



Ingenieurbüro für
Energieberatung, Haustechnik
und ökologische Konzepte GbR

Reutlinger Straße 16
D-72072 Tübingen
Tel. 0 70 71 93 94 0
Fax 0 70 71 93 94 99
www.eboek.de
mail@eboek.de

Effizienzkriterien für kommunale Gebäude in Heidelberg

Erstellt im:	März 2003
im Auftrag von:	Stadt Heidelberg, Amt für Umweltschutz, Energie und Gesundheitsförderung
Projektleitung:	Prof. Dr. Claus Kahlert
Inhaltliche Bearbeitung:	Dipl.-Phys. Thomas Kirtschig Dipl.-Phys. Matthias Laidig Dipl.-Ing. Ulrich Rochard
Text und Layout:	Aagje Ricklefs M.A.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Raumheizung	2
2.1 Untersuchungsergebnisse	2
2.2 Empfehlungen	3
3 Warmwasser	4
3.1 Untersuchungsergebnisse	4
3.2 Empfehlungen	5
4 Tageslichtnutzung und Beleuchtung	5
4.1 Untersuchungsergebnisse	5
4.2 Empfehlungen	6
5 Sommerlicher Wärmeschutz	6
5.1 Untersuchungsergebnisse	7
5.2 Empfehlungen	7
6 Lüftung, Kühlung, Befeuchtung	7
6.1 Untersuchungsergebnisse	7
6.2 Empfehlungen	8
7 Anhang - Heizwärme- und Primärenergiebedarf nach EnEV	9
7.1 Die Beispielgebäude	9
7.1.1 Beispiel: Bürogebäude „ENERGON“	9
7.1.2 Beispiel: Sporthalle (Weil im Schönbuch)	9
7.1.3 Beispiel: Kindergarten (Ulm im Sonnenfeld)	10
7.1.4 Beispiel: Sanierung eines Bürogebäudes (Thiepval)	10

7.2 Berechnungsvarianten EnEV	10
7.2.1 Haustechnik.....	10
7.2.2 Gebäudehülle	11
7.3 Ergebnisse nach EnEV mit Kommentaren	13
8 Anhang - Trinkwasserbereitung	16
9 Anhang - Tageslichtnutzung und Beleuchtung.....	17
9.1 Wesentliche Aspekte für den Energiebedarf	17
9.2 Einflussfaktoren auf die Tageslichtnutzung	17
9.3 Beleuchtung	18
9.3.1 Planung der Beleuchtungssysteme.....	18
9.3.2 Vorschaltgeräte	18
9.3.3 Regelung	19
9.3.4 Strombedarf und Grenzwerte.....	20
9.4 Empfehlungen für Planung und Ausführung.....	21
9.5 Quellen	28
10 Anhang - Sommerlicher Wärmeschutz / Kühlung.....	29
10.1 Kurzverfahren	29
10.2 Ergebnisse nach Rouvel et al.	29
10.3 Quellen	30
11 Anhang - Lüftung / Kühlung / Klimatisierung	31
11.1 Lüftung	31
11.1.1 Lüftungsarten.....	31
11.1.2 Dimensionierung mechanischer Lüftungsanlagen.....	31
11.2 Einflussfaktoren auf Bedarf bzw. Größe von Kühlung / Klimatisierung	33
11.2.1 Klima / Umgebung	33
11.2.2 Baulich.....	33

11.2.3	Innere Wärmequellen.....	33
11.2.4	Lüftung.....	33
11.2.5	Anforderungen an Raumklima.....	34
11.3	Prüfung der Notwendigkeit von Kühlung / Klimatisierung	34
11.4	Berechnung der Kühllast.....	34
11.4.1	Verfahren	34
11.5	Technische Lösungen	35
11.5.1	Klimatisierungssysteme.....	35
	Zentrale Systeme	35
	Dezentrale Systeme	35
11.5.2	Kälteerzeugung	35
11.5.3	Kältetransport.....	36
11.5.4	Kälteübergabe.....	36
11.5.5	Befeuchtung	36
11.5.6	Kältespeicherung	37
11.6	Auswahlkriterien.....	37
11.6.1	Nach erforderlicher Kühlleistung	37
11.6.2	Nach der möglichen mittleren Leistungszahl	38
11.6.3	Empfehlung	38
11.7	Empfehlungen für Planung und Ausführung.....	39
11.8	Quellen	44
12	Effizienzwerte	45
12.1	Lüftung.....	45
12.2	Kühlung.....	53
12.3	Befeuchtung.....	57

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Verschiedene Beleuchtungssysteme 1. Teil aus „Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau“ (LEE)	21
Abb. 2: Verschiedene Beleuchtungssysteme 2. Teil aus „Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau“ (LEE)	22
Abb. 3: Verschiedene Beleuchtungssysteme 3. Teil aus „Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau“ (LEE)	23
Abb. 4: Checkliste zur Tageslichtnutzung aus „Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau“ (LEE).....	23
Abb. 5: Datenerfassungsblatt „Beleuchtung“ aus „Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau (LEE)“	25
Abb. 6: Checkliste 1. Teil aus “Leitfaden für die Anwendung der Empfehlung SIA 380/4, Elektrische Energie im Hoachbau“	39
Abb. 7: Checkliste 2. Teil aus “Leitfaden für die Anwendung der Empfehlung SIA 380/4, Elektrische Energie im Hoachbau“	40
Abb. 8: Besondere Planungsleistungen nach HOAI, Auszug 1. Teil aus Leitfaden elektrische Energie im Hochbau (LEE)	41
Abb. 9: Besondere Planungsleistungen nach HOAI, Auszug 2. Teil aus Leitfaden elektrische Energie im Hochbau (LEE)	42
Abb. 10: Besondere Planungsleistungen nach HOAI, Auszug 3. Teil aus Leitfaden elektrische Energie im Hochbau (LEE)	43

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Haustechnik	11
Tab. 2: Gebäudehülle	12
Tab. 3: Anforderungen und Ergebnisse der verbesserten Varianten nach EnEV	13
Tab. 4: Zusatzinvestitionen für Energieoptimierung (überschlägig) - Neubau.....	14
Tab. 5: Zusatzinvestitionen für Energieoptimierung (überschlägig) - Altbau	15
Tab. 6: Aufwandszahlen für WW - Bereitstellung	16
Tab. 7: Richt- und Grenzwerten für Beleuchtungsstrom aus dem Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau (LEE) (übernommen aus SIA 380/4).	24
Tab. 8: Lampenwirkungsgrade verschiedener Lampentypen 1. Teil aus dem Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau (LEE)	26
Tab. 9: Lampenwirkungsgrade verschiedener Lampentypen 2. Teil aus dem Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau (LEE)	27
Tab. 10: Ergebnisse sommerlicher Wärmeschutz.....	30
Tab. 11: Norm-Volumenstromwerte für einige Raumnutzungsarten. (siehe auch DIN 1946-2, DIN 18017-3, ASR 5), Lampentypen aus dem Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau (LEE)	31
Tab. 12: Effizienzkriterien nach LEE und ebök.....	48
Tab. 13: Datenerfassungsblatt Lüftung	49
Tab. 14: Planungsbeispiel Lüftung: Kindergarten.....	50
Tab. 15: Planungsbeispiel Lüftung: Bürogebäude mit Kantine	51
Tab. 16: Planungsbeispiel Lüftung: Bürogebäude.....	52
Tab. 17: Datenerfassungsblatt Kühlung	55
Tab. 18: Planungsbeispiel Kühlung: Bürogebäude.....	56
Tab. 19: Datenerfassungsblatt Befeuchtung	58
Tab. 20: Planungsbeispiel Befeuchtung Bürogebäude 1	59
Tab. 21: Planungsbeispiel Befeuchtung Bürogebäude 2.....	60

1 Einleitung

Die Stadt Heidelberg ist im Begriff, ihre Energiekonzeption aus dem Jahr 1992 grundlegend zu überarbeiten. Als wichtiger Baustein für die Neufassung wird auch das Kapitel über die energetische Qualität städtischer Gebäude sowie von Gebäuden, die auf städtischen Grundstücken errichtet werden, neu gefasst werden. Die aktualisierten Anforderungen sollen inhaltlich die technischen Entwicklungen der vergangenen zehn Jahre berücksichtigen und formal an das veränderte technische Regelwerk anschließen, insbesondere soll die Methodik der Energieeinsparverordnung (EnEV) weitgehend übernommen werden.

Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit den Themen Raumwärme, Warmwasser, Beleuchtungsstrom sowie Lüftung, Kühlung und Klimatisierung. Die ersten beiden Fragestellungen werden von der EnEV behandelt, hier werden die Handhabung des öffentlich-rechtlichen Nachweises und Anforderungen an den Primärenergiekennwert diskutiert. Für die planerische Behandlung des Beleuchtungsstroms kann auf ein gut ausgearbeitetes und erprobtes Regelwerk, den Hessischen Leitfaden „Elektrische Energie im Hochbau“ (LEE) verwiesen werden, der eine Anpassung der Schweizer SIA 380/4 darstellt. Lüftung wird in der EnEV nur für den Betrieb während der Heizperiode berücksichtigt. Kühlung und Klimatisierung sind in der EnEV nicht behandelt und lassen sich auch nicht unmittelbar in deren Formalismus einfügen (die Neufassung der VDI 2067 wird hier u.U. die methodische Lücke schließen). Für Lüftung, Kühlung und Klimatisierung werden Effizienzkriterien an die Bereitstellung der Dienstleistung diskutiert.

Mit der planerischen Betrachtung aller relevanten Energieströme eröffnet sich die Möglichkeit einer Gesamtoptimierung – vorausgesetzt alle Fachplaner arbeiten parallel und tauschen sich in einem integralen Planungsprozess intensiv aus. Da eine methodisch einheitliche Gebäudeenergiebilanz wahrscheinlich erst 2007 im europäischen Rahmen verbindlich eingeführt wird, ist der fachliche Austausch der Fachplaner heute noch dadurch behindert, dass Bilanzwerte nur eingeschränkt vergleichbar sind.

In ihrem eigenen Zuständigkeitsbereich sollte die Stadt durch Vertragsgestaltung und die Wahrnehmung ihre Rolle als Bauherrin darauf dringen, dass alle relevanten Fragestellungen im Planerkreis interdisziplinär behandelt werden, damit z.B. Lösungen erarbeitet werden, welche gleichermaßen unter den Aspekten Fassadengestaltung, Tageslichtnutzung, Wärmeschutz und Überhitzungsschutz als gut eingestuft werden können. Hierzu bedarf es oft nur der Beauftragung des vollen Leistungsumfangs nach HOAI, bisweilen sind für das Erreichen eines optimierten Ergebnisses aber auch besondere Leistungen im Sinne der Honorarordnung notwendig.

2 Raumheizung

Die EnEV als methodische Vereinigung von Wärmeschutzverordnung und Heizungsanlagenverordnung erlaubt eine wärmetechnische Optimierung eines Gebäudes unter gleichberechtigter Beachtung von Gebäudehülle und Heizungsanlage. Damit ergeben sich gegenüber der alten Verordnungslage zusätzliche Freiheitsgrade für die Planer, da als bauliche Voraussetzung lediglich noch die Nebenbedingung für den mittleren U-Wert der Gebäudehülle eingehalten werden muss.

Das Kriterium eines Primärenergie-Grenzwerts ist methodisch elegant, da hiermit einerseits sowohl wesentliche Umwelteinwirkungen erfasst werden, als auch ein Vergleich unterschiedlicher Versorgungskonzepte möglich wird.

Für die Energiekonzeption der Stadt Heidelberg birgt der Primärenergienachweis jedoch auch eine Schwachstelle, an der politisch gegengesteuert werden muss. Da große Teile der Stadt mit Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung versorgt werden, verlangt die Verordnung für solche Gebäude keinen Primärenergienachweis mehr. Damit wäre die bauliche Nebenanforderung das einzige verbleibende Kriterium. Dies würde bedeuten, dass die strukturellpolitisch erreichte CO₂-Reduktion der Kraft-Wärme-Kopplung durch Gebäude mit relativ hohem Wärmebedarf konterkariert würde.

2.1 Untersuchungsergebnisse

Die in *Kapitel 7 Anhang - Heizwärme- und Primärenergiebedarf nach EnEV*, untersuchten Gebäude wurden jeweils in zwei Varianten betrachtet. (1) mit durchschnittlichem Wärmeschutz und einer „Standardhaustechnik“, so dass das Primärenergiekriterium der EnEV etwa erreicht wird und (2) mit gutem Wärmeschutz etwa auf dem Niveau eines Niedrigenergiehauses, wobei keine neuen, speziell auf Energieeffizienz ausgelegten Systeme, wie z.B. Superfenster, zum Einsatz kamen.

Die Ergebnisse machen deutlich, dass für alle Gebäude die bauliche Nebenanforderung der EnEV deutlich unterschritten wird, wobei die Unterschreitung für große Gebäude wesentlich einfacher zu erreichen ist als für kleine. Eine Anforderung „30%-ige Unterschreitung der baulichen Nebenanforderung“, wie sie im Zusammenhang mit dem RAL Gütesiegel Niedrigenergiehaus diskutiert wird, stellt somit für kleine Gebäude eine ernsthafte Hürde dar, ist aber für große Gebäude relativ einfach zu erfüllen.

Die verbesserten Varianten zeigen, wie mit vertretbarem Aufwand das Primärenergiekriterium um 20-30% unterschritten werden kann, ohne die Geometrie der

Gebäudehülle zu verändern, insbesondere die Kompaktheit und der Fensterflächenanteil wurden bewusst belassen. Ebenso wurden die Wärmebrückenlösungen nicht optimiert, bzw. keine explizit nachgewiesenen Wärmebrückenverlustkoeffizienten verwendet. Hier wurde Konformität zu DIN 4108 Beiblatt 2 unterstellt.

Wird in haustechnischen Teil des Nachweises (nach DIN V 4701-10) die konkrete Situation in einem fernwärmeversorgten Stadtteil Heidelbergs nachgebildet, so lassen sich mit dem verbesserten baulichen Standard Unterschreitungen des Primärenergiekriteriums von mehr als 50% nachweisen. Würde die Energiekonzeption jedoch eine derartige Unterschreitung fordern, wären an vielen Stellen außerhalb der Fernwärmeversorgungsgebiete jedoch wirtschaftliche Schwierigkeiten zu erwarten.

Als Ausweg aus den beschriebenen Problemen bietet es sich deshalb an, im Effizienznachweis für die Stadt den Primärenergiefaktor $f_{PE,WV}$ in den mit Fernwärme versorgten Gebieten auf den Wert der verwendeten Referenzvariante (Gas-Brennwertkessel mit $f_{PE,WV}=1,1$) festzulegen. Für überwiegend regenerativ versorgte Gebäude sollte der bauliche Wärmeschutz mindestens auf dem Niveau eines RAL Niedrigenergiehauses liegen.

Im Sanierungsfall zeigt sich für das untersuchte Beispiel, dass mit den U-Werten des Heidelberger Förderprogramms die Neubauanforderungen nach EnEV etwa eingehalten werden, selbst wenn davon ausgegangen wird, dass die Anforderungen aus DIN 4108 Beiblatt 2 nicht überall erreicht werden und somit der erhöhte Wärmebrückenzuschlag von $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ verwendet werden muss.

2.2 Empfehlungen

Wie empfehlen der Stadt Heidelberg:

- In fernwärmeversorgten Gebieten einen Effizienznachweis nach der Methode eines EnEV Nachweises führen zu lassen, der den Primärenergiekennwert unter Verwendung von $f_{PE,WV}=1,1$ ausweist. Für den nachgewiesenen Primärenergiekennwert wird mindestens eine 25%-ige Unterschreitung des zulässigen Grenzwerts nach EnEV gefordert.
- Für den Primärenergiekennwert aus dem öffentlich-rechtlichen Nachweis nach EnEV, sofern dieser erhoben werden muss, wird ebenfalls eine mindestens 25%-ige Unterschreitung des Grenzwerts nach EnEV gefordert.
- Für die bauliche Nebenbedingung nach EnEV wird eine Unterschreitung des zulässigen Grenzwerts von mindestens 30% gefordert.

- Für Sanierungen werden die U-Werte des Heidelberger Förderprogramms gefordert, alternativ kann, bei Verwendung von $f_{PE,WW}=1,1$, ein Primärenergiekennwert nachgewiesen werden, der die EnEV Anforderung an Neubauten erfüllt.
- Eine Luftdichtheitsprüfung sollte bei alle Neubauten und Sanierungen durchgeführt werden.
- Der Heizungsbetrieb wird anhand der Betriebserfahrungen kontinuierlich optimiert.

3 Warmwasser

Der Warmwasserbedarf ist bei Nichtwohnnutzung von Fall zu Fall sehr unterschiedlich, deshalb hat der Ordnungsgeber bei solchen Gebäuden auf eine Anforderung verzichtet. Andererseits bilden unzureichend geplante und betriebene Warmwasseranlagen in öffentlichen Gebäuden einen erheblichen Kostenfaktor.

Das explizite Verfahren der DIN V 4701-10 erlaubt es, für beliebige Nutzungen und Wärmeerzeuger wie auch Verteilungsnetze den Primärenergiebedarf für die Warmwasserbereitung zu ermitteln. Für eine realistische Einschätzung des tatsächlichen Aufwands sind jedoch zwei Faktoren entscheidend:

- Eine Erhebung der tatsächlichen Nachfrage sowie
- eine Aufnahme des geplanten Erzeugungs-Verteilungs-Systems.

Nur eine differenzierte Analyse verschiedener, zentraler, dezentraler und solarer Optionen erlaubt eine qualifizierte Aussage über die notwendigen Investitionen, die zu erwartenden Kosten sowie die resultierenden CO₂-Emissionen.

Falls die hierfür notwendigen Planungsleistungen nicht nur überschlägig, sondern auf der Basis der DIN V 4701-10 erbracht werden müssen, handelt es sich um besondere Leistungen, die gesondert zu vergüten sind.

3.1 Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchung der drei in Kapitel 7 vorgestellten Neubauten zeigt ein breites Spektrum bei der Nachfrage nach Warmwasser. Durch die Laufzeit der Zirkulation wird die Spanne im Energiebedarf noch mehr vergrößert. Da die Zirkulations-

verluste die dominante Rolle beim Energiebedarf übernehmen können, wird das verwendete Nutzungsprofil zum zentralen Entscheidungskriterium.

3.2 Empfehlungen

Wie empfehlen der Stadt Heidelberg:

- Solare Optionen der Warmwasserbereitung stets untersuchen zu lassen.
- Ein realistisches Nachfrageprofil der vorgesehenen Nutzung erstellen zu lassen.
- Für alle sinnvoll erscheinenden Optionen den Primärenergiekennwert nach dem expliziten Verfahren der DIN V 4701-10 unter den Randbedingungen des über die Lebensdauer des Systems wahrscheinlichsten Wärmeerzeugers durchführen zu lassen.
- Anhand der Erfahrungen aus den ersten Betriebsjahren nach Nutzungs-Beginn/Änderung eine Optimierung der Anlage durchzuführen.

4 Tageslichtnutzung und Beleuchtung

Die Nutzung von Tageslicht in Verwaltungsgebäuden ist ein wichtiger Faktor für den visuellen Komfort und Stromverbrauch eines Arbeitsplatzes wie auch für das sommerliche Raumklima und die ggf. anfallenden Kühllasten. Von daher haben Entscheidungen in diesem Bereich oft weitreichende Folgen, in anderen Gewerken. Die Wirtschaftlichkeit einer Investition in lichtlenkende Systeme oder hocheffiziente Beleuchtung bemisst sich deshalb zumeist nicht nur in der Stromeinsparung, sondern auch in vermiedenen Investitionen wie auch Betriebskosten im Bereich der Kühlung.

4.1 Untersuchungsergebnisse

Der Hessische Leitfaden „Elektrische Energie im Hochbau“ (LEE) stellt ein gut handhabbares Werkzeug dar, das sowohl Empfehlungen für die Auslegung von Beleuchtungssystemen gibt, als auch eine Bilanzierung der eingesetzten elektrischen Energie erlaubt. Hier muss allerdings darauf verwiesen werden, dass die verwendeten Gebäude-Flächen und –Volumina nicht mit denen der EnEV kompatibel sind, damit können spezifische Größen nur bedingt verglichen werden.

4.2 Empfehlungen

Wie empfehlen der Stadt Heidelberg:

- Für Neubauten wie Sanierungen soll die Tageslichtautonomie repräsentativer Räume nachgewiesen werden.
- Die Wirkung tageslichtlenkender Systeme sollte untersucht (zumindest abgeschätzt) werden.
- Die Auslegung von Beleuchtungseinrichtungen sollte nach den Richtlinien des LEE erfolgen.
- Für Beleuchtungen ist als planerischer Nachweis eine Energiebilanz zu erstellen, die sich an den Zielwerten des LEE orientiert.
- Die Funktion und Akzeptanz von Regelungseinrichtungen sollte regelmäßig (jährlich) erhoben und für eine Optimierung des Betriebs genutzt werden.

5 Sommerlicher Wärmeschutz

Das zunehmende Auftreten extremer Wetterlagen, die großzügige Verwendung von Glas in der Gebäudehülle, Zunahme von elektrischen Verbrauchern wie auch höhere Komfortansprüche seitens der Nutzer ließen in der jüngeren Vergangenheit eine Kühlung oder Klimatisierung von Verwaltungsgebäuden fast zum Regelfall werden. Die EnEV behandelt in ihrem rechnerischen Teil die aktive Kühlung zwar nicht, regelt aber die Zulässigkeit einer Luftkühlung (Anhang 1, 2.9). Diese muss „nutzungsbedingt“ sein. Externe, solare Lasten müssen durch eine Begrenzung des solaren Eintrags so weit reduziert werden, dass bei standardisierten internen Wärmequellen ein angenehmes sommerliches Raumklima ohne aktive Kühlung anzutreffen ist.

Ein angepasster Zuschnitt der Verglasungsfläche, die Effizienz von Verschattungseinrichtungen sowie das Vorhandensein von den Temperaturverlauf dämpfenden Bauteilmassen ist also eine baurechtliche Anforderung. Kühlung unter Einsatz von Energie muss auf die Kompensation der inneren Wärmequellen beschränkt werden.

5.1 Untersuchungsergebnisse

Für die drei oben untersuchten Gebäude wurde parallel das in DIN 4108-2 enthaltene überschlägige Verfahren sowie der von Rouvel et al. vorgeschlagene Algorithmus untersucht. Entsprechend der Intentionen liefert das technisch aufwendigere Verfahren die differenzierteren Ergebnisse, welche die Notwendigkeit einer aktiven Kühlung erst bei höheren inneren Lasten begründen.

5.2 Empfehlungen

Wie empfehlen der Stadt Heidelberg:

- Die Begrenzung des solaren Eintrags soll für alle Gebäude qualifiziert nachgewiesen werden.
- Die Komfortanforderungen der Bauherrschaft / Nutzer sind zu klären.
- Vor der Installation einer Kühlung sollte deren Notwendigkeit mittels eines qualifizierten Verfahrens nachgewiesen werden, das sowohl Aussagen zur Kühlarbeit wie auch zum Ausmaß der Komforteinschränkungen (Dauer, Temperaturspitzen) macht.

6 Lüftung, Kühlung, Befeuchtung

Während Lüftungsanlagen, mit oder ohne Wärmerückgewinnung, heute zur Standardausstattung neuer und sanierter Gebäude gehören, sollten Kühlung und Luftkonditionierung auch weiterhin nur in begründeten Fällen installiert werden. Da sich für beide Anlagentypen weitgehend analoge Effizienzkriterien aufstellen lassen, werden sie hier gemeinsam behandelt.

6.1 Untersuchungsergebnisse

Aufgrund der Vielzahl von technischen Ansätzen und Anwendungsbereichen im Bereich der Klimatisierung lassen sich dort (im Gegensatz zur Lüftung) keine allgemeingültigen Grenz- und Zielwerte formulieren. Der Effizienznachweis erfolgt deshalb in der Form, dass Planungsergebnisse offengelegt und mit anderen

Objekten verglichen werden. *Kapitel 11.7, Empfehlungen für Planung und Ausführung*, enthält einen kurzen Planungsleitfaden, der als Anhaltspunkt für eine Planungsdocumentation verwendet werden kann.

In der eigenen Planungspraxis haben sich zwei Kenngrößen als besonders aussagekräftig erwiesen:

- Die Anlagenaufwandszahl: diese gibt den Energieaufwand pro Dienstleistungseinheit an (z.B. pro m³ bereitgestellter Luft, pro kWh abgeführter Wärme oder pro Liter zugeführtem Wasser). Sie gibt an, wie effizient die Anlage bei dem vorgegebenen Nutzungsprofil arbeitet. Dieser Wert kann mit anderen Anlagen dieses Typs (gleiche Technologie) verglichen werden.
- Die zweite Kenngröße, der nutzflächenspezifische Energieeinsatz ist dagegen ein Wert, der sich mit anderen Gebäuden gleicher oder ähnlicher Nutzung vergleichen lässt.

Wie die Ergebnisse aus *Kapitel 11.6 Auswahlkriterien* zeigen, hängt die Aufwandszahl für Kühlung von der verwendeten Technologie und damit von den Nutzungsanforderungen ab. Die wichtigste Aufgabe für Bauherrschaft und Planer besteht somit darin, ein Anforderungsprofil sorgfältig zu definieren und hierfür die geeignete Technologie auszuwählen.

6.2 Empfehlungen

Wie empfehlen der Stadt Heidelberg:

- Lüftungsanlagen sollten für Neubauten obligatorisch sein und bei Sanierungen nach Möglichkeit installiert werden.
- Lüftungsanlagen sollten die Effizienzkriterien aus *Kapitel 12.1 Anhang - Effizienzwerte Lüftung*, erfüllen.
- Für Kühlungen und Befeuchtungen muss die Systemauswahl vom Planer aufgrund des Nutzungsprofils und der Randbedingungen begründet werden.
- Solare und andere regenerative Kühlsysteme sollen stets untersucht werden.
- Die Anlagenaufwandszahl und der flächenspezifische Energieeinsatz sollen für alle Planungen nachgewiesen werden.
- Regelmäßige (jährliche) Messungen zur Optimierung des Anlagenbetriebs sollen vorgesehen werden.

7 Anhang - Heizwärme- und Primärenergiebedarf nach EnEV

7.1 Die Beispielgebäude

7.1.1 Beispiel: Bürogebäude „ENERGON“

Beschreibung:	fünfgeschossiges Bürogebäude für bis zu 420 Personen mit dreieckigem Grundriss, Atrium innerhalb der thermischen Hülle mit Überkopf-Verglasung
Gebäudevolumen:	31616 m ³ (innerhalb der thermischen Hülle)
Gebäudenutzfläche:	10117 m ² (berechnet nach EnEV)
A/V – Verhältnis:	0,22 1/m
Fensterfläche / Fassadenfläche:	33% (incl. Dach und Dachverglasung)

7.1.2 Beispiel: Sporthalle (Weil im Schönbuch)

Beschreibung:	Dreifach-Turnhalle mit zusätzl. Gymnastikraum Tribüne für ca. 350 Zuschauer
Gebäudevolumen:	20047 m ³ (innerhalb der thermischen Hülle)
Gebäudenutzfläche:	6415 m ² (berechnet nach EnEV)
A/V – Verhältnis:	0,34 1/m
Fensterfläche / Fassadenfläche:	19% (vorwiegend Nordverglasung, incl. Dach und Dachverglasung)

7.1.3 Beispiel: Kindergarten (Ulm im Sonnenfeld)

Beschreibung:	zweigeschossiger Kindergarten mit 3 Gruppen à 22 Personen
Gebäudevolumen:	2731 m ³ (innerhalb der thermischen Hülle)
Gebäudenutzfläche:	874 m ² (berechnet nach EnEV)
A/V – Verhältnis:	0,49 1/m
Fensterfläche / Fassadenfläche:	25% (ohne Dach) 15% (incl. Dach)

7.1.4 Beispiel: Sanierung eines Bürogebäudes (Thiepval)

Beschreibung:	eingeschossiges Gebäude mit ausgebautem Dachraum für ca. 40 Personen
Gebäudevolumen:	3689 m ³ (innerhalb der thermischen Hülle)
Gebäudenutzfläche:	1180 m ² (berechnet nach EnEV)
A/V – Verhältnis:	0,49 1/m
Fensterfläche / Fassadenfläche:	14% (incl. Dach und Dachverglasung)

7.2 Berechnungsvarianten EnEV

7.2.1 Haustechnik

Für die Haustechnik wurden die in Tab. 1 angegebenen Varianten mit Werten nach dem Tabellenverfahren der DIN V 4701-10 angenommen.

Tab. 1: Haustechnik

Grundvariante	Verbesserte Variante (Neubau und Sanierung)	Beispiele für weitere Verbesserungspotentiale
Brennwertkessel mit Erdgas oder Fernwärme mit PE-Faktor = 1,1	wie Grundvariante	
Aufstellung im unbeheizten Bereich		Aufstellung im beheizten Bereich
Heizwärmeverteilung innerhalb der thermischen Hülle		-
HK-Auslegung 70/55 °C		55/45
geregelter Umwälzpumpe		-
Thermostatventile mit 2K Proportionalbereich		Thermostatventile mit 1K Proportionalbereich
Fensterlüftung	Abluftanlage mit DC-Lüfter	Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung

7.2.2 Gebäudehülle

Für die Gebäudehülle wurden die in Tab. 2 angegebene Werte verwendet. In der Spalte „EnEV-Variante Neubau“ sind Werte angegeben, mit denen die Primärenergie – Anforderungen der EnEV für Neubauten mit der Haustechnik der Grundvariante nach Tab. 1 gerade eingehalten werden bzw. bei Bürogebäuden (wegen höheren internen Wärmequellen) unterschritten werden können (siehe Kapitel 7.3 *Ergebnisse nach EnEV mit Kommentaren*). In der Spalte „EnEV-Bauteil-Anforderungen Sanierung“ sind die Mindestanforderungen der EnEV nach dem Bauteilverfahren angegeben.

Tab. 2: Gebäudehülle

Grundvariante: EnEV-Variante Neubau	Verbesserte Variante Neubau	EnEV-Bauteil Anforderungen Sanierung (je nach Aufbau)	Verbesserte Variante Sanierung	Beispiele für weitere Ver- besserungs- potentiale
U-Außenwand = 0,3 W/m²K	0,2	0,35 – 0,45	0,3	
U-Dach = 0,3 W/m²K	0,2	0,25 – 0,30	0,2	0,15
U-Boden / AW geg. Erdreich = 0,4 W/m²K	0,3	0,4 – 0,5	0,5	
Keine Randdämmung	wie Grund- variante	-	wie Grund- variante	mit Rand- dämmung
U-Fenster = 1,4 W/m²K	wie Grund- variante	1,7 – 2,0	wie Grund- variante	0,8 (3-WSV)
g-Wert Fenster = 60%	wie Grund- variante	-	wie Grund- variante	65% bei 2- WSV
Wärmebrücken- lösungen nach DIN 4108 Bbl. 2 (d.h. WB- Zuschlag auf alle U-Werte von 0,05 W/m²K)	wie Grund- variante	-	ohne Nach- weis (Zu- schlag von 0,1W/m²K auf alle U-Werte)	explizite WB- Berechnung
Kein Nachweis der Luftdichtigkeit	Mit Nachweis der Luftdichtigkeit	-	Mit Nachweis der Luft- dichtigkeit	-

7.3 Ergebnisse nach EnEV mit Kommentaren

Tab. 3: Anforderungen und Ergebnisse der verbesserten Varianten nach EnEV

	Grenzwerte [W/m²K]		Istwert $H_{T'}$	Unter- schrei- tung	Grenzwert	Istwert	Unter- schrei- tung
	$H_{T'}$, ≤30%FF	$H_{T'}$, >30%FF			PE [kWh/(m³a)]	PE [kWh/(m³a)]	
Energion	(0,97)	1,43	0,50	65%	15,3	10,8	29%
Sporthalle	0,73	(1,05)	0,34	53%	18,2	14,8	19%
KIGA	0,61	(0,84)	0,34	44%	21,7	16,5	24%
Thiepval	0,85	(1,17)	0,46	46%	30,5	19,9	35%

Es gelten jeweils die nicht eingeklammerten Grenzwerte für die spezifischen Transmissionswärmeverluste $H_{T'}$ (auf Grund der Fensterflächenanteile der Gebäude), auf die auch die Unterschreitungen von $H_{T'}$ bezogen ist.

- Die Anforderungen bei Änderungen von Gebäuden (Sanierungen) werden erfüllt, wenn die Anforderungen der EnEV für Neubauten nicht mehr als 40% überschritten werden (s. EnEV §8 Abs. 2). Die Grenzwerte für die Sanierung „Thiepval“ wurden dementsprechend in Tab. 3 bereits um 40% erhöht.
- Bei den Bürogebäuden (Energion und Thiepval) darf laut EnEV als interne Wärmequellen 6 W/m² angesetzt werden (gegenüber 5 W/m² bei sonstigen Gebäuden). Dies führt bei gleichem Baustandard bei den gewählten Beispielen zu einer Unterschreitung der PE-Anforderung um ca. 8% - 12% (bei der gewählten Haustechnik).
- Die Höhe des spezifischen Transmissionswärmeverlust $H_{T'}$ kann bei Gebäuden mit kleinen Fassadenflächen und großem Fensterflächenanteil an den Fassaden relativ groß werden, so dass die Anforderung an den $H_{T'}$ –Wert für Wohngebäude nicht ganz leicht einzuhalten ist (dies ist z.B. der Fall bei Mittelhäusern in Blockbebauung oder Reihenmittelhäusern, die bei großen Gebäudetiefen auf hohe Fensterflächenanteil angewiesen sind).
- Der Wärmebedarf für die Trinkwarmwasserbereitung wurde bei keinem der Gebäude berücksichtigt (entsprechend den Vorgaben der EnEV). Dies ist nach EnEV nur bei Wohngebäude zu berücksichtigen, für die auch andere Primärenergiegrenzwerte gelten.

Zu Tab. 1: Haustechnik:

- Den Tabellenwerte der DIN V 4701-10 für die Haustechnik liegen keine optimierten Planungsdaten (z.B. große Leitungslängen) und Haustechnikkomponenten zugrunde (aus dem unteren Drittel der am Markt verfügbaren Geräte). Bei Verwendung von besseren Komponenten und Berechnung nach dem differenzierten Verfahren der DIN V 4701-10 können niedrigere Primärenergiebedarfswerte berechnet werden.

Zu Tab. 2: Gebäudehülle

- Bei guten Wärmebrückenlösungen können die U-Wert-Zuschläge auf null oder sogar auf negative Werte reduziert werden. Dies muss durch explizite Nachweise für alle Bauteilanschlüsse bzw. Wärmebrücken belegt werden.
- Nicht mit allen Außenwandaufbauten sind U-Werte von 0,2 W/m²K erreichbar (z.B. bei manchen Natursteinfassaden)
- Bei allen Fenstern wurden Verglasungen mit thermisch entkoppeltem Randverbund angenommen.
- Transmissionswärmeverluste durch die Bodenplatte können außer durch einen niedrigen U-Wert der Bodenplatte auch durch eine Randdämmung verringert werden. Dies ist bei Gebäudesanierungen oft die einfachere (oder einzige) Alternative.

Die Tabellen 4 und 5 geben Anhaltswerte für den investiven Mehraufwand, der bei den vorgestellten Beispielen für das Erreichen des verbesserten energetischen Standards notwendig war.

Tab. 4: Zusatzinvestitionen für Energieoptimierung (überschlägig) - Neubau

	Neubau			Beispiele		
	spez. Investitionen [EUR/ (cm*m ² Bauteilfl.)]	Zusatz- Dicke [cm]	Zusatzinvestition (ohne Planung) [EUR/m ² Bauteilfl.]	Zusatzinvestition [EUR]		
				Energion	Sporthalle	KIGA
Außenwand (WDVS)	1,50	7,0	10,50	25.410	6.395	4.228
Dach	1,00	7,0	7,00	9.709	17.948	2.635
Boden & Perimeter	2,00	3,5	7,00	11.501	20.790	3.016
Drucktest				3.000	1.500	1.000
Summe				49.620	46.633	10.879

Tab. 5: Zusatzinvestitionen für Energieoptimierung (überschlägig) - Altbau

	Altbau		Beispiel Thiepval			
	Zusatz-Dicken [cm]		spez. Investitionen [EUR/(cm*m² Bauteilfl.)]		Zusatzinvestition [EUR]	
	von ...	bis	von ...	bis	von ...	bis
Außenwand (WDVS)	2,0	4,5	3,00	6,75	1.221	2.747
Dach	4,5	7,0	4,50	7,00	3.024	4.704
Boden & Perimeter	-2,0	0,0	-4,00	0,00	-2.252	0
Fenster			5,52	5,52	976	976
Drucktest					1.250	1.250
Summe					4.219	9.677

8 Anhang - Trinkwasserbereitung

Nach EnEV ist für keines der aufgeführten Beispielgebäude ein Energiebedarf für Warmwasserbereitung erforderlich. Dies wird nur bei Wohngebäuden gefordert.

Standardwerte für Nutz - Warmwasserbedarf werden z.B. in dem Rechenprogramm EnEV-XL des IWU für einige weitere Nutzungsdaten angegeben. Für zwei Beispielgebäude wurde mit diesen Standardwerten Aufwandszahlen mit der Haustechnik nach Tab. 1 und eine Variante mit direktelektrischen Untertischgeräten (ohne Zirkulation) berechnet. Die Berechnung wurde für verschiedene Zirkulationszeiten nach dem detaillierten Verfahren der DIN V 4701-10 Varianten durchgeführt (bei dem Tabellenverfahren der DIN V 4701-10 wird eine je nach Nutzfläche bestimmte Zirkulationszeit angenommen). Die Leitungslängen und der Dämmstandard der Zirkulationsleitungen wurde entsprechend den Tabellenwerten der DIN V 4701-10 angenommen. Die Ergebnisse sind in Tab. 6 zusammengestellt.

Der Primärenergiebedarf für die WW - Bereitung errechnet sich aus Nutzenergiebedarf mal Aufwandszahl. Die Primärenergetische Bewertung der WW – Bereitung sollte mit objektbezogenen WW - Bedarfswerten und einer Kostenanalyse vorgenommen werden.

Tab. 6: Aufwandszahlen für WW - Bereitung

	KIGA	Sporthalle
Nutz – WW – Bedarf [kWh/m²a]	11,6	6,6
Aufwandszahl bei 1h Zirkulation/d	1,75	1,9
Aufwandszahl bei 10h Zirkulation/d	2	2,2
Aufwandszahl bei 24h Zirkulation/d	2,35	2,7
Aufwandszahl bei direktelektrischen Untertischgeräten	3,38	3,66

- Weitere Optimierungsmöglichkeiten bestehen bei den Leitungslängen und Dämmstandards der Zirkulationsleitungen.

9 Anhang - Tageslichtnutzung und Beleuchtung

9.1 Wesentliche Aspekte für den Energiebedarf

- Ziel: Verringerung des Kunstlichtbedarfes und damit von elektrischem Energieverbrauch bei Steigerung des Arbeits-/Wohnkomforts
- Energieeffiziente Auslegung der Kunstlichtbeleuchtung
- Regelung: Betriebsweise der Beleuchtung nach tatsächlichem Bedarf

9.2 Einflussfaktoren auf die Tageslichtnutzung

- Gute Verteilung des Tageslichtes im Raum: Arbeitsplätze sollten in den Tageslichtzonen angeordnet werden.
- Gestaltung der Fenster: Hohe Fenster ohne Sturz bis unter die Decke beleuchten in der Raumtiefe besser. Fensterflächen unterhalb der Brüstungshöhe leisten keinen Beitrag zur Beleuchtung der Arbeitsplätze, erhöhen aber die thermischen Lasten sowohl im Sommer als auch im Winter. Sichtmöglichkeit nach außen sollte ermöglicht werden.
- Zur Senkung von solare Lasten im Sommer: Beweglicher Sonnenschutz (in Zukunft evt. Einsatz von elektrochromen Gläsern)
- g-Wert und Tau-Wert der Verglasungen möglichst groß wählen ($g \geq 60\%$) (keine Sonnenschutzverglasung)
- Farbgebung im Raum: Helle Oberflächen v. a. an der Decke, Rück- und Seitenwände
- Lichtlenkung für direktes oder diffuses Himmelslicht.
Einfach zu realisieren z.B. über Sonnenschutz – Lamellenjalousien innen (geringerer Sonnenschutz) oder außenliegend (höherer Sonnenschutz aber aufwendiger in Anschaffung und Wartung). Die Lamellen müssen spiegelnd oder mit hellen Farben beschichtet sein.

Zu beachten: Lichtlenkung erhöht nie die insgesamt verfügbare Lichtmenge sondern nur die Verteilung im Raum (i.d.R. in der Raumtiefe mehr zu Lasten der Fensternahen Raumteile)

- Im obersten Geschoss und tiefen Räume Einsatz von Dachverglasungen. Überhitzungsgefahr im Sommer beachten (-> Fenstergrößen verringern / beweglichen Sonnenschutz einplanen)

9.3 Beleuchtung

9.3.1 Planung der Beleuchtungssysteme

Eine energieeffiziente Beleuchtung trägt neben einem reduzierten Beleuchtungsstrom auch zu einer Reduzierung der internen Lasten bei. Das Risiko von Überhitzung bzw. die Leistung einer eventuell erforderlichen Kühlanlage kann damit reduziert werden. Neben dem Energieverbrauch ist bei einer effizienten Beleuchtung selbstverständlich der Sehkomfort mit zu bedenken. Jedes Beleuchtungssystem hat Vor- und Nachteile, die zwischen Planer und Benutzer kommuniziert werden müssen. Für Büro – Arbeitsplätze können folgende Systeme unterschieden werden, einige Vor- und Nachteile sind im LEE grob beschrieben (s. Anhang):

- Direkt strahlende Spiegelrasterleuchten: 10-15 W/m² installierte Leistung
- Indirekt strahlende Spiegelrasterleuchten: 12-20 W/m² installierte Leistung (abhängig vom Reflexionsgrad der Decke)
- 2- Komponenten Beleuchtung: 8-12 W/m² installierte Leistung
- Arbeitsplatz-orientierte Indirektbeleuchtung: 15-20 W/m² installierte Leistung (je nach Raumgröße und Arbeitsplatzdichte).

Die Lampenwirkungsgrade von verschiedenen Lampentypen sind sehr unterschiedlich. Eine Übersicht über Lampenwirkungsgrade findet sich im Anhang.

9.3.2 Vorschaltgeräte

Für Leuchtstofflampen sind Vorschaltgeräte erforderlich. Es werden 3 verschiedene Typen unterschieden:

- Konventionelle Vorschaltgeräte (KVG)

- Verlustarme Vorschaltgeräte (VVG) mit verbessertem Wirkungsgrad gegenüber KVG
- Elektronische Vorschaltgeräte (EVG)

Die EVG sind in der Anschaffung teurer, haben dafür aber eine ganz Reihe von Vorteilen:

- Geringere Verlustleistung gegenüber KVG; 10%-15% erhöhte Lichtausbeute (weg. Hochfrequenzbetrieb)
- Unempfindlicher gegenüber Stromnetzschwankungen, dies muss daher bei der Dimensionierung nicht berücksichtigt werden (Einsparungen bis über 10%).
- Dimmung ist (bei neueren EVG) möglich, tageslicht abhängige Regelung mit Hilfe von Tageslichtsensoren ist möglich (Einsparung bis 50%).
- Beleuchtungsstärke kann mit Hilfe der Dimmung (automatisch) erhöht werden, wenn der Lichtstrom altersbedingt abnimmt. Diese sonst übliche altersbedingte Abnahme der Beleuchtungsstärke muss planerisch nicht im gleichen Maße bei der Dimensionierung berücksichtigt werden (Einsparung bis zu 14%).
- Selbsttätige Abschaltung bei defekten Leuchtstoffröhren (daher keine ständigen Neustartversuche, die unnötig Strom verbrauchen)
- Lampen sind mit EVG schaltfester; die Lebensdauer steigt um 30-50%
- Wegen der Hochfrequenz entfällt Flimmern und Brummen; Phasenkompensation entfällt, da Leistungsfaktor fast bei 1 liegt.

9.3.3 Regelung

Die Vollbetriebszeit der Beleuchtungsanlage hängt zum einen von der Raumnutzung und zum anderen von der Betriebsweise ab. Bei reinen Handschaltungen brennt das Licht oft den ganzen Tag von den Benutzern unbemerkt. Folgende Regelungsvarianten können unterschieden werden (auch kombinierbar):

- Getrennte Schaltung der Leuchten je nach Tageslichtbeleuchtung und Nutzungszeiten an den Arbeitsplätzen / bei Leuchten, die in Reihen angeordnet sind tageslichtabhängige Abschaltung reihenweise ermöglichen
- Automatische Abschaltung bei Personenabwesenheit (z.B. mit Bewegungsmeldern; tote Winkel beachten!) und bei ausreichender Tagelichtbeleuchtung (z.B. mit Photozellen)

- Tageslichtgeregelte Beleuchtungssteuerung, die die Beleuchtungsstärke dem Tageslicht anpasst (sehr komfortabel). Dies ist kontinuierlich oder stufig möglich (Stufenabstände nicht größer als 30% wählen, wg. Adaption des Lichtes an die Augen). Wenn kein Beleuchtungsbedarf besteht, muss die Anlage ganz abschalten (Personenabwesenheit / ausreichende Tageslichtbeleuchtung)!

9.3.4 Strombedarf und Grenzwerte

Die Berechnung kann mit Hilfe der Datenerfassungsblattes „Beleuchtung“ (Excel-Formblatt) im LEE vorgenommen werden. Grenzwerte für verschiedene Nutzungsarten sind in Tabelle 3.5 des LEE angegeben (s. Anhang). Die dort vorgeschlagenen Grenzwerte sind nur sinnvoll unter Zugrundelegung der Standard-Nutzungszeiten und -Beleuchtungsstärken. Für die Berechnung wird ein Tageslichtanteil an der Beleuchtung benötigt, der ebenfalls mit Hilfe des LEE aus dem Tageslichtquotienten berechnet werden kann. Der Tageslichtquotient kann mit Hilfe der DIN 5034 oder einer Tageslichtsoftware ermittelt werden.

9.4 Empfehlungen für Planung und Ausführung

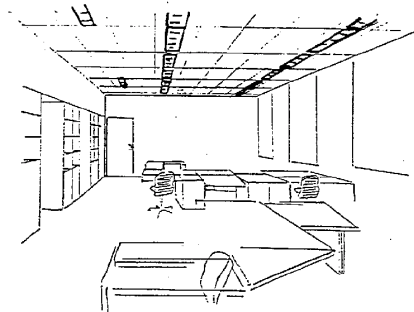
1. Spiegelrasterleuchten, direkt strahlend

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 Abluftführung durch die Leuchte

Einschränkungen / Nachteile:

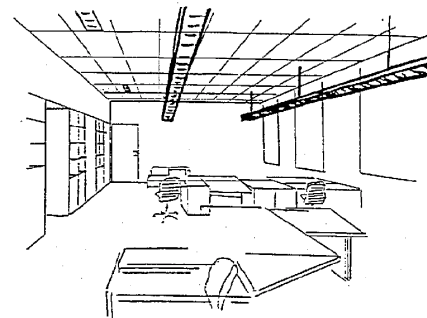
- geringe Beleuchtung vertikaler Flächen und der Decken, dadurch große Helligkeitsunterschiede und unbefriedigende Raumwirkung
- Bei Abluftführung durch die Leuchte ist eine abgehängte Decke erforderlich, so dass Decke als thermisch wirksame Speichermasse entfällt.
- störende Reflexe und Spiegelungen 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 Abluftführung 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

Abb. 1: Verschiedene Beleuchtungssysteme 1. Teil aus „Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau“ (LEE)

3. Zwei-Komponenten-Beleuchtung

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

typische Beleuchtungsdaten:

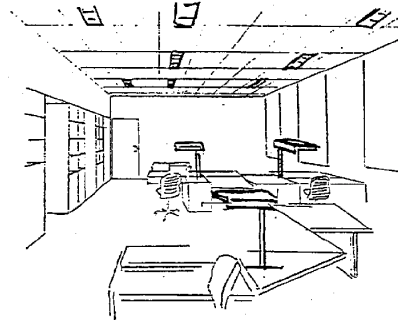
- Allgemeinbeleuchtung 8 - 12 W/m² bei 300 Lux
pro Büro-Arbeitsplatz ca. 25 W
pro Zeichen-Arbeitsplatz ca. 45 W
- Einschaltzeiten der Allgemeinbeleuchtung
fensternah ca. 400 h/a
teilweise fensterorientiert ca. 1000 h/a
Einschaltzeiten der Arbeitsplatzbeleuchtung
fensternah ca. 500 h/a
teilweise fensterorientiert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

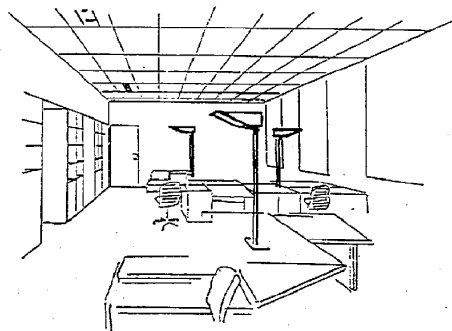


Abb. 2: Verschiedene Beleuchtungssysteme 2. Teil aus „Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau“ (LEE)

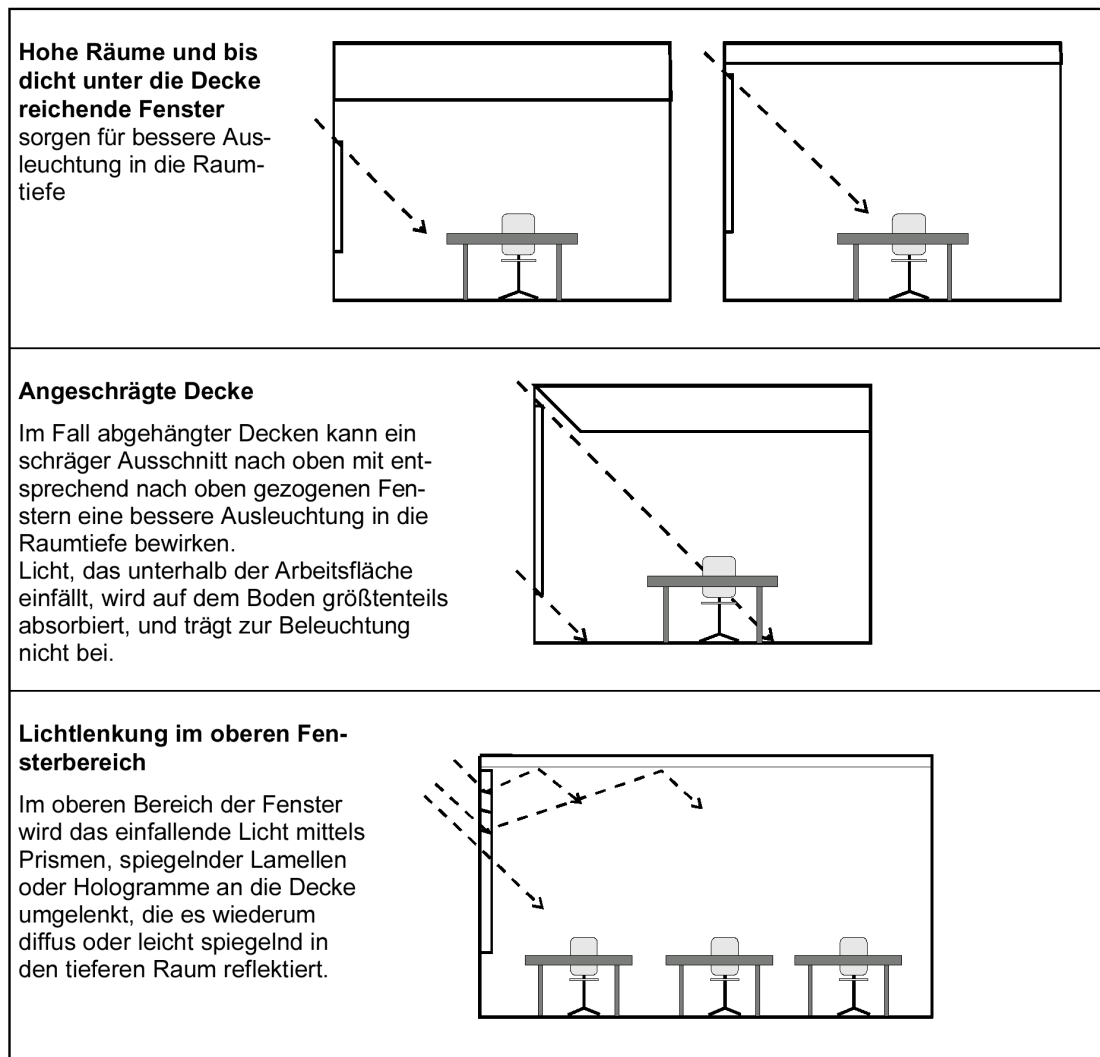


Abb. 3: Verschiedene Beleuchtungssysteme 3. Teil aus „Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau“ (LEE)

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.

Abb. 4: Checkliste zur Tageslichtnutzung aus „Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau“ (LEE)

Tab. 7: Richt- und Grenzwerten für Beleuchtungsstrom aus dem Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau (LEE) (übernommen aus SIA 380/4).

Nutzungsart	Nutzungszeit [h / a]	Nennbeleuchtungsstärke [Lux]	Tageslichtnutzung ^{*)}	Nutzungsfrequenz	Grenzwert g _B [kWh/m²a]	Zielwert z _B [kWh/m²a]
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						
Schulraum	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

Tab. 8: Lampenwirkungsgrade verschiedener Lampentypen 1. Teil aus dem Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau (LEE)

Lampenwirkungsgrade⁸²			
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
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
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 ungediminten Betrieb bei Nennspannung. Bei allen Glühlampen nimmt der Wirkungsgrad sehr stark ab, wenn die Lampe gedimmt wird.

Tab. 9: Lampenwirkungsgrade verschiedener Lampentypen 2. Teil aus dem Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau (LEE)

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.

9.5 Quellen

DIN 5034	Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht
DIN 5035	Beleuchtung mit künstlichem Licht
DIN 5036	Strahlungsphysikalische und lichttechnische Eigenschaften von Materialien
DIN 5040	Leuchten für Beleuchtungszwecke
Schweizer Ingenieur- und Architektenverein	Leitfaden für die Anwendung der Empfehlung SIA 380/4 „Elektrische Energie im Hochbau“ 04/1996
Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten	Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau 07/2000
ASR 7/3	Arbeitsstätten-Richtlinie „Künstliche Beleuchtung“
PRIMERO – Licht	Einfache EDV-Software z.B. zur Bestimmung von Tageslichtkoeffizienten (Fa. ALware, Braunschweig)

10 Anhang - Sommerlicher Wärmeschutz / Kühlung

10.1 Kurzverfahren

Mit dem vereinfachten Verfahren nach E-DIN 4108-2/A1 (2002-02) werden Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz festgelegt. Der erforderliche bauliche sommerliche Mindestwärmeschutz kann mit einem Kurzverfahren näherungsweise (nach Rouvel auf der „sicheren Seite liegend“) festgelegt werden.

10.2 Ergebnisse nach Rouvel et al.

Nach dem Verfahren von Rouvel et al. kann der sommerliche Wärmeschutz differenzierter berechnet werden. In diesem Verfahren werden Übertemperaturstunden $H_{\theta_{\text{Grenz}}}$ mit Hilfe des Monatsbilanzverfahren der DIN EN 832 berechnet. Das Bundesgebiet wird in 3 Sommer – Klimaregionen aufgeteilt (analog zur dem vereinfachten Verfahren nach DIN 4108-2/A1). Heidelberg liegt mit einer monatsmittleren Maximaltemperatur von 19,5 °C (nach DIN 4108-6 gemessen in Mannheim) in der „sommerheißen“ Klimaregion C, in der die zulässige Raumgrenztemperatur bei $\theta_{\text{Grenz}}=27^{\circ}\text{C}$ (nach DIN 4108-2 und Rouvel). Durch den baulichen Wärmeschutz muss sichergestellt werden, dass diese Temperatur ohne Kühlanlage unter Standardnutzungsbedingungen (d.h. interne Wärmequellen von $Q_i=6\text{ W/m}^2$ im 24h-Mittel bei Nicht – Wohngebäuden) nicht häufiger als zu 10% der Aufenthaltszeit überschritten wird, d.h. es muss gelten: $H_{27^{\circ}\text{C}} < 10\%$.

Falls z.B. wegen erhöhter interner Lasten (in Tab. 10 mit $Q_{i,\text{max}}$ bezeichnet) eine aktive Kühlung erforderlich ist, kann darüber hinaus mit dem gleichen Verfahren die erforderliche Raumkühlleistung $P_{\text{Kühl, Rouvel}}$ berechnet werden (sie dient jedoch nicht zur Auslegung der Kälteanlage!). Dabei beträgt die Raumgrenztemperatur $\theta_{\text{Grenz}}=25^{\circ}\text{C}$, weil nach Rouvel in klimatisierten Gebäude eine kleinere Raumgrenztemperatur erwartet wird. Zur Verminderung des Energieverbrauchs der Klimaanlage wird eine maximal zulässige Raumkühlleistung festgelegt $P_{\text{Kühl,max}}$, die nicht überschritten werden darf. Bei zu hohen internen Wärmequellen muss der bauliche

sommerliche Wärmeschutz weiter verbessert werden (z.B. effektiverer Sonnenschutz oder größere Gebäudemassen).

In Tabelle Tab. 10 sind die Ergebnisse für 2 Beispielgebäude zusammengefasst (berechnet mit der Klimazone nach DIN 4108-6 für Heidelberg).

Tab. 10: Ergebnisse sommerlicher Wärmeschutz

Gebäude	Raum	$H_{27^{\circ}\text{C}}$ bei $Q_i=6\text{W/m}^2$	$Q_{i, \max}$ [W/m ²]	$H_{27^{\circ}\text{C}}$ bei $Q_{i, \max}$	$P_{\text{kühl}, \max}$ [W/m ²]	$P_{\text{kühl}, \text{Rouvel}}$ [W/m ²]	Baulicher WS OK? $P_{\text{kühl}, \text{Rouvel}} < P_{\text{kühl}, \max}$?
Energon	Typisches Büro	7,2%	15,6	54,5%	41,6	27,4	Baulich OK! $P_{\text{kühl}, \text{Rouvel}} < P_{\text{kühl}, \max}$!
KIGA	Gruppenraum Süd	5,5%	9,1	4,8% mit erhöhter Nachtlüftung	-	-	Baulich OK! Keine Kühlung erforderlich!

In dem Kindergarten kann die Übertemperaturhäufigkeit bei erhöhten internen Lasten nur unter Voraussetzung einer erhöhten Nachtlüftung unter 10% gehalten werden, sofern er in der Klimaregion C gebaut würde.

10.3 Quellen

nach Rouvel: Zeitschrift Bauphysik Nr. 22 (2000) Heft 2, 3 und 4; Artikel von P. Deutscher, M. Elsberger und L. Rouvel

11 Anhang - Lüftung / Kühlung / Klimatisierung

11.1 Lüftung

11.1.1 Lüftungsarten

freie Lüftung (Fensterlüftung, Schachtlüftung)

mechanische Lüftung: Abluftanlagen

Zu-/Abluftanlagen

Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung

11.1.2 Dimensionierung mechanischer Lüftungsanlagen

Auslegung auf Mindestaußenluftstraten nach DIN / ASR.

Tab. 11: Norm-Volumenstromwerte für einige Raumnutzungsarten. (siehe auch DIN 1946-2, DIN 18017-3, ASR 5), Lampentypen aus dem Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau (LEE)

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

Von den Mindestluftstraten ist eine begründete Abweichung möglich. In jedem Fall ist die Dimensionierung der Luftmengen entsprechend der Nutzungsart und den Nutzungsanforderungen mit dem Auftraggeber zu vereinbaren.

Die Art der Lüftung und ihre Dimensionierung hat Auswirkungen auf Heizwärme-, Kälte- sowie Be- und Entfeuchtungsbedarf. Entsprechender Heizwärmebedarf wird im Rahmen der EnEV-Berechnung in Abhängigkeit von Lüftungsart berücksichtigt. Der Aufwand für Kühlung, Be- und Entfeuchtung ist bei der Klimatisierung zu berücksichtigen.

Das übergeordnete Ziel ist die Minimierung bzw. Begrenzung des Energieaufwands für den Lufttransport¹ durch:

- Eine bedarfsgerechte Dimensionierung der Lüftung
- Sinnvolle Regelung der Luftvolumenströme abhängig vom Bedarf
- Dimensionierung des Kanalnetzes und der luftdurchströmten Komponenten auf geringe Druckverluste
- Auswahl energieeffizienter Ventilatoren

Informativ: Anforderungen des „Gütesiegels Energie der Stadt Stuttgart“:

- Elektromotoren von Ventilatoren mit einem Wirkungsgrad nach Klasse EFF1
- Nur Komponenten mit EUROVENT-Zertifikat
- Grenzwerte für Gesamtwirkungsgrad Luftförderung entsprechend LEE
- Regelung größerer Lüftungsanlagen mit variablem Volumenstrom durch Frequenzumformer
- Grenzwerte für Luftgeschwindigkeiten im Kanalnetz
- Richtwerte für Gesamtdruckverluste des Kanalnetzes in Anlehnung an LEE
- Getrennte Regelung für einzelne Nutzungseinheiten
- Öffnbare Fenster nach ASR vorsehen, die Teilabschaltung (z.B. im Sommer) der Lüftung erlauben

¹

Die Wirksamkeit einer ggf. vorhandenen Wärmerückgewinnung wird im anlagentechnischen Teil des EnEV Nachweises schon adäquat berücksichtigt, von daher werden in diesem Kapitel keine zusätzlichen Anforderungen für Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung formuliert.

11.2 Einflussfaktoren auf Bedarf bzw. Größe von Kühlung / Klimatisierung

11.2.1 Klima / Umgebung

Klimazone / Kühllastzone

Verschattungssituation

11.2.2 Baulich

Wärmedämmung

Fensterqualität (U-, g-Wert)

Sonnenschutz

Speichermassen

11.2.3 Innere Wärmequellen

Beleuchtung: Stichwort: Tageslichtnutzung, Steuerung, Auslegungswerte, effiziente Leuchten

Grenzwerte: SIA / LEE

Geräte, Maschinen: Stichwort: Stromsparkonzept, Abwärmenutzung (z.B. für Warmwasserbereitung), direkte Wärmeabfuhr

Stoffströme:

Belegung, Nutzungszeiten

11.2.4 Lüftung

(Eigentlich wie ein Stoffstrom zu behandeln.)

Lüftungsart

Luftmengen

11.2.5 Anforderungen an Raumklima

Müssen Grenzwerte nach Arbeitsstättenrichtlinie (max. Raumtemperatur 26°C) eingehalten werden?

Sollen bei RLT-Klimaanlagen Grenzwerte nach DIN 1946-2 eingehalten werden (max. 26°C, kurzzeitig 27°C, 30 – 65%r.F, max. 11,5 g/kg)?

Wie genau müssen Maximalwerte eingehalten werden? Vereinbarung über zulässige Anzahl von Jahresstunden mit Überschreitung der Grenzwerte.

11.3 Prüfung der Notwendigkeit von Kühlung / Klimatisierung

Rouvel-Verfahren

Dynamische Gebäudesimulationen

Empfehlung:

Für die Entscheidung über die Notwendigkeit einer Gebäudekühlung sollte standardmäßig das Rouvel-Berechnungsverfahren eingesetzt werden (relativ geringer Mehraufwand in der Planung). Begründung der maximalen Raumtemperatur und Festlegung der Überschreitungshäufigkeit (5% oder 10%) durch Planer.

11.4 Berechnung der Kühllast

11.4.1 Verfahren

- nach VDI-Kühllastregeln VDI 2078 (07/96), Kurzverfahren oder EDV-Verfahren
Kurzverfahren gilt nur unter fest vorgegebenen Randbedingungen (konstante Raumtemperatur, periodische innere und äußere Lasten, eingeschwungener Zustand, 24-stündiger Anlagenbetrieb, konstanter Sonnenschutzfaktor), deshalb nur eingeschränkte Anwendbarkeit und Aussagekraft.
EDV-Verfahren ermöglicht Berechnung mit zeitveränderlichen Werten (z.B. für Temperaturen, Lasten, Sonnenschutz, Betriebszeit usw.) und liefert relativ genau Ergebnisse.
- dynamische Gebäudesimulation

11.5 Technische Lösungen

11.5.1 Klimatisierungssysteme

Zentrale Systeme

- Luftgeführte System: RLT-Klimaanlagen mit zentraler Kälteerzeugung oder Nachtlüftung
- Wasserführende System: z.B. Betonkerntemperierung, Kühldecken u.ä. mit zentraler Kälteerzeugung
- Kombinierte Systeme: z.B. dezentrale Klima-Module oder Umluftkühler, die über wasserführende Systeme mit Kälte oder Wärme versorgt werden und diese an die Zuluft übergeben Kälteerzeugung erfolgt zentral

Dezentrale Systeme

- Umluftkühlung: z.B. Splitgeräte, Klimatruhen

11.5.2 Kälteerzeugung

Natürliche Wärmesenken: freie oder mechanische Nachtlüftung
Erdreich (EWT, Sonden o.ä.)
Außenluft (Rückkühlwerke)

Absorptionskälteanlagen mit Abwärmenutzung, Fernwärme aus KWK, Solarwärme, Geothermie

Kompressionskälteanlagen

Fernkälte

Bei RLT-Anlagen zusätzlich möglich: Adiabate Fortluftkühlung
Wärme(Kälte-)rückgewinnung

11.5.3 Kältetransport

Energetisch relevante Faktoren: Oberfläche der kälteführenden Leitungen
Wärmedämmung der Leitungen
Temperaturdifferenzen (z.B.
Auslegungstemperaturen für Kühlwasser i.d.R.
10/12°C, optimaler 10/16°, BKT z.B. 18°C)

11.5.4 Kälteübergabe

Über Luft

Kühldecken, Kühlsegel

Thermisch aktivierte Bauteile, Fußbodenkühlung

Kühlaggregate im Raum, Kühltruhen, Splitgeräte u.ä.

11.5.5 Befeuchtung

Bestimmte Randbedingungen erfordern neben einer Kühlung oder Heizung eventuell auch noch eine Be- oder Entfeuchtung der Zuluft, z.B.:

- Relativ hohe Außenluftraten in Verbindung mit trockener, kalter Außenluft können zur Unterschreitung einer relativen Raumlufffeuchte von 30% führen und die Befeuchtung der Zuluft notwendig machen.
- Hohe interne Feuchtequellen oder Taupunktunterschreitung an Kühlflächen im Raum können die Entfeuchtung der Zuluft notwendig machen

Da die Be- und Entfeuchtung immer mit Aggregatzustandsänderungen des Wassers verbunden sind, d.h. immer die latente Verdampfungsenthalpie zu- oder abgeführt werden muss, ist sie oft mit hohem Energieeinsatz verbunden. Wichtig zur Begrenzung des Energieaufwands sind daher:

- Festsetzung sinnvoller Mindest- oder Maximalwerte der relativen Raumlufffeuchte (z.B. Befeuchtung nur auf einen Mindestwert von 30% r.F. im Raum)
- Angepasste Regelstrategien
- Einsatz energieeffizienter Systeme

Technische Lösungen zur Befeuchtung:

- Sprühdüsenbefeuchter (adiabat) im RLT-Zentralgerät

- Hybrid-Befeuchter (Kombination aus Zerstäubung und Verdunstung) im RLT-Zentralgerät
- Dampfbefeuchter (isotherm) im RLT-Zentralgerät
- Ultraschall-Zerstäuber im RLT-Zentralgerät
- Direktbefeuchtung (Hochdruck oder Ultraschall) im Raum
- Feuchteübertragung von Abluft auf Zuluft mit Adsorptionsrad

Technische Lösungen zur Entfeuchtung:

- Kühlung der Zuluft unter Taupunkt im RLT-Zentralgerät
- Sorptive Verfahren (Bindung von Luftfeuchte an der Oberfläche von Absorbern)

11.5.6 Kältespeicherung

Kältespeicher (i.d.R. Eisspeicher als Latentspeicher) dienen zur Reduzierung der installierten Kälteleistung und zur Reduzierung der elektrischen Anschlussleistung und können neben wirtschaftlichen Vorteilen auch zu einem effizienteren Betrieb der Kälteaggregate führen.

11.6 Auswahlkriterien

11.6.1 Nach erforderlicher Kühlleistung

Einsatzmöglichkeiten verschiedener Klimatisierungssysteme nach der maximal abführbaren tagesmittleren Kühllast:

Nachlüftung mit frei zugänglichen Speichermassen:	10 – 20 W/m ²
Nur-Luft-Klimaanlagen, Quelläftungssysteme	15 – 20 W/m ²
Betonkerntemperierung	20 – 30 W/m ²
Umluftkonvektoren	40 – 70 W/m ²
Nur-Luft-Klimaanlagen, Deckenauslässe	40 – 70 W/m ²
Kühldecken, Kühlsegel	80 – 100 W/m ²

11.6.2 Nach der möglichen mittleren Leistungszahl

Unter der mittleren Leistungszahl wird das Verhältnis von abgeführter Kühllast zu gesamten Strombedarf (Kälteerzeugung, Transport, Übergabe incl. Hilfsantriebe, Pumpen usw. sowie Antriebsenergie aufgrund der für die Kühlung notwendigen Erhöhung der Luftförderung) verstanden.

Betonkerntemperierung mit Erdsonden oder Rückkühlwerken mit freier Kühlung	Leistungszahl 10 bis 12
RTL-Klimaanlagen mit elektr. Kompressionskältemaschinen	Leistungszahl 2,5 bis 4,0
Umluftkühlung mit Splitgeräten	Leistungszahl 2,5 bis 3,0
Mechanische Nachtlüftung	Leistungszahl 6 bis 30

11.6.3 Empfehlung

Planer sollen den Einsatz energetisch ungünstigerer Systeme begründen (z.B. besondere Nutzungsbedingungen, wirtschaftliche Gesichtspunkte etc.).

Bei RLT-Klimaanlagen sollte die Auslegung auf Mindestaußenluftraten nach DIN / ASR erfolgen. Falls die Kühllast höher ist, als mit der Mindestluftrate abgeführt werden kann, sollte die Klimatisierung vorrangig mit wasserführenden Kühlsystemen ergänzt werden.

11.7 Empfehlungen für Planung und Ausführung

A1 Checkliste zur Anwendung der Empfehlung SIA 380/4 zu Handen des Gesamtleiters/Architekten

1. Vorstudie

- | | |
|-------------------------|---|
| 1.1 Zielsetzung | <p>Es wird ein Plichtenheft «Energie» mit kontrollierbaren Zielsetzungen bezüglich Energie und Wirtschaftlichkeit als wichtigste Elemente erstellt. Es enthält:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Objektdaten ■ Angaben über die Zonen, Nutzungsstunden und Nutzungsbedingungen ■ Angaben über die vorgesehenen Betriebseinrichtungen und Betriebsanforderungen ■ Zielsetzungen bezüglich Energieverbrauch, Umweltbelastung und Wirtschaftlichkeit ■ Angaben über die Optimierungskriterien |
| 1.2 Organisation | <ul style="list-style-type: none"> ■ Projektorganisation festlegen ■ Fachplaner bestimmen ■ Energiebeauftragten bezeichnen ■ Zuständigkeit für Erfolgskontrolle und Betriebsoptimierung festlegen |
| 1.3 Elektrizitätsbedarf | <ul style="list-style-type: none"> ■ Elektrizitätsbedarf, Stand Vorstudie, in standardisierter Darstellung ermitteln |

2. Vorprojekt

- | | |
|---------------------------------------|---|
| 2.1 Betriebseinrichtungen überprüfen | <p>Betriebseinrichtungen mit dem Bauherrn überprüfen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Realistische Annahmen für Leistung und Betriebszeit treffen ■ Geräte in speziellen, eventuell klimatisierten Zonen konzentrieren ■ Festlegung der internen Wärmelasten pro Zone |
| 2.2 Bauliche Voraussetzungen schaffen | <p>Bauliche Voraussetzungen für rationelle Energienutzung in der Haustechnik schaffen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Anteil der Arbeitsplätze in der Tageslichtzone angeben ■ Liste der Massnahmen zur Tageslichtnutzung erstellen (Fenstergrösse, -höhe, Raumtiefe, Helligkeit) ■ Liste der Massnahmen zur Reduktion der sommerlichen Raumtemperaturen erstellen (Sonnenschutz, thermische Masse, Anordnung der Räume und Raumtiefe, Anordnung der Betriebseinrichtungen) ■ Zonen mit natürlicher Lüftung, Zonen mit Lüftungsanlagen (<i>belüftete Fläche</i>) und Zonen mit Klimaanlage (<i>klimatisierte Fläche</i>) ausscheiden ■ Kanalführung mit minimalem Druckverlust ermöglichen |

Abb. 6: Checkliste 1. Teil aus "Leitfaden für die Anwendung der Empfehlung SIA 380/4, Elektrische Energie im Hoachbau"

2.3 Systemwahl Haustechnik	- Systemwahl Beleuchtung treffen - Systemwahl Lüftung/Klima (Wärmeabfuhr mit Wasser oder mit Luft) treffen - Systemoptimierung durchführen
2.4 Elektrizitätsbedarf	- Elektrizitätsbedarf, Stand Vorprojekt, in standardisierter Darstellung ermitteln - Zielsetzung Messkonzept ausarbeiten
3. Projekt	
3.1 Optimierung der Beleuchtung	Steuerung und Regelung wählen
3.2 Optimierung Luftförderung	Luftmenge, Druckverlust, Motor- und Ventilatorwirkungsgrade, bedarfsabhängige Regelungen bestimmen
3.3 Optimierung der Kühlung	- Vor- und Rücklauftemperaturen, Leitungsführung und Betriebsart der Kälteverteilung optimieren - Kältemaschine mit ihrer Betriebsart, z.B. Speicherbetrieb und Freecooling, optimieren
3.4 Elektrizitätsbedarf	- Elektrizitätsbedarf, Stand Projekt, in standardisierter Darstellung ermitteln - Messkonzept erstellen, Kontrollwerte festlegen und aufgrund der Elektrizitätsbilanz überprüfen
4. Ausführungsprojekt und Ausführung	
4.1 Ausschreibung und Vergabe	- Garantiewerte Energie in der Ausschreibung festlegen - Beim Antrag für Vergabe der Anlagen die späteren Energiekosten berücksichtigen
4.2 Ausführungsprojekt	- Liste mit Massnahmen für die Bedarfsanpassung erstellen - Liste mit Massnahmen bei Nutzungsänderungen erstellen - Liste mit Massnahmen gegen mögliche Betriebsfehler erstellen - Liste mit Massnahmen für Betriebsoptimierung erstellen - Konzept Betriebsoptimierung mit Zielsetzung (quantifiziert) und Auswerteraster (Tabellen, Übersichtsdiagramme, Detailauswertungen) erstellen
4.3 Elektrizitätsbedarf	Eventuell Elektrizitätsbedarf, Stand Ausführung, in standardisierter Darstellung ermitteln
5. Betriebsoptimierung und Erfolgskontrolle	
5.1 Betriebsoptimierung	Betriebsverhalten mit den Zielvorgaben des Betriebsoptimierungskonzeptes vergleichen, und Optimierungspotentiale identifizieren
5.2 Erfolgskontrolle	- Elektrizitätsbedarf, Stand Erfolgskontrolle, in standardisierter Darstellung ermitteln - Nachweis erbringen, dass Projektvorgaben eingehalten wurden, bzw. Abweichungen begründen

Abb. 7: Checkliste 2. Teil aus "Leitfaden für die Anwendung der Empfehlung SIA 380/4, Elektrische Energie im Hochbau"

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-Paragraphen die jeweilige Einzelleistung fällt. In Fällen, wo der Wortlaut des Leitfadens wesentlich von dem der HOAI abweicht, wurde die HOAI-Formulierung angegeben.

Abb. 8: Besondere Planungsleistungen nach HOAI, Auszug 1. Teil aus Leitfaden elektrische Energie im Hochbau (LEE)

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.

Abb. 9: Besondere Planungsleistungen nach HOAI, Auszug 2. Teil aus Leitfaden elektrische Energie im Hochbau (LEE)

Tab. 2.1 Einordnung der Leistungspunkte des energetischen Optimierungsverfahrens in den HOAI-Leistungskatalog

	Grundleistungen	Besondere Leistungen
Leistungsbereich I	1. Grundlagenermittlung	
	• Energetische Zielsetzungen und Nutzungsanforderungen formulieren (§73) • Entscheidungshilfen für die Auswahl der an der Planung Beteiligten formulieren (§15)	• Bestandsaufnahme (§15) • Systemanalyse u. Optimierung für energiesparendes Bauen (§73) • Prüfen der Umweltverträglichkeit (§15)
Leistungsbereich II	2. Vorplanung	
	• 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)	• 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	
	Feinoptimierung • 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) Systemwahl • (§73: Festlegen aller Systeme u. Anlagenteile. • Fertig stellen des Gebäudekonzeptes)	Optimierungszyklen • 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) Erarbeiten eines Messkonzeptes zur Kontrolle des Energieverbrauchs (freie Vereinbarung)
Leistungsbereich IV	4. Genehmigungsplanung	
	5. Ausführungsplanung	
Leistungsbereich IV	Planung eines Messkonzeptes zur Kontrolle des Energieverbrauchs (freie Vereinbarung)	
	6/7. Ausschreibung / Vergabe	
Leistungsbereich IV	8. Objektüberwachung	
	9. Objektbetreuung	
Leistungsbereich IV	• Planung u. Organisation der Energieverbrauchskontrolle (freie Vereinbarung) • Überwachen der Verbrauchswerte innerhalb der Gewährleistungsfrist (freie Vereinbarung)	

Abb. 10: Besondere Planungsleistungen nach HOAI, Auszug 3. Teil aus Leitfaden elektrische Energie im Hochbau (LEE)

11.8 Quellen

Amt für Umweltschutz der Stadt Stuttgart:

Gütesiegel Energie der Stadt Stuttgart (Entwurf) 10/2002

Schweizer Ingenieur- und Architektenverein Leitfaden für die Anwendung der
Empfehlung SIA 380/4 „Elektrische Energie im Hochbau“
04/1996

Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten

Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau 07/2000

Recknagel, Sprenger, Schramek Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 2003

Verschiedene Fachartikel zum Thema Lüftung und Klimatechnik aus den Jahren
1998 - 2002

12 Anhang - Effizienzwerte

Für die einzelnen Anlagensysteme Lüftung, Gebäudekühlung und Luftbefeuchtung werden die zu erbringenden Dienstleistungen mit einem entsprechenden Auslegungswert beschrieben:

- Für die Lüftung die über das Jahr geförderte Luftmenge
- Für die Gebäudekühlung die über das Jahr abgeführte Wärmemenge
- Für die Luftbefeuchtung die über das Jahr zugeführte Wassermenge

Die objektspezifischen Werte ergeben sich aus der Dimensionierung der Anlagen in Abhängigkeit von den vereinbarten Nutzungsanforderungen und Betriebszeiten.

Für jede Dienstleistung ist vom Planer der zugehörige energetische Aufwand als Jahresenergiebedarf zu ermitteln. Bei der Lüftung handelt es sich um elektrische Energie, bei der Kühlung und bei der Befeuchtung können auch andere Energieformen zum Einsatz kommen, so dass sich als Bezugs- und Vergleichgröße der Primärenergiebedarf anbietet.

Das Verhältnis von Jahresenergieaufwand zur erbrachten Dienstleistung stellt eine Aufwandszahl dar, für die Richt- bzw. Grenz- und Zielwerte festgelegt werden können:

- Für die Lüftung die Aufwandszahl Lüftung (mittlere, volumenstromspezifische, elektrische Leistungsaufnahme), oder anders ausgedrückt: mittlerer Energiebedarf je ausgetauschtem m^3
- Für die Gebäudekühlung Aufwandszahl Kühlung
- Für die Luftbefeuchtung Aufwandszahl Befeuchtung

Die Aufwandszahl charakterisiert die energetische Qualität der technischen Anlage.

Mit dem Verhältnis aus Jahresenergieaufwand zur Bezugsfläche kann ein flächenspezifischer Energiekennwert berechnet werden, mit dem ein Vergleich von Gebäuden ähnlicher Nutzungsart möglich ist.

12.1 Lüftung

Für die volumenstromspezifische elektrische Leistungsaufnahme $P_{\text{spez,el}}$ können Grenz- und Zielwerte in Abhängigkeit des Anlagentyps festgelegt werden.

Von Vorteil ist, dass sie weitgehend unabhängig vom Volumenstrombereich sind, weil typischerweise Anlagen mit hohen Volumenströmen längere und aufwendigere Kanalnetze mit höheren Druckverlusten haben, dies jedoch durch die besseren Wirkungsgrade der großen Ventilatoren kompensiert wird.

Somit können die bisher von ebök vertretenen Werte auf die Anlagenklassen nach LEE übertragen werden. Führt man die Tabellen mit Richtwerten für Ventilatoren-Wirkungsgrade und Kanalnetz-Druckverluste aus dem LEE zusammen, ergibt sich eine weitgehende Übereinstimmung (siehe Anlage).

$P_{\text{spez,el}}$ ist sowohl in der Planung als auch an der ausgeführten Anlage relativ einfach zu ermitteln. Dieser Wert muss im Rahmen des EnEV-Nachweises ohnehin ermittelt werden (siehe DIN V 4701-10 Gleichung 5.2.3-4, dort bezeichnet als $P_{\text{el,vent}}$)

Der Wert berechnet sich:

- $P_{\text{spez,el}} = P_{\text{ges,el}} / V'_{\text{ges}}$ (elektr. Leistungsaufnahme / Volumenstrom)
- $P_{\text{spez,el}} = \Delta p / \eta_{\text{ges}}$ (externer Druckerhöhung / externer Wirkungsgrad Ventilator)

Der Wert wird beeinflusst durch:

- Druckverlust Kanalnetz und Einbauten
- interner Druckverlust des Lüftungsgerätes
- hydraulischer Wirkungsgrad Ventilator
- Antriebswirkungsgrad
- Wirkungsgrad Elektromotor
- Insofern charakterisiert der Kennwert die energetische Qualität der technischen Anlage.

Als gewichteter Wert $P_{\text{spez,el,mitt}}$ über verschiedene Betriebspunkte und Betriebszeiten einer Anlage berechnet er sich zu

$$\Sigma (P_{\text{el,L,i}} * h_{\text{L,i}}) / \Sigma (V'_{\text{L,i}} * h_{\text{L,i}})$$

Für die verschiedenen Betriebspunkte i sind jeweils der Volumenstrom $V'_{\text{L,i}}$, die elektrische Leistungsaufnahme $P_{\text{el,L,i}}$ und die Jahresbetriebsstunden $h_{\text{L,i}}$ zu ermitteln.

Für die Berechnung des Energiekennwerts Lüftung (auf die belüftete Grundfläche bezogener Jahresstrombedarf für Lüftung in kWh/(m²a)) werden folgende Planungswerte benötigt:

- belüftete Fläche A_{L}
- Jahresstrombedarf E_{L}

Der Jahresstrombedarf E_L berechnet sich aus $\sum (P_{el,L,i} \cdot h_{L,i})$. Hier wird über alle Betriebspunkte aller Anlagen eines Gebäudes aufsummiert.

Für die Berechnung des Kennwerts wird der absolute Jahresenergiebedarf durch die belüftete Fläche geteilt:

- $e_L = E_L / A_L$

Der Volumenstrom entspricht bei der Lüftung vereinfacht der zu erbringenden Dienstleistung. Er ist je nach Erfordernissen mit dem Nutzer / Bauauftraggeber zu vereinbaren und ist von der Art der Nutzung und von den Nutzeranforderungen abhängig. Er kann sich an den Werten nach DIN oder Arbeitsstättenrichtlinien orientieren, im Einzelfall aber auch darüber oder darunter liegen. Im Nachweisverfahren sollten die Auslegungs-Luftmengen und die Betriebszeiten begründet werden.

Tab. 12: Effizienzkriterien nach LEE und ebök

			Werte nach LEE						Vorschlag ebök	
			Druckverlust		Ventilator- Wirkungsgrad		spez., elektr. Leistungsaufnahme		spez., elektr. Leistungsaufnahme	
	Anlagen- klasse	Volumen- strombereich	Grenzwert [Pa]	Zielwert [Pa]	Grenzwert	Zielwert	Grenzwert [Wh/m³]	Zielwert [Wh/m³]	Grenzwert [Wh/m³]	Zielwert [Wh/m³]
Abluft	1	bis 100	250	150	0,25	0,30	0,28	0,14	0,25	0,13
		bis 300	250	150	0,30	0,40	0,23	0,10		
		bis 1000	300	200	0,50	0,55	0,17	0,10		
		bis 5000	400	300	0,55	0,60	0,20	0,14		
		ab 10000	400	300	0,60	0,65	0,19	0,13		
Zu- / Abluft	2	bis 1000	600	400	0,50	0,55	0,33	0,20	0,40	0,20
		bis 5000	800	600	0,55	0,60	0,40	0,28		
		ab 10000	800	600	0,60	0,65	0,37	0,26		
Zu- / Abluft mit WRG	3	bis 100	500	300	0,25	0,30	0,56	0,28	0,50	0,25
		bis 300	500	300	0,30	0,40	0,46	0,21		
		bis 1000	700	450	0,50	0,55	0,39	0,23		
		bis 5000	1000	600	0,55	0,60	0,51	0,28		
		ab 10000	1000	600	0,60	0,65	0,46	0,26		

Tab. 13: Datenerfassungsblatt Lüftung

[illegible]

Tab. 14: Planungsbeispiel Lüftung: Kindergarten

Datenerfassungs-Blatt elektrische Energie					Lüftung					Blatt Nr. 1	
Objekt: Beispiel Kindergarten										von 1	
Projekt-Nr. / Zeichen:											
bearbeitet von:											
Datum:											
Kurzbeschreibung der Anlage:					Abluftanlage, Luftabsaugung in Gruppen, Sanitär- und Nebenräumen, Überströmung über Flure, Außenluftnachströmung in Gruppenräume u.ä. manuelle Regelung über Stufenschalter Auslegung Volumenstrom: 15 m³/h je Person, Sanitärbereiche 5-facher Luftwechsel, Grundlüftung 0,3-facher Luftwechsel Regel-Betriebszeit 7.00 bis 17.00 Uhr, 10 Tage mit Abend-Veranstaltungen im Mehrzweckraum Jahresbetriebszeit: 1970 Stunden						
Nr. Anlage	belüftete Fläche A _l [m²]	Betriebspunkt	Volumenstrom V _l [m³/h]	elektr. Leistungsaufnahme P _{ell} [W]	spez. elektr. Leistungsaufnahme P _{spez,el} [W/m³]	Betriebsstunden je Betriebsstag	Betriebsstage je Jahr	geforderte Lüftmenge V _l [m³/a]	Jahres-Energiebedarf E _{el} [kWh/a]		
1 Abluftanlage Gruppenraum	160	Nennlüftung	780	160	0,21	8	195	1.216.800	250		
		Grundlüftung	140	15	0,11	2	195	54.600	6		
2 Abluftanlage Gruppenraum	160	Nennlüftung	780	160	0,21	8	195	1.216.800	250		
		Grundlüftung	140	15	0,11	2	195	54.600	6		
3 Abluftanlage Mehrzweckraum	75	Stufe 3 (Veranstaltungen)	500	100	0,20	2	10	10.000	2		
		Stufe 2	250	40	0,16	8	195	390.000	62		
		Grundlüftung	80	10	0,13	2	195	31.200	4		
4 Abluftanlage Sanitärbereich	110	Nennlüftung	220	55	0,25	10	195	429.000	107		
Summen:	505							3.403.000	686		
Berechnung der mittleren, volumenstromspezifischen, elektrischen Leistungsaufnahme P _{spez,el,mitt} :					Jahres-Energiebedarf ΣE_{el} [kWh/a]	*	Umwandlung kWh in Wh 1000	/	geforderte Lüftmenge ΣV_L [m³/a]	=	P _{spez,el,mitt} [W/m³]
					686	*	1000	/	3.403.000	=	0,20
Berechnung des flächenspezifischen Jahresenergiebedarfs e _{el} :					Jahres-Energiebedarf ΣE_{el} [kWh/a]	/	belüftete Fläche ΣA_L [m²]	=	e _{el} [kWh/(m² a)]		
					686	/	505	=	1,36		
Umwandlung in Primärenergie-Kennwert:					[kWh/(m² a)]	1,36	*	Strom 3,0	=	[kWh _{PE} /(m² a)]	4,1

Tab. 15: Planungsbeispiel Lüftung: Bürogebäude mit Kantine

Datenerfassungs-Blatt elektrische Energie										Lüftung		Blatt Nr. 1 von 1	
Objekt: Projekt-Nr. / Zeichen: bearbeitet von:		Beispiel Bürogebäude mit Kantine											
Datum:													
Kurzbeschreibung der Anlage:		Zu-/Abluftanlage mit WRG, getrennte Zuluft und Abluftzentrale, Wärmerückgewinnung mit Kreislaufverbundsystem (KVS) automatische Regelung über Zeitprogramm und Bedarfsschalter in Sonderräumen (Besprechung u.ä.) Auslegung Volumenstrom: 20 m³/h je Person, Sanitärbereiche 5-facher Luftwechsel, Grundlüftung 0,3-facher Luftwechsel separater Abluftventilator für Küche Grundlüftung auch außerhalb von Nutzungszeit Strombedarf für KVS-Pumpe bei Zuluft berücksichtigt											
Nr.	Anlage	belüftete Fläche A _L [m²]	Betriebspunkt	Volumenstrom V _L [m³/h]	elektr. Leistungsaufnahme P _{el,L} [W]	spez. elektr. Leistungsaufnahme P _{spez,el} [Wh/m³]	Betriebsstunden je Betriebstag [h/d]	Betriebstage je Jahr [d/a]	geforderte Luftmenge V _L [m³/a]	Jahres-Energiebedarf E _L [kWh/a]			
1	Zuluftzentrale	5962	Grundlüftung	4.340	766	0.18	15	250	16.275.000	2873			
			Grundlüftung	4.340	766	0.18	24	115	11.978.400	2114			
			Nennlüftung	14.260	4277	0.30	6	250	21.390.000	6416			
			Maximal (incl. Küche)	25.200	12397	0.49	3	250	18.900.000	9298			
2	Abluftzentrale		Grundlüftung	4.340	110	0.03	15	250	bei Zuluft berücksichtigt	413			
			Grundlüftung	4.340	110	0.03	24	115	bei Zuluft berücksichtigt	304			
			Nennlüftung	14.260	1900	0.13	6	250	bei Zuluft berücksichtigt	2850			
			Maximal	15.800	2400	0.15	3	250	bei Zuluft berücksichtigt	1800			
3	Abluftventilator Küche			9.400	4000	0.43	3	250	bei Zuluft berücksichtigt	3000			
Summen:		5962							68.543.400	29066			
Berechnung der mittleren, volumenstromspezifischen, elektrischen Leistungsaufnahme P _{spez,el,mitt} :		Jahres-Energiebedarf Σ E _L [kWh/a]	29.066	Umrechnung kWh in Wh 1000 [Wh/kWh]	geforderte Luftmenge Σ V _L [m³/a]	=	P _{spez,el,mitt} [Wh/m³]						
				*	68.543.400	=	0.42						
Berechnung des flächenspezifischen Jahresenergiebedarfs e _L :		Jahres-Energiebedarf Σ E _L [kWh/a]	29.066	belüftete Fläche Σ A _L [m²]	=	e _L [kWh/(m² a)]	4.88						
				*	Strom 3.0	=	14.6						
Umrechnung in Primärenergie-Kennwert:		[kWh/(m² a)]	4.88										

Datenerfassungsblätter.xls, Lüftung Bsp. Büro 1, 21.03.2003

Datenerfassungsblaetter.xls, Lüftung Bsp. Büro 2, 25.03.2003

Umrechnung in Primärenergie-Kennwert

12.2 Kühlung

Vergleichbar zur volumenstromspezifischen, elektrischen Leistungsaufnahme bei der Lüftung können bei der Gebäudekühlung Grenz- und Zielwerte für die Aufwandszahl Kühlung in Abhängigkeit der Anlagenart definiert werden.

In der Literatur finden sich i.d.R. Leistungszahlen für die Kälteerzeugung. Sie stellen das Verhältnis von Kälteleistung zu Erzeugerleistung dar. Je nach System kann die Leistungszahl sehr unterschiedlich sein. Derzeit können für unterschiedliche Systeme nur grobe Bereiche möglicher Leistungszahlen angegeben werden.

Bei der Aufwandszahl handelt es sich um den Kehrwert der Leistungszahl. Ähnlich wie die volumenspezifische, elektrische Aufnahmeleistung $P_{\text{spez,el}}$ bei der Lüftung charakterisiert die Aufwandszahl a_K die energetische Qualität der technischen Anlage.

Als gewichteter Wert $\eta_{K,\text{mitt}}$ über verschiedene Anlagen und Betriebspunkte berechnet er sich als $\Sigma Q_{K,i} / \Sigma E_{K,i}$ bzw. $\Sigma Q_{K,i} / \Sigma E_{K,i,PE}$

Dazu ist für jeden Anlagenteil und für mehrere, repräsentative Betriebspunkte jeweils die abgeführte Wärmeleistung $Q'_{K,i}$, die elektrische Leistungsaufnahme $P_{\text{el},K,i}$, eventuell die Leistung anderer, bei der Kälteerzeugung beteiligter Energieträger und die zugehörigen Jahresbetriebsstunden $h_{K,i}$ zu ermitteln.

Bei der Berechnung des Jahresenergieaufwands für die Kühlung müssen neben der eigentlichen Kälteerzeugung auch alle Hilfsantriebe berücksichtigt werden. Bei Kühlung mit Raumluftechnischen Anlagen ist der zusätzliche Transportaufwand gegenüber einer reinen Lüftung mit zu berücksichtigen. In der Regel müssen mehrere, repräsentative Betriebspunkte entsprechend unterschiedlicher Lastzustände berücksichtigt und mit der entsprechenden Betriebszeit gewichtet werden.

Die abgeführte Wärmemenge entspricht bei der Gebäudekühlung vereinfacht der zu erbringenden Dienstleistung.

Sie hängt neben den Nutzungsanforderungen an die maximale Raumtemperatur auch von den internen Wärmelasten und von den baulichen Maßnahmen zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung ab.

Im Nachweisverfahren sollten getroffene Maßnahmen zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung benannt werden (z.B. Sonnenschutz, Reduzierung interner Lasten etc.).

Die Berechnung der abgeführten Wärmemenge sollte mit einem anerkannten Rechenverfahren erfolgen, z.B. durch Gebäudesimulation, Berechnung nach VDI 2067 Blatt 21, Berechnung nach Rouvel-Verfahren.

Für die Berechnung des Energiekennwerts Kühlung (auf die gekühlte Grundfläche bezogener Jahresenergiebedarf für Kühlung in kWh/(m²a)) werden folgende Planungswerte benötigt:

- gekühlte Fläche A_K
- Jahresenergiebedarf E_K bzw. der Primärenergiebedarf $E_{K,PE}$ aller Aggregate der Anlage zur Gebäudekühlung

Für die Berechnung des Kennwerts wird der absolute Jahresenergiebedarf durch die gekühlte Fläche geteilt:

- $e_K = E_K / A_K$ bzw. $e_{K,PE} = E_{K,PE} / A_K$

Der Energiekennwert Kühlung entspricht zunächst einem Strombedarf. Da auch Kälteerzeugungssystem berücksichtigt werden sollten, die mit anderen Energieträgern arbeiten (z.B. Adsorptionskälteanlagen mit Fernwärme oder gasbetriebene Kompressionskältemaschinen), sollten die Kennwerte für eine vergleichende Bewertung auf Primärenergie umgerechnet werden.

Oft ist die Nutzung von überschüssiger Wärme an anderer Stelle besonders energieeffizient. Wird die bei der Gebäudekühlung anfallende Wärme an anderer Stelle genutzt (Abwärmenutzung), kann in der beschriebenen Systematik eine Gutschrift für die dabei eingesparte Energie erfolgen.

Tab. 17: Datenerfassungsblatt Kühlung

Datenerfassungs-Blatt Energie										Kühlung		Blatt Nr. 1 von 1	
Objekt: Projekt-Nr. / Zeichen: bearbeitet von: Datum: Kurzbeschreibung der Anlage:													
Nr.	Anlage	gekühlte Fläche A_K [m ²]	Betriebspunkt	abgeführte Wärme- menge Q_K [kWh/a]	elektr. Leistungs- aufnahme $P_{el,K}$ [kW]	Jahres- Betriebs- stunden h_K [h/a]	Energieeinsatz andere Energieträger	Leistungszahl Kühlung	Jahres- Energie- bedarf E_K [kWh/a]	Energieart	Primär- energie- faktor [kWh _{PE} /kWh]	Primär- energiebedarf $E_{K,PE}$ [kWh _{PE} /a]	
Summen:													
Berechnung der mittleren Leistungszahl Kühlung $\eta_{K,mitt}$, bezogen auf Primärenergieeinsatz:												$\frac{\text{Primär-energiebedarf } \Sigma E_{K,PE} \text{ [kWh}_{PE}/a]}{\text{abgeführte Wärmemenge } \Sigma Q_K \text{ [kWh/a]}} = \frac{\eta_{K,mitt}}{\text{[kWh}_{PE}/kWh]}$	
Berechnung des flächenspezifischen Jahres-Primärenergiebedarfs $e_{L,PE}$:												$\frac{\text{Primär-energiebedarf } \Sigma E_{K,PE} \text{ [kWh}_{PE}/a]}{\text{gekühlte Fläche } \Sigma A_K \text{ [m}^2\text{]}} = \frac{e_{L,PE}}{\text{[kWh}_{PE}/(m^2 \cdot a) \text{]}}$	

Tab. 18: Planungsbeispiel Kühlung: Bürogebäude

Datenfassungs-Blatt Energie				Kühlung				Blatt Nr. 1 von 1			
Objekt: Projekt-Nr. / Zeichen: bearbeitet von: Datum:				Beispiel Bürogebäude							
Kurzbeschreibung der Anlage:				Kühlung des Gebäudes über Betonkerntemperierung (wasserdurchflössene Register in Betondecken) frei zugängliche Decken in Büro- und Besprechungsräumen Vorlauftemperaturen 18 - 20°C Wärmesenke über Erdsonden abgeführte Wärmemenge berechnet mit Simulation							
Nr. Anlage	gekühlte Fläche A_K [m²]	Betriebspunkt	abgeführte Wärmemenge Q_K [kWh/a]	elektr. Leistungsaufnahme $P_{el,K}$ [kW]	Jahresbetriebsstunden t_K [h/a]	Energieeinsatz andere Energieträger [kWh/a]	Leistungszahl Kühlung [-]	Jahresenergiebedarf E_K [kWh/a]	Energieart	Primärenergiefaktor $[kWh_{PE}/kWh]$	Primärenergiebedarf $E_{K,PE}$ [kWh _{PE} /a]
Betonkerntemperierung (BKT) mit Erdsonden	5962		114.000								
Pumpe BKT				3.84	1489			5.718 Strom			3.0
Pumpe Kühldecken				0.10	750			75 Strom			3.0
Pumpe Erdsonden 1				3.74	1070			4.002 Strom			3.0
Pumpe Erdsonden 2				2.00	513			1.026 Strom			3.0
Summen:	5962		114.000				10,5	10.821			32.462
Berechnung der mittleren Aufwandszahl Kühlung $a_{K,mitt}$ bezogen auf Primärenergieeinsatz:				Primär-energiebedarf $\Sigma E_{K,PE}$ [kWh _{PE} /a] / ΣQ_K [kWh/a] = $a_{K,mitt}$ [kWh _{PE} /kWh]							
				32.462 / 114.000 = 0,28							
Berechnung des flächenspezifischen Jahres-Primärenergiebedarfs $e_{L,PE}$:				Primär-energiebedarf $\Sigma E_{K,PE}$ [kWh _{PE} /a] / gekühlte Fläche ΣA_K [m²] = $e_{L,PE}$ [kWh _{PE} /(m² a)]							
				32.462 / 5.962 = 5,4							
Bemerkungen:				Primärenergiefaktor Strom nach DIN 4701 Teil 10							

Bemerkungen:

Primärenergiefaktor Strom nach DIN 4701 Teil 10

Datenfassungsblaetter.xls, Kühlung Bsp. Büro 1, 25.03.2003

12.3 Befeuchtung

Vergleichbar zur volumenstromspezifischen, elektrischen Leistungsaufnahme bei der Lüftung können bei der Luftbefeuchtung Grenz- und Zielwerte für die Aufwandszahl der Befeuchtung in Abhängigkeit der Anlagenart definiert werden.

Grenz- bzw. Zielwert für die Aufwandszahl Befeuchtung sind in der Literatur nicht zu finden.

Ähnlich wie die volumenspezifische, elektrische Aufnahmeleistung $P_{\text{spez,el}}$ bei der Lüftung charakterisiert die Aufwandszahl a_B die energetische Qualität der technischen Anlage.

Als gewichteter Wert $a_{B,\text{mitt}}$ über verschiedene Anlagen und Betriebspunkte berechnet er sich als $\Sigma m_{W,B,i} / \Sigma E_{B,i}$ bzw. $\Sigma m_{W,B,i} / \Sigma E_{B,PE}$

Dazu ist gegebenenfalls für jeden Anlagenteil jeweils die zugeführte Wassermenge $m_{W,B}$, die elektrische Leistungsaufnahme $P_{\text{el,B,i}}$, eventuell die Leistung $P_{\text{sons,B,i}}$ anderer, bei der Befeuchtung beteiligter Energieträger und die zugehörigen Jahresbetriebsstunden $h_{B,i}$ zu ermitteln.

Bei adiabater Befeuchtung ist die nachträgliche Erwärmung der Luft auf die Lufttemperatur vor der Befeuchtung zu berücksichtigen.

Die zugeführte Wassermenge entspricht bei der Luftbefeuchtung vereinfacht der zu erbringenden Dienstleistung.

Sie hängt im Wesentlichen von den Nutzungsanforderungen an die Raumluftfeuchte ab.

Im Nachweisverfahren sollten die Vereinbarungen zur Raumluftbefeuchtung begründet werden.

Für die Berechnung des Energiekennwerts Befeuchtung (auf die befeuchtete Grundfläche bezogener Jahresenergiebedarf für Befeuchtung in kWh/(m²a)) werden folgende Planungswerte benötigt:

- befeuchtete Fläche A_B
- Jahresenergiebedarf E_B bzw. der Primärenergiebedarf $E_{B,PE}$ aller Aggregate der Anlage zur Befeuchtung

Für die Berechnung des Kennwerts wird der absolute Jahresenergiebedarf durch die gekühlte Fläche geteilt:

- $e_B = E_B / A_B$ bzw. $e_{B,PE} = E_{B,PE} / A_B$

Datenerfassungsblaetter.xls, Befeuchtung, 25.03.2003

[illegible]

Tab. 20: Planungsbeispiel Befeuchtung Bürogebäude 1

Datenerfassungs-Blatt Energie										Befeuchtung			Blatt Nr. 1 von 1	
Objekt: Beispiel Bürogebäude Projekt-Nr. / Zeichen: bearbeitet von: Datum:														
Kurzbeschreibung der Anlage: adiabate Befeuchtung der Zuluft mit Hybridbefeuchter Auslegung auf Mindestraumluftfeuchte von 30‰r. F. mittlerer Zuluftvolumenstrom über die Betriebszeit der Befeuchtung beträgt 8018 m³/h Als Zusatzenergie zur Nacherwärmung der befeuchteten Zuluft wird Nahwärme verwendet														
Nr.	Anlage	befeuch- tete Fläche A _B [m²]	Betriebspunkt	Stoffaufwand Wasser Befeuchtung m _{W/B} [kg/a]	elektr. Leistungs- aufnahme P _{el,B} [kW]	Leistung sonstige Energien P _{sonst,B} [kW]	Jahres- Betriebs- stunden h _B [h/a]	Aufwandszahl Befeuchtung [-]	Jahres- Energie- bedarf E _B [kWh/a]	Energieart	Primär- energie- faktor [kWh _{PE} /kWh]	Primär- energiebedarf E _{B,PE} [kWh _{PE} /a]		
	Zuluftbefeuchtung	5962		35.633										
	Druckpumpe Befeuchtung				1,5		3248		4.872	Strom	3,0	14.616		
	Sonstiges (Regelung, Wasseraufbereitung ...)								830	Strom	3,0	2.490		
	Nacherwärmung								26.071	Fernwärme	1,02	26.592		
Summen:				5962	35.633				31.773			43.698		
Berechnung der mittleren Aufwandszahl Befeuchtung a _{B, mitt, PE} bezogen auf Primärenergieeinsatz:														
				Primär- energiebedarf Σ E _{B, PE} [kWh _{PE} /a]	/	Stoffaufwand Befeuchtung Σ m _{W/B} [kg/a]	=		a _{B, mitt, PE} [kWh _{PE} /kg]					
				43.698	/	35.633	=		1,23					
Berechnung des flächenspezifischen Jahres-Primärenergiebedarfs e _{B, PE} :														
				Primär- energiebedarf Σ E _{B, PE} [kWh _{PE} /a]	/	befeuchtete Fläche Σ A _B [m²]	=		e _{B, PE} [kWh _{PE} /(m² a)]					
				43.698	/	5962	=		7,3					

Datenerfassungsblaetter.xls, Befeuchtung Bsp. Büro 1, 21.03.2003

Tab. 21: Planungsbeispiel Befeuchtung Bürogebäude 2

Datenfassungs-Blatt Energie				Befeuchtung				Blatt Nr. 1 von 1			
Objekt: Projekt-Nr. / Zeichen: bearbeitet von: Datum:				Beispiel Bürogebäude							
Kurzbeschreibung der Anlage:				adiabate Befeuchtung der Zuluft mit Kontaktbefeuchter Auslegung auf Mindestraumluftfeuchte von 45% r.F. mittlerer Zuluftvolumenstrom über die Betriebszeit der Befeuchtung beträgt 8018 m³/h Als Zusatzenergie zur Nachwärmmung der befeuchteten Zuluft wird Wärme aus einem Gasbrennwertkessel verwendet							
Nr. Anlage	befeuch- teile Fläche A _B [m²]	Betriebspunkt	Stoffaufwand Wasser aufnahme m _{w,B} [kg/a]	elekt. Leistungs- aufnahme P _{el,B} [kW]	Leistung sonstige Energien P _{sonst,B} [kW]	Jahres- Betriebs- stunden h _B [h/a]	Aufwandszahl Befeuchtung [-]	Jahres- Energie- bedarf E _B [kWh/a]	Energieart	Primär- energie- faktor [kWh _{PE} /kWh]	Primär- energiebedarf E _{B,PE} [kWh _{PE} /a]
Zuluftbefeuchtung	1520		38.120			2440					
Pumpe Befeuchtung				0.15				366	Strom		1.098
Sonstiges (Regelung etc.)				0.02		8760		175	Strom		526
Nachwärmmung								31.676	Gas	1.1	34.846
Summen:	1520		38.120					32.217			36.467
Berechnung der mittleren Aufwandszahl Befeuchtung a _{B,mitt,PE} bezogen auf Primärenergieeinsatz:											
						Primär- energiebedarf Σ E _{B,PE} [kWh _{PE} /a]	/	Stoffaufwand Befeuchtung Σ m _{w,B} [kg/a]	=	a _{B,mitt,PE} [kWh _{PE} /kg]	
						36.467	/	38.120	=	0,96	
Berechnung des flächenspezifischen Jahres-Primärenergiebedarfs e _{B,PE} :											
						Primär- energiebedarf Σ E _{B,PE} [kWh _{PE} /a]	/	befeuchtete Fläche Σ A _B [m²]	=	e _{B,PE} [kWh _{PE} /(m² a)]	
						36.467	/	1520	=	24,0	
Bemerkungen:											
Primärenergiefaktor Strom nach DIN 4701 Teil 10, Primärenergiefaktor Fernwärme berechnet nach örtlichen Gegebenheiten											

Bemerkungen:

Primärenergiefaktor Strom nach DIN 4701 Teil 10, Primärenergiefaktor Fernwärme berechnet nach örtlichen Gegebenheiten

Datenfassungsblätter.xls, Befeuchtung Bsp. Büro 2, 26.03.2003