in der Regel die Nettogrundfläche. Der Energiekennwert Elektrizität e_e eignet sich u.a. als ein Kriterium bei der Prüfung, ob die Durchführung einer detaillierten Energieanalyse empfehlenswert ist.

Energiematrix

Die Energiematrix enthält die für die energetische Beurteilung eines Gebäudes relevanten Energiekennwerte. Hierzu gehört eine nach Betriebseinheiten und Energiedienstleistungen aufgeteilte Auflistung der absoluten und spezifischen elektrischen Energiebedarfs- bzw. Energieverbrauchswerte, der

Energievergleichskennwerte sowie der Systemanforderungen in Form von Grenz- und Zielwerten. Während der Planungsphase liefert die Höhe dieser Werte Hinweise, wo schwerpunktmäßig optimiert werden sollte. Nach der Inbetriebnahme ermöglicht der Vergleich zwischen geplanten und gemessenen Werten das Erkennen von Planungs-, Ausführungs- oder Betriebsfehlern.

Energievergleichskennwert

In der nicht mehr gültigen Entwurfsfassung des LEE verwendete Kennwertart, bei der der absolute Jahresenergiebedarf für eine Energiedienstleistung auf ein Maß für die Norm-Dienstleistung bezogen wird. Im Beispiel der Beleuchtung ist der Vergleichskennwert auf die Normbeleuchtungsstärke bezogen (mit der Einheit $[W/(lx \cdot m^2)]$). Nachteilig ist, dass bei Vergleichskennwerten nur die technische Auslegung, nicht aber die Betriebszeiten bzw. Betriebsprofile bewertet werden. In der jetzigen Fassung des LEE finden Vergleichskennwerte keine Anwendung mehr. Ersatzweise sind für die Beurteilung der technischen Auslegung Richtwerte eingeführt.

Grenzwert (Systemanforderung) g

Obergrenze, die ein Energiekennwert nicht überschreiten soll. Grenz- und Zielwerte werden jeweils für bestimmte Energiedienstleistungen und Nutzungsarten gesetzt. Grenzwerte bestehen für die Energiedienstleistungen Beleuchtung, Lüftung/Klima und Hilfsenergie Heizung. (vgl. auch: 'Zielwert')

Richtwert

Zusätzliche Systemanforderung, die eine Beurteilung der technischen Auslegung erlaubt.

Zielwert (Systemanforderung) z

Wünschenswerte Obergrenze für einen Energiekennwert (siehe auch Grenzwert)

A 1.2 Abkürzungen und Formelzeichen

A	[m ²]	Fläche
A _{EB}	[m ²]	Energiebezugsfläche
B	[-]	Belegungsgrad der Betriebseinheit im Jahresmittel
b _a	[h/a]	jährliche Anlagenbereitschaftszeit
b _n	[h/a]	jährliche Nutzungszeit der Betriebseinheit
b _s	[h/a]	jährliche Standardnutzungszeit der Betriebseinheit
b _v	[h/a]	jährliche Vollbetriebszeit
e	[kWh/(m ² a)]	flächenspezifischer Jahresenergiebedarf
E	[kWh/a]	absoluter jährlicher Endenergiebedarf
E _{Prim}	[kWh _{Prim} /a]	absoluter jährlicher Primärenergiebedarf
ED	[ED-Einheit]	Energiedienstleistung
f _v	[-]	Faktor zur Ermittlung der Vollbetriebszeit
n _P	[P]	Zahl der Personen
P _∞	[kW]	durchschnittliche Anlagenleistung während der Bereitschaftszeit
P _{max}	[kW]	installierte bzw. Auslegungsleistung pro Betriebseinheit
P _{v,max}	[kW]	maximale Leistungsaufnahme des Ventilators (Auslegungsleistung)
Δp	[Pa]	Druckverluste im Kanalnetz bzw. Druckdifferenz am Ventilator
r	[-]	Regelungsgrad der Lüftungsanlage
R	[m ³ /P]	Referenz- bzw. Auslegungsfläche pro Person
V	[m ³ /h]	Luftvolumenstrom der Betriebseinheit
V _N	[m ³ /h]	Normluftvolumenstrom der Betriebseinheit
v _o	[m ³ /(P h)]	Norm-Außenluftvolumenstrom pro Person
v _s	[m ³ /(m ² h)]	spezifischer Außenluftvolumenstrom pro Fläche
V _{v,max}	[m ³ /h]	Maximaler Luftvolumenstrom am Ventilator (Auslegungsvolumenstrom)
w	[m/s]	Luftgeschwindigkeit in den Luftkanälen
β	[1/h]	Luftwechselrate
η	[-]	Wirkungsgrad (Ventilator)

A 1.3 Quellen und Literatur

A 1.3.1 Literatur allgemein

- Brandt, 1998 G. Brandt : Stromsparende Heizungsumwälzpumpen. Seminar-Dokumentation, IMPULS-Programm Hessen, Darmstadt, 1998.
- Dorer, Breer. o.J. V. Dorer, D. Breer (Ed.) : Integrales Planen mit Gebäudesimulationsprogrammen. Energierechengruppe, EMPA, Abt. Haustechnik, CH-8600 Dübendorf.
- GED Liste stromsparender Geräte (Büro und Unterhaltungselektronik), herausgegeben von der Gemeinschaft Energielabel Deutschland. Erhältlich beim IMPULS-Programm Hessen, Annastr. 15/16, 64285 Darmstadt, Tel. 06151-1385-10, Fax. 06151-1385-20. Im Internet unter: www.impulsprogramm.de
- GEMIS Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme, Version 3.08, 1999; erhältlich beim Hessischen Umweltministerium, Wiesbaden. Neuere (inoffizielle) Versionen des Öko-Instituts im Internet unter: www.oeko.de/service/gemis.
- IMPULS 1998 Impulsprogramm Hessen (Hrsg.): Stromsparmcheck für Gebäude - Ein Arbeitsinstrument für Planer und Investoren. IWU, Darmstadt, 1998.
- IMPULS Compact 1997 Dokumentation des Schweizer Impulsprogramms auf CD-ROM (IP-BAU, PACER, IRAVEL). Mit mehreren hundert Beiträgen zur rationellen Energienutzung. Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, 1997.
- LEG Leitfaden energiebewusste Gebäudeplanung - Heizenergie im Hochbau. Hrsg.: Hessisches Umweltministerium, Wiesbaden.
- RAVEL, 1992 RAVEL-Handbuch, Strom rationell nutzen. Zürich, V.d. Fachvereine, 1992.
- RAVEL, 1997 Materialien zu RAVEL: Energieverbrauch von elektronischen Bürogeräten. In: IMPULS Compact 1997.

A 1.3.2 Literatur Beleuchtung

- Heibel, B. Verfahren zur Bestimmung von Kunstlicht-Einschaltzeiten. Dissertation, Univ. GH Kassel, 1998.
- Hentschel, H.-J. Licht und Beleuchtung, 3. Auflage, Heidelberg, 1987
- Volger, Laasch Haustechnik, 8. Auflage, B.G. Teubner Stuttgart, 1989
- Ganslandt, Hofmann Handbuch der Lichtplanung, 1. Auflage, Vieweg, 1991
- E-Source TECH Update Impending U.S. Lightning Standards Will Boost Market for Halogen-Infrared Lamps. E Source, Inc. Rocky Mountain Institute 1050 Walnut Street, Boulder, Colorado, Januar 1993.
- E-Source TECH Update High Lumen Compact Fluoreszents Boost Light Output In New Fixtures. E Source, Inc. Rocky Mountain Institute 1050 Walnut Street, Boulder, Colorado, November 1992.
- E-Source TECH Update High-Performance CFI Downlights. E Source, Inc. Rocky Mountain Institute 1050 Walnut Street, Boulder, Colorado, Mai 1993
- E-Source TECH Update Electronic Ballasts. E Source, Inc. Rocky Mountain Institute 1050 Walnut Street, Boulder, Colorado, Januar 1993.

A 1.3.3

Literatur Lüftung und Klimatechnik

- Ast, H., Bach, H., Stephan, W.: Bestimmung und Bewertung des Energieverbrauchs von Heiz- und RLT-Anlagen, BMFT-Forschungsvorhaben 03-E-8163, 1988.
- AUEN Arbeitsgemeinschaft für Umweltplanung, Energieberatung und Naturschutz (AUEN) : Betreiben raumluftechnischer Anlagen, VDI-Verlag Düsseldorf, 1984.
- Bach, Heinz, u.a. Hinweise zur Ausführung und zum Energieverbrauch von Heiz- und Raumluftechnischen Anlagen. VDI Fortschrittsberichte, VDI-Verlag Düsseldorf, 1992.
- Berliner, Paul Klimatechnik, Vogel-Verlag Würzburg, 1984.
- Bundesamt für Konjunkturfragen: Haustechnik in der integralen Planung, Bd. A und B. Impulsprogramm Haustechnik 1986. Bern, Eidgenössische Drucksachen und Materialzentrale.
- Krug Krug, N., Mertz, G.: RLT-Geräte. Möglichkeiten der Energieeinsparung in der Praxis, Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., Bietigheim-Bissingen, 1992.
- LHB Berechnungsgrundlagen der Betriebskosten von RLT-Anlagen (VDI 2067, Bl. 3). VDI-Berichte 353 Raumluftechnik (Tagung Hamburg 1979), VDI-Verlag, Düsseldorf, 1980.
- Recknagel Recknagel, Sprenger, Hönnmann: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik; Oldenbourg, erscheint im zweijährigen Rhythmus.
- RAVEL, 1992 Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern: Strom rationell nutzen, RAVEL Handbuch, Zürich, 1992.
- RAVEL, 1997 Energie-effiziente Lüftungstechnische Anlagen. Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, 1993; Best.-Nr. 724.307 d, auch in /IMPULS-Compact 1997/.
- Rouvel, L. Raumkonditionierung, Wege zum energetisch optimierten Gebäude. Berlin, Heidelberg : Springer, 1975.
- Schaal, G. Berechnung und Bewertung des Energieverbrauchs von raumluftechnischen Anlagen - ein Simulationsprogramm für meteorologische, bauliche und betriebliche Randbedingungen. Diss. Univ. Stuttgart 1981. VDI-Fortschrittsberichte, VDI-Verlag Düsseldorf, 1984.
- Stephan, W. Energetische Beurteilung der Betriebsweise heiz- und raumluftechnischer Anlagen durch rechnerische Betriebssimulation. Dipl.-Arbeit, Stuttgart., 1991.
- Vetter, 1992 Vetter, Jochen: Stromsparmöglichkeiten im Bereich der Außenluftzufuhr unter Berücksichtigung der SIA 380/4, Abschlussarbeit Aufbaustudiengang Energiewirtschaft, FHS-Darmstadt, 1992
- Werner, et.al., 1995 Werner, J., U. Rochard, J. Zeller, M. Laidig: Messtechnische Überprüfung und Dokumentation von Wohnungslüftungsanlagen in hessischen Niedrigenergiehäusern. Darmstadt, 1995.
- Zimmermann, F. Energetische Optimierung von Gebäuden und Anlagen mit Hilfe von Simulationsprogrammen; in /Bach, Heinz, u.a./.

A 1.3.4

Literatur zur Wirtschaftlichkeit

- Drosse, V. Investition. Wiesbaden, 1997.
- Feist 1988 Wolfgang Feist: Zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit bei wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen. In: /Schmidt, 1990/.
- HMUEJFG, 1998 Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit (Hrsg.): Contracting-Leitfaden für öffentliche Liegenschaften in Hessen, Wiesbaden, 1998.
- Kruschwitz, L. Investitionsrechnung. 6. Aufl., Berlin, 1996.

LEG	Institut Wohnen und Umwelt: Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung. Hrsg: Hessisches Umweltministerium, Wiesbaden.
Meixner, 1996	H. Meixner : Contracting - Konzepte, Modelle, Eignung. HessenENERGIE Fachtext 22, Wiesbaden.
Schmidt, 1990	H. Schmidt (Hrsg.): Wirtschaftlichkeit und Finanzierungsprobleme rationaler Energienutzung. Protokollband zum 12. Arbeitskreis Energieberatung am 5.12.1988. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1990.

A 1.3.5 Normen und Richtlinien

DIN 277		Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau
DIN 1946		Raumluftechnische Anlagen
DIN 1946	Teil 2:	RLT-Anlagen, Gesundheitstechnische Anforderungen
DIN 2082		RLT-Anlagen für Geschäftshäuser und Verkaufsstätten
DIN 4108		Wärmeschutz im Hochbau.
DIN 4710		Meteorologische Daten zur Berechnung des Energieverbrauchs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen.
DIN 5031	Teil 3:	Strahlungsphysik im Bereich Optik und Lichttechnik; Größen, Formelzeichen und Einheiten d. Lichttechnik
DIN 5032	Teil 4:	Lichtmessungen; Messungen an Leuchten
DIN 5032	Teil 7:	Lichtmessung; Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärken
DIN 5034	Teil 1:	Tageslicht in Innenräumen, Allgemeine Anforderungen
DIN 5034	Teil 2:	Tageslicht in Innenräumen, Grundlagen
DIN 5035		Beleuchtung mit künstlichem Licht. Teil 1: Begriffe und allgemeine Anforderungen Teil 2: Richtwerte für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien Teil 4: spezielle Empf. f. d. Beleuchtung von Unterrichtsstätten Teil 5: Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht; Notbeleuchtung Teil 6: Messung und Bewertung
DIN 5036	Teil 1:	Strahlungsphysikalische und lichttechnische Eigenschaften von Materialien; Klasseneinteilung
DIN 5040		Leuchten für Beleuchtungszwecke; Teil 1: Lichttechnische Merkmale und Einteilung Teil 2: Innenleuchten, Begriffe, Einteilung
DIN EN ISO 13786		(Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen, engl.)
DIN 18017	Teil 3:	Lüftung von Bädern und Toilettenräumen ohne Außenfenster mit Ventilatoren
DIN 33403	Teil 1-3:	Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung
DIN 67507		Lichttransmissionsgrade und Gesamtenergiedurchlassgrade von Verglasungen
SIA 380/1		Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Energie im Hochbau. Empfehlung, Zürich 1988.
SIA 380/4		Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Elektrische Energie im Hochbau. Zürich 1995.
VDI 2051		RLT-Anlagen für Laboratorien
VDI 2052		RLT-Anlagen für Küchen
VDI 2053		RLT-Anlagen für Garagen
VDI 2054		RLT-Anlagen für Datenverarbeitungsräume

VDI 2067	Blatt 3:	RLT-Anlagen, Energiebedarf, Wirtschaftlichkeit und Betriebskosten
VDI 2071		Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen, Blatt 1: Begriffe und technische Beschreibungen Blatt 2: Wirtschaftlichkeitsberechnung
VDI 2078		RLT-Anlagen, Berechnung der Heiz-, Kühlleistung, Be- und Entfeuchtung
VDI 2079	Blatt 1:	RLT-Anlagen, Abnahme und Leistungsmessung
VDI 2080		RLT-Anlagen, Technische Grundforderungen
VDI 2082		RLT-Anlagen f. Geschäftshäuser u. Verkaufsstätten
VDI 2087		RLT-Anlagen, Luftkanäle, Bemessungsgrundlagen
VDI 2088		Lüftungsanlagen für Wohnungen
VDI 2310		Maximale Immissionswerte
VDI 3803		RLT-Anlagen, Bauliche u. technische Anforderungen
VDI 3807		Energiekennwerte für Gebäude
VDI 3881	Blatt 1-3:	Olfaktometrie, Geruchsschwellenbestimmung
VDI 3882	Blatt 1,2:	Bestimmung der Geruchsintensität
AMEV		AMEV- Richtlinien. Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen. Hrsg: Bundesbauministerium, Bonn.
ASR 5		Arbeitsstätten-Richtlinie 'Lüftung'
ASR 6/1,3		Arbeitsstätten-Richtlinie 'Raumtemperaturen'
ASR 7/3		Arbeitsstätten-Richtlinie 'Künstliche Beleuchtung'

A 1.3.6 EDV-Hilfsmittel und Software

ADELIN		Lighting Design and Analysis Tool. Software zur Simulation von Tages- und Kunstlicht. IEA-Task 12; zu beziehen über das FhG-IBP, tel. 0711-970 3322, Internet: www.ibp.fhg.de/wt/adeline
DIAL		DIALux, Software zur Berechnung von elektrischer Beleuchtung in Innenräumen. Deutsches Institut für angewandte Lichttechnik, Lüdenscheid. Internet: www.dial.de
EA-NRW, 1999		Energieagentur NRW (Hrsg.): Marktspiegel Energieeinsparung mit EDV-Unterstützung. Wuppertal, 1999.
GEMIS		Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme, Version 3.08, 1999; erhältlich beim Hessischen Umweltministerium, Wiesbaden. Neuere (inoffizielle) Versionen des Öko-Instituts im Internet unter: www.oeko.de/service/gemis .
IMPULS 1998		Impulsprogramm Hessen (Hrsg.): Stromsparcheck für Gebäude - Ein Arbeitsinstrument für Planer und Investoren. IWU, Darmstadt, 1998.
KLIMAFLÄCHE, 1997		Software zur schnellen Näherungsberechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs einer Gebäudezone. ETH Zürich, Institut für Hochbautechnik; tel. +41-1-633 3631, Internet: www.bph.hbt.arch.ethz.ch

A 2. Organisatorisches

A 2.1 Mögliche Anforderungen des Bauträgers (Beispiele)

Arbeitsplatz	Gewährleistung eines angenehmen Raumklimas Flexibilität der Arbeitsplatzanordnung Maximale natürliche Lüftung Sinnvolle Tageslichtnutzung
Energie	Geringer Gesamtenergieverbrauch Rationelle Verwendung der elektrischen Energie Nutzung umweltfreundlicher Energiequellen Abwärmenutzung
Technologie	Flexibles technisches Konzept Bedarfsangepasste Regelungen
Umwelt	Verwendung ökologisch unbedenklicher und wieder verwertbarer Materialien Geringer Ressourcenverbrauch

A 2.2 Mögliche Pflichtenheft-Punkte (Beispiele)

Grundsätze	Niedriger Wärmebedarf Niedriger Kältebedarf Niedriger Jahresstromverbrauch Verwendung ökologisch verträglicher Materialien Optimaler Arbeitsplatzkomfort Gewährleistung eines gesunden und angenehmen Raumklimas Einrichtung von Raucherzonen
Prioritäten	Senkung der betriebswirtschaftlichen und investiven Kosten Senkung der volkswirtschaftlichen Kosten Senkung des Primärenergiebedarfs Umweltverträglichkeit
Architektur	Raumbeziehungen, Raumfunktionen, Flächenzuordnung Gebäudeanordnung, Gebäudeteile, -gestalt, Erschließungsoptimierung Anordnung, Größe von Glasflächen, Verglasungsart, Sonnenschutz Wärmeschutz
Haustechnik	Nutzenergiebedarf Wärme, Kälte Endenergiebedarf Strom, andere Energieträger Einsatz BHKW und/oder Solar Modulare HKL-Anlagen Optimale Beleuchtungsart Angepasste Regelungssysteme Flexibilität der Systeme
Ökologie	Schadstoffminimierung, Ökobilanzen für Materialien Geringer Einsatz von nicht-erneuerbaren Ressourcen Abfallvermeidung Wasserbilanzen Niedriger (Primär-) Gesamtenergieverbrauch

A 3. Materialien zum Kennwertverfahren

A 3.1 Allgemeine Information

A 3.1.1 Beispiele für die Zuordnung der Energieverbraucher

In der Tabelle sind Listen typischer Verbraucher und deren Zuordnung zu den einzelnen Energiedienstleistungssystemen dargestellt.

Arbeitshilfen (AH)	Personalcomputer, Bildschirm, Drucker Kopiergerät, Faxgerät, andere Büromaschinen Telekommunikationseinrichtung Kaffeeautomat, Verpflegungsautomat Kleine Geräte in Gewerbe und Industrie Haushaltsgeräte Hobby- und Unterhaltungsgeräte Audiovisuelle Geräte (Projektor, Mikrofonanlage) Ladeneinrichtungen Krankenhauseinrichtungen
Beleuchtung (B)	Raumbeleuchtung Arbeitsplatzbeleuchtung Dekorationsbeleuchtung Außenbeleuchtung Sicherheitsbeleuchtung
Diverse Haustechnik (DT)	Transportanlagen (Aufzüge, Rolltreppen) Sanitärpumpen Hilfsenergie Heizung (Heizungsumwälzpumpen, Warmwasserzirkulationspumpen, Brenner, Regelung)
Elektrowärme (H,WW)	Elektroheizungen Elektrische Warmwasserbereitung Elektrische Begleitheizungen
Lüftung / Klima (LK)	Ventilatoren Regelung, Steuerung Kompressor Kältemaschine Förderpumpen für Luftherhitzer / Kühlregister Antriebe für Wärmerückgewinnung , Be- und Entfeuchtung, Rückkühlsysteme, Wasserförderung
Zentrale Dienste (ZD)	Gewerbliche Kücheneinrichtungen, Haushaltsgroßgeräte, Kühlvitri- ninen mit zentraler Funktion Werkstatteinrichtungen Zentrale EDV-Anlagen Gewerbliche Wäschereimaschinen Sterilisationseinrichtungen Speditionseinrichtungen Telefonzentralen Sicherheitsanlagen USV-Einrichtungen Tankstellenanlagen

A 3.1.2 Faktoren zur Umrechnung zwischen Brutto- und Nettoflächen

Die folgende Tabelle stellt Faktoren bereit, mit denen die Energiebezugsflächen des LEE näherungsweise bestimmt werden können, falls nur Angaben über Bruttogrundflächen (BGF) vorliegen. Als Energiebezugsfläche einer Betriebseinheit oder Zone zählt die Summe der Nettogrundflächen aller zugehörigen Räume. Als Energiebezugsfläche eines Gebäudes zählt die Summe aller Hauptnutzflächen, Nebennutzflächen und Verkehrsflächen.

	HNF	NF	NGF	BGF
Verwaltungsgebäude	48%	61%	87%	100%
Grundschulen	59%	66%	89%	100%
Gymnasien		54%		100%
Berufsbildende Schulen		62%		100%
Kindertagesstätten		62%		100%
Altenwohnheime	43%	60%	87%	100%
Bibliotheksgebäude		54%		100%
Sporthallen		68%		100%

nach VDI 3807 Blatt 2

HNF Hauptnutzfläche
 NF Nettofläche
 NGF Nettogrundfläche
 BGF Bruttogrundfläche

Falls die Werte der Tabelle nicht anwendbar sind, kann das Verhältnis NGF / BGF, je nach Wandanteil, mit einem Faktor 0.85 .. 0.9 abgeschätzt werden.

A 3.1.3 Korrektur der Volllaststunden bei abweichenden Nutzungszeiten

Falls in einem Anwendungsfall die Nutzungszeiten einer Betriebseinheit / Zone stark von den in den Tabellen des LEE angegebenen Werten abweichen, kann eine näherungsweise Korrektur der Vollbetriebsstunden vorgenommen werden. Dabei muss beachtet werden, ob die betrachtete Energiedienstleistung innerhalb der Nutzungszeit zeitlich gleichmäßig oder zu bestimmten Teilzeiten konzentriert genutzt wird.

- Bei zeitlich gleichmäßiger Nutzung werden die Vollbetriebsstunden proportional der Nutzungszeit verändert; also bei um 20% erhöhter Nutzungszeit vergrößert sich auch die Vollbetriebszeit um 20%. Beispiel für einen solchen Fall ist die Klimatisierung eines Rechenzentrums.
- Bei zeitlich ungleichmäßiger Nutzung muss berücksichtigt werden, ob in den zusätzlichen oder wegfallenden Nutzungszeiten die betrachtete Energiedienstleistung stärker oder schwächer als im Mittel genutzt wird. Wird beispielsweise eine Bürozone mit hohem Tageslichtanteil in den Abendstunden um 3 Stunden über die Standardnutzungszeit von 11 Stunden hinaus benutzt, so muss berücksichtigt werden, dass im Jahresmittel der Tageslichtanteil in den Abendstunden nur gering sein kann. Näherungsweise kann der Tageslichtanteil vernachlässigt werden ($f_{TL,zus.} = 0$). Dann ergibt sich bei einem Nutzungsfaktor $f_{Nutz,zus.} = 0.6$ ein Vollbetriebszeitfaktor für die Zusatzzeit von $f_{V,zus.} = (1 - f_{TL,zus.}) * f_{Nutz,zus.} = 0.6$. Bei 750 zusätzlichen Nutzungsstunden pro Jahr bedeutet das $750 * 0.6 = 450$ zusätzliche Vollbetriebsstunden.

A 3.2 Formblätter für die LEE-Dokumentation

Auf den folgenden Seiten sind die Formblätter für die Dokumentation einer Gebäude-Analyse mit dem LEE wiedergegeben. Dies sind:

1. Das Deckblatt für die LEE- Dokumentation
2. Das Energiematrix-Formular
3. Die Datenerfassungsblätter für die Energiedienstleistungen
 - Beleuchtung
 - Lüftung
 - Kühlung
 - Diverse Haustechnik
 - Arbeitshilfen
 - Zentrale Dienste
4. Ein Blatt zur Berechnung von Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen

LEE - Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau

Kennwertverfahren für die Bewertung des elektrischen Energiebedarfs von Gebäuden

Objekt :

Standort :

Bruttogrundfläche (BGF) :

 m²

Nutzungsart(en) des Gebäudes

NGF [m²]

Elektrischer Endenergiebedarf

	absolut	flächenbezogen ²
Beleuchtung	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / a	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / (m ² a)
Lüftung / Klima	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / a	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / (m ² a)
Diverse Haustechnik	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / a	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / (m ² a)
Warmwasser / Heizung ¹	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / a	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / (m ² a)
Arbeitshilfen	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / a	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / (m ² a)
Zentrale Dienste	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / a	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / (m ² a)
gesamte el. Endenergie	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / a	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / (m ² a)

Primärenergiebedarf

	absolut	flächenbezogen ²
gesamte el. Energie	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / a	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / (m ² a)
gesamte nichtel. Energie ¹	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / a	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / (m ² a)
gesamte Primärenergie	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / a	<input style="background-color: yellow;" type="text"/> kWh / (m ² a)

bearbeitet von :

Datum

¹ übernommen aus der Analyse nach LEG, soweit vorhanden

² bezogen auf die Summe aller Hauptnutz-, Nebennutz- und Verkehrsflächen

LEE - Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau

Energiematrix

Blatt Nr. von

bearbeitet von :

Objekt :

Datum Zeichen

Nr.	Bezeichnung	Betriebsseinheit / Zone		Haustechnik				Lüftung / Klima				Diverse Haustechnik			Betriebsseinrichtungen				Summen		
		Fläche A_{EB} [m ²]		E_B [kWh/a]	e_B [kWh/(m ² a)]	g_B [kWh/(m ² a)]	z_B [kWh/(m ² a)]	E_{LK} [kWh/a]	e_{LK} [kWh/(m ² a)]	g_{LK} [kWh/(m ² a)]	z_{LK} [kWh/(m ² a)]	E_{DT} [kWh/a]	e_{DT} [kWh/(m ² a)]	E_{AH} [kWh/a]	e_{AH} [kWh/(m ² a)]	E_{ZD} [kWh/a]	e_{ZD} [kWh/(m ² a)]	E_{ges} [kWh/a]	e_{ges} [kWh/(m ² a)]		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					
		Gesamtes Gebäude																			

LEE - Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau
Berechnung des Primärenergie-Bedarfs

Objekt :

[Empty yellow box for object name]

Endenergie-Anteil	Energieträger	Endenergie-Bedarf	Primär-energie-faktor	Primärenergie-Bedarf	CO ₂ -Emissions-faktor ¹⁾	äquivalente CO ₂ - Emission
		[kWh _{End} / a]	[kWh _{Prim} / kWh _{End}]	[kWh _{Prim} / a]	[gCO ₂ äquiv/ kWh _{End}]	[kgCO ₂ äquiv/ a]
	Strom		2.97		689	
	Erdgas H		1.07		232	
	Flüssiggas		1.09		257	
	Heizöl EL		1.10		297	
	Steinkohle		1.07		410	
	Braunkohle		1.20		455	
	Brennholz		1.01		55	
	Holzhackschnitzel		1.06		33	
	Fernwärme ²⁾ 70% KWK		0.71		214	
	Fernwärme ²⁾ 35% KWK		1.10		306	
	Fernwärme ²⁾ 0% KWK		1.49		398	
	Nahwärme ³⁾ 70% KWK		0.62		-84	
	Nahwärme ³⁾ 35% KWK		1.03		113	
	Nahwärme ³⁾ 0% KWK		1.43		311	
Summen		-	-		-	

Primärenergie- und CO₂-Emissions-Faktoren berechnet mit GEMIS

Bilanziert wurde die vorgelagerte Kette für die Endenergie bis zur Übergabe im Gebäude.

Bezugsgröße bei Brennstoffen ist der untere Heizwert Hu

1) klimawirksame Emissionen (CO₂, CH₄, CO, NMVOC, NO_x, N₂O) ausgedrückt in CO₂-Äquivalenten (Bilanzzeitraum 100 Jahre)

2) Steinkohle-Kondensationskraftwerk (= Anteil KWK) + Heizöl-Spitzenkessel

3) Erdgas-BHKW (=Anteil KWK) + Erdgas-Spitzenkessel

A 3.3 Zusätzliche Information für die Kennwertberechnung

A 3.3.1 Beleuchtung

Normbeleuchtungsstärken E_n

<i>Raumart/Tätigkeitsbeschreibung</i>	E_n [lx]	<i>Raumart/Tätigkeitsbeschreibung</i>	E_n [lx]
Ausstellungsräume	100	Leichte Sehaufgaben	300
Besprechungsräume	300	Lesen, Schreiben	500
Bibliotheken	300	Mehrzweckräume	300
Büroraum (Fensterarbeitsplatz)	300	Neben- und Abstellräume	100
Büroräume	500	Normale Sehaufgaben	500
CAD	500	Pausenräume	100
Datenverarbeitung	500	Räume mit Publikumsverkehr	200
Duschräume	100	Sanitätsräume, 1. Hilfe	500
Eingangshallen	100	Sitzungssaal	300
Empfangsräume	100	Technisches Zeichnen	750
Fernschreib-, Poststelle	500	Telefonvermittlung	300
Flure	100	Treppenflure	100
Großraumbüros	750	Umkleieräume	100
Kantinen-Speiseraum	200	Unterrichtsräume	300
Kassenhallen	300	Verkaufsräume	300
Küchen	500	Verkehrswege in Gebäuden	100
Lagerhallen für großteiliges Lagergut	50	Versandräume	200
Lagerraum mit Leseaufgabe	200	Wasch- und Toilettenräume	100

Berechnung des Raumwirkungsgrades η_R

Berechnungsgang

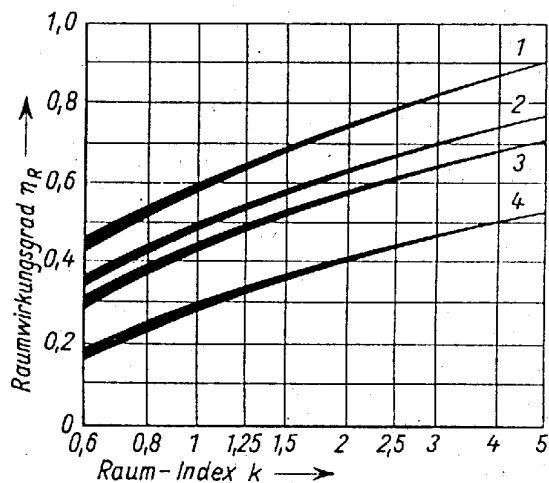
- 1) Ermitteln der Raumbreite, -länge, - und -höhe
- 2) Festlegen der Aufhängungshöhe h $h = (\text{Raumhöhe [m]} - 0,85\text{m} - \text{Pendellänge [m]})$
bei Verkehrswegen: $h = (\text{Raumhöhe [m]} - 0,20\text{m} - \text{Pendellänge [m]})$
- 3) Raumindex k ermitteln
- 4) Raumwirkungsgrad aus Grafik ablesen

Raumindex k

l : Raumlänge
 b : Raumbreite
 h : Aufhängungshöhe

$$k = \frac{l * b}{h * (l + b)}$$

Raumwirkungsgrad (grafische Lösung)



Beleuchtungsart:

- Kurve 1: direkt
- Kurve 2: vorwiegend direkt
- Kurve 3: direkt - indirekt
- Kurve 4: indirekt

Reflexionsgrade:

- Decke 70%
- Wand 50%
- Boden 10%

nach /Volger, Laasch/

Lampenwirkungsgrade ⁸²

Lampentyp	Leistung [W]	Lichtstrom [lm]	η Lampe [lm/W]
<i>Glühlampen (Standardlampen)</i>			
Standardlampe 15 Watt	15	90	6.0
Standardlampe 25 Watt	25	230	9.2
Standardlampe 40 Watt	40	430	10.8
Standardlampe 60 Watt	60	730	12.2
Standardlampe 75 Watt	75	960	12.8
Standardlampe 100 Watt	100	1380	13.8
Standardlampe 150 Watt	150	2220	14.8
Standardlampe 200 Watt	200	3150	15.8
Standardlampe 300 Watt	300	5000	16.7
<i>Großkolbenlampen</i>			
Großkolbenlampe klar 40 Watt	40	330	8.3
Großkolbenlampe klar 60 Watt	60	630	10.5
Großkolbenlampen klar 100 Watt	100	1100	11.0
Großkolbenlampe weiß 40 Watt	40	290	7.3
Großkolbenlampe weiß 60 Watt	60	490	8.2
Großkolbenlampe weiß 100 Watt	100	890	8.9
<i>Reflektorlampen</i>			
Reflektorlampe. 80°. 40 Watt	40	320	8.0
Reflektorlampe. 80°. 60 Watt	60	530	8.8
Reflektorlampe. 35°. 75 Watt	75	690	9.2
Reflektorlampe. 35°. 100 Watt	100	1030	10.3
Reflektorlampe. 35°. 150 Watt	150	1520	10.1
<i>Niedervolt-Halogen-Glühlampen</i>			
NV-Halogen-Glühlampe 20 Watt	20	330	16.5
NV-Halogen-Glühlampe 35 Watt	35	650	18.6
NV-Halogen-Glühlampe 50 Watt	50	1000	20.0
<i>Netzspannungs-Halogen-Glühlampen</i>			
Netz-Halogen-Glühlampe 60 Watt	60	800	13.3
Netz-Halogen-Glühlampe 75 Watt	75	1050	14.0
Netz-Halogen-Glühlampe 100 Watt	100	1450	14.5
Netz-Halogen-Stabglühlampe 150 Watt	150	2200	14.7
Netz-Halogen-Stabglühlampe 200 Watt	200	3200	16.0
Netz-Halogen-Stabglühlampe 300 Watt	300	5000	16.7
Netz-Halogen-Stabglühlampe 500 Watt	500	9500	19.0
Netz-Halogen-Stabglühlampe 1000 Watt	1000	22000	22.0
<i>Linestra-Röhren</i>			
Linestra-Röhre 35 Watt	35	220	6.3
Linestra-Röhre 60 Watt	60	500	8.3
Linestra-Röhre 120 Watt	120	1000	8.3

⁸² Die Lampenwirkungsgrade gelten nur im normalen ungedimmten Betrieb bei Nennspannung. Bei allen Glühlampen nimmt der Wirkungsgrad sehr stark ab, wenn die Lampe gedimmt wird.

Lampentyp	Leistung [W]	Lichtstrom [lm]	η Lampe [lm/W]
<i>Leuchtstofflampen</i>			
L-Lampe Stabform Farbe 25 18 Watt	18	1050	58.
L-Lampe Stabform Farbe 25 36 Watt	36	2500	69.
L-Lampe Stabform Farbe 25 58 Watt	58	4000	69.
L-Lampe Stabform Farbe 20 18 Watt	18	1150	64.
L-Lampe Stabform Farbe 20 36 Watt	36	3000	83.
L-Lampe Stabform Farbe 20 58 Watt	58	4800	83.
L-Lampe Stabform Farbe 32 18 Watt	18	1150	64.
L-Lampe Stabform Farbe 32 36 Watt	36	3000	83.
L-Lampe Stabform Farbe 32 58 Watt	58	4800	83.
L-Lampe Stabform Farbe 11 58 Watt	58	5400	90.
L-Lampe Stabform Farbe 21 58 Watt	58	5400	93.
L-Lampe Stabform Farbe 31 58 Watt	58	5400	93.
L-Lampe Stabform Farbe 41 58 Watt	58	5400	93.
L-Lampe U-Form Farbe 25 20 Watt	20	950	48.
L-Lampe U-Form Farbe 25 40 Watt	40	2400	60.
L-Lampe U-Form Farbe 25 65 Watt	65	3900	60.
L-Lampe U-Form Farbe 32 40 Watt	40	2700	68.
L-Lampe U-Form Farbe 32 65 Watt	65	4500	69.
L-Lampe U-Form Farbe 41 40 Watt	40	2900	73.
L-Lampe U-Form Farbe 41 65 Watt	65	4800	74.
<i>Kompaktleuchtstofflampen (eingebautes EVG. Farbe 41)</i>			
KL-Lampe 7 Watt	7	400	57.
KL-Lampe 11 Watt	11	600	55.
KL-Lampe 15 Watt	15	900	60.
KL-Lampe 20 Watt	20	1200	60.
KL-Lampe 23 Watt	23	1500	65.
KL-Lampe Globe 11 Watt	11	450	41.
KL-Lampe Globe 15 Watt	15	700	47.
KL-Lampe Globe 20 Watt	20	1000	50.
KL-Lampe Ringform 18 Watt	18	1000	56.
KL-Lampe Ringform 24 Watt	24	1450	60.
KL-Lampe Ringform 32 Watt	32	2000	63.
<i>Kompaktleuchtstofflampen (eingebautes KVG. Farbe 41)</i>			
KL-Lampe 9 Watt	9	450	50.
KL-Lampe 13 Watt	13	650	50.
KL-Lampe 18 Watt	18	900	50.
KL-Lampe 25 Watt	25	1200	48.
<i>Kompaktleuchtstofflampen mit Stecksockel (jeweils in Farben 21, 31, 41)</i>			
KL-Lampe 5 Watt	5	250	50.
KL-Lampe 7 Watt	7	400	57.
KL-Lampe 9 Watt	9	600	67.
KL-Lampe 10 Watt	10	600	60.
KL-Lampe 13 Watt	13	900	69.
KL-Lampe 18 Watt	18	1200	67.
KL-Lampe 26 Watt	26	1800	69.

Vorschaltgeräte⁸³

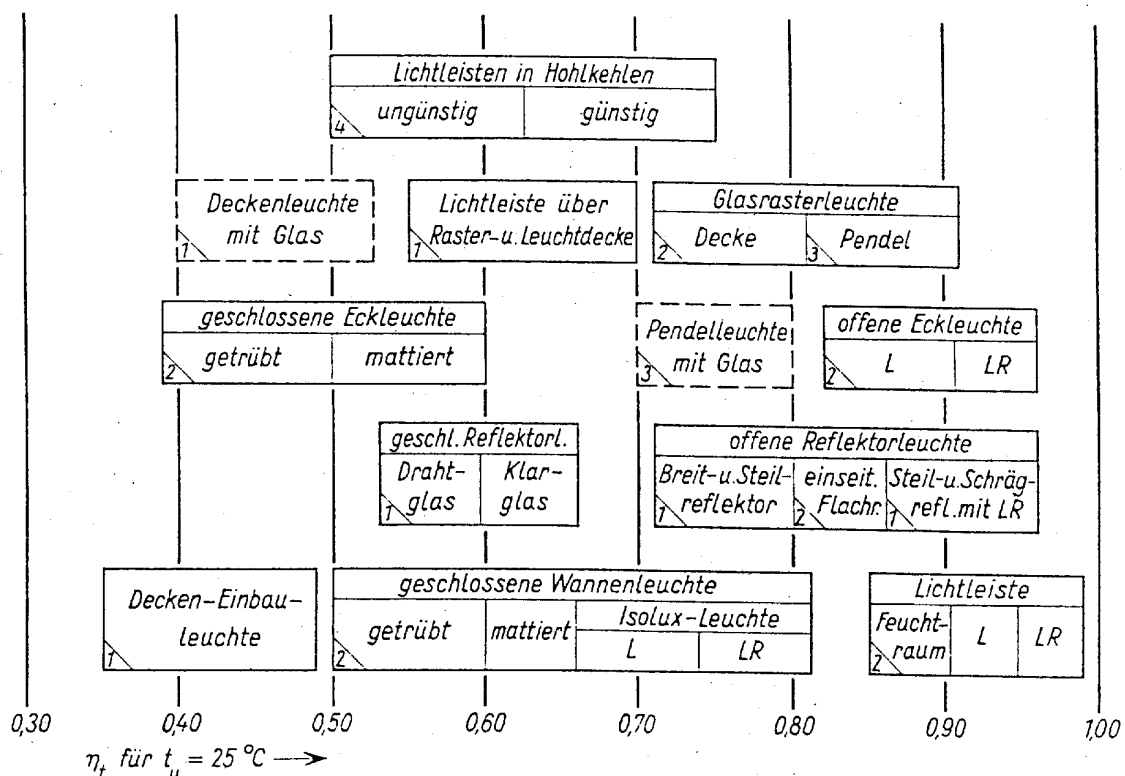
Typ	Bestückung	Verlustleistung	Verlustleistung pro Lampe
EVG	1*18 Watt	3.0 Watt	3.0 Watt
EVG	1*36 Watt	4.0 Watt	4.0 Watt
EVG	1*58 Watt	4.5 Watt	4.5 Watt
EVG	2*18 Watt	4.0 Watt	2.0 Watt
EVG	2*26 Watt	6.0 Watt	3.0 Watt
EVG	2*58 Watt	9.0 Watt	4.5 Watt

EVG mit Lampenwarmstart für erhöhte Schaltfestigkeit

EVG	1*18 Watt	3.0 Watt	3.0 Watt
EVG	1*36 Watt	4.0 Watt	4.0 Watt
EVG	1*58 Watt	5.0 Watt	5.0 Watt
EVG	2*18 Watt	5.0 Watt	2.5 Watt
EVG	2*26 Watt	8.0 Watt	4.0 Watt
EVG	2*58 Watt	10.0 Watt	5.0 Watt

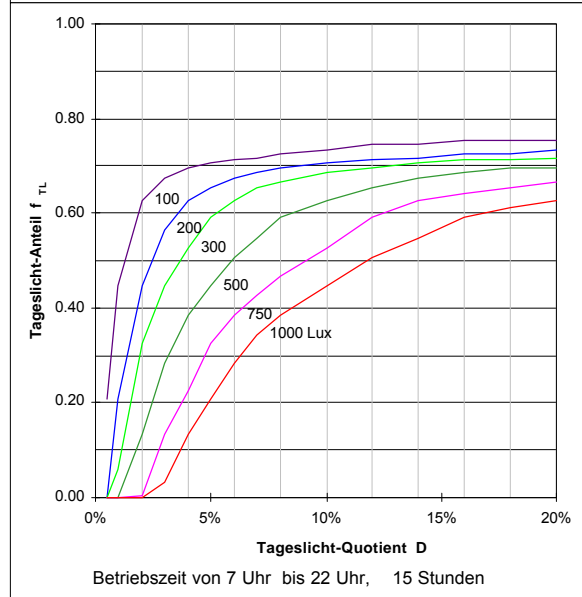
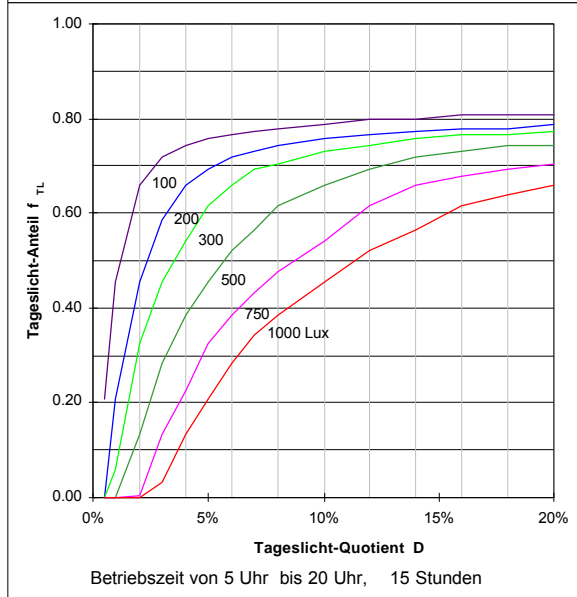
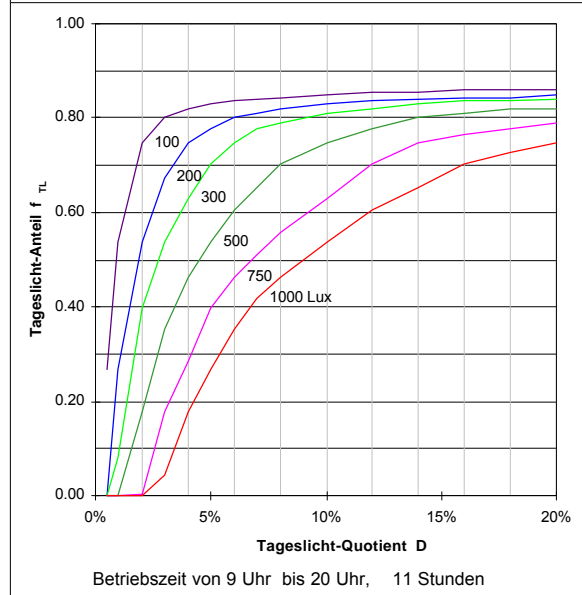
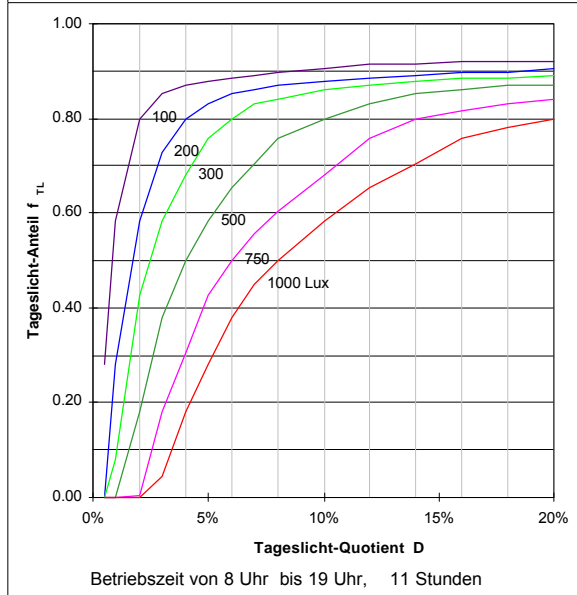
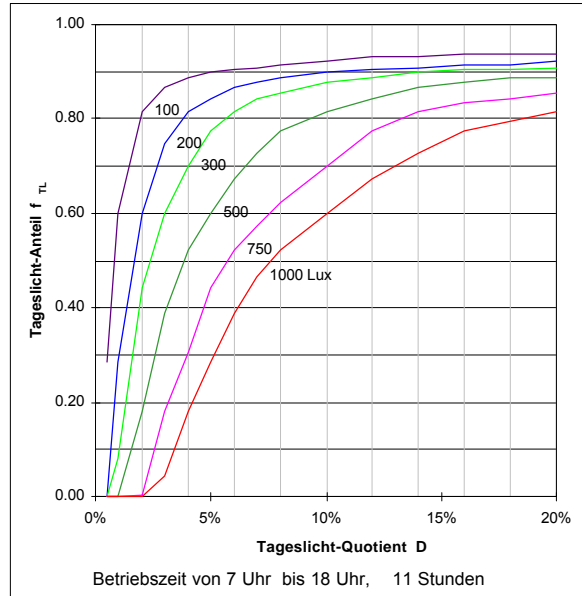
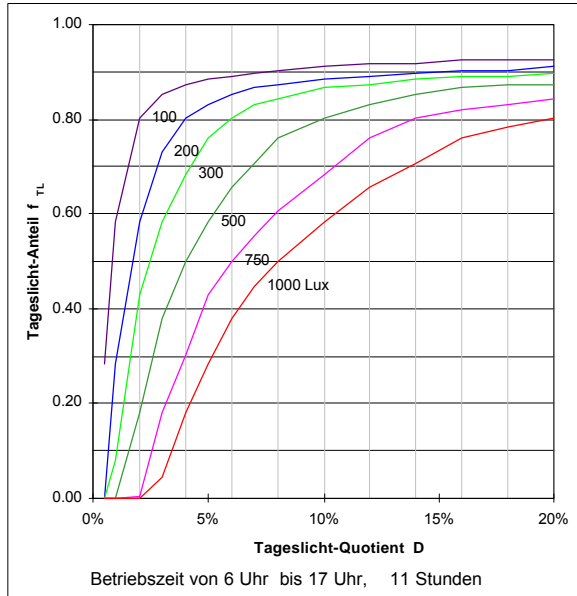
Leuchtenwirkungsgrade

Genauere Angaben über Wirkungsgrade von Leuchten können den Herstellerunterlagen entnommen werden. Eine ungefähre Einschätzung des Wirkungsgrades einer Leuchte kann mittels der nachfolgenden Grafik erfolgen (nach: /Volger, Laasch/).

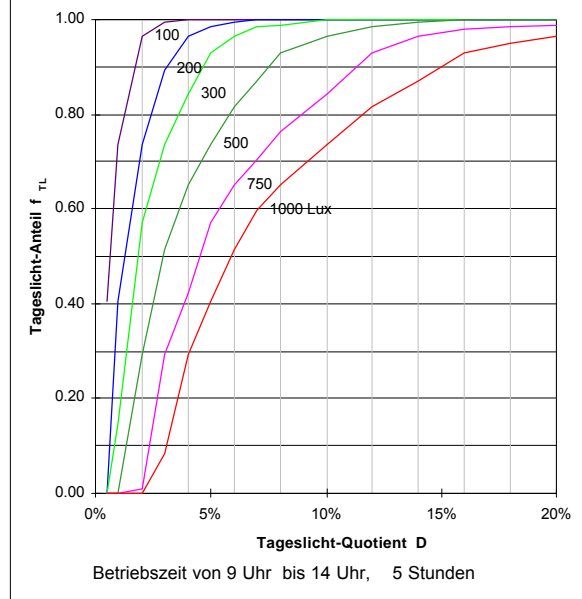
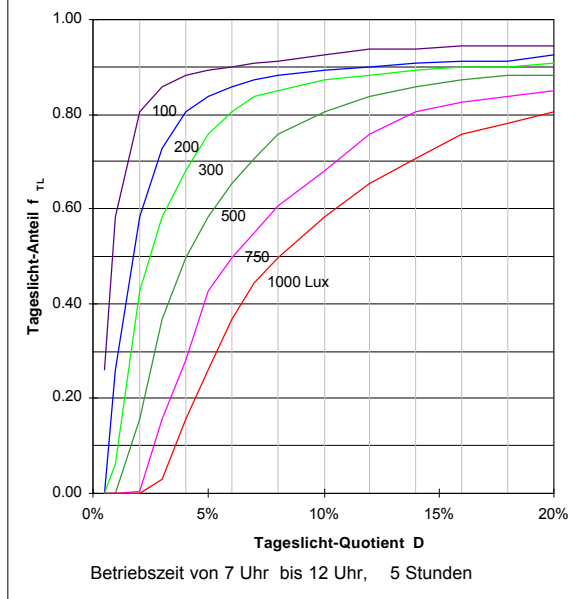
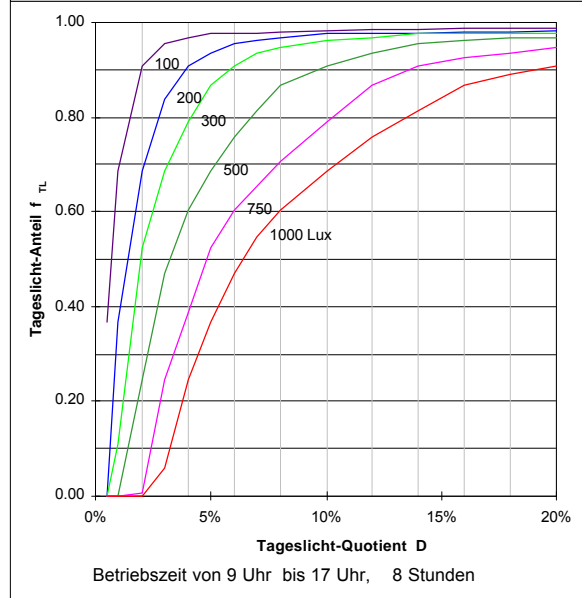
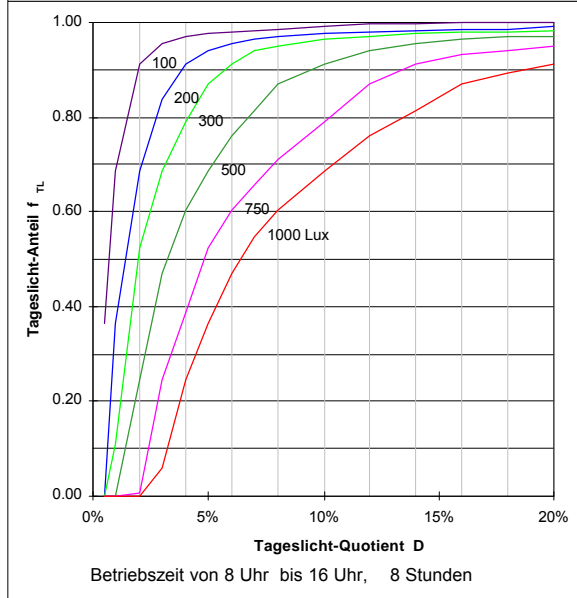
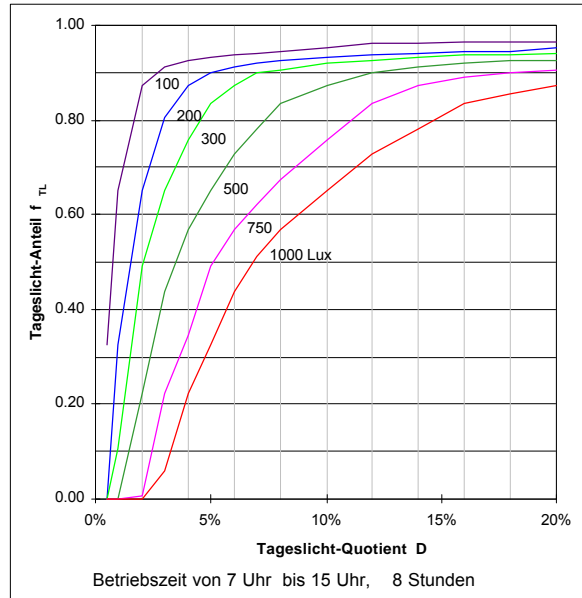
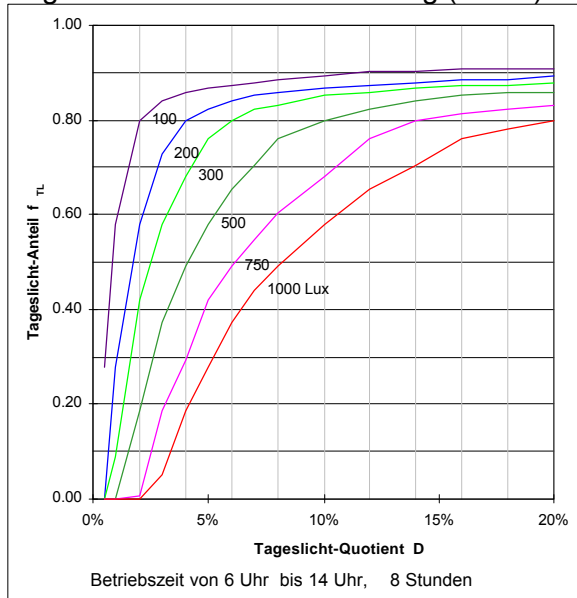


⁸³ Die Daten für die Vorschaltgeräte sind wegen der großen Produktvielfalt als Anhaltswerte anzusehen. Genaue Leistungsdaten müssen den Herstellerangaben entnommen werden.

Tageslichtanteil der Beleuchtung



Tageslichtanteil der Beleuchtung (Forts.)



A 3.3.2 Lüftung / Klima

Luftgeschwindigkeits-Richtwerte

In Abhängigkeit von der Betriebszeit des Lüftungsgeräts sind nach VDI 3803 folgende Grenzwerte für die Luftgeschwindigkeit w einzuhalten (Richtwerte):

Betriebszeit [h/a]	w_{\max} [m/s]
< 1500	< 4,0
1500 - 3000	< 3,0
3000 - 6000	< 2,5
6000 - 8760	< 2,0

Bestimmung des Mindestaußenluftvolumenstromes

Die Zufuhr von Außenluft hat die Funktion, die in den Aufenthaltsräumen infolge der Ausdünstungen von Menschen, Baustoffen und Geräten entstehenden Schad- und Geruchsstoffe auf bestimmte Grenzwerte zu verdünnen.

Mindestvolumenstrom zur CO₂-Abfuhr :

Der Außenluftvolumenstrom, der pro Person erforderlich ist, um deren Geruchsemissionen abzuführen, hängt von zahlreichen Faktoren ab und variiert in einem weiten Bereich von 10 bis 50 m³/(h*P). Nimmt man die CO₂-Konzentration als Maßstab für die Verschlechterung der Raumluft durch vom Menschen abgegebene Geruchsstoffe (Pettenkofer-Zahl k), so gilt Luft mit einem CO₂-Gehalt von mehr als $k = 0,1$ bis $0,15$ % als schlecht. Als Grenzwert wird für Büros $k = 0,15$ % (= 1500 ppm) angesetzt. Bei leichter Bürotätigkeit werden pro Person 18 l/h CO₂ ausgeatmet. Soll ein CO₂-Grenzwert von $0,1$ % eingehalten werden, muss bei einem Außenluft-CO₂-Gehalt von $0,035$ % eine Frischluftmenge von

$$v_o = 18 * (10^{-3}) \text{ m}^3/(P \cdot h) * 1/(0,001 - 0,00035) = 28 \text{ m}^3/(h \cdot P)$$

zugeführt werden.

Die folgende Tabelle gibt Werte an für die CO₂-Abgabe pro Person und Höhe des erforderlichen Außenluftvolumenstrom bei unterschiedlichen Aktivitätsniveaus.⁸⁴

Tätigkeit	CO ₂ -Rate [l/h]	v_o [m ³ /(h*P)]
ruhend	10 - 12	15 - 18,5
sitzend	12 - 15	18,5 - 23
leichte Büroarbeit	19 - 24	29 - 37
mittelschwere Arbeit	33 - 43	51 - 66
Tanzen	55 - 70	85 - 108

⁸⁴ Nach: /Recknagel, Sprenger, Hönnmann/

Andere Quellen der Luftverunreinigung :

Der Mensch ist nicht die einzige Verunreinigungsquelle. Da häufig auch die im Raum befindlichen Materialien Geruchs- und Schadstoffe abgeben, muss dies bei der Bestimmung der erforderlichen Außenluftzufuhr mitberücksichtigt werden. Die Stärke einer Geruchsquelle, die Verunreinigungslast G, wird in olf gemessen. 1 olf entspricht der Geruchsemission einer Standardperson.

Die Stärke des wahrgenommenen Geruchs C wird in dezipol gemessen. Der Geruchspegel von 1 dezipol entsteht durch die Geruchsstoffemission einer Standardperson (1 olf) bei einer gleichzeitigen Frischluftzufuhr von 10 l/s bzw. 36 m³/h. Bei dieser Geruchsbelastung sind 15% der Testpersonen unzufrieden.

$$1 \text{ dezipol} = 1 \text{ olf pro } 10 \text{ l/s}$$

Der Grenzwert für ein gesundes Gebäudeklima beträgt ca. 1 dezipol. Ab 10 dezipol spricht man von einem 'sick building'.

Zwischen der empfundenen Luftqualität C und der Verunreinigungslast G besteht der Zusammenhang:

$$C = \frac{G}{V} \quad [\text{dezipol}]$$

G [olf] Verunreinigungslast
 V [l/s] Luftvolumenstrom

Soll ein Grenzwert von 1 dezipol nicht überschritten werden, muss die Frischluftzufuhr bei höheren Ausdünstungsraten entsprechend erhöht werden.

Ausdünstungsraten verschiedener Quellen⁸⁵

Personen	Ausdünstungsrate [olf]	Baustoffe	Ausdünstungsrate [olf/m ²]
Sitzend	1	Teppiche (Wolle)	0.2
Athlet	30	Teppiche (Kunst)	0.4
Normalraucher	5	PVC/Linoleum	0.2
Dauerraucher	25	Marmor	0.01
		Gummidichtungen (Fenster, Türen)	0.6

Um den Lüftungsenergieverbrauch und damit auch die Lüftungskosten (Energiekosten, Investitionen) gering zu halten, muss die Belastung der Luft bereits an der Quelle bekämpft werden. Dies erfordert die Verwendung emissionsarmer Baumaterialien, saubere Lüftungs- und Klimaanlage und eine Einschränkung des Rauchens.

⁸⁵ /Recknagel, Sprenger, Hönnmann/, VDI 3881 Blatt 1-3, VDI 3882 Blatt 1,2

Anlagenbetriebsfaktoren (f_1)

Anlagenbetriebsfaktoren f_1 nach Belegung und Regelungsart

Regelungsart	Regelungs- grad r	Belegungs- grad B	Einspargrad potentiell e	real g	f_1
1-stufig	0.0	beliebig	keine		1.0
2-stufig	0.5	0.5	0.5	0.25	0.75
		0.6	0.4	0.2	0.8
		0.7	0.3	0.15	0.85
		0.8	0.2	0.1	0.9
		0.9	0.1	0.05	0.95
teilweise kontinuierlich	0.75	0.5	0.5	0.37	0.63
		0.6	0.4	0.3	0.7
		0.7	0.3	0.23	0.77
		0.8	0.2	0.15	0.85
		0.9	0.1	0.08	0.92
kontinuierlich bedarfsangepasste Regelung	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
		0.6	0.4	0.4	0.6
		0.7	0.3	0.3	0.7
		0.8	0.2	0.2	0.8
		0.9	0.1	0.1	0.9

Formeln zur Ermittlung von f_1 :

Anlagenbetriebsfaktor $f_1 = 1 - g$

Potentieller Einsparungsgrad $e = 1 - B$

Realer Einsparungsgrad $g = e \cdot r$

Ist kein realer Belegungsgrad ermittelbar, z. B. bei Neubauten, kann $B = 0,7$ gesetzt werden

Hilfsbetriebsfaktoren (f_2)

zur Berücksichtigung des Energieverbrauchs für Hilfsbetriebe⁸⁶

Nach Luftvolumenstromklassen	V [m³/h]	f_2
	> 1500	1,01
	< 1500	1,03

Die Faktoren f_1 und f_2 werden zum Faktor f_v zusammengefasst: $f_v = f_1 \cdot f_2$

⁸⁶ SIA 380/4

A 3.4 Tabellen für die Wirtschaftlichkeits-Rechnung

Annuitäts-Faktoren $a_{p,n}$ für die Berechnung der jährlichen Kapitalkosten

Nutzungsdauer [Jahre]	Kapitalzins									
	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	12%
1	1.020	1.030	1.040	1.050	1.060	1.070	1.080	1.090	1.100	1.120
2	0.515	0.523	0.530	0.538	0.545	0.553	0.561	0.568	0.576	0.592
3	0.347	0.354	0.360	0.367	0.374	0.381	0.388	0.395	0.402	0.416
4	0.263	0.269	0.275	0.282	0.289	0.295	0.302	0.309	0.315	0.329
5	0.212	0.218	0.225	0.231	0.237	0.244	0.250	0.257	0.264	0.277
6	0.179	0.185	0.191	0.197	0.203	0.210	0.216	0.223	0.230	0.243
8	0.137	0.142	0.149	0.155	0.161	0.167	0.174	0.181	0.187	0.201
10	0.111	0.117	0.123	0.130	0.136	0.142	0.149	0.156	0.163	0.177
12	0.095	0.100	0.107	0.113	0.119	0.126	0.133	0.140	0.147	0.161
14	0.083	0.089	0.095	0.101	0.108	0.114	0.121	0.128	0.136	0.151
16	0.074	0.080	0.086	0.092	0.099	0.106	0.113	0.120	0.128	0.143
18	0.067	0.073	0.079	0.086	0.092	0.099	0.107	0.114	0.122	0.138
20	0.061	0.067	0.074	0.080	0.087	0.094	0.102	0.110	0.117	0.134
25	0.051	0.057	0.064	0.071	0.078	0.086	0.094	0.102	0.110	0.127
30	0.045	0.051	0.058	0.065	0.073	0.081	0.089	0.097	0.106	0.124
40	0.037	0.043	0.051	0.058	0.066	0.075	0.084	0.093	0.102	0.121
50	0.032	0.039	0.047	0.055	0.063	0.072	0.082	0.091	0.101	0.120

Mittelwert-Faktoren m_e für die Berechnung des mittleren Energiepreises

Kapitalzins	Nutzungsdauer	Annuität	jährliche Energiepreisänderung									
			-2%	-1%	0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%	8%
4%	5 Jahre	0.225	0.94	0.97	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.26
4%	10 Jahre	0.123	0.90	0.95	1.00	1.05	1.11	1.17	1.23	1.30	1.37	1.53
4%	15 Jahre	0.090	0.87	0.93	1.00	1.08	1.16	1.25	1.35	1.46	1.58	1.85
4%	20 Jahre	0.074	0.84	0.91	1.00	1.10	1.21	1.33	1.47	1.63	1.81	2.24
4%	25 Jahre	0.064	0.81	0.90	1.00	1.12	1.26	1.41	1.60	1.82	2.07	2.71
4%	30 Jahre	0.058	0.79	0.88	1.00	1.14	1.30	1.50	1.73	2.02	2.36	3.28
6%	5 Jahre	0.237	0.94	0.97	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.15	1.19	1.26
6%	10 Jahre	0.136	0.91	0.95	1.00	1.05	1.11	1.16	1.23	1.29	1.36	1.51
6%	15 Jahre	0.103	0.87	0.93	1.00	1.07	1.15	1.24	1.33	1.43	1.54	1.80
6%	20 Jahre	0.087	0.85	0.92	1.00	1.09	1.19	1.31	1.44	1.58	1.74	2.13
6%	25 Jahre	0.078	0.82	0.91	1.00	1.11	1.23	1.38	1.54	1.73	1.96	2.52
6%	30 Jahre	0.073	0.81	0.90	1.00	1.12	1.27	1.44	1.64	1.89	2.18	2.95
8%	5 Jahre	0.250	0.94	0.97	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.15	1.18	1.25
8%	10 Jahre	0.149	0.91	0.95	1.00	1.05	1.10	1.16	1.22	1.28	1.35	1.49
8%	15 Jahre	0.117	0.88	0.94	1.00	1.07	1.14	1.22	1.31	1.41	1.51	1.75
8%	20 Jahre	0.102	0.86	0.92	1.00	1.08	1.18	1.29	1.40	1.54	1.68	2.04
8%	25 Jahre	0.094	0.84	0.91	1.00	1.10	1.21	1.34	1.49	1.66	1.85	2.34
8%	30 Jahre	0.089	0.82	0.91	1.00	1.11	1.24	1.39	1.57	1.77	2.02	2.66
10%	5 Jahre	0.264	0.95	0.97	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.15	1.18	1.25
10%	10 Jahre	0.163	0.91	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.21	1.27	1.34	1.47
10%	15 Jahre	0.131	0.88	0.94	1.00	1.07	1.14	1.21	1.30	1.39	1.49	1.71
10%	20 Jahre	0.117	0.86	0.93	1.00	1.08	1.17	1.26	1.37	1.49	1.63	1.95
10%	25 Jahre	0.110	0.85	0.92	1.00	1.09	1.19	1.31	1.44	1.59	1.76	2.19
10%	30 Jahre	0.106	0.84	0.91	1.00	1.10	1.21	1.34	1.50	1.68	1.89	2.43

Zwischenwerte können interpoliert werden