

Stromsparkonzept Heidelberg Bahnstadt

Sektor Labore



Stromsparkonzept Heidelberg Bahnstadt

Sektor Labore

Erstellt: Juli 2011

Ergänzt und aktualisiert: Juli 2017

im Auftrag von: Stadt Heidelberg,
Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie

Projektleitung: Dipl.-Phys. Ursula Rath

Inhaltliche Bearbeitung: Dipl.-Phys. Rosemarie Hellmann (ebök)
Dipl.-Phys. Ursula Rath (CONSISTE)
Prof. Gernot Brose (ebök)
Dipl.-Phys. Matthias Laidig (ebök)
Dipl.-Phys. Joachim Zeller

Konzeptionelle Begleitung: Stadt Heidelberg, Umweltamt
M.Sc. Fabian Nagel
Dipl.-Ing. (FH) Robert Persch
Dipl.-Phys. Ralf Bermich

Inhaltsverzeichnis

Ziele im Neubaugebiet Bahnstadt	6
1 Kosteneinsparungen durch Optimierung – Laborgebäude –	7
Laborgebäude	9
2 Stromverbrauch von Laborgebäuden	9
3 Allgemeinstrom	9
4 Aufzüge	9
5 Umwälzpumpen	10
6 Lüftung und Klimatisierung	10
6.1 Lüftung	10
6.2 Klimatisierung	11
6.3 Kennwerte Lüftung und Klimatisierung	12
7 Beleuchtung	12
7.1 Allgemeinbeleuchtung	12
7.2 Beleuchtung am Arbeitsplatz	16
7.3 Kennwerte Beleuchtung	16
8 Informations- und Kommunikationstechnik	17
8.1 Rechenzentren und Serverräume	17
8.2 Informations- und Kommunikationstechnik dezentral	18
8.3 Kennwerte Informations- und Kommunikationstechnik	19
9 Kühl- und Gefriergeräte	20
9.1 Kennwerte Großgeräte	20
10 „Best-Practice“-Beispiel	21
11 Übersicht Kennwerte	22
12 Zusammenfassung und Empfehlungen	23
Literaturverzeichnis	26

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Kennwerte des spezifischen Energieverbrauchs von Laborgebäuden [Jülich 2008]	7
Abb. 2	Prognose des Energieverbrauchs nach der Sanierung (Quelle: ebök nach [Jülich 2008])	8
Abb. 3	Lüftungszentrale ENERGON (Quelle: ebök)	8
Abb. 4	Verteilung des Stromverbrauchs am Arbeitsplatz auf die typischerweise vorkommenden Geräte [PC-Arbeitsplatz]	18
Abb. 5	Checkliste zur Tageslichtnutzung aus „Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau“ [LEE 2000]	24
Abb. 6	„Checkliste Haushaltsgeräte im Büro – Das können Sie tun“	25

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Empfehlung für die spezifische elektrische Ventilatorleistung von Lüftungsgeräten	12
Tab. 2	Empfehlung für den Wärmebereitstellungsgrad von Lüftungsgeräten mit Luft-Luft-Wärmeübertrager	12
Tab. 3	Empfehlung für die Arbeitszahl von Kältemaschinen nach [SIA 380/4]	12
Tab. 4	Kenndaten verschiedener Leuchtmittel [Allgemeinstrom 09; leds], (eigene Recherche)	13
Tab. 5	Betriebskostenvergleich zwischen Leuchtstoffröhren und LED (eigene Berechnungen)	14
Tab. 6	Erforderliche Beleuchtungsstärke bei verschiedenen Sehaufgaben [DIN EN 12464-1]	15
Tab. 7	Kennwert nach [LEE 2000] und Angaben der Lampenhersteller	17
Tab. 8	Vergleich des Strombedarfs von Geräten der Informationstechnik (Herstellerangaben; Stiftung Warentest)	19
Tab. 9	Anforderungen an die Leistung von Geräten der Unterhaltungselektronik nach EuP-Richtlinie	20
Tab. 10	Neue Effizienzklassen als Entscheidungskriterium für den Kauf von Haushaltsgroßgeräten	20

Ziele im Neubaugebiet Bahnstadt

Für das Baugebiet Bahnstadt ist der Passivhausstandard verbindlich und flächendeckend eingeführt worden. Um eine möglichst niedrige Primärenergiekennzahl und damit geringe CO₂-Emission zu erreichen, soll zudem der Stromeinsatz den technischen Möglichkeiten entsprechend minimiert werden. Daher werden, soweit dies technisch sinnvoll darstellbar ist, im Folgenden diesbezügliche Mindestanforderungen aufgestellt, die bei der Qualitätssicherung durch die Stadt Heidelberg überprüfbar sind.

Die Anforderungen werden für die Bereiche

- Büro,
- Wohnen,
- Einzelhandel/Fachmarkt und
- Labore

konkretisiert und dargestellt. Für die genannten Bereiche werden nur die jeweils hierfür relevanten Aussagen als separate Informationsblätter für die entsprechenden Adressatengruppen aufgeführt.

Wo dies sinnvoll möglich ist, werden Zielwerte für die spezifisch pro Quadratmeter zu installierende Leistung oder andere Kennwerte genannt, nach denen ein Gebäude Anforderungen nach einem effizienten Betrieb erfüllen kann. Dies gilt z. B. für die Beleuchtung und teilweise auch Lüftung und Klimatisierung. Wenig sinnvoll hingegen ist dies beispielsweise für Aufzüge oder für Haushaltsgeräte in Teeküchen von Bürogebäuden sowie in Haushalten. Hier gibt es andere Effizienzkriterien, die dann in den entsprechenden Kapiteln benannt und erläutert sind.

Haupt-Kriterium zur Erreichung des Passivhausstandards für Wohn- und Nichtwohngebäude ist die Einhaltung des Primärenergiekennwerts von 95 kWh/m²a. Dieser Kennwert darf in der Gesamtbilanz für Wärme und Strom nicht überschritten werden. Die Gesamtbilanz für Wohngebäude umfasst die Energieanwendungen für die Haustechnik mit Hilfsstrom und den Haushaltsstrom, die Gesamtbilanz für Nichtwohngebäude alle nutzungsbedingten Energieanwendungen für Heizung, Lüftung, Kühlung, Trinkwarmwasser, Hilfsstrom und nutzungsbedingte elektrische Anwendungen wie Beleuchtung, Arbeitshilfen und Küchen in Nichtwohngebäuden. Je besser die energetische Qualität der Gebäudehülle, desto bedeutender wird das Stromkonzept für die Gesamtbilanz.

Die Ausstattung von Gebäuden mit effizienten Geräten senkt nicht nur direkt den Anteil des Stromverbrauchs an der Gesamtbilanz eines Gebäudes. Sie bedeutet ebenso einen Beitrag zum sommerlichen Wärmeschutz durch die Begrenzung interner Wärmelasten.

Dieses Stromsparkonzept ist eine Anleitung dafür, mit welchen Komponenten inklusive ihrer jeweiligen Nutzung der Primärenergiekennwert für Passivhausgebäude erreicht werden kann.

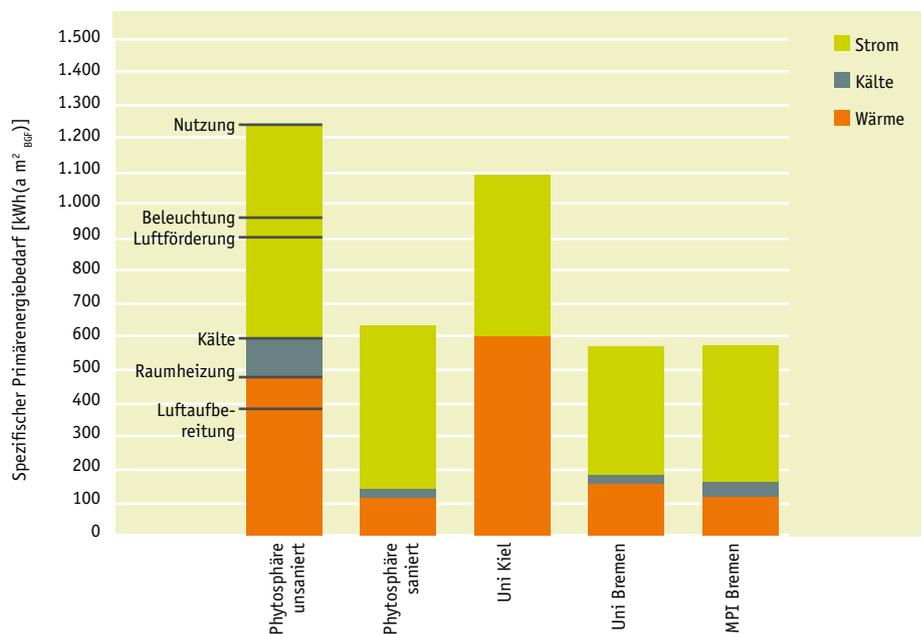
Es wird eine möglichst einfache Darstellung von Effizienzkriterien gewählt, z. B. durch die Formulierung übergeordneter Kennwerte für einzelne Stromanwendungen.

Für die verschiedenen Nutzungsbereiche werden „Best Practice“-Beispiele vorgestellt.

1 Kosteneinsparung durch Optimierung – Laborgebäude –

Forschungslabore gehören selbst unter den meist energieintensiven Gebäuden für Bildungseinrichtungen zu den Großverbrauchern, nicht zuletzt wegen des hohen Energiebedarfs der Lüftung. Die nachfolgende Grafik veranschaulicht diese Tatsache am Primärenergiebedarf einiger vergleichbarer Gebäude.

Abb. 1 Kennwerte des spezifischen Energieverbrauchs von Laborgebäuden [Jülich 2008]

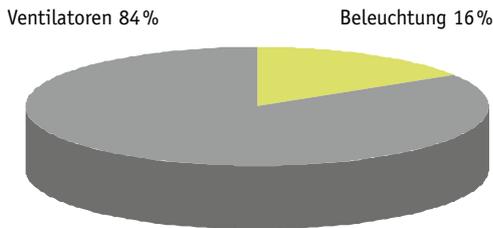


Es handelt sich hier um Gebäude, die einen Labor- und einen Bürobereich besitzen.

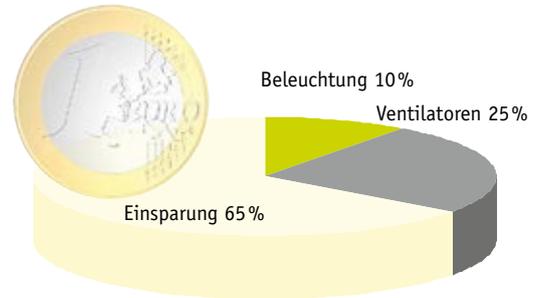
Eine Optimierung hinsichtlich des Stromverbrauchs und der inneren Wärmelasten (Kühlung/ Klimatisierung) kann nur mit Hilfe eines Bauplanungsprozesses erreicht werden, der mit den Methoden der integralen Planung ein energieeffizientes Gebäudekonzept entwickelt. Damit eröffnen sich für Investoren und Bauherren attraktive Chancen für eine nachhaltige und kostengünstige Objektbewirtschaftung.

Abb. 2 Prognose des Energieverbrauchs nach der Sanierung (Quelle: ebök nach [Jülich 2008])

Ausgewählte Bedarfswerte vor Sanierung



nach Sanierung



Forschungsinstitut mit Laborbereich

Annahme: identische Gerätenutzung in den Laboren und Büros vor und nach der Sanierung

Der effiziente Einsatz von Strom erfordert die Bereitschaft zu wirtschaftlichen Investitionen in moderne, effiziente Technik.

Abb. 3 Lüftungszentrale ENERGON (Quelle: ebök)



Zum Beispiel Lüftungsanlagen:

Lüftungsanlagen verursachen in den Gebäuden einer Universität etwa 30 bis 50 Prozent des Stromverbrauchs. Es zeigt sich ein Zielkonflikt zwischen den vorgeschriebenen Sicherheitsstandards in Laboren und der Minimierung des Energieverbrauchs. Die Vorschriften erfordern stromintensive, aufwändige Belüftungen, die dem Gedanken des Klimaschutzes entgegenstehen.

Einer Optimierung der Volumenströme kommt damit höchste Bedeutung zu. Durch bedarfsgerechte Volumenstromanpassung sind deutliche Energieeinsparungen möglich. Eine Luftvolumenstromabsenkung verringert nicht nur die Luftförderung, sondern auch die thermische Luftkonditionierung. Bedingt durch die hohen Außenluftwechsel in Laborräumen wird außerdem der Heizenergiebedarf in diesen Gebäuden maßgeblich durch die Lufterwärmung verursacht. Durch Wärmerückgewinnungsanlagen kann ein Teil der Wärme aus der Abluft zur Vorwärmung der Außenluft eingesetzt werden.

Laborgebäude

Im Folgenden werden Anforderungen an die Energieeffizienz von Stromverbrauchern im Bereich „Laborgebäude“ formuliert. Für Informationen zu nutzungsübergreifenden Themen wie z. B. zu Allgemiestrom, Aufzüge oder Umwälzpumpen wird auf die entsprechenden Querschnittskapitel im Gesamtbericht verwiesen.

2 Stromverbrauch von Laborgebäuden

Laborgebäude besitzen eine Sondernutzung, die insbesondere im Bereich der Lüftung und Klimatisierung speziellen Anforderungen genügen müssen. Ihr hoher Energiebedarf liegt insbesondere am hohen Bedarf der Lüftung und dem Stromverbrauch durch Geräte und Beleuchtung. Die Ausstattung und der Einsatzzweck von Laborgebäuden ist vielfältig, die Bandbreite für spezifische Energiebedarfswerte raumluftechnischer Anlagen deshalb groß.

3 Allgemiestrom

Auch in Laborgebäuden gibt es eine Reihe von Allgemiestromverbrauchern, wie z. B. Überwachungsanlagen für sicherheitstechnische Belange oder zum Brandschutz, Beleuchtung auf allgemein zugänglichen Verkehrswegen, gegebenenfalls Druckerhöhungsanlagen für die Wasserversorgung, technische Anlagen in einer Tiefgarage etc. Wesentliche Einsparungen können durch eine effiziente Beleuchtung der Verkehrswege sowie durch sparsame Netzteile z. B. für Überwachungseinrichtungen, Klingelanlage und ähnliches erreicht werden.

Nähere Informationen hierzu finden sich im Querschnittskapitel „Allgemiestrom“ im Gesamtbericht.

4 Aufzüge

Aufzugsanlagen sind in allen neu erstellten größeren Baukörpern enthalten. Der Stromverbrauch der bestehenden Anlagen liegt insgesamt bei schätzungsweise 0,5 Prozent des Gesamtstromverbrauchs Deutschlands [nach Nipkow 06]. Interessant ist, dass er sich durch technische Optimierungen um etwa 40 Prozent verringern ließe. Dies gilt für vorhandene Aufzüge, bei Neuanlagen kann sofort optimiert geplant werden.

Wesentliche Sparpotenziale können realisiert werden, wenn im Objekt ein Aufzug angemessener Größe mit optimiertem Gegengewicht, ggf. mit Rückgewinnung der Energie bei Fahrten ohne Last, installiert wird und wenn zudem auf eine effiziente Beleuchtungsanlage sowie auf niedrige Stand-by-Verluste geachtet wird. Letzteres lässt sich durch eine sparsame Regeltechnik realisieren sowie durch technische Lösungen, die zum Geschlossen-Halten der Türen keine Energie benötigen.

Für Aufzüge gibt es ein Label, welches an das von Haushaltsgroßgeräten bekannte EU-Label angelehnt ist. Es unterstützt die Auswahl eines Aufzugs mit niedrigem Verbrauch, wenn Label-Klasse A oder B als Ausschreibungskriterium aufgeführt wird.

Weitere Informationen finden sich im Querschnittskapitel „Aufzüge“ im Gesamtbericht.

5 Umwälzpumpen

In Gebäuden in Passivhausbauweise kommen Umwälzpumpen vorrangig zur Bauteiltemperierung, ggf. für Erdreichwärmetauscher sowie für Kollektoranlagen vor, u.U. auch für die Warmwasserzirkulation.

Wesentlich für einen niedrigen Stromverbrauch in diesem Segment ist ein optimiertes Gesamtsystem, die Pumpe als einzelner Baustein hat allerdings wesentlichen Anteil am Verbrauch. Seit einigen Jahren sind Hocheffizienz-Pumpen am Markt erhältlich, die aufgrund ihrer Bauart (Permanentmagnetmotoren) mit Drehzahlregelung sehr viel weniger Strom für die gleiche Menge an Medientransport benötigen als heute üblicherweise vorhandene Pumpen. Neue Pumpen müssen einen Energieeffizienzindex (EEI) von mindestens 0,23 aufweisen, besser 0,20 oder sogar darunter. Der EEI ist ein Maß dafür, wie viel Stromeinsatz für wie viel Heizungswassertransport notwendig ist – je niedriger der EEI, desto besser. Wiederum empfiehlt es sich, eine effiziente Pumpe zu wählen, obwohl sie teurer als das vergleichbare konventionelle Modell ist. Die Stromkostensparnis macht dies bereits nach wenigen Jahren wett.

Auch durch eine verbesserte Regeltechnik kann der Pumpenstromverbrauch erheblich verringert werden. Detailinformationen finden sich im Querschnittskapitel „Umwälzpumpen“ im Gesamtbericht.

6 Lüftung und Klimatisierung

6.1 Lüftung

Raumlufttechnische Anlagen in Laboratorien müssen verschiedene Aufgaben erfüllen [DIN 1946-7], [RELAB]:

- im Labor freigesetzte Gefahrstoffe soweit abführen und verdünnen, dass eine Gesundheitsgefährdung über die Atemluft vermieden wird (Abfuhr von Stofflasten),
- den Luftwechselbedarf des Raums und den Abluft- und Zuluftbedarf von Laboreinrichtungen und Geräten räumlich und zeitlich sicherstellen,
- die geforderte Raumluftqualität und raumklimatischen Bedingungen sicherstellen.

Durch die Berücksichtigung von Gefahrstoffen und Luftbedarf für Laborabzüge, Digestorien und weitere Erfassungseinrichtungen sowie Dauerabsaugstellen (z. B. Chemikalienschränke) erhöht sich der Auslegungs-Luftwechsel in Laboratorien gegenüber Büronutzung. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass der Zuluftstrom geringer ist als die Summe der Abluftströme. Dies führt dazu, dass Luft aus angrenzenden Räumen in den Laborbereich strömt, und nicht umgekehrt kontaminierte Luft aus dem Laborbereich in Nachbarräume [RELAB].

In der Praxis werden Labore mit unterschiedlichsten Ausstattungen, unterschiedlich großer Dichte an Abzügen und für vielfältige Einsatzzwecke genutzt. Die Bandbreite für spezifische Energiebedarfswerte raumlufttechnischer Anlagen ist deshalb groß. Somit können auch keine allgemein anzustrebenden Ziel- und Grenzwerte formuliert werden. Z. B. reduziert ein Anlagenbetrieb mit der Möglichkeit eines abgesenkten Volumenstroms in der Nebenbetriebszeit den Verbrauch. Andererseits kann es sein, dass Abzüge dauerhaft betrieben werden müssen [Jülich 2008].

Planungsgrundlage für die Auslegung von RLT-Anlagen in Laboratorien ist nach [DIN 1946-7] ein Abluftvolumenstrom von mindestens $25 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ bezogen auf die Labornutzfläche. Außerdem müssen die Mindestvolumenströme der installierten Laborabzüge und anderer Erfassungseinrichtungen berücksichtigt werden.

Der Abluftvolumenstrom nach [DIN 1946-7] darf nutzungsspezifisch niedriger gewählt werden, wenn eine entsprechende Gefährdungsbeurteilung vorliegt. Allerdings muss eine solche Absenkung des Abluftstroms bzw. Nutzungseinschränkung dokumentiert und deutlich sichtbar am Laboreingang gekennzeichnet sein.

Auf dieser Basis kann außerhalb der Betriebszeiten der Volumenstrom reduziert werden. Während der Nebenbetriebszeiten, wenn keine Personen im Labor anwesend sind, können die Mindestaußenluftstraten erfahrungsgemäß um 60 bis 80 Prozent reduziert werden [Jülich 2008]. Bei der Regelung der Volumenströme muss jedoch unterschieden werden zwischen Versorgungsbereichen mit variablen Volumenströmen und Versorgungsbereichen, die eine konstante durchgängige Be- und Entlüftung erfordern (Speziallabore, Chemikalienlager, Lösemittelschränke).

Durch eine bedarfsgerechte Volumenstromanpassung sind deutliche Energieeinsparungen möglich. Nach [Jülich 2008] entfallen 30 bis 50 Prozent des Primärenergiebedarfs bzw. der Energiekosten von Laboren auf die Luftförderung durch Ventilatoren. Einer Optimierung der Volumenströme kommt damit höchste Bedeutung zu. Eine Luftvolumenstromabsenkung verringert nicht nur die Luftförderung, sondern auch die thermische Luftkonditionierung.

Bedingt durch die hohen Außenluftwechsel in Laborräumen (aus Gründen des Gesundheits- und Arbeitsschutzes) wird der Heizenergiebedarf in diesen Gebäuden maßgeblich durch die Luftherwärmung verursacht. Durch Wärmerückgewinnungsanlagen (WRG) kann ein Teil der Wärme aus der Abluft zur Vorwärmung der Außenluft eingesetzt werden.

Die [VDI 2071] klassifiziert Wärmerückgewinnungsanlagen hinsichtlich der Übertragbarkeit von Schad- und Geruchsstoffen. Für Laboratorien kommen demnach Systeme der Klasse C in Frage, in denen auch bei Betriebsstörungen oder Defekten keine Schadstoffübertragung möglich ist. Dies sind kreislaufverbundene Systeme, d. h. die Wärmeübertragung erfolgt über ein Zwischenmedium. Ein weiterer Vorteil von kreislaufverbundenen WRG-Anlagen besteht darin, dass Zu- und Abluftgerät räumlich entkoppelt werden können, was konstruktiven Spielraum lässt.

Bei Campus-Laboren ist während ihrer Nutzungsdauer in Abhängigkeit von wechselnden Forschungsprojekten mit Nutzungsänderungen zu rechnen. Um für spätere Forschungsvorhaben bei den notwendigen Luftwechselraten nicht eingeschränkt zu sein bzw. bei Änderung der Anforderungen an den Volumenstrom unnötig hohe Ventilatoren-Stromverbräuche zu vermeiden, sollte bei der Planung von Lüftungskanälen in Absprache mit dem Bauherrn eine gewisse Toleranz für eine spätere potenzielle Nutzung – soweit einschätzbar – berücksichtigt werden.

6.2 Klimatisierung

Für eine Klimatisierung von Laborräumen, die wegen innerer Wärmelasten durch die vorhandenen Geräte notwendig ist, kann durch Außenluftkühler eine freie Kühlung bei geeigneten Außentemperaturen realisiert werden. Ebenso eignen sich Nachtkühlung und Kühldeckensysteme mit Wasser [Jülich 2008].

Werden an einzelne Laborräume spezielle und temporäre Raumtemperaturanforderungen gestellt, z. B. an Messräume, ist dezentralen Systemen der Vorzug zu geben. Die Systemwahl ist von den erforderlichen Temperatur- und Feuchteparametern abhängig.

Kühlgeräte z. B. zur Lagerung von Proben besitzen hohe Nutzungszeiten. Hier lassen sich Betriebskosten durch die Wahl effizienter Kühltruhen bzw. -schränke reduzieren.

6.3 Kennwerte Lüftung und Klimatisierung

In der Sektorbroschüre Büro werden Anforderungen an Lüftungsanlagen definiert. Daraus folgt die Empfehlung, dass in der Bahnstadt Heidelberg für Lüftungsanlagen in Bürogebäuden eine spezifische Ventilatorleistung nach Kategorie SFP 2 oder besser gewählt werden sollte. Dies entspricht einer spezifischen elektrischen Ventilatorleistung von 0,14 W/(m³/h) bis 0,21 W/(m³/h) pro Ventilator. Das lässt sich auch auf Laborgebäude übertragen.

Tab. 1 Empfehlung für die spezifische elektrische Ventilatorleistung von Lüftungsgeräten

Spezifische elektrische Ventilatorleistung
0,28 W/(m ³ /h) bis 0,42 W/(m ³ /h) pro Zu-Abluftgerät (zwei Ventilatoren)

Für Anlagen mit Wärmeübertrager sollte bei der oben empfohlenen spezifischen elektrischen Leistungsaufnahme für das Gesamtgebäude ein Wärmebereitstellungsgrad von mindestens 75 Prozent erreicht werden, die Energiekonzeption Heidelberg 2010 fordert 80 Prozent. Bei Anlagen mit Kreislaufverbundsystem sollte ein Wärmebereitstellungsgrad von 65 Prozent nicht unterschritten werden. Energetisch sinnvoll ist eine Massenstromregelung im Wasserkreislauf mit der höhere Werte erreicht werden können.

Tab. 2 Empfehlung für den Wärmebereitstellungsgrad von Lüftungsgeräten mit Luft-Luft-Wärmeübertrager

Wärmebereitstellungsgrad
80 % oder besser

Die SIA 380/4 setzt für die Berechnung des Zielwerts für Systemanforderungen eine Leistungs-/Arbeitszahl für Kältemaschinen von 3,5 an.

Tab. 3 Empfehlung für die Arbeitszahl von Kältemaschinen nach [SIA 380/4]

Arbeitszahl für Kältemaschinen – sofern notwendig –
3,5 und besser

7 Beleuchtung

7.1 Allgemeinbeleuchtung

Für Büros und gewerbliche Flächen sind schon seit vielen Jahren Leuchtstofflampen übliche Lichtquellen. Durch die Optimierung der Lichtfarben sowie die zahlreichen in den letzten Jahren entwickelten Bauformen hat sich das Anwendungsfeld für Energiesparlampen respektive Kompaktleuchtstofflampen sehr verbreitert. In den letzten Jahren ist eine große Zahl verschiedener LED (Light Emitting Diode) hinzugekommen, ein Leuchtmittel auf Halbleiterbasis, das aufgrund seines Funktionsprinzips besonders langlebig ist. Ein Maß für die Effizienz verschiedener Leuchtmittel ist der Lichtstrom pro Watt eingesetzter Leistung – die Lichtausbeute. Wichtige Kenndaten für die Auswahl von Leuchtmitteln sind in der nachfolgenden Tabelle für verschiedene Lampen dargestellt.

Die Angaben in der Tabelle beziehen sich auf im Jahr 2015 marktgängige Modelle; einzelne LED-Lampen sind bereits mit 100 bis 120 lm/W erhältlich. Im Labor sind bereits LED mit 250 lm/W und mehr gemessen worden, diese werden in kurzer Zeit marktverfügbar sein – daher lohnt es sich hier, regelmäßig auf das Angebot zu schauen.

Tab. 4 Kenndaten verschiedener Leuchtmittel [Allgemeinstrom 09; leds], (eigene Recherche)

Leuchtmittel im Vergleich						
		Elektrische Leistung (W)	Lichtstrom (Lumen)	Lichtausbeute (lm/W)	Mittlere Lebensdauer (h)	Gebrauch
Temperaturstrahler (überwiegend durch EU-Verordnung vom Markt genommen)	Glühlampen (Standard)	15 - 200	90 - 3.150	5 - 16	1.000	Allgemeinbeleuchtung
	Hochvolt-Halogenlampen 230V	60 - 250	280 - 4.350	5 - 17	2.000	Allgemeinbeleuchtung
	Xenon Halogenlampen 230V	33 - 400	460 - 9.200	13 - 23	2.000	Allgemeinbeleuchtung, Akzentbeleuchtung, Bildbeleuchtung
	Niedervolt-Halogenlampen 12V	5 - 100	60 - 2.300	12 - 21	2.000	Allgemeinbeleuchtung, Akzentbeleuchtung, Bildbeleuchtung
	IRC Niedervolt-Halogenlampen 12V	25 - 65	500 - 1.700	20 - 26	5.000	Allgemeinbeleuchtung, Akzentbeleuchtung, Bildbeleuchtung
LED	LED (weiß, 1 Stück)	3 - 10	90 - 1.000	30 - 100	50.000	Anzeigen, Effekt-, Akzent-, Orientierungsbeleuchtung
	LED Standard			60 - 80	50.000	Allgemein-, Akzent-, Orientierungsbeleuchtung
	LED effizient			100 - 120	50.000	Allgemein-, Akzent-, Orientierungsbeleuchtung
	LED Forschung			250 und mehr	50.000	Allgemein-, Akzent-, Orientierungsbeleuchtung
Gasentladungslampen	Energiesparlampen – Kompaktleuchtstofflampen mit integriertem EVG	5 - 23	100 - 1.500	33 - 65	10.000 - 15.000	Allgemeinbeleuchtung
	Kompaktleuchtstofflampen ohne integriertes EVG	5 - 55	250 - 4.800	50 - 88	k. A.	Gewerbliche Beleuchtung, Keller, Flure
	Halogen-Metaldampflampen	35 - 400	3.300 - 36.000	60 - 100	6.000	Anstrahlungen, Sportstätten, Industriehallen
	Induktionslampen	55 - 165	3.500 - 12.000	65 - 80	60.000	Innen- und Außenbeleuchtung mit schwierigem Zugang: Tunnel, Industriehallen, Straßenbeleuchtung
	Leuchtstofflampe	14 - 80	1.350 - 7.000	52 - 104	9.000 - 16.000	Allgemein-, Arbeitsgewerbliche Beleuchtung, Möbel-, Bildbeleuchtung
	Natriumdampf-Hochdrucklampen	35 - 600	1.300 - 90.000	39 - 150	8.000	Straßen, Trainingsbeleuchtung, Industriebeleuchtung, bes. Ausführungen auch für Akzent- und Verkaufsbeleuchtungen
	Natriumdampf-Niederdrucklampen (gelbes Licht)	18 - 180	1.770 - 32.500	98 - 181	8.000	Häfen, Tunnel, Fußgängerüberwegen, Objektschutz, Überwachungskameras

Auch für Leuchtmittel gilt eine Einstufung in die Effizienzklassen A++ bis E, wie es bereits von Haushaltsgrößgeräten gut bekannt ist. Es empfiehlt sich, beim Neukauf Lampen mit EU-Label A++ oder A+ zu wählen.

Sofern in bestehenden Beleuchtungsanlagen Leuchtstofflampen vorhanden sind, sollten aufgrund des besseren Wirkungsgrads, der längeren Lebensdauer der Leuchtmittel, der besseren Schaltfestigkeit und der Abwesenheit von Flackern grundsätzlich EVG (elektronische Vorschaltgeräte) eingesetzt werden, wenn aufgrund der Randbedingungen nicht LED verwendet werden können. Moderne Energiesparlampen mit elektronischem Vorschaltgerät haben eine hohe Schaltfestigkeit; manche Modelle (Treppenhauslampen) sind selbst bei Schaltvorgängen an der warmen Lampe stabil, wenn dies auch in der Regel eher zu vermeiden ist. Aufgrund ihrer hohen Schaltfestigkeit sind LEDs bei häufigen Schaltvorgängen das Leuchtmittel der Wahl.

Die lange Lebensdauer macht LED trotz der etwas höheren Anfangsinvestition insbesondere dort wirtschaftlich interessant, wo eine lange Betriebsdauer der Lampen erforderlich ist, z. B. in innen liegenden Fluren. Dort amortisieren sich LED-Lampen oft nach 2 bis 3 Jahren, selbst im Vergleich mit Leuchtstofflampen.

Tab. 5 Betriebskostenvergleich zwischen Leuchtstoffröhren und LED (eigene Berechnungen)

Wirtschaftlichkeitsberechnung für Leuchtstoffröhren			
	ESL T8 mit VVG	ESL T5 mit EVG	LED
Leistung (W) bei gleicher Helligkeit	70	45	23
Betrachtete Brenndauer (h)		10.000	
Stromverbrauch (kWh)	700	450	230
Stromkosten (Euro), gerechnet mit 28 Cent/kWh	196	126	64
Anschaffungspreis (Euro), jew.	3	20 Euro incl. EVG	30 Euro
anteilig auf 10.000 Stunden gerechnet	3	0,4 * 20 = 8	0,2 * 30 = 6
Betriebskosten (Euro)	196 + 3 = 199	126 + 8 = 134	64 + 6 = 70
Kostenvorteil ESL T5 ggü. ESL T81		65	
Kostenvorteil LED ggü. ESL T8		129	

Die in der Tabelle verwendete Bezugsgröße von 10.000 Stunden ergibt sich aus der erwarteten Lebensdauer einer Energiesparlampe (ESL) T8 mit verlustarmem Vorschaltgerät (VVG); am elektronischen Vorschaltgerät (EVG) halten die effizienteren ESL T5 im Schnitt 25.000 Betriebsstunden lang durch (daher Faktor 0,4 auf die Anschaffungskosten), LED 25.000 bis 100.000 Std. (gerechnet wurde im gezeigten Beispiel mit 50.000 Std., daher werden die Anschaffungskosten nur zu 20% angesetzt). Die gezeigte Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde mit einem Strompreis von 28 ct/kWh erstellt. Gegebenenfalls muss hier ein tieferer Preis angesetzt werden, falls mit dem Versorgungsunternehmen andere Konditionen ausgehandelt werden konnten. An der Tendenz der Aussage ändert sich jedoch nichts, auch bei 20 ct/kWh sind die beiden effizienteren Varianten der Installation von T8-Lampen vorzuziehen. Insbesondere die in der Anschaffung teurere LED schneidet in der Gesamtbilanz sehr gut ab.

Der wirtschaftliche Vorteil von LEDs wird noch größer, wenn berücksichtigt wird, dass jeder Lampentausch Arbeitszeit und damit Geld kostet. Eine lange Lebensdauer der Leuchtmittel hilft, Betriebskosten von Gebäuden niedrig zu halten.

Herkömmliche Glühlampen wurden aufgrund einer EU-Richtlinie aus der Produktion genommen, für die meisten Glühlampentypen sowie für ineffiziente Halogenlampen ist dies bereits in Kraft. Weitere Lampengruppen werden folgen [UBA 09]. Näheres hierzu findet sich im Querschnittskapitel zu Beleuchtung im Gesamtbericht.

Neben der Effizienz der eingesetzten Lampe ist auch der Leuchtenwirkungsgrad, der das Verhältnis des von der Leuchte abgegebenen Lichtstroms zum Lichtstrom der in der Leuchte eingesetzten Lampen wiedergibt, ein wichtiger Faktor für einen guten Energienutzungsgrad einer Beleuchtungsanlage. Ein guter Wert ist ein Leuchtenwir-

kungsgrad von 80 Prozent. Je nach Sehaufgabe ist eine angemessene Beleuchtungsstärke vorzusehen, die DIN EN 12464-1 gibt hierzu umfangreiche Vorgaben, nachstehend ein Auszug. Neben dem erforderlichen Lichtstrom ist auch eine geeignete Farbwiedergabe notwendig, gemessen durch den Farbwiedergabeindex R_a . Üblicherweise ist ein Index von 80 ausreichend, für Nebenflächen auch von 60, er sollte bei anspruchsvollen Sehaufgaben und vor allem dort, wo Farbumterscheidungen wichtig sind, 90 betragen.

Tab. 6 Erforderliche Beleuchtungsstärke bei verschiedenen Sehaufgaben [DIN EN 12464-1]

Tätigkeit	Beleuchtungsstärke (Lux)	Farbwiedergabeindex (Ra)
Sektor Büro		
Schreiben, Schreibmaschine schreiben, Lesen, Datenverarbeitung	500	80
Ablegen, Kopieren, Verkehrszonen (im Büro)	300	80
Technisches Zeichnen	750	80
CAD-Arbeitsplätze	500	80
Empfangstheke	500	80
CAD-Arbeitsplätze	300	80
Kantinen, Teeküchen	200	80
Öffentliche Bereiche		
Eingangshallen	100	80
Garderoben	200	80
Umkleideräume	300	80
Verkehrsflächen, Flure	100	80
Treppen, Rolltreppen, Fahrbander	150	40
Sektor Verkauf		
Verkaufsbereich	300	80
Kassenbereich	500	80
Packtisch	500	80
Versand- und Verpackungsbereiche	300	60
Vorrats- und Lagerräume	100	60
Sektor Ausbildungseinrichtungen		
Übungsräume und Laboratorien	500	80
Räume für technisches Zeichnen	750	80
Hörsäle	500	80
Unterrichtsräume für Erwachsenenbildung	500	80
Sektor Laboratorien		
Allgemeinbeleuchtung	500	80
Farbprüfung	1.000	90

Generell wird empfohlen, helle Oberflächen in den Räumen vorzusehen, um den Stromverbrauch für Beleuchtung niedrig halten zu können.

Die Beleuchtung soll, um unnötige Ermüdung des Auges zu vermeiden, so ausgelegt sein, dass der Helligkeitskontrast zwischen Flächen, die gleichzeitig im Blickfeld sind, nicht zu groß wird. In der Praxis bedeutet das, dass in

der Regel die Umgebung im Umkreis von 1/2 m rund um die eigentliche Sehaufgabe eine Helligkeitsstufe niedriger ausgeleuchtet sein kann, also bei 500 Lux auf der Arbeitsfläche 300 Lux im Umfeld [Lichtklima].

Es sind sowohl Präsenzregelungen als auch tageslichtabhängige Regelungen verfügbar, auch Kombinationen hiervon. Gerade bei hocheffizienten Leuchten empfiehlt sich deren Einsatz, da je nach Tageslichteinfall kaum mehr wahrgenommen wird, dass die Beleuchtung noch zusätzlich in Betrieb ist und daher nutzerseitig keine Regelung erfolgt. Diese Sensoren erlauben, je nach Arbeitsplatzanforderungen oder auch Sehvermögen der MitarbeiterInnen unterschiedliche Schaltschwellen einzustellen. Auch auf Änderungen an der Arbeitsplatznutzung kann somit eingegangen werden.

In einer Studie aus Bremen [HB-BEI 07] wurde gemessen, dass in Bildungseinrichtungen (Seminarräumen) durch den Einsatz von Gebäudebustechnik eine Einsparung am Lichtstromverbrauch von etwa einem Viertel erreicht werden kann. Es wurde über Präsenzmelder, Helligkeitssensoren und Dimm-Aktoren eine bedarfs- und nutzungsabhängige Beleuchtung realisiert. Das Bus-System diente auch zur Heizungsregelung.

7.2 Beleuchtung am Arbeitsplatz

Hocheffiziente Beleuchtungssysteme können mit einer installierten Leistung von 9 W/m² bis 12 W/m², besser noch mit 6 bis 8 W/m² auf Tischhöhe eine Beleuchtungsstärke von 500 Lux erzielen. Vorteilhaft ist die Kombination von Präsenzmelder und Helligkeitssensor. Direkt- und Indirektanteile von Leuchten können je nach Abstand vom Fenster variiert und damit kann den Anforderungen optimal nachgefahren werden [BINE 16/09].

Im Vergleich zu einer konventionellen Lichtschaltung mit Wandschalter kann im Bürobereich ein Abwesenheitssensor etwa 30 Prozent einsparen. Wird zusätzlich tageslichtabhängig gedimmt, kann der Stromverbrauch für die Beleuchtung um etwa 2/3 verringert werden [Bay LA Umwelt 2008].

Wichtig für eine gute Nutzung des Tageslichts ist eine ausreichende Fensterfläche und nach Möglichkeit der Verzicht auf einen Fenstersturz. Gerade das durch den oberen Fensterteil einfallende Licht sorgt für Helligkeit in der Raumtiefe. Kaum einen Einfluss auf den nutzbaren Tageslichtanteil hat hingegen die unterhalb der Tischebene befindliche Fensterfläche [Bay LA Umwelt 2008].

Für den Blendschutz sind Lamellenstores mit unterschiedlich ausgebildeten Lamellen hilfreich, die im oberen Bereich des Fensters einfallendes Licht gegen die (helle) Decke reflektieren, so dass auch in der Raumtiefe trotz Einsatz des Sonnenschutzes ausreichend Tageslicht vorhanden ist. Andernfalls kann die kontraproduktive Situation eintreten, dass an einem hellen Sonnentag Strom für die Beleuchtung erforderlich ist, weil Teile der Nutzfläche nicht ausreichend ausgeleuchtet werden. Leuchten sollten turnusmäßig gereinigt werden. Durch Verschmutzung nimmt der Leuchtenwirkungsgrad kontinuierlich ab. Daher sollte dieser Arbeitsschritt in einen Wartungsplan für Hausmeister aufgenommen werden.

7.3 Kennwerte Beleuchtung

Der genannte Kennwert für die installierte Lichtleistung sollte nicht überschritten werden (Lichtpunkthöhe 2,5 bis 2,8 m, helle Oberflächen vorausgesetzt). Es sollten Leuchtmittel mit einer Lichtausbeute von mindestens 80, besser 100 bis 120 Lumen pro Watt eingesetzt werden.

Tab. 7 Kennwert nach [LEE 2000] und Angaben der Lampenhersteller

Maximal installierte Lichtleistung
9 bis 12 W/m ² , besser 6 bis 8 W/m ²
Mindest-Lichtausbeute
mindestens 80, besser 100 oder 120 Lumen pro Watt
Leuchtenwirkungsgrad
80%

8 Informations- und Kommunikationstechnik

8.1 Rechenzentren und Serverräume

Eine EU-geförderte Studie eines Konsortiums von deutschen, österreichischen und französischen Instituten und Firmen kam 2008 zu dem Ergebnis, dass in der EU-27 im Jahr 2006 knapp 40 TWh für Speicher, Netzwerkkomponenten und Infrastruktur in Rechenzentren verbraucht wurden, zudem etwa 17 TWh für die Server [Efficient Servers 08].

Eine aktuelle Studie zeigt, dass allein in Deutschland der Stromverbrauch für Server und Rechenzentren von 2010 bis 2015 von 10,5 auf 12 TWh angestiegen ist [BMWi 2015].

Die Kosten für die Energie im Betrieb und die Kühlung summieren sich über die Standzeit von Rechenzentren mittlerweile auf gleich hohe oder höhere Beträge wie die Anschaffungskosten [Energy2.0 Kompendium 2008].

Eine Verbrauchsreduktion um etwa ein Drittel ist erreichbar durch stromeffiziente Komponenten (Speicher, CPU, Lüfter und Stromversorgung). Mehrkosten der Bauteile können durch reduzierte Betriebskosten an der Rechneinheit sowie der TGA-Peripherie (Lüftung und Klimatisierung) binnen eines Jahres amortisiert werden.

Multi-Core-Prozessoren bieten mehr Rechenleistung pro installiertem Watt elektrischer Leistung. Mit gleichem Leistungsbezug und gleichen Betriebskosten können diese mehr Klienten versorgen als die herkömmliche Bauart.

Werden Rechner jeweils nur für bestimmte Aufgaben vorgehalten, wie heute vielfach üblich, sind sie in der Regel relativ schlecht ausgelastet. Auch bei Teillast ziehen sie immer noch elektrische Leistungswerte in Höhe von etwa 85 bis 90 Prozent gegenüber dem Normalbetrieb. Die Virtualisierung von Servern kann hier sowohl Investitionsvolumen wie auch Betriebskosten verringern, indem weniger Anlagen benötigt und diese besser ausgelastet werden. Dabei wird statt mehrerer Server für verschiedene Aufgaben nur einer mit höherer Leistungsfähigkeit verwendet; dieser wird in mehrere virtuelle Arbeitsplatten aufgeteilt, denen jeweils bestimmte Aufgaben zugeordnet werden.

Effizientere Server benötigen geringere Kühlleistung bei gleicher Rechenleistung, dies reduziert die Investitionen in die technische Gebäudeausrüstung (TGA) wie auch die erforderliche Betriebsenergie. In hoch verdichteten Rechneinheiten kann es sinnvoll sein, statt Luftkühlung auf wassergekühlte Racks zu setzen.

Bei guter und konsequenter Planung können auch die herkömmlichen Luftkühlungssysteme deutlich optimiert werden, indem Fehllufraten reduziert, Kalt- und Warmluftgang sorgfältig getrennt geführt und Hochtemperaturnester vermieden werden.

Wesentlich ist, auf welche Solltemperatur abgezielt wird. Veröffentlichungen aus der Schweiz gehen davon aus, dass in der Regel eine Raumtemperatur von 26°C für die Rechner unschädlich ist [26°C]. Ersparnisse am Kühlenergieeinsatz von bis zu 40 Prozent gegenüber einer Zieltemperatur von 22°C sind realisierbar. Wie erwähnt müssen allerdings Hot Spots durch das Design der Rechnerschränke sowie eine geeignete Luftführung vermieden werden.

Zudem besteht die Option, die Abwärme aus den Rechnerräumen anderweitig in die Versorgungsstruktur einzubauen, z. B. über Wärmetauscher in die Warmwasserbereitung.

8.2 Informations- und Kommunikationstechnik dezentral

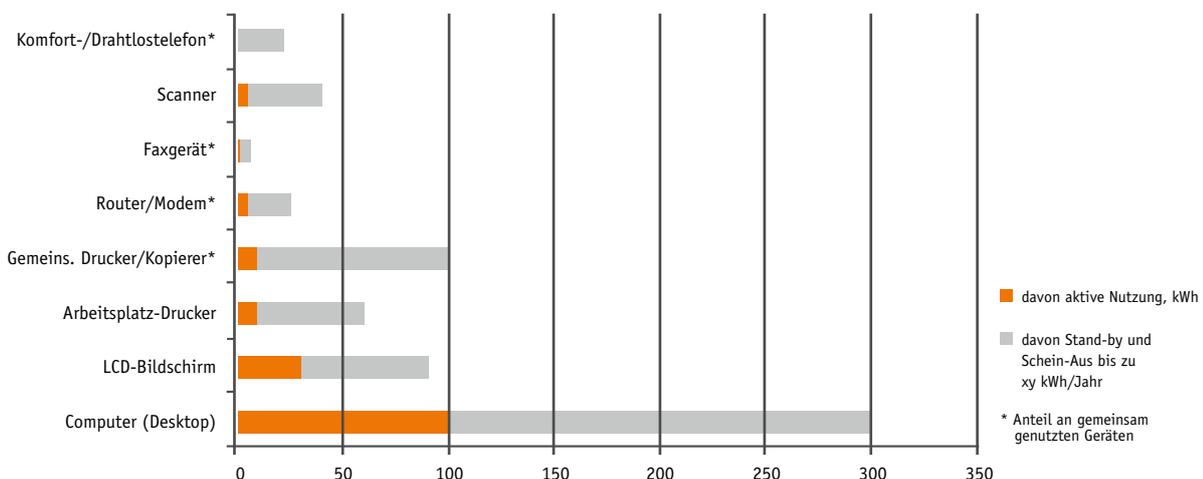
Das Spektrum an Geräten sowie deren Effizienz verändert sich mit hoher Geschwindigkeit, gleichzeitig werden die Geräte schon nach wenigen Jahren durch die neue Generation ersetzt. Daher ist eine aktuell nachgeführte internetbasierte Datenbank hier das Mittel der Wahl, um jederzeit ein effizientes Gerät auffinden zu können. Genannt seien hier vorrangig www.topten.ch, www.ecotopten.de und www.stromeffizienz.de/dienstleister-oeffentliche-hand.html.

In der Datenbank www.no-e.de/html/unglaublich.html sind Werte zum Stand-by-Verbrauch vieler Geräte der Informations- und Kommunikationstechnik aufzufinden [no-e Stand-by].

Eine ungefähre Einschätzung, in welcher Größenordnung der Stromverbrauch von Bürogeräten liegt und welche Geräte dominant im Verbrauch sind, vermittelt die nachfolgende Grafik (bezogen auf 240 Arbeitstage pro Jahr). Insbesondere ist auch interessant, wie hoch der Anteil des Stromverbrauchs im ungenutzten Zustand ist; gerade bei älteren Geräten kann dieser bis zu 90 Prozent betragen. [PC-Arbeitsplatz]. Viele Geräte verbleiben lange im Stand-by-Zustand oder im Schein-Aus (vermeintlich abgeschaltet, jedoch noch Leistungsbezug, kommt häufig bei PC vor), dies lässt sich bei energiebewusster Nutzung vermeiden. Der PC dominiert den Stromverbrauch am Arbeitsplatz und hat gleichzeitig hohe Anteile ungenutzter Laufzeit. Daher ist dies ein Angriffspunkt, an dem schnell und ohne bzw. mit geringen Investitionen eine Verbrauchsverringerung erzielt werden kann.

Abb. 4 Verteilung des Stromverbrauchs am Arbeitsplatz auf die typischerweise vorkommenden Geräte [PC-Arbeitsplatz]

Typischer Stromverbrauch am PC-Arbeitsplatz



Effiziente Netzteile sind gerade bei diesen dezentralen Anwendungen ein wichtiger Schritt zu effizienterem Stromeinsatz. Aufgrund der seit 2010 EU-weit geltenden EuP-Richtlinie dürfen Geräte im Stand-by nicht über 1 W verbrauchen; die Grenze liegt bei 0,5 W, wenn außer der Reaktivierungsfunktion und gegebenenfalls einer Anzeige über die Stellung im Stand-by keine weitere Funktion (Uhr, Programmierung) mehr erfüllt wird, wie es z. B. beim TV in der Regel der Fall ist [EuP2009].

Peripheriegeräte wie Drucker, Fax, Scanner und Kopierer sind seit einiger Zeit in Mehrfunktionsgeräten (MFC) zusammengefasst. Dies spart Produktionsenergie für die Geräte selbst und reduziert die Zahl der Netzteile. Zudem gibt es Geräte mit getrennten Farbkartuschen, so dass je nach Bedarf ersetzt werden kann. Für mehrere Arbeitsplätze kann jeweils ein solches MFC eine günstige Lösung sein.

Selbstlernende Vorschaltgeräte können verbrauchsreduzierend wirken, indem sie iterativ speichern, zu welchen Zeiten üblicherweise intensive Nutzung, wann seltene Nutzung erfolgt. Entsprechend werden die hiermit geschalteten Geräte in Ruhezustand oder Stand-by gesetzt. Solche Vorschaltgeräte gibt es z. B. für Kopierer, aber auch für Kaffeemaschinen. Es gibt auch Modelle, die mit Bewegungssensoren ausgestattet sind und die Geräte einschalten, sobald sich jemand nähert [Ecoman].

Peripheriegeräte eines PC wie Monitor, Drucker, Scanner etc. können über eine schaltbare Steckerleiste gemeinsam mit dem PC komplett vom Netz genommen werden. Eine Master-Slave-Steckerleiste schaltet mehrere Geräte aus, wenn das Hauptgerät (Master) in Stand-by oder aus geschaltet wird.

Tab. 8 Vergleich des Strombedarfs von Geräten der Informationstechnik (Herstellerangaben; Stiftung Warentest)

Durchschnittlicher Strombedarf (Watt)		
Neue Geräte	niedrig	hoch
Standard-PC (8 GB RAM; Leistung in Betrieb, keine Rechenanforderung)	9	39
PC mit hoher Anforderung (64 GB RAM; Leistung in Betrieb, ohne Rechenanforderung)	22	45
Notebook	8	16
LCD-Monitore (23 Zoll)	13	24
DSL-Router (Bereitschaft)	3,5	12
DSL-Router (Betrieb)	4	13

8.3 Kennwerte Informations- und Kommunikationstechnik

Für Geräte der Unterhaltungselektronik gilt wie für die Informations- und Kommunikationstechnik hinsichtlich des Leistungsbezugs in Stand-by-Stellung die seit 2010 EU-weit geltende EuP-Richtlinie¹ für Geräte.

¹ Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (EuP – Energy using Products)

Tab. 9 Anforderungen an die Leistung von Geräten der Unterhaltungselektronik nach EuP-Richtlinie

Leistung im Stand-by nach EU-Richtlinie		
für Geräte mit Anzeigefunktion, z. B. Zeit	für Geräte ohne weitere Funktion	Frist zur Einführung
1 Watt	0,5 Watt	seit 2013

9 Kühl- und Gefriergeräte

Kältegeräte z. B. zur Lagerung von Proben sind ganzjährig in Betrieb. Hier lassen sich durch die Wahl effizienter Kühlgeräte bzw. Gefriertruhen oder -schränke die Betriebskosten deutlich reduzieren.

Häufig werden Gerätegrößen, wie sie in (großen) Haushalten benötigt werden, vorkommen, also Volumina von z. B. 300 oder 400 Litern. Hierzu gibt es gute Informationen in der Geräteliste des Niedrigenergieinstituts in Detmold [NEI 15] bzw. unter www.spargeraete.de. Ein Standkühlschrank mit rund 350 Litern Volumen kann mit einem Normstromverbrauch von 75 kWh/Jahr auskommen (Labelklasse A+++) oder 153 kWh benötigen (Labelklasse A+). Eine Gefriertruhe mit 330 Litern kann 152 kWh pro Jahr (A+++) benötigen, oder aber auch 256 kWh (A+), ein Gefrierschrank mit rund 250 Litern 164 kWh (A+++) oder 312 kWh pro Jahr (A+). Ein Verbrauchsunterschied von 200 kWh jährlich entspricht 56 Euro, auf eine Gerätestandzeit von 15 Jahren umgerechnet sind das 840 Euro (jeweils gerechnet mit 28 ct/kWh). Alle genannten Geräte sind der aktuellen NEI-Liste oder Katalogen der Hersteller entnommen [NEI 15]. Falls mit dem Versorgungsunternehmen andere Konditionen ausgehandelt werden konnten, muss hier gegebenenfalls mit einem tieferen Strompreis gerechnet werden, dennoch bleibt die Tendenz der Aussage, dass sich die effizienteren Geräte wirtschaftlich rentieren, erhalten.

Generell kann gesagt werden, dass effiziente Kältegeräte mindestens mit dem EU-Label A++ ausgezeichnet sein sollten. Wenn Geräte der Labelklasse A+++ in der gewünschten Größenklasse verfügbar sind, sollten diese gewählt werden.

9.1 Kennwerte Großgeräte

Bei der Anschaffung von Kühl- und Gefriergeräten ist das wohl bekannte EU-Label mit der Labelklasse A+++ oder A++ eine gute Wahl. Gute Informationen zum Stromverbrauch von Haushaltsgroßgeräten liefern die Gerätedatenbanken www.spargeraete.de, www.topten.ch oder www.ecotopten.de.

Tab. 10 Neue Effizienzklassen als Entscheidungskriterium für den Kauf von Haushaltsgroßgeräten

EU-Klassifizierung von Haushaltsgroßgeräten
Empfehlung A+++ oder A++

10 „Best Practice“-Beispiel

Forschungszentrum Jülich – Laborgebäude Wilhelm-Johnen-Straße



Bedarfwerte					
		vor Sanierung		nach Sanierung	
		Nutzenergie MWh	Primär-energie MWh	Nutzenergie MWh	Primär-energie MWh
Strom	Beleuchtung	72	216	43	130
	Ventilatoren	373	1.119	112	336
Wärme	Raumheizung	350	385	140	154
	Luftaufbereitung	1.298	1.428	220	242
Kälte	Raumkühlung	0	0	119	131
	zentrale Luftaufbereitung	383	421	45	50
Summe		2.476	3.569	679	1.043
Stromverbrauch für Gerätebetrieb in Labor- und Büroräumen		344	1.031	344	1.031

Beschreibung Modellhafte Sanierung (ENSAN Forschungsprogramm) eines dreigeschossigen Forschungslabors Bj. 1964, Sanierung 2002 / Verbrauchdatenerhebung von 2003 bis 2005

Gebäudeenergiekonzept

Sommerlicher Wärmeschutz außenliegende Jalousien, vorspringende Fluchtbalkone

Wärmeversorgung Erdwärme mit Sole-Wasser-Wärmepumpe, Umluftheizung, Abwärmenutzung der CO₂-Kältemaschine

Beleuchtung Tageslichtnutzung: außenliegende Jalousien mit Lichtlenklamellen, Tageslichtöffnungen in Flurtüren, Oberlichter
 Beleuchtung: Energiesparlampen, bedarfsgerechte Steuerung mit Präsenzmelder, Stufenschaltungen, automatische Beleuchtungsstärkeregelung in Abhängigkeit vom Außenlichteinfall

Lüftung zentrale Zu-/Abluftanlage mit WRG, vier dezentrale Anlagen für stark lösungsmittelhaltige Abluft

Laborabzüge Laborabzüge über Betätigung der Frontschieber

Lüftungsregelung Variablenvolumenstromregler, Zuluftvolumenstrom über Bilanzierung der Abluftströme, Zeitprogrammierung mit Präsenzmelder in den einzelnen Laboren (bedarfsorientierter Betrieb)

Kühlung Außenluftkühler für „freie Kühlung“ und Nachtkühlung, Kühldeckensystem mit Wasser

Literatur BINE projektinfo 02/04, [Jülich 2008]

Weitere Beispiele für energieeffiziente Gebäude sind gezeigt in www.enob.info/de/neubau/ und www.enob.info/de/sanierung/

11 Übersicht Kennwerte

Umwälzpumpen		
Energieeffizienzindex (EEI) mind. 0,23, besser 0,20 oder darunter		
Lüftung und Klimatisierung		
Spezifische elektrische Ventilatorleistung		
0,28 W/(m ³ /h) bis 0,42 W/(m ³ /h) pro Zu-/Abluftgerät (2 Ventilatoren)		
Wärmebereitstellungsgrad bei Anlagen mit Luft-Luft-Wärmeübertrager		
80 % oder besser		
Die Energiekonzeption Heidelberg 2010 fordert 80 %		
Arbeitszahl für Kältemaschinen		
3,5 und besser		
Beleuchtung		
Maximal installierte Lichtleistung		
9 bis 12 W/m ² , besser 6 bis 8 W/m ²		
Mindest-Lichtausbeute		
80, besser 100 oder 120 Lumen pro Watt		
Leuchtenwirkungsgrad		
80%		
Informations- und Kommunikationstechnik		
Leistung im Stand-by nach EU-Richtlinie		
für Geräte mit Anzeigefunktion, z. B. Zeit	für Geräte ohne weitere Funktion	Frist zur Einführung
1 Watt	0,5 Watt	seit 2013
Kühl- und Gefriergeräte		
Effizienzklasse A+++ oder A++ nach EU-Label		

12 Zusammenfassung und Empfehlungen

Wie bei Bürogebäuden gilt auch im Laborbereich, dass sich eine schlanke Gebäudekonzeption durch ein geringes Maß an Gebäudetechnik und niedrige Betriebskosten für Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und Wartung auszeichnet.

Lüftungsgeräte

Trotz Sondernutzung gelten auch im Laborbereich – soweit wie möglich – die selben Empfehlungen wie für Bürogebäude. Eine Optimierung der energierelevanten Komponenten von Lüftungsgeräten umfasst

- sorgfältige Dimensionierung der Anlage, Optimierung der Luftwechselraten, Vermeidung unnötiger Sicherheitszuschläge, d.h. Minimierung der zu transportierenden Luftmenge,
- Minimierung der Druckverluste,
- Wahl einer niedrigen Strömungsgeschwindigkeit im Kanalnetz,
- Wahl eines auf die Anlage abgestimmten Ventilators mit gutem Wirkungsgrad und geringem Stromverbrauch ($\leq 21 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ pro Ventilator),
- Installation einer bedarfsangepassten Ventilator- und Raumvolumenstromregelung,
- Prüfung der Effizienzverbesserung durch die Nutzung regenerativer Energiequellen,
- Einsatz eines Lüftungssystems mit Wärmerückgewinnung und mit hohem Rückgewinnungsgrad (≥ 75 Prozent bei Luft-Luft-Wärmeübertrager, ≥ 65 Prozent bei Kreislaufverbundsystem),
- regelmäßige Wartung und regelmäßiger Filterwechsel,
- Nutzereinweisung,
- Bereitstellung von Dokumentationsunterlagen.

Kühlung und Klimatisierung

Gerade im Laborbereich lässt sich durch organisatorische Maßnahmen eine großflächige Raumkühlung vermeiden:

- Temperatur in Serverräumen nicht tiefer wählen als erforderlich, 26°C ist in aller Regel vertretbar,
- solare Einträge müssen vermieden werden,
- effiziente Komponenten verwenden,
- Server gut ausnutzen, ehe weitere Kapazität installiert wird (Virtualisierung),
- Abluftführung optimieren,
- gegebenenfalls mit Wasser kühlen, auch am Geräte-Rack
- Abwärme nutzen,
- passive Nachtkühlung über Lüftungsklappen oder aktive Nachtauskühlung durch erhöhten Luftwechsel,
- Wärmerückgewinnung aus der Abluft und der Geräteabwärme,
- vor der Installation von Kältegeräten Maßnahmen zur Minimierung des Kältebedarfs treffen,
- Systemvergleich für Restkühlbedarf und Sonderanwendungen.



Belichtung und Beleuchtung

Für die Beleuchtung spielt die optimale Tageslichtnutzung eine große Rolle. Dadurch werden nicht nur erhöhte Stromkosten für Beleuchtung sondern auch unnötige thermische Lasten vermieden.

Abb. 5 Checkliste zur Tageslichtnutzung aus „Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau“ [LEE 2000]

- 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.
- Gegebenenfalls mittels Lichtlenkung die Ausleuchtung der Raumtiefe verbessern.

Informations- und Kommunikationstechnik

Die Energiekosten für den Betrieb und die Kühlung von Servern liegen über die Standzeit gerechnet auf dem Niveau ihrer Anschaffungskosten. Die Virtualisierung von Servern und eine mögliche Nutzung der Abwärme anstelle einer aktiven Kühlung können sowohl die Investitions- als auch die Betriebskosten verringern. Weitere Maßnahmen lauten:

- Effiziente Komponenten verwenden,
- Server gut ausnutzen, ehe weitere Kapazität installiert wird.

Der Stromverbrauch der an jedem Arbeitsplatz installierten EDV-Geräte wird einerseits durch die Gerätebeschaffung, andererseits durch eine bewusste Gerätenutzung beeinflusst.

- Bei Neuanschaffungen sollten entsprechende Datenbanken mit Werten sparsamer Geräte, beispielsweise www.topTEN.ch und www.ecotopTEN.de zu Rate gezogen werden.
- Es sollten nur Geräte mit effizienten Netzteilen gemäß neuer EU-Richtlinie ausgewählt werden mit Stand-by-Verbrauch weniger als 1 Watt respektive 0,5 Watt.
- NutzerInnen sollten auf ihren Einfluss bei Geräteverbrauch aufmerksam gemacht werden, z. B. durch Hinweisschilder.
- Schaltbare Steckdosen/Steckerleisten sollten verwendet werden.
- Gemeinsam genutzte Geräte können über Zeitschaltuhr oder über selbstlernende Vorschaltgeräte ausschaltet werden.

Sonstige Geräte

Im Laborbereich kommen Haushaltsgroßgeräte in den Forschungslaboren und in Teeküchen vor. Hier können die selben Empfehlungen ausgesprochen werden wie für den Sektor Haushalte.

Abb. 6 „Checkliste Haushaltsgeräte im Büro – Das können Sie tun“

- Stellen Sie Kühlgeräte an einen möglichst kühlen Platz, denn der Stromverbrauch steigt um ca. drei Prozent bei einem Anstieg der Umgebungstemperatur von gerade einmal 1°C.
- Stellen Sie die Temperatur des Kühlschranks auf 7°C ein. Die optimale Temperatur eines eventuell vorhandenen Gefriergerätes oder Gefrierfachs beträgt -18°C.
- Stellen Sie keine heißen Lebensmittel oder Getränke in den Kühlschrank.
- Nutzen Sie das Energiesparprogramm des Geschirrspülers und stellen Sie nur voll beladene Geschirrspüler an. Die Programmfunktion „1/2“ reduziert den Stromverbrauch nicht um die Hälfte.
- Erhitzen Sie kleine Mengen Wasser am besten im Wasserkocher. Am meisten spart, wer nur so viel Wasser in den Kocher füllt, wie tatsächlich benötigt wird.
- Halten Sie heiße Getränke in Thermoskannen warm, statt auf der Warmhalteplatte der Kaffeemaschine.
- Kaffeeautomaten sollten über eine automatische Abschaltfunktion verfügen, die das Gerät nach einer einstellbaren Zeit in den Stand-by-Zustand versetzt.
- Nutzen Sie die Mikrowelle für das Aufwärmen kleiner Speisen. Sie benötigt hierzu wesentlich weniger Strom als ein Elektroherd.

Literaturverzeichnis

[26°C]	26°C in EDV-Räumen – eine Temperatur ohne Risiko, Bundesamt für Energie, Bern, energieSchweiz 2004
[Bay LA Umwelt 2008]	Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden – Planungsleitfaden, Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2008
[BMW 2015]	Entwicklung des IKT-bedingten Stromverbrauchs in Deutschland, Studie des Borderstep-Instituts im Auftrag des BMWi, 2015
[BINE 16/09]	Verwaltungsgebäude als energieeffizientes Ensemble, BINE Informationsdienst, Projektinfo 16/2009
[DIN 1946-7]	Raumluftechnik Teil 7: Raumluftechnische Anlagen in Laboratorien; Ausgabe 2009-07
[DIN EN 12464-1]	Licht und Beleuchtung – Teil 1: Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen
[Ecoman]	www.ecoman.org
[Efficient Servers 08]	Energy efficient Servers in Europe, Bernd Schäppi, Österreichische Energieagentur und andere; Intelligent Energy Europe 2008
[Energiemanagement 2003]	Energiemanagement in Wohnungsunternehmen, Hrsg. Umweltbundesamt, Berlin, GdW Bundesverband deutscher Wohnungsunternehmen, Berlin 2003]
[Energy 2.0 Kompendium 2008]	Energieeffizienz im Rechenzentrum – Hardware und Infrastruktur optimieren -, in Energy 2.0 Kompendium 2008 erschienen unter www.Energy20.net
[HB-BEI 07]	Energieeinsparung in Bildungseinrichtungen durch Gebäudebustechnik, Hochschule Bremen, Bremer Energie-Konsens 2007
[Jülich 2008]	Leitfaden für die energetische Sanierung von Laboratorien, Forschungszentrum Jülich / BINE Projektinfo 02/04/ www.labsan.de
[LEE 2000]	Elektrische Energie im Hochbau: Leitfaden Elektrische Energie. Hrsg. Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten; 2. überarbeitete Fassung. Wiesbaden: 2000.
[Lichtklima]	Gutes Lichtklima, Ratgeber zur energieeffizienten Beleuchtungsmodernisierung, Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, Wiesbaden 2005
[NEI 15]	Besonders sparsame Haushaltsgeräte, jährlich aktualisierte Geräteliste des Niedrigenergie-Instituts Detmold, Klaus Michael, Oktober 2015, laufend aktualisierte Online-Version unter www.spargeraete.de
[Nipkow 06]	Energieverbrauch und Einsparpotenziale bei Aufzügen, Jürg Nipkow, ARENA Zürich, in Bulletin SEV/VSE 9/06
[PC-Arbeitsplatz]	Stromsparen am PC-Arbeitsplatz, energieSchweiz 2007
[RELAB]	Energieeinsparung in Laboratorien durch Reduzierung der Luftströme, Empfehlungen für die Auslegung und den Betrieb der lufttechnischen Einrichtungen, Forschungsbericht Universität Stuttgart IKE, Fraunhofer-Institut IGB, 1998
[SIA 380/4]	Schweizer Norm SIA 380/4:2006 Bauwesen, Elektrische Energie im Hochbau
[VDI 2071]	Wärmerückgewinnung in Raumluftechnischen Anlagen, VDI 2971, 1997

Herausgeber: Stadt Heidelberg
Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie
Verwaltungsgebäude Prinz Carl
Kornmarkt 1
69117 Heidelberg

Ansprechpartner: Fabian Nagel
Tel.: 06221 58-18161
fabian.nagel@heidelberg.de

Robert Persch
Tel.: 06221 58-45321
robert.persch@heidelberg.de

Projektbearbeitung: ebök
Planung und Entwicklung GmbH
Schellingstraße 4/2
72072 Tübingen

In Kooperation mit:
CONSISTE
Consulting für intelligenten Stromeinsatz
Dorfstraße 42
72074 Tübingen

Bildquellen: fotolia