

Stromsparkonzept Heidelberg Bahnstadt

Gesamtbericht

Wohnen



Büro



Einzelhandel/Fachmarkt



Labore



Stromsparkonzept Heidelberg Bahnstadt

Gesamtbericht

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	8
Einleitung	10
1 Allgemeinstrom	13
1.1 Verbrauchergruppen	13
1.2 Kennwerte Allgemeinstrom	15
1.3 Zusammenfassung und Empfehlungen	16
2 Aufzüge	17
2.1 Verbrauchsanteile bei Aufzügen	17
2.2 Zusammenfassung und Empfehlungen	20
3 Umwälzpumpen	21
3.1 Einsparpotenziale bei Umwälzpumpen	21
3.2 Kennzeichnung von Umwälzpumpen	22
3.3 Wärmeverteilung und hydraulischer Abgleich	24
3.4 Wirtschaftlichkeit	24
3.5 Kennwerte Pumpen	24
3.6 Zusammenfassung und Empfehlung	25
4 Lüftung und Klimatisierung	26
4.1 Lüftung	28
4.1.1 Einflussfaktoren für den Einsatz mechanischer Lüftungsanlagen	28
4.1.2 Rationeller Stromeinsatz bei Lüftungsanlagen	29
4.1.3 Regelung	30
4.1.4 Allgemeine Auswahlkriterien	31
4.1.5 Kennwerte Lüftung	33
4.2 Raumühlung	34
4.2.1 Einflussfaktoren für Kühlbedarf	34
4.2.2 Möglichkeiten der Abfuhr von Wärmelasten	35
4.2.3 Wirtschaftliche Bewertung von Kühlsystemen	36
4.2.4 Ökologische Bewertung von Kühlsystemen	37
4.2.5 Regelung	38
4.2.6 Rationeller Stromeinsatz bei Kälteanlagen/effiziente Kälteanlagen	39
4.2.7 Auswahlkriterien für Kühlung	39
4.2.8 Kennwerte Kühlung	40
4.3 Zusammenfassung und Empfehlungen	41

5	Beleuchtung	42
5.1	Technische Eckdaten	42
5.2	Beleuchtung am Arbeitsplatz	49
5.3	Beleuchtung im Wohnbereich	49
5.4	Dekorationsbeleuchtung im Verkauf	50
5.5	Kennwerte Beleuchtung	50
5.6	Zusammenfassung und Empfehlungen	51
6	Informations- und Kommunikationstechnik	52
6.1	Rechenzentren und Serverräume	52
6.1.1	Determinanten für den Stromverbrauch	52
6.2	Informations- und Kommunikationstechnik dezentral	53
6.2.1	Stromverbrauch am Arbeitsplatz	53
6.3	Kennwerte Informations- und Kommunikationstechnik	55
6.4	Zusammenfassung und Empfehlungen	56
7	Unterhaltungselektronik	57
7.1	Kennwerte Unterhaltungselektronik	58
7.2	Zusammenfassung und Empfehlungen	59
8	Haushaltsgeräte	60
8.1	Kennzeichnung von Haushaltsgroßgeräten	60
8.2	Einzelgeräte im Haushalt/in der Teeküche	61
8.2.1	Kühl- und Gefriergeräte	61
8.2.2	Spülmaschinen	62
8.2.3	Waschmaschinen	62
8.2.4	Wäschetrockner	64
8.3	Kennwerte Haushaltsgeräte	65
8.4	Zusammenfassung und Empfehlungen	66
9	Übersichten	67
9.1	Übersicht Kennwerte	67
9.2	Übersicht Empfehlungen	68
10	Literaturverzeichnis	74

Abbildungen und Tabellen

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Stromeinsparpotenzial in Deutschland [www.dena.de]	10
Abb. 2	Serielle Planung – Integrale Planung [Energiemanagement 2003]	11
Abb. 3	Ausschlaggebende Beweggründe für Klimaschutzmaßnahmen nach [IBM 2008]	12
Abb. 4	Unterschiede im Stand-by-Betrieb von Aufzugsanlagen zwischen 40 Watt bei guter technischer Lösung (Stand der Technik) und 150 W bei technisch suboptimaler Ausführung [Nipkow06]	18
Abb. 5	Energieverbrauchsetikett Aufzüge gemäß VDI 4707 für einen effizienten Aufzug [Böhnke 2008]	20
Abb. 6	Drehzahlgeregelte Kleinpumpen der Firmen Grundfos, Biral und Wilo (Herstellerfotos)	22
Abb. 7	Auswirkung der beschlossenen Anforderungen auf das Angebot an Heizungsumwälzpumpen [Europump/VDMA]	23
Abb. 8	Betriebsoptimierung von raumlufttechnischen Anlagen [dena]	29
Abb. 9	Kältebedarf in Deutschland [BINE 20]	34
Abb. 10	Kühlkonzepte im Vergleich [BINE I / 2007] TABS = ThermoAktive Bauteilsysteme (Quelle: ISE)	36
Abb. 11	Auslaufen ineffizienter Leuchtmittel gemäß EU-Richtlinie [UBA 09]	45
Abb. 12	Verteilung des Stromverbrauchs am Arbeitsplatz auf die typischerweise vorkommenden Geräte [PC-Arbeitsplatz]	53
Abb. 13	Klassifizierung der derzeit am Markt erhältlichen Haushaltsgroßgeräte nach EU-Label	60

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Allgemeinstromverbraucher in Wohngebäuden [Allgemeinstrom 09]	14
Tab. 2	Allgemeinstromverbrauch und –kosten in Wohngebäuden in Deutschland; nach: [Allgemeinstrom 09]	15
Tab. 3	Kennwerte Allgemeinstrom nach [Allgemeinstrom 09]	15
Tab. 4	Stromverbrauch typischer Aufzüge im Bestand in der Schweiz; unterschiedliche Nutzung [Nipkow 06]	17
Tab. 5	Stromverbrauch verschiedener Beleuchtungssysteme in Aufzügen; nach [Nipkow 06] und eigener Recherche	18
Tab. 6	Stromverbrauch typischer Aufzüge im Bestand bei unterschiedlicher Nutzung – Messwerte (Antrieb getriebelos mit frequenzgeregeltem Permanentmagnetmotor) [Nipkow 06]	19
Tab. 7	Anforderungen an Umwälzpumpen [BAM + UBA 09]	24
Tab. 8	Übersicht über einige relevante Normen	27
Tab. 9	Grenz- und Zielwerte des flächenbezogenen Energiebedarfs für Lüftung und Klimatisierung (gLK und zLK) für häufig auftretende Nutzungsarten im Nichtwohnbereich [LEE 2000]	32
Tab. 10	Empfehlung für die spezifische elektrische Ventilatorleistung von Lüftungsgeräten	33
Tab. 11	Empfehlung für den Wärmebereitstellungsgrad von Lüftungsgeräten	33

Tab. 12	Empfehlung für die Arbeitszahl von Kältemaschinen nach [SIA 380/4]	40
Tab. 13	Passivhauskriterium für Kühlen	40
Tab. 14	Anteil Beleuchtung am Stromverbrauch in den Sektoren [Potenziale Effizienz]	42
Tab. 15	Kenndaten verschiedener Leuchtmittel [Allgemeinstrom 09; leds], (eigene Recherche)	42
Tab. 16	Vergleich verschiedener Leuchtmittel bei jeweils gleicher Helligkeit [Allgemeinstrom 09; leds]	44
Tab. 17	Spezifische Lichtleistung bei unterschiedlicher Beleuchtungsstärke ($P_{B,e}$ Leistungswert Beleuchtung einfach, $P_{B,v}$ verbessert) [LEE 2000]	44
Tab. 18	Erforderliche Beleuchtungsstärke bei verschiedenen Sehaufgaben [DIN EN 12464-1]	46
Tab. 19	Typische Grenz- und Zielwerte für den jährlichen Elektrizitätsbedarf Beleuchtung E'Li für einige Standardnutzungen mit Annahmen für typische Raumdimension und Glasflächenanteile; Auszug aus SIA 380/4 von 2006	48
Tab. 20	Kennwert nach [SIA 380/4] und Angaben der Lampenhersteller	50
Tab. 21	Einsparmöglichkeiten beim Lichtstromverbrauch; nach [Allgemeinstrom 09], (eigene Recherche)	51
Tab. 22	Vergleich des Strombedarfs von Geräten der Informationstechnik [Herstellerangaben; Stiftung Warentest]	54
Tab. 23	Anforderungen an die Leistung von Geräten der Informations- und Kommunikationstechnik nach EuP-Richtlinie	55
Tab. 24	Spanne des Stromverbrauchs von Unterhaltungselektronik im Stand-by und im Betrieb [Herstellerangaben; Stiftung Warentest]	57
Tab. 25	Anforderungen an die Leistung von Geräten der Unterhaltungselektronik nach EuP-Richtlinie	58
Tab. 26	Stromverbrauch verschieden effizienter Kühlschränke mit Gefrierfach (Stand 2009) [NEI-Liste]	61
Tab. 27	Strombedarf und -kosten für Spülmaschinen verschiedener Energieeffizienzklassen (Vergleich Sonnenkollektor/Nahwärmenetz) [NEI-Liste und Herstellerangaben]	62
Tab. 28	Betriebskostenvergleich für Waschmaschinen mit und ohne Warmwasseranschluss [NEI-Liste und Herstellerangaben]	63
Tab. 29	Vergleich für Waschprogramme unterschiedlicher Temperatur [Datenbank www.forum-waschen.de 2016]	63
Tab. 30	Betriebskostenvergleich für unterschiedliche Trockner	64
Tab. 31	Neue Effizienzklassen als Entscheidungskriterium für den Kauf von Haushaltsgroßgeräten	65
Tab. 32	Anforderungen an die Leistung von Geräten in Stand-by-Stellung nach EuP-Richtlinie	65

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.

Für die für mehrere Sektoren relevanten Querschnittsanwendungen

- Allgemeinstrom Gebäude,
- Beleuchtung,
- Informations- und Kommunikationstechnik,
- Lüftungstechnik und
- Klimatisierung
- sowie Pumpen

werden wichtige grundsätzliche Aussagen und Kenndaten im Gesamtbericht jeweils in einem eigenen Kapitel erläutert. Die Anforderungen werden für die Bereiche

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

konkretisiert und dargestellt. Für die genannten Bereiche werden nur die jeweils hierfür relevanten Aussagen aufgeführt. Diese Kapitel werden als separate Informationsblätter für die entsprechenden Adressatengruppen aus dem Bericht ausgekoppelt. Vieles wird einmal im Querschnittsthemenfeld erläutert und wiederholt sich dann im Bereichskapitel. Spezielle Aussagen, die nur für einen Sektor relevant sind, wie z. B. fest installierte Kühlmöbel für Verkaufsflächen, werden auch nur dort erläutert.

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.

Hauptkriterium 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.

In einem ersten Schritt werden deshalb Geräte und Systeme für die verschiedenen Querschnittsanwendungen dargestellt und entsprechende Kriterien aus Normen und Zertifizierungsreglements zusammengetragen.

In einem zweiten Schritt 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.

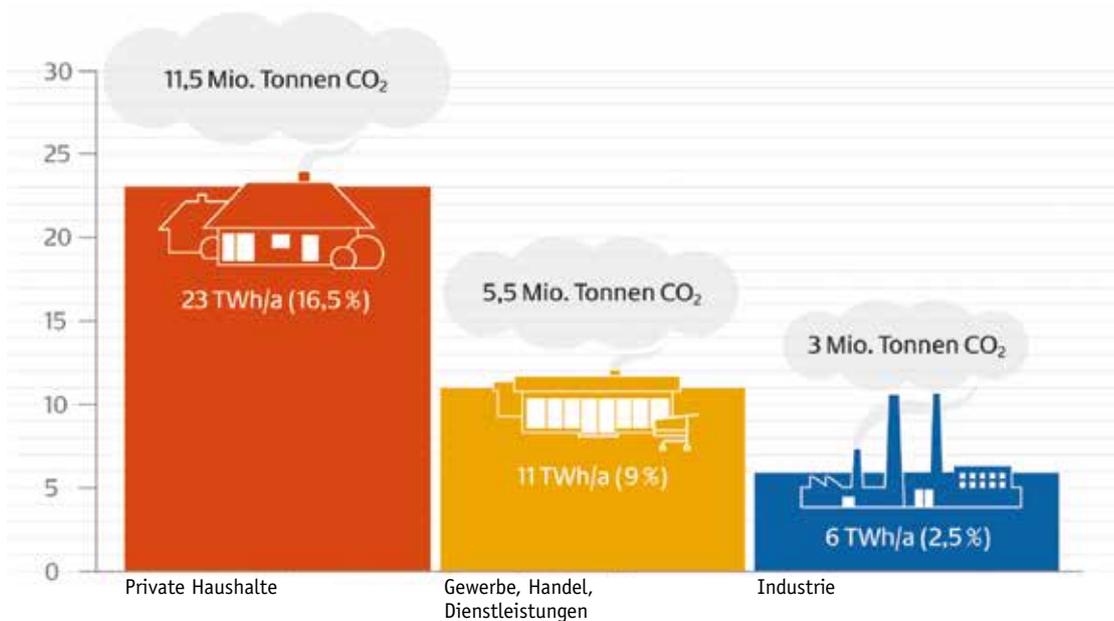
Einleitung

Energiepolitik ist ein zentrales Handlungsfeld kommunaler Zukunftsplanung. Während frühere Energiekonzepte eher unter den Zielvorgaben einer sicheren und kostengünstigen Energieversorgung erarbeitet wurden, sind heutige Energiekonzepte von der Zielvorstellung eines wirksamen Klimaschutzes geprägt.

Die Stadt Heidelberg ließ Anfang der 90er Jahre als eine der ersten Städte in Deutschland ein kommunales Klimaschutzkonzept erstellen [Stadt Heidelberg 1992]. Aufgrund ihrer Handlungsmöglichkeiten im Bereich der städtischen Gebäude hat die Stadtverwaltung gezeigt, dass CO₂-Minderungen von etwa 25 Prozent innerhalb von 10 Jahren erreichbar sind. 2014 hat sich die Stadt im Rahmen der nationalen Klimaschutzinitiative und gefördert durch das Programm „Masterplan 100% Klimaschutz“ ein noch höheres Ziel gesteckt: Die CO₂-Emissionen sollen bis 2050 um 95 Prozent gegenüber 1990 verringert werden! Dafür sind Energieeinsparungen in Höhe von 50 Prozent sowie der Umstieg auf regenerative Energieträger nötig.

Dabei kann die Stadt nur Handlungsvorbild im Rahmen ihrer Möglichkeiten sein, Privatpersonen, Gewerbetreibende und Industrie sind aufgerufen, für ihre Liegenschaften klimapolitisch vorteilhafte Lösungen zu finden.

Abb. 1 Stromeinsparpotenzial in Deutschland [www.dena.de]



Wirtschaftliche Stromeinsparung bis 2020 in Terawattstunden pro Jahr und daraus resultierende Kohlendioxid-Reduktion nach Sektoren (ohne Verkehr, Basisjahr 2003)

Mit ihrem Modellprojekt „Bahnstadt“ will die Stadt Heidelberg dieses Ziel vorantreiben. Die Umsetzung eines „energieoptimierten Stadtteils“ [Stadt Heidelberg 2004] funktioniert nur in Verbindung mit einem interdisziplinären Planungsablauf. Denn je effizienter der Baustandard wird, desto wichtiger für die Primärenergiebilanz eines Gebäudes wird der Strombedarf, insbesondere beim angestrebten Passivhausstandard.

Kosteneinsparung durch Optimierung – interdisziplinäre Planung –

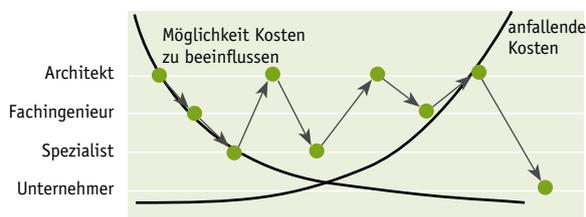
Um energetisch optimierte Gebäude realisieren zu können, ist eine integrierte Betrachtung von Gebäude und Haustechnik schon in der frühen Planungsphase unabdingbar. Zudem bieten gut organisierte Planungsabläufe, wie die sogenannte „Integrale Planung“ auch viele weitere Vorzüge, wie zum Beispiel eine kosten- und zeitsichere Realisierung.

Der traditionelle Planungsprozess orientiert sich an den Leistungsbildern der HOAI. Ingenieure und Energieplaner sind an der Entwurfsentscheidung häufig nicht beteiligt. Folglich werden innovative energetische Komponenten häufig erst zu einem Zeitpunkt in die Planung eingebracht, wenn Optimierungen des Gebäudes nur noch mit erheblichem Kostenaufwand möglich sind und technisch suboptimal ausgeführt werden können. Nicht zuletzt können damit auch erhebliche Planungsverzögerungen verbunden sein.

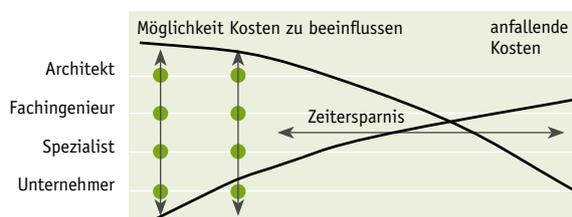
Die beschriebenen Probleme können aber vermieden werden, wenn der Bauherr rechtzeitig ein interdisziplinäres Team mit hoher fachlicher und kommunikativer Kompetenz einsetzt. Alle Beteiligten sollten sowohl am Entwurfsprozess als auch an der Konkretisierung beteiligt sein.

Abb. 2 Serielle Planung – Integrale Planung [Energiemanagement 2003]

Serielle Planung



Integrale Planung



Interdisziplinäre Planung erfordert einen hohen Abstimmungsaufwand. Aber erst eine Zusammenarbeit der planenden Ingenieure verringert – unter anderem auch – den projektierten Stromverbrauch. Nur so kann die Stromverbrauchsspirale, die mit dem Wunsch nach immer besserer technischer Ausstattung in Gang gesetzt wurde, begrenzt und sogar umgekehrt werden.

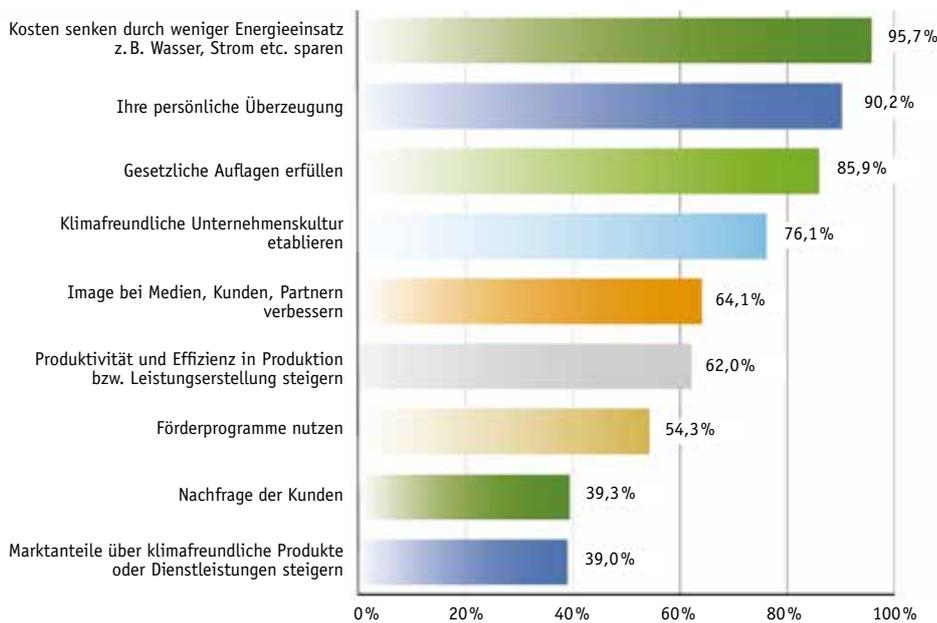
Welche Betriebskosten für die Nutzer während der Lebensdauer ihres Gebäudes entstehen, wird bereits mit den ersten Entwürfen der Planungsphase beeinflusst. Hier werden die Weichen für die Zukunft gestellt. Über die Lebensdauer eines Gebäudes betrachtet, machen die Betriebskosten einen etwa zwei bis dreifachen Betrag der Investitionskosten aus [www.dena.de]. Der Mehraufwand für effizientere Technik kann andererseits meist innerhalb weniger Jahre durch die geringeren Betriebskosten kompensiert werden. Eine verantwortungsvolle Planung verbessert die finanzielle Gesamtbilanz ganz ungemein!

Klimaschutzaktivitäten in allen hier beschriebenen Bereichen (Privathaushalte, Verwaltungs-, Gewerbe- und Forschungsbereich) führen kurz-, mittel- und langfristig auch zu einer Forcierung der Wirtschaftskraft. Sei es durch

das vermarktbare Energie-Know-How in Handwerks- und anderen Gewerbebetrieben, durch den Imagegewinn beim Einsatz zukunftsweisender Technologien oder durch eine Verringerung von Ausgaben für Energie, die anderweitig investiert werden kann.

In einer Befragung von mittelständischen Unternehmen in Norddeutschland [IBM 2008] liegen als Beweggründe für Klimaschutzmaßnahmen an erster Stelle Kostensenkungen durch weniger Energieeinsatz, persönliche Gründe und das Erfüllen gesetzlicher Auflagen. Im Mittelfeld der genannten Beweggründe liegt der Wunsch, das Unternehmensimage bei den Medien, Kunden und Geschäftspartnern zu verbessern (vgl. Abbildung).

Abb. 3 Ausschlaggebende Beweggründe für Klimaschutzmaßnahmen nach [IBM 2008]



Dieser Imagegewinn ergibt sich in gleichem Maße für die beteiligten Planungsbüros. Denn die Voraussetzung für das funktionierende Konzept der „schlanken Gebäude“ ist eine bedarfsgerechte, an der Nutzung orientierte Planung ohne aufwändige und damit teure Gebäudetechnik und ist damit in entscheidendem Maße von der ständigen Einbindung eines Energieplanungsbüros abhängig. Gute Ergebnisse lassen sich insbesondere mit motivierten Bauherren erreichen, am ehesten, wenn das Gebäude vom Bauherrn selbst genutzt wird.

Ein wesentliches Hemmnis für den Einsatz stromeffizienter Technik ist das fehlende Wissen um die Wirtschaftlichkeit und um die Bedeutung von Stromeffizienz. Ziel dieses Leitfadens ist es, diese Wissenslücken zu schließen, indem erprobte Techniken und best practice-Beispiele vorgestellt werden.

1. Allgemeinstrom

1.1 Verbrauchergruppen

Allgemeinstrom umfasst den Anteil am Stromverbrauch, der im Wohnbereich in Mehrfamilienhäusern auf alle Eigentümer- und Mietparteien nach einem vereinbarten Schlüssel umgelegt wird. Analog erfolgt üblicherweise eine Quantifizierung und Umlegung auf die verschiedenen Nutzer in Bürogebäuden. Eine Anfang 2009 veröffentlichte Studie hat diese Anteile für den Wohnbereich genauer untersucht und eine sehr umfangreiche Liste möglicher Verbraucher in den Gebäuden aufgestellt. Nicht in jedem Gebäude sind alle der nachstehend genannten Geräte und Anlagen installiert, aber jeweils doch eine erhebliche Anzahl. Manches sind auch eher exotische Anwendungen, wie z. B. schaltbare Sonnenschutzgläser, jedoch sind Regel- und Kommunikationstechnik, Beleuchtung und haustechnische Komponenten Anwendungen, die an vielfachen Stellen erforderlich und auch vorhanden sind [Allgemeinstrom 09].

Der Stromverbrauch für die genannten Verbrauchergruppen summiert sich im Wohnbereich im Mittelwert zu einem Stromverbrauch von 3,7 bis 5 kWh pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr. Umgerechnet in Kosten entspricht dies 1 bis 1,4 Euro/m²*a (berechnet mit einem Strompreis von 28 ct/kWh).

Aufzüge, die üblicherweise ebenfalls unter Allgemeinstrom abgerechnet werden, werden als relativ große Verbraucher im anschließenden Kapitel separat behandelt.

Ein nennenswerter Teil des Allgemeinstroms wird durch Antennenverstärker und Kabelanschlüsse verursacht. Dies wird anteilig an den Allgemeinstromkosten in [Allgemeinstrom 09] mit 0,01 bis 0,15 Euro/m²*a abgeschätzt (berechnet mit 28 ct/kWh).

Insgesamt liegt nach Ermittlungen der Autoren der Allgemeinstromverbrauch in Wohngebäuden in Deutschland bei 5,2 bis 7 TWh pro Jahr, das sind etwa 1 bis 1,3 Prozent des Gesamtstromverbrauchs. Die verursachten Kosten liegen bei circa 1,5 bis 2 Mrd. Euro pro Jahr (berechnet mit 28 ct/kWh).

Tab. 1 Allgemeinstromverbraucher in Wohngebäuden [Allgemeinstrom 09]

Kommunikation und Unterhaltung	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Klingel-Türöffnungs-Anlage (ohne/mit Sprechfunktion, ohne/mit Namensschildbeleuchtung, ohne/mit Videofunktion) ■ Radio/TV: Kabel-TV (gemeinschaftl. Komponenten) ■ Radio/TV: Sat-TV (gemeinschaftl. Komponenten) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Radio/TV: Analoges bzw. Digitaler terrestrischer Empfang (gemeinschaftl. Komponenten) ■ Videoüberwachung (Eingang, Tiefgarage) ■ Alarmanlage/Einbruchmeldeanlage ■ Feuermeldeanlage ■ Rauchmelder
Beleuchtung	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Treppenhaus ■ Kellerflur ■ Dachboden ■ Trockenraum ■ Heizraum ■ Waschmaschinenraum ■ Fahrradabstellraum ■ Beleuchtung anderer Gemeinschaftsräume ■ Müll/Wertstoffsammelraum (Keller, innen) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Außenbeleuchtung (Eingang, Haus-Nr.) ■ Außenbeleuchtung (Wege, Stellplätze) ■ Außenbeleuchtung (Fassadenanstrahlung) ■ Laubengang ■ Tiefgarage ■ Notausgänge/Fluchtwegschilder ■ Durchgänge/Durchfahrten ■ Müll/Wertstoffsammelplatz (außen)
Weitere Haustechnik	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Aufzug ■ Druckerhöhungsanlagen ■ Fundament- bzw. Drainagepumpen ■ Gemeinschaftswaschmaschinen, -trockner ■ Motorische Antriebe zum Öffnen von Lichtkuppeln und Fenstern ■ Concierge-Loge (komplett) ■ Tiefgaragen-Torantrieb ■ Tiefgaragen-Ampel ■ Tiefgaragen-Rampenheizung ■ Autoaufzug/Auto-Parksystem ■ Abwasser-Hebeanlage ■ Außenheizung: Dachrinnenenteisung ■ Außenheizung: Dachenteisung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Außenheizung: Wege, Tiefgaragenrampen ■ Außenheizung: Außentreppe ■ RWA (Rauch- und Wärmeabzugsanlagen) ■ Wasserfilterung, Wasseraufbereitung ■ Hallenbad ■ Sauna ■ Steuerungen und motorische Antriebe für Außenjalousien und Rolll Tore ■ Schaltbare Sonnenschutzgläser ■ Rolltreppe (innen, außen) ■ Lüftungsventilator im Wäschetrockenraum ■ Tiefgaragen-Entlüftung ■ Entlüftung (z. B. von Kellern mit Radon-Belastung)
Heizung und Warmwasser	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Heizöltank-Lecküberwachung ■ Speicherladepumpe(n) Warmwasserspeicher ■ Heizöl-Förderpumpe ■ Ladepumpe(n) Pufferspeicher Heizung ■ Brenner ■ Holzpellets-Lager-Entlüftung 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Förderung von Holzpellets-/Hackschnitzel ■ Umwälzpumpe(n) Heizung ■ Fernüberwachung (Modem) ■ Zirkulationspumpe(n) Warmwasser ■ Regelung(en)

Tab. 2 Allgemeinstromverbrauch und –kosten in Wohngebäuden in Deutschland; nach: [Allgemeinstrom 09]

Allgemeinstrom in Mehrfamilienhäusern in Deutschland	Stromkosten (berechnet mit 28 ct/kWh)	Stromverbrauch
gesamt pro Jahr	1,5 bis 2 Mrd. Euro	5,2 bis 7 Mrd. kWh Endenergie
spezifisch pro Wohnung und Jahr	durchschnittlich 70 bis 94 Euro	durchschnittlich 250 bis 335 kWh Endenergie
spezifisch pro m ² Wohnfläche und Jahr	1 bis 1,4 Euro	durchschnittlich 3,7 bis 5 kWh Endenergie
spezifisch pro m ² Gesamtnutzfläche und Jahr		durchschnittlich 8,4 bis 11,3 kWh Primärenergie

Neben vielen anderen Maßnahmen zur sparsameren Nutzung von Energie sind effiziente Netzteile bei diesen dezentralen Anwendungen ein wichtiger Schritt zu effizienterem Stromeinsatz. Aufgrund der EU-weit geltenden EuP-Richtlinie¹, die Anforderungen an den Energieverbrauch von Produkten stellt, dürfen seit 2013 neue Geräte im Stand-by nicht über 1 W verbrauchen; die Grenze liegt bei 0,5 Watt, wenn außer der Reaktivierungsfunktion und ggf. einer (Zeit-)Anzeige in Stand-by-Stellung keine weitere Funktion mehr erfüllt wird, wie es z. B. beim TV in der Regel der Fall ist.

Auch Aufzüge sind ein relevanter Verbraucher, der in Wohngebäuden zum Sektor Allgmeinstrom gerechnet wird. Aufgrund der Relevanz auch für Büro-, Labor- und sonstige Geschäftsgebäude werden sie in einem eigenen Querschnittskapitel behandelt.

1.2 Kennwerte Allgmeinstrom

[Allgemeinstrom 09] nennt für den Allgmeinstromverbrauch in Wohngebäuden einen Kennwert

Tab. 3 Kennwerte Allgmeinstrom nach [Allgemeinstrom 09]

Kennwert Allgmeinstrom in Wohngebäuden
3,7 bis 5 kWh pro m ² und Jahr

Für Büro- und sonstige Gebäude ist ein solcher Wert nicht verfügbar.

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

1.3 Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Liste von Verbrauchern im Bereich Allgemeinstrom – also von Strom, dessen Verbrauch auf die Nutzer bzw. Mieter eines Gebäudes aufgeteilt wird – ist beträchtlich und variiert je nach Gebäudenutzung (z. B. Wohn-, Büro-, Gewerbenutzung) stark.

Einsparungen ergeben sich vor allem

- in der Verwendung von effizienten Netzteilen mit niedrigen Stand-by-Verlusten, z. B. für Klingeltrafos, Brandmeldeanlagen, Antennenverstärker...
- durch das Inkrafttreten der EuP-Richtlinie² zur Begrenzung von Stand-by-Verlusten,
- durch eine knappe, jeweils der Anwendung angepasste Dimensionierung von Allgemeinbeleuchtung in Kombination mit Bewegungsmeldern und/oder Zeitschaltuhren (zu Details siehe das Querschnittskapitel zu Beleuchtung),
- soweit nicht unter Betriebskosten Heizung erfasst: durch hocheffiziente Umwälzpumpen (zu Pumpen siehe eigenes Kapitel),
- für die jeweilige Anwendung optimierte intelligente Regeltechnik,
- durch Planungen, die ohne elektrische Begleitheizungen zum Frostschutz von Wasserleitungen oder Abwasserrohren auskommen,
- durch Planungen, die den Verzicht auf Flächenheizungen im Außenbereich ermöglichen, z. B. bei Tiefgaragen.

2 Aufzüge

2.1 Verbrauchsanteile bei Aufzügen

Aufzüge sind Verursacher weiterer nennenswerter Anteile des Allgemestromverbrauchs in Gebäuden. Nach Schweizer Zahlen geht etwa ein halbes Prozent des Gesamtstromverbrauchs der Schweiz zu Lasten der Aufzüge. Umgerechnet auf Deutschland würde das eine Größenordnung von 2,5 TWh bedeuten.

Die Betriebskosten für Aufzüge werden für die mit Aufzügen ausgestatteten Mehrfamilienhäuser in [Allgemeinstrom 09] mit 0,21 Euro bis 0,29 Euro pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr angesetzt (für die Bahnstadt berechnet mit einem Strompreis von 28 ct/kWh).

Eine europäische Studie geht davon aus, dass der Stromverbrauch bestehender Aufzüge in Europa durch den Einsatz bester verfügbarer Technik auf unter 40 Prozent gesenkt werden kann. Durch weitere technische Optimierungen können nochmals 10 Prozent eingespart werden [ISR 2010].

Zwischen den verschiedenen Aufzugstypen und den unterschiedlichen Nutzungen bestehen große Unterschiede im Anteil des Stromverbrauchs in Wartestellung, sie liegen zwischen 40 und 80 Prozent, wie in der folgenden Tabelle gezeigt. Wesentlich dafür ist zum einen der Nutzungsgrad; stark frequentierte Aufzüge (wie z.B. in Krankenhäusern) haben einen niedrigeren Stand-by-Verbrauchsanteil. Zum anderen sind Qualität sowie Regelung der technischen Ausstattung maßgeblich.

Tab. 4 Stromverbrauch typischer Aufzüge im Bestand in der Schweiz; unterschiedliche Nutzung [Nipkow 06]

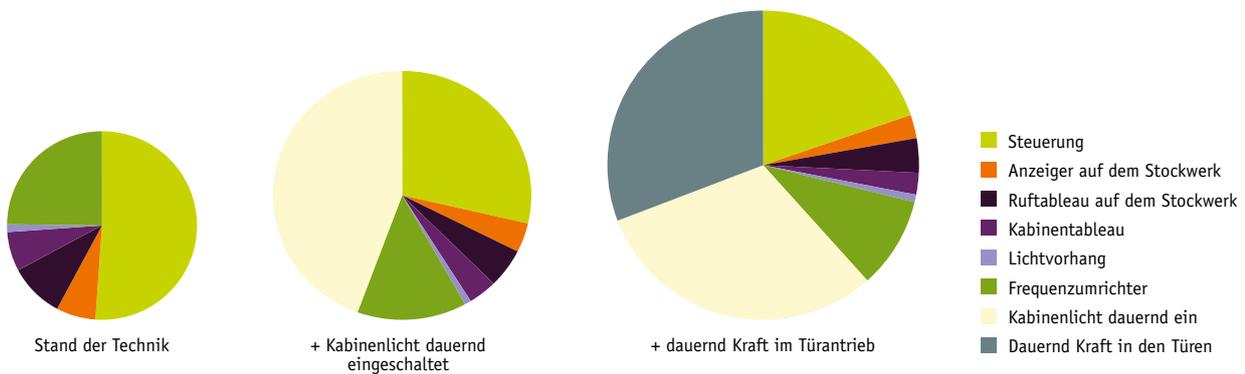
Nutzung	Anzahl Aufzüge (Tausend) Anteil (%)		Typischer Aufzug						Hochrechnung gem. SIA 380/4					
			Etagen (-)	Hubhöhe (m)	Fahrten pro Jahr (Tausend)	Geschwindigkeit (m/s)	Leistungsaufnahme		Energie		Anteil an Energie total (%)			
							Motor (kW)	Stand-by (W)	Stand-by (GWh)	Fahrt (GWh)	Total (GWh)	Stand-by (%)	Fahrt (%)	Total (%)
Wohnhaus	97,5	65	6	14,0	40	1,0	6	90	77	16	93	28	6	34
Spital	1,5	1	12	30,8	700	2,0	25	500	7	19	26	2	7	9
Pflege/Besucher	13,5	9	8	19,6	300	1,6	10	200	24	24	48	8	9	17
Shopping	6,0	3	3	5,6	200	1,6	20	150	8	4	12	3	1	4
Büro	18,0	12	8	19,6	200	1,5	21	200	31	48	79	11	17	28
Parking/Verkehr	6,0	4	4	8,4	600	1,6	18	100	5	2	7	2	1	3
Industrie/Warenaufzug	7,5	5	4	8,4	400	0,8	30	150	10	4	14	4	1	5
Total	150,0	100							162	117	279	58	42	100

Bei der Hochrechnung für die Schweiz wurde die Aufteilung nach Nutzungen geschätzt.

Der Gesamtverbrauch von 280 GWh/Jahr macht 0,5 Prozent des schweizerischen Elektrizitäts-Endverbrauchs aus.

In der Regel bleibt das Kabinenlicht auch während der Stillstandszeiten in Betrieb, die Displays sind beleuchtet und vielfach wird Energie zum Zuhalten der Türen verbraucht. Dies lässt sich optimieren, so dass dieser Anteil des Verbrauchs stark verringert werden kann. Die nachfolgende Abbildung zeigt, wie hoch die Unterschiede im Leistungsbezug in Stand-by-Stellung sein können, im gezeigten Beispiel zwischen 40 und 150 Watt, bei gleicher Dienstleistung. Der zusätzliche Verbrauch entsteht im gezeigten Beispiel durch das permanent eingeschaltete Kabinenlicht sowie durch das Zuhalten der Kabinentür.

Abb. 4 Unterschiede im Stand-by-Betrieb von Aufzugsanlagen zwischen 40 Watt bei guter technischer Lösung (Stand der Technik) und 150 W bei technisch suboptimaler Ausführung [Nipkow06]



Einsparungen sind durch Ausschalten des Kabinenlichts und von Teilen der Regeltechnik während der Stillstandszeiten sowie durch den Einsatz effizienterer Netzteile (Schaltnetzteile) möglich. Ein teilweises Abschalten der Regeltechnik zieht nach sich, dass für die erste Fahrt nach einer Ruhephase eine etwa 10 Sekunden längere Wartezeit entsteht, was jedoch in der Regel verkraftbar ist. Durch Verwendung effizienter Leuchtmittel sowohl für Display als auch für die Kabine kann der Stromverbrauch weiter reduziert werden. LEDs bieten sich aufgrund ihrer langen Standzeiten und hohen Schaltfestigkeit hier besonders an, da ein Lampentausch stets Arbeitszeit von Servicetechniker oder Hausmeister benötigt und damit zusätzliche Kosten verursacht.

Tab. 5 Stromverbrauch und Betriebskosten verschiedener Beleuchtungssysteme in Aufzügen pro Jahr nach [Nipkow 06] und eigener Recherche

	12V-Halogenlampe	LED-Lampe (80 Lumen/Watt)
Leistung pro Lampe (Watt)	50	8
mittl. Lebensdauer (Std.)	2.000	50.000
Preis pro Lampe (Euro)	2,50	16,00
Energieverbrauch (kWh/a)	2.628	420
Energiekosten (Euro/a)	736	118
Lampenkosten (Euro/a)	65,70	16,82
Auswechselkosten (Euro/a)	76,65	3,07
Jahreskosten (gerundet)	878	138
Ersparnis ggü. Halogen-Lampen		84%

Annahmen: 6 Lampen pro Kabine, Strompreis 28 ct/kWh, Brenndauer 8.760 Std./a, Arbeitskosten 35 Euro/Std.

Hocheffiziente LED-Lampen sind in der Anschaffung teurer, dennoch in der Gesamtschau sehr rentabel. Die Preise sinken stetig. Gleichzeitig werden LED-Lampen immer effizienter (vergl. Kapitel zu Beleuchtung).

Durch Rückspeisung von Energie bei Abwärtsfahrten bzw. bei Aufwärtsfahrten bei Aufzügen mit Gegengewicht können 30 bis 50 Prozent der Energie zurück gewonnen werden. Lohnend ist der Einsatz dieser Technologie aufgrund zusätzlicher Investitionen nur bei größeren Objekten mit vielen Fahrten. Neue Umrichtertypen sind in der technischen Erprobung und versprechen verbesserte Rückspeisequoten [Umrichter 08].

In Wohnhäusern mit 6 Stockwerken kann mit einem Stromverbrauch von ca. 1.000 kWh pro Jahr gerechnet werden, in einem Bürogebäude oder etwas größeren Wohngebäude ca. 4.500 kWh pro Jahr, im Krankenhaus mit der üblicherweise sehr hohen Nutzungsfrequenz kann er sich auf rd. 18.000 kWh belaufen. Beispiele gemessener Objekte mit den Kenndaten Nutzlast, Fahrgeschwindigkeit, Zahl der Halte und Fahrten pro Jahr zeigt die folgende Tabelle. Um diese Verbrauchswerte mit qualifizierten Daten als spezifischen Verbrauch pro Fläche auszuweisen, ist allerdings die Datenlage nicht ausreichend.

Die Gegengewichte in Aufzügen sind häufig auf eine mittlere Auslastung von 40 bis 50 Prozent ausgelegt, wohingegen im Schnitt die mittlere Belegung eher bei 20 Prozent liegt. Eine Verringerung des Gegengewichts verbessert die Gesamtbilanz, da der Motor dann nicht ständig gegen das zu hohe Gewicht arbeiten muss [Nipkow 06].

Tab. 6 Stromverbrauch typischer Aufzüge im Bestand bei unterschiedlicher Nutzung – Messwerte (Antrieb getriebeles mit frequenzgeregeltem Permanentmagnetmotor) [Nipkow 06]

Nutzung	Wohnhaus klein	Büro/Wohnhaus mittel	Spital/Büro groß
Nutzlast (kg)		1.000	2.000
Geschwindigkeit (m/s)	1	1,5	2
Halte (-)	6	8	12
Energie pro Fahrt (Wh)	4	13	19
Fahrten pro Jahr (10 ³)	40	200	700
Energie pro Jahr inkl. Stand-by (kWh)	950	4.350	17.700
Anteil Stand-by (%)	83	40	25

Im Jahr 2009 wurde in Deutschland die für Aufzüge geltende VDI 4707 neu herausgegeben. Sowohl der Stillstandsstrombedarf als auch der Bedarf bei Fahrt wird gemessen, je nach Nutzungskategorie auf den Jahresverbrauch hochgerechnet und das Ergebnis in ein Etikett eingetragen, das sich am EU-Label für Haushaltsgroßgeräte orientiert.

Abb. 5 Energieverbrauchsetikett Aufzüge gemäß VDI 4707 für einen effizienten Aufzug [Böhnke 2008]

Aufzugshersteller:	Hopman Köln		
Standort:	Industrieweg 13, 51429 Bergisch Gladbach		
Aufzugsmodell:	Lastenaufzug Fabrikat Nr. 10063		
Aufzugsart:	Seilaufzug		
Nennlast:	4400 kg		
Nenngeschwindigkeit:	0,5 m/s		
Stillstandsbedarf: < 100 W (Klasse B)		Fahrtbedarf: < 0,8 mWh/(m·kg) (Klasse A)	
Hinweis: Zusätzliche Verbraucher (weitere Geräte, die für den Betrieb des Aufzugs erforderlich sind), sofern vorhanden: siehe Anlage(n)			
Nutzungskategorie 1 nach VDI 4707			
Vergleiche von Energieeffizienzklassen sind nur bei gleicher Nutzungskategorie möglich.			
Energieeffizienzklasse			
A	B	C	D
			E
			F
			G

2.2 Zusammenfassung und Empfehlungen

Das Einsparpotenzial bei Aufzügen hängt sehr stark vom Aufzugstyp (technische Ausstattung) und der Nutzung (Gebäudenutzung und -größe) ab. Eine Optimierung des Aufzugsbetriebs kann durch die folgenden Maßnahmen erreicht werden.

- Wahl eines Aufzugs mit an die Anforderung angepasster Leistung,
- Aufzugstyp mit Energieeffizienzklasse A (oder mindestens B) wählen,
- Stand-by-Stromverbrauch gering halten durch Abschaltung des Kabinenlichts und des Displays, durch effiziente Spannungsversorgung (Schaltnetzteile) und durch die Wahl eines Modells, das keine Energie zum Geschlossenhalten der Kabinentür benötigt,
- Verwendung von hocheffizienten LED-Lampen (mind. 80, besser 100 bis 120 Lumen/Watt),
- Wahl einer entsprechend der Gebäudenutzung vertretbar niedrigen Geschwindigkeit, da höhere Beschleunigung größere Motoren verlangt, die aufgrund großer Dimensionierung höhere Verlustanteile aufweisen,
- in größeren Objekten mit vielen Aufzugfahrten sollte geprüft werden, ob ein rückspeisefähiger Umrichter zur Energierückgewinnung (Rekuperation) eine wirtschaftliche Investition darstellt,
- Optimierung des Gegengewichts entsprechend realistischer Nutzungsannahmen,
- bei Aufzuggruppen (in größeren Gebäuden) Abschalten einzelner Aufzüge in Zeiten geringer Nutzung.

3 Umwälzpumpen

3.1 Einsparpotenziale bei Umwälzpumpen

Etwa 40 Prozent des weltweiten Elektrizitätseinsatzes geht zu Lasten von Elektromotoren aller Leistungsklassen; darin eingeschlossen sind u. a. auch Kompressoren, Ventilatoren und Umwälzpumpen. Die großen Motoren (oberhalb 0,75 kW) setzen Elektrizität effizient in Bewegung um, sie haben motorische Wirkungsgrade von mindestens 75 Prozent (0,75 kW und Effizienzklasse IE1) bis 95 Prozent (100 kW und Effizienzklasse IE3); hier sind Einsparpotenziale vor allem durch korrekte Dimensionierung, gute hydraulische bzw. Kraftübertragungseigenschaften, eine Optimierung des Gesamtsystems, in dem der Motor betrieben wird, sowie durch die Regeltechnik erreichbar.

Neue kleinere Motoren, wie es viele Heizungs- und Warmwasserzirkulationspumpen sind, haben, wenn es Permanentmagnetmotoren sind, motorische Wirkungsgrade von etwa 50 Prozent; in Kombination mit optimierten Laufrädern können Umwälzpumpen eine Effizienz für den Medientransport von 40 Prozent erreichen, übliche installierte Modelle haben hingegen nur 5 bis 25 Prozent.

Derzeit ist ein Einsparpotential von rund 80 Prozent bei hocheffizienten Umwälzpumpen gegenüber älteren Modellen erreichbar, vorrangig durch eine Drehzahlregelung, da Pumpen überwiegend in Teillast laufen, sowie durch die Permanentmagnetmotoren. Jedoch sind trotz guter Wirtschaftlichkeit noch viele der derzeit installierten und betriebenen Pumpen von herkömmlicher Bauart.

Die Drehzahlregelung wird statt Drosselung oder Bypass eingesetzt, zudem treten an fast geschlossenen Heizkörperventilen keine Geräusche auf.

Neben der Effizienz der Pumpen sind Einsparpotenziale hier vor allem durch ein gut dimensioniertes Gesamtsystem zu realisieren, eine Aufgabe, die Planungsbüros mit gutem technischem Weiterbildungsstand selbstverständlich erfüllen.

Dort, wo aus Komfortgründen Warmwasserzirkulationspumpen erforderlich sind, sollten in jedem Fall optimierte Pumpen mit möglichst kleiner Leistung eingesetzt werden, deren Betriebszeiten an die Anforderung angepasst werden. Neben Pumpen mit der verbreiteten zeitlichen Steuerung gibt es „selbstlernende“ Umwälzpumpen, die ihre Betriebszeiten den üblichen Warmwasser-Zapfzeiten anpassen. Je seltener die Warmwasseranforderung üblicherweise auftritt, desto höher ist das Sparpotenzial durch die Reduzierung der Laufzeiten. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Vorgaben der Trinkwasserverordnung eingehalten werden.

Zusätzlich zur Stromeinsparung wird aufgrund der geringeren Verluste in den Zirkulationsleitungen auch weniger thermische Energie für die Wassererwärmung benötigt. Bei der Planung muss darauf geachtet werden, dass sich bei niedriger Wassertemperatur bzw. dann, wenn in manchen Leitungszweigen wenig Zirkulation stattfindet, keine Legionellen bilden können.

3.2 Kennzeichnung von Umwälzpumpen

Durch den Einsatz hocheffizienter Umwälzpumpen kann sowohl Strom als auch Wärme in beträchtlichem Umfang eingespart werden.

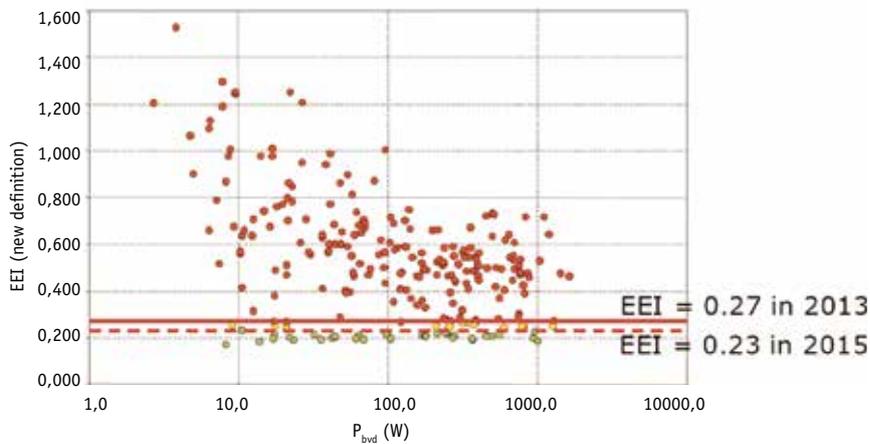
Abb. 6 Drehzahleregelte Kleinpumpen der Firmen Grundfos, Biral und Wilo (Herstellerfotos)



Während einiger Jahre gab es für Umwälzpumpen ein Label, welches analog zu dem bei Haushaltsgroßgeräten gut bekannten EU-Label mit den Effizienzklassen A bis G ausgestaltet war. Seit 2009 ist eine EU-Verordnung in Kraft, die die Einführung und sukzessive Anpassung von Effizienzindizes für Umwälzpumpen vorschreibt. In der folgenden Abbildung [BAM + UBA 09] ist der Energieeffizienzindex (EEI) über der Förderleistung aufgetragen. Der EEI wird ermittelt, indem bei verschiedenen Betriebszuständen die Lastaufnahme einer Pumpe gemessen und anhand eines definierten Lastprofils gewichtet wird. Diese gewichtete Leistungsaufnahme wird in Relation zur Leistungsaufnahme einer durchschnittlichen Pumpe gleicher Förderleistung gesetzt. Je niedriger dieser EEI ist, desto weniger Strom benötigt die jeweilige Pumpe, um eine bestimmte Menge Heizungswasser oder auch Sole (in Kollektor- oder Klimaanlage) zu transportieren. Die Verordnung betrifft sowohl Heizungsumwälzpumpen als auch Umwälzpumpen in Solaranlagen, in Systemen mit Erdwärmekollektoren sowie in Klimaanlage. Sie legt die Grenzwerte fest, die seit 2013 bzw. 2015 für neue Pumpen gelten.

Im Unterschied zum EEI beschreibt der elektrische Wirkungsgrad von Pumpen das Verhältnis zwischen eingesetzter elektrischer Energie und transportierter Menge z. B. von Warmwasser oder von Sole (vergl. auch Kap. 3.1). Die meisten heute installierten Umwälzpumpen sind wenig effizient. Die besten am Markt verfügbaren Pumpen mit Förderleistungen, wie sie in Wohngebäuden erforderlich sind, haben einen EEI von 0,2 oder sogar nur 0,15, die ineffizienteste Pumpe alter Bauart liegt hingegen fast beim 8-fachen Wert.

Abb. 7 Auswirkung der beschlossenen Anforderungen auf das Angebot an Heizungsumwälzpumpen [Europump/VDMA]



Erläuterung:

Rote Punkte: vorhandene Umwälzpumpen, die die Anforderungen seit 1.1.2013 nicht erfüllen

Gelbe Punkte: vorhandene Umwälzpumpen, die die Anforderungen seit 1.8.2015 nicht erfüllen

Grüne Punkte: heute erhältliche Umwälzpumpen, die die Anforderungen seit 1.8.2015 erfüllen

Seit 2015 werden auch Pumpen, die z. B. in Heizthermen integriert sind, von der Verordnung erfasst. Ab 2020 sollen dann auch Pumpen, die in bestehenden Geräten ausgetauscht werden, mindestens einen EEI von 0,23 erreichen. Zudem sollen Produktinformationen mit den energietechnischen Kenndaten der Pumpen zur Verfügung stehen. Wichtig ist auch, die Heizungspumpen korrekt zu dimensionieren. Zu große Pumpen sind teurer und im Betrieb weniger effizient. Überschlägig kann davon ausgegangen werden, dass pro kW Heizleistung 1 Watt Pumpenleistung erforderlich ist.

3.3 Wärmeverteilung und hydraulischer Abgleich

Neben der Effizienz der Pumpe ist eine gute Auslegung des Wärmeverteilnetzes ein wesentlicher Faktor für einen niedrigen Betriebsstromverbrauch. Druckverluste in Wärmeverteilnetzen können durch eine gute hydraulische Auslegung mit an die Anwendung angepassten Rohrquerschnitten minimiert werden. Durch druckdifferenzgeregelter Pumpen treten keine Strömungsgeräusche an (fast) geschlossenen Thermostatventilen auf.

In bestehenden Netzen kann ein Teil des Effizienzgewinns durch eine gute Pumpe aufgrund von Druckverlusten im Netz verloren gehen. Daher ist dort ein hydraulischer Abgleich wichtig, welcher für eine gleichmäßige Verteilung des Heizmediums im Netz sorgt. Dabei wird, meist über voreinstellbare Ventile am Heizkörper, dafür gesorgt, dass sowohl Heizkörper, die nahe am Wärmeerzeuger platziert sind, als auch solche, die am Ende von Versorgungssträngen angeordnet sind, gleichmäßig warm werden.

Für neue Netze ist ein hydraulischer Abgleich entsprechend der gültigen Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen vorgeschrieben, vom Installationsbetrieb durchzuführen und zu dokumentieren.

3.4 Wirtschaftlichkeit

Die beschriebenen hocheffizienten Pumpen sind in der Anschaffung teurer, sie sind jedoch aufgrund der hohen Einsparung an Strom sowie der Verringerung der Wärmeverteilverluste hoch wirtschaftlich. Selbst bei den kleinen Pumpen im Ein-/Zweifamilienhaussektor kann von einer Rückzahlzeit für die Mehrkosten von etwa drei Jahren ausgegangen werden, bei größeren Pumpen für Mehrfamilienhäuser, Bürogebäude oder gewerbliche Objekte sind diese Zeiten kürzer [UBA 09 und zahlreiche andere Quellen].

3.5 Kennwerte Pumpen

Gemäß der geltenden EU-Verordnung für Heizungspumpen ist ein Energieeffizienzindex (EEI) einzuhalten. Die effizientesten Pumpen erreichen einen Wert von 0,20, einzelne sogar 0,19 bis 0,15. In der nachstehenden Tabelle wird dargestellt, welche Pumpentypen ab wann von der Verordnung betroffen sind. (Dabei bedeutet: Integrierte Umwälzpumpen sind in einen Wärmeerzeuger – z.B. eine Therme – eingebaut, externe arbeiten unabhängig von einem Wärmeerzeuger in einem Verteilnetz.)

Tab. 7 Anforderungen an Umwälzpumpen [BAM + UBA 09]

ab	Pumpentyp	Anforderungen
1.1.2013	externe Umwälzpumpen	EEI ≤ 0,27; Produktinformation
	Trinkwasser-Zirkulationspumpen	nur Produktinformation
1.8.2015	externe Umwälzpumpen und in neue Produkte integrierte Umwälzpumpen	EEI ≤ 0,23; Produktinformation
1.1.2020	in bestehende Produkte integrierte Umwälzpumpen	Ende der Möglichkeit, integrierte Heizungsumwälzpumpen, die vor dem 1.8.2015 in Verkehr gebracht wurden, zu ersetzen

3.6 Zusammenfassung und Empfehlung

Umwälzpumpen sind im Einsatz als Heizungsumwälzpumpen, als Trinkwasser-Zirkulationspumpen, als Umwälzpumpen im Solarkreislauf, in Systemen mit Erdwärmekollektoren sowie in Klimaanlage. Ihr Einfluss auf den Stromverbrauch bleibt in der Regel unbeachtet. Dabei ist neben der Effizienz der Pumpe auch die Auslegung des Wärmeverteilnetzes für den Betriebsstromverbrauch verantwortlich, weshalb für neue Netze ein hydraulischer Abgleich vorgeschrieben ist (z. B. DIN 4701-10, EnEV).

Das große Einsparpotenzial von bis zu 80 Prozent bei den Umwälzpumpen kann durch die aufgeführten Maßnahmen erschlossen werden.

- Hocheffiziente Pumpen mit einem Energieeffizienzindex (EEI) von 0,20 oder niedriger sollten installiert werden.
- Besonders effizient arbeiten differenzdruckgeregelter Pumpen, ihr Einsatz sollte geprüft werden. Heizungspumpen müssen korrekt dimensioniert sein. Zu große Pumpen sind teurer in der Anschaffung und im Betrieb weniger effizient. Faustregel: Pumpenleistung entspricht 1 Promille der Heizleistung.
- Eine Dokumentation des hydraulischen Abgleichs sollte angefordert und vom Installationsbetrieb an den Auftraggeber übergeben werden.
- Die Regelung von Pumpen sollte sich am Bedarf orientieren (bedarfsgerechte Regelung). Im Zusammenhang mit Betonkerntemperierung hat sich eine Taktung der Umwälzpumpen bewährt.
- Bei sehr gut wärmedämmten Gebäuden kann die Verteilung des verbleibenden geringen Restwärmebedarfs ggf. über die Lüftungsanlage erfolgen, in diesen Fällen ist u.U. kein herkömmliches Heizsystem mehr erforderlich. In diesen Fällen sind analoge Effizienzanforderungen an die Lüftungssysteme zu richten (siehe eigenes Kapitel).
- Auch für Sonnenkollektor- und Klimaanlage sowie für Erdwärmetauscher sollten effiziente Pumpen eingesetzt werden.

4. Lüftung und Klimatisierung

Die Energiedienstleistung Lüftung und Klimatisierung umfasst die Teildienstleistungen Zuluft, Abluft, Wärmerückgewinnung, Kühlung sowie Luftfilterung und Be- und Entfeuchtung. Von Fall zu Fall werden diese Teildienstleistungen in unterschiedlicher Zusammenstellung erbracht, z. B.

- nur Zuluft oder nur Abluft (nicht bei Passivhäusern),
- Zu- und Abluft, mit Wärmerückgewinnung,
- nur Kühlung (nicht bei Passivhäusern),
- Lüftung und Kühlung,
- volle Klimatisierung einschließlich Be- und Entfeuchtung.

Bestimmte Randbedingungen erfordern neben einer Heizung oder Kühlung auch noch eine Be- oder Entfeuchtung der Zuluft. Die Art der erforderlichen Lüftung und ihre Dimensionierung haben Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf, den Kältebedarf sowie auf den Be- und Entfeuchtungsbedarf. Da die Be- und Entfeuchtung immer mit Aggregatzustandsänderungen des Wassers (Zu- oder Abführung latenter Verdampfungsenthalpie) verbunden ist, fällt hier ein hoher Energiebedarf an. Ziel muss eine energieoptimierte Systemlösung sein, die den gestellten Komfortansprüchen gerecht wird.

Klimaanlagen können erforderlich werden, wenn ein definiertes Raumklima mit maximal zulässigen Abweichungen für die Raumluftqualität (z. B. Raumtemperatur und/oder Raumluftfeuchte) sicherzustellen ist. Dies kann bei Sondernutzungen wie Laboren der Fall sein, im Wohnbereich sind Klimaanlagen durch bauliche Maßnahmen vermeidbar.

Den gewünschten Komfort bestimmt der Bauherr in Absprache mit dem Planer. Hohe Komfortansprüche (hohe Außenluftstraten, tiefe Komforttemperaturen im Sommer) erfordern im Allgemeinen hohe Investitionen (teure Anlagen) und einen tendenziell hohen Energieaufwand. Vorgeschriebene Mindestanforderungen für den jeweiligen Nutzungszweck sind einzuhalten. Falls höhere Komfortbedingungen gewünscht werden, sollten diese kritisch hinterfragt bzw. begründet werden [SIA-Leitfaden 2006].

Für die einzelnen Anlagensysteme Lüftung, Gebäudekühlung und Luftbefeuchtung werden die zu erbringenden Dienstleistungen also zunächst definiert. 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 z. B. als (spezifischer) 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 (z. B. Absorptionskälteanlagen mit Fernwärme oder gasbetriebenen Kompressionskältemaschinen), so dass sich als Bezugs- und Vergleichgröße der Primärenergiebedarf anbietet.

Das Verhältnis von Jahresenergieaufwand zur erbrachten Dienstleistung stellt einen Aufwandskennwert dar, für den Richt- bzw. Grenz- und Zielwerte festgelegt werden können. Der Aufwandskennwert charakterisiert die energetische Qualität der technischen Anlage:

- Für die Lüftung der Aufwandskennwert Lüftung (mittlere, volumenstromspezifische, elektrische Leistungsaufnahme bzw. mittlerer Energiebedarf je ausgetauschtem m³ Luft).
- Für die Gebäudekühlung der Aufwandskennwert Kühlung (mittlere, flächenspezifische, elektrische Leistungsaufnahme).

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

Normen

Auf den folgenden Seiten wird verschiedentlich auf Normen verwiesen. Diese werden derzeit überarbeitet, wobei die relevanten europäischen Normen unter neuen Nummern erscheinen werden. Entwürfe der neuen EN-Normen wurden 2015 veröffentlicht. Auf die Inhalte dieser Entwürfe wird im Folgenden nicht Bezug genommen, weil deren Anwendung ausdrücklich vereinbart werden müsste, und weil zwischen den endgültigen Normen und den Entwürfen erhebliche Änderungen zu erwarten sind. Tabelle 9 zeigt eine Übersicht über die aktuellen (Dezember 2016) Normen und die zu erwartenden neuen Nummern. Mittelfristig muss man damit rechnen, dass auch die neuen Nummern ersetzt werden durch internationale Normen (DIN EN ISO xxx).

Tab. 8 Übersicht über einige relevante Normen

Thema	aktuelle Norm (2016)	zukünftige Norm
Anforderungen an das Raumklima	DIN EN 15251:2012	DIN EN 16798-1
Lüftung von Wohngebäuden	DIN 1946-6:2009	DIN 1946-6
Lüftung von Nichtwohngebäuden	DIN EN 13779:2007	DIN EN 16798-3
Inspektion von Lüftungs- und Klimaanlage	DIN EN 15240:2007	DIN EN 16798-17

Für Normen gilt das Prinzip der Freiwilligkeit, d. h. sie müssen nicht angewendet werden, aber sie können zwischen verschiedenen Vertragsparteien vereinbart werden. Das ist durchaus empfehlenswert, wobei solche Vereinbarungen möglichst konkret formuliert werden sollten, z. B. „Kategorie IDA 4 nach DIN EN 13779“ und nicht „entsprechend den aktuellen DIN-Normen“.

Allerdings geht die Rechtsprechung bei Baustreitigkeiten davon aus, dass Normen in der Regel den „Stand der Technik“ beschreiben, der dann geschuldet wird, wenn es keine konkreten Vereinbarungen gibt. Insofern können Baunormen eine gewisse Verbindlichkeit erhalten, auch ohne dass ihre Anwendung vereinbart ist.

Oft sind die in den Lüftungsnormen aufgeführten Werte für die Auslegung übertrieben. So gibt es nach DIN EN 13779 vier Kategorien der Innenraumluftqualität von IDA (InDoorAir) 1 – „hohe Luftqualität“ – bis IDA 4 – „niedrige Luftqualität“, wobei erfahrungsgemäß auch mit den Volumenströmen nach Kategorie IDA 4 oder IDA 3 eine gute Raumluftqualität erreicht wird. In ähnlicher Weise sind beispielsweise in DIN EN 15251 die maximalen Raumtemperaturen für die Auslegung von Klimaanlage teilweise recht anspruchsvoll, also niedrig.

Für alle Baubeteiligten – Bauherr – Planer – Nutzer – ist es empfehlenswert, detaillierte Vereinbarungen zu treffen, um spätere Streitigkeiten zu vermeiden.

EU-Ökodesign-Richtlinie

Seit 2016 gelten aufgrund einer EU-Verordnung zur Umsetzung der EU-Ökodesign-Richtlinie Anforderungen an die Energieeffizienz von Wohnungslüftungsgeräten und von Zentralgeräten von Lüftungsanlagen für Nicht-Wohngebäude. Ab dem 01.01.2018 gelten verschärfte Anforderungen, ab 2020 sollen die Anforderungen überprüft und ggf. überarbeitet werden [EU 2014a].

Die EU-Anforderungen an Wohnungslüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung bleiben hinter den Empfehlungen aus der vorliegenden Broschüre zurück. Dagegen sind die Mindestanforderungen für Nicht-Wohnungslüftungsgeräte im Prinzip zielführend und nach Einschätzung von Fachleuten auch wirtschaftlich. Es ist sinnvoll, auch vor 2018 schon Geräte zu wählen, die den Anforderungen ab 2018 genügen.

Mit einer weiteren EU-Verordnung wurde für Wohnungslüftungsgeräte ein Energieeffizienz-Label verpflichtend eingeführt [EU 2014b]. Die Einstufung hängt nicht nur vom Wärmebereitstellungsgrad und vom spezifischen Stromverbrauch ab, sondern auch von der Regelungseinrichtung. Die seit 2016 geltenden Anforderungen werden von den Energieeffizienzklassen A+ bis einschließlich F erfüllt, die Anforderungen ab 2018 von den Klassen A+ bis D. Für Nicht-Wohnungslüftungsgeräte gibt es keine europäische Klassifizierung, aber eine Klassifizierung des Herstellerverbandes Raumlufttechnische Geräte e.V. [RLT 2015]. Klasse A entspricht hier den Anforderungen ab 2016, Klasse A+ den Anforderungen ab 2018.

Die Anforderungen an die Lüftungsgeräte reichen aber allein nicht aus, um energieeffiziente Lüftungsanlagen zu erreichen, denn die Energieeffizienz der Gesamtanlage hängt nicht nur von der energetischen Qualität des Zentralgeräts ab, sondern auch von den anderen Komponenten und von der Auslegung der Anlage.

4.1 Lüftung

Die EnEV fordert in ihrer aktuellen Fassung: „Zu errichtende Gebäude sind so auszuführen, dass der zum Zwecke der Gesundheit und Beheizung erforderliche Mindestluftwechsel sichergestellt ist“ [EnEV 2014]. Lüftung von Räumen hat entsprechend zum Ziel, hygienische Raumluftverhältnisse für die sich dort aufhaltenden Personen zu schaffen, indem zu hohe Raumluftfeuchtigkeit, Gerüche und Schadstoffe sicher abgeführt werden. Bei Passivhäusern wird dies durch den Einbau einer Zu-Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung erreicht.

4.1.1 Einflussfaktoren für den Einsatz mechanischer Lüftungsanlagen

Bereits bei der Planung sollten Maßnahmen zur Vermeidung von Schadstoffemissionen möglichst weitgehend ausgeschöpft werden. Hierzu zählen z. B. die Einrichtung von Raucherbereichen oder die Verwendung von Baustoffen und Einrichtungsgegenständen mit möglichst geringer Schadstoffemission [IWU Büro 2001].

Im Rahmen des Projekts Bahnstadt Heidelberg sind die Bedingungen für die Installation von Lüftungsanlagen vorgegeben:

- Passivhausstandard – Energiekonzeption der Stadt Heidelberg [Stadt Heidelberg 2010]
- Vorschriften, wie z. B. im Bürobereich, in Märkten, bei Laboren
- Wirtschaftlichkeit durch Energieeinsparung

Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sind als integraler Bestandteil des Passivhauses in Heidelberg vertraglich festgeschrieben. In neuen, zentralen Lüftungssystemen ist die Wärmerückgewinnung aus dem Abluftstrom eine

Selbstverständlichkeit. Mit der Energieeinsparverordnung EnEV 2009 wurde sie bei Anlagen mit Volumenströmen über 4.000 m³/h zur Pflicht – mit der EU-Verordnung 2014 auch für kleinere Anlagen.

4.1.2 Rationeller Stromeinsatz bei Lüftungsanlagen

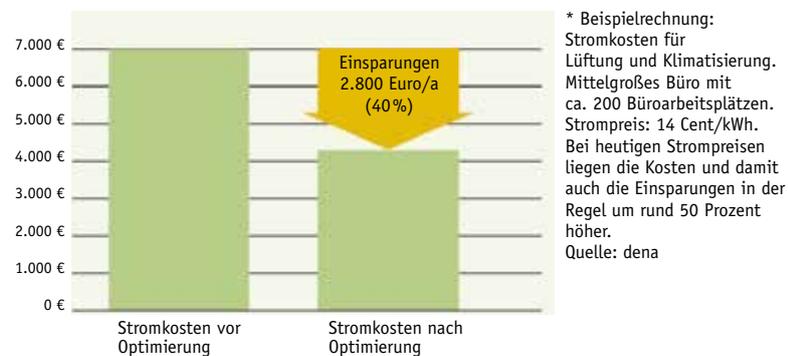
Entscheidend für den Stromverbrauch einer Lüftungsanlage sind der geförderte Volumenstrom und der Druckabfall in der Anlage. Für eine energieeffiziente Anlage sollte daher die Luftmenge eher knapp ausgelegt werden. Durch eine ausreichend große Dimensionierung der Kanäle und Geräte wird der Druckabfall gering gehalten. Der dafür erforderliche Platzbedarf ist vom Architekten schon in den frühen Planungsphasen zu berücksichtigen.

Im Passivhausgebäude muss eine ausreichende Raumlüftung stets durch eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sichergestellt werden. Aus Komfort- und energetischen Gründen ist es sinnvoll, den Außenluftwechsel der Nutzung angepasst möglichst gering zu halten. Wird dennoch ein höherer Luftwechsel realisiert, sollten die lüftungstechnischen Komponenten so dimensioniert werden, dass trotzdem geringe Druckverluste und damit ein niedriger Stromverbrauch der Ventilatoren gewährleistet sind [topmotors 24].

Durch eine optimale Abstimmung von Anlage, Ventilator und Regelungsart kann bei der Anlagenauslegung wesentlich zur Minimierung der Jahreskosten und des elektrischen Energieeinsatzes beigetragen werden (Optimierung für den Betriebsschwerpunkt), in der Größenordnung von 30 bis 40 Prozent.

Abb. 8 Betriebsoptimierung von raumlüftungstechnischen Anlagen [dena]

Kosteneinsparung durch Optimierung der Lüftungs- und Klimatisierungsanlage



Allein bei Ventilatoren sind nach Einschätzungen des Fraunhofer Institutes für Systemtechnik und Innovation Stromsparpotenziale von bis zu 20 Prozent möglich, z. B. durch den Einsatz von Elektromotoren mit besonders hohem Wirkungsgrad.

Einen weiteren Ansatzpunkt zur Reduzierung der Stromkosten von Ventilatoren bietet die Leistungsregelung. Diese wird häufig über die Regelung der Drehzahl realisiert (besonders geeignet die EC-Technik). Von Fall zu Fall sollte geprüft werden, ob Ventilatoren mit EC-Motoren (electronically commutated, kollektorloser Gleichstrommotor) denen mit AC-Motoren (alternating current, Wechselstrommotor) vorzuziehen sind.

4.1.3 Regelung

Die Energiekonzeption 2010 der Stadt Heidelberg [Stadt Heidelberg 2010] sieht bei Lüftungsanlagen eine bedarfsorientierte Regelung/Steuerung vor. Die Luftmenge und der Außenluftvolumenanteil sind für eine hygienische Luftqualität auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken. Bei Nichtwohngebäuden sind nach den Vorgaben der Energiekonzeption die Luftmengen entsprechend der Kategorie IDA 4 nach DIN EN 13779 auszulegen.

Die Regelung des Luftvolumenstroms ist möglich durch Sensoren und Regler, durch Drehzahlregelung der Ventilatoren und durch Volumenstromregler. Am stromsparendsten ist eine Drehzahlregelung der Ventilatoren. Bei stark verzweigten Kanalnetzen oder wenn eine zonenweise Steuerung erforderlich ist, ist der Einsatz von Volumenstromreglern in Verbindung mit einer Konstantdruckregelung der Ventilatoren sinnvoll.

Viele Sensoren, Regler und Stellantriebe benötigen elektrische Energie, zusätzliche Regelklappen im Kanalnetz erzeugen höhere Druckverluste und damit höheren Stromverbrauch. Andererseits kann aufgrund der verbesserten Regelmöglichkeiten der erforderliche Volumenstrom gesenkt und so Lüfterantriebsleistung und Lüftungswärmeverluste eingespart werden. Der elektrische Energieaufwand muss bilanziert und mit den erwarteten wärmeseitigen Energieeinsparungen verglichen werden.

Zusätzliche Baukosten, höherer Aufwand beim Abgleich der Anlage und höhere Stromkosten müssen mit der zu erwartenden wärmeseitigen Betriebskosteneinsparung verglichen werden.

Steuerung und Regelung können zu einer energieeffizienten Nutzung der RLT-Anlage beitragen. Durch den optimalen Betrieb der Anlage lassen sich die Energiekosten insgesamt erheblich reduzieren.

Anwendungsbereiche für den variablen Volumenstrombetrieb sind

- Regelung des Volumenstroms nach der Temperatur
- Steuerung des Volumenstroms nach Zeitprogrammen (z. B. Tag- und Nachtbetrieb, Jahreszeiten, Raumbelungspläne)
- Regelung des Volumenstromes nach der Raumluftqualität
- Manuelle Steuerung über Drehzahlsteller

Die Wahl des Regelungsparameters hängt von der Nutzung der Räume ab. Für die allgemeine Bürolüftung eignen sich Zeitprogramme oder Bewegungs- und Präsenzmelder. In Besprechungszimmern oder Hörsälen hingegen ist eine Regelung nach der Raumluftqualität angebracht (Indikator CO₂). Die Labornutzung sollte manuelle Eingriffe erlauben. Im Wohnbereich sollte der Nutzer Einfluss auf die Einstellung des Luftvolumenstroms nehmen können. Eine bedarfsgerechte Steuerung über das Bediengerät der Lüftungsanlage erfordert allerdings Disziplin von Seiten der Nutzer.

4.1.4 Allgemeine Auswahlkriterien

Bei Planung der Lüftungsanlage muss von Anfang an auf eine Optimierung der energierelevanten Elemente geachtet werden [Klimaschutz HD 2009]. Dies beinhaltet:

- Sorgfältige Dimensionierung durch Abklärung des genauen Bedarfs, Optimierung der Luftwechselraten je nach Bedarf an Frischluftzufuhr für die jeweilige Nutzung, Vermeidung unnötiger Sicherheitszuschläge, d.h. Minimierung der zu transportierenden Luftmenge – vertragliche Vereinbarung der niedrigen Volumenströme zwischen Bauherr, Planer und Nutzer,
- Minimierung der Druckverluste in Lüftungskanälen und Anlagenkomponenten durch die Wahl strömungsgünstiger Komponenten und angemessene Auslegung der Komponenten,
- Wahl einer niedrigen Strömungsgeschwindigkeit im Kanalnetz (ausreichend dimensionierte Kanalquerschnitte); der energetisch günstige Bereich bei Niederdrucksystemen liegt unter 3 m/s (unter 1.000 m³/h),
- Wahl eines auf die Anlage abgestimmten Ventilators mit gutem Wirkungsgrad (Größe, Kennlinie, Regelverhalten, Geräuschentwicklung),
- Installation einer bedarfsangepassten Ventilator- und Raumvolumenstromregelung, d.h. bedarfsabhängige Regelung der Volumenströme zu den einzelnen Räumen und Bereichen,
- Prüfung der Effizienzverbesserung durch die Nutzung regenerativer Energiequellen (z. B. Erdwärmetauscher, Solarwärme),
- Einsatz eines Lüftungssystems mit Wärmerückgewinnung mit hohem Rückgewinnungsgrad,
- regelmäßige Wartung und regelmäßiger Filterwechsel.

Bezüglich der Gesamtdruckverluste und der Stromeffizienz (Ventilatorenwirkungsgrad, volumenspezifische Leistung) von Lüftungsanlagen wird in der Energiekonzeption auf die flächenbezogenen Grenzwerte des Energiebedarfs nach Leitfaden Elektrische Energie (LEE) [LEE 2000] verwiesen. Für einige häufig auftretende Nutzungsarten gibt der LEE Grenz- und Zielwerte des flächenbezogenen Energiebedarfs für Lüftung vor (z. B. Büro, Verkauf, Hotelzimmer oder Werkstatt, jedoch nicht für Sondernutzungen wie z. B. Laboratorien).

Tab. 9 Grenzwert- und Zielwerte des flächenbezogenen Energiebedarfs für Lüftung und Klimatisierung (gLK und zLK) für häufig auftretende Nutzungsarten im Nichtwohnbereich [LEE 2000]

Nutzungsart	Betriebszeit [h/a]	Personenbesetzungsdichte [m ² /P]	mittlere Wärmelast [W/m ²]	weitere Nutzungsbedingungen	flächenbezogene Energiebedarfsanforderung		Beispiele
					Grenzwert gLK [kWh/m ² a]	Zielwert zLK [kWh/m ² a]	
Zonen mit Fensterlüftung und ohne Kühlung					0	0	
Büro	2.750	15	< 20	Nichtraucher	3,0	1,5	Büro mit normaler techn. Ausstattung
		15	< 20	Raucher	7,5	3,0	
		10	30	Nichtraucher	12,0	6,0	Büro mit hoher Technisierung
		10	30	Raucher	18,0	7,5	
	2.000	7	< 20	Nichtraucher	4,6	1,5	normaler Schulraum
		10	30	Nichtraucher	9,0	3,6	hoch technisierter Übungsraum
Verkauf	3.600	8	< 20	Nichtraucher	7,5	2,2	einfacher Laden
		5	30	Nichtraucher	18,0	7,5	Food-, Nonfoodladen Mode-, Warenhaus
		3	40	Nichtraucher	36,0	15,0	
Restaurant	3.600	2,0 1,2		50% Raucher 50% Raucher	15,0 24,0	4,2 9,0	geringe Belegung mittlere Belegung
Hotelzimmer	2.000	10		Raucher	9,0	3,0	
Bettzimmer	8.760	15	< 20	Nichtraucher	11,0	6,0	
Verkehrsflächen	2.750*			15 m ³ /(m ² h)	9,0	3,0	Garderobe, Sanitäräume
Lager	2.750*			3 m ³ /(m ² h) wenig genutzt	1,5	0,7	Archiv
				3 m ³ /(m ² h) häufig genutzt	3,0	1,5	Lager in Verkaufsläden
				3 m ³ /(m ² h) ständig gelüft.	15,0	6,0	Lager für empfindliche Güter
Werkstatt	2.750			15 m ³ /(m ² h)	18,0	6,0	mit bes. Anford. an Schadstoff- oder Wärmeabfuhr
Parkgeschoss	2.750*			2 m ³ /(m ² h)	1,5	0,9	Parkgeschoss in Büro- oder Gewerbebauten
	6.500			3 m ³ /(m ² h)	3,6	1,5	öffentliche Parkhäuser

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

Eine wichtige Aufgabe für Bauherrschaft und Planer besteht somit darin, ein Anforderungsprofil sorgfältig zu definieren und hierfür die geeignete Technologie auszuwählen. Ausschlaggebend sind letztendlich die Anforderungen an den Heizenergiebedarf und den Primärenergiebedarf nach PHPP (Passivhausprojektierungspaket) [PHPP 9]:

- Heizenergiebedarf $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
(hier Einfluss des Wärmebereitstellungsgrads)
- Gesamt-Primärenergiebedarf $\leq 95 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
(hier Einfluss des rationellen Stromeinsatzes)

4.1.5 Kennwerte Lüftung

Aus den vorhergehenden Ausführungen folgt, 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 $0,14 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ bis $0,21 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ pro Ventilator.

Tab. 10 Empfehlung für die spezifische elektrische Ventilatorleistung von Lüftungsgeräten

Spezifische elektrische Ventilatorleistung
Ventilatorleistung nach Kategorie SFP 2 ($0,28 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ bis $0,42 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ pro Zu-/Abluftgerät

Für Anlagen mit Wärmeübertrager sollte bei der oben empfohlenen spezifischen elektrischen Leistungsaufnahme für das Gesamtgebäude ein Wärmebereitstellungsgrad von mindestens 80 Prozent erreicht werden, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen in kleinen Räumen (z. B. Toiletten) [Heidelberg 2010].

Tab. 11 Empfehlung für den Wärmebereitstellungsgrad von Lüftungsgeräten

Wärmebereitstellungsgrad
80 % oder besser, die Energiekonzeption Heidelberg 2010 fordert ebenso 80%

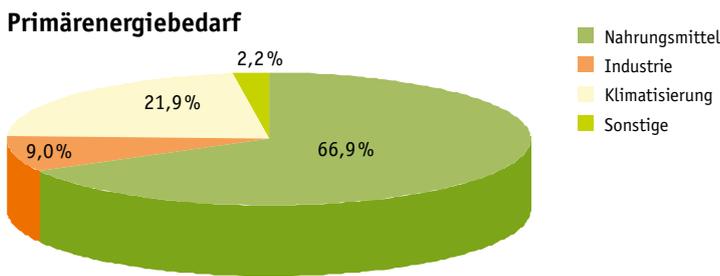
Neben der Standardanwendung erhöht sich die spezifische Ventilatorleistung aufgrund zusätzlicher Druckverluste durch die Installation zusätzlicher Bauteile. Jeder Filter stellt einen zusätzlichen Strömungswiderstand dar und vergrößert daher die notwendige elektrische Aufnahmeleistung des Lüfters (erweiterte spezifische Ventilatorleistung nach Kategorie SFP).

Filter müssen unter diesen Aspekten sorgfältig ausgewählt und dimensioniert werden. Knappe Dimensionierung (z. B. kleine Filterfläche) führt zu kurzen Standzeiten und verschlechtert die Energieeffizienz. Filter müssen regelmäßig gereinigt und/oder getauscht werden, sie sind daher gut zugänglich zu montieren.

4.2 Raumkühlung

Etwa 22 Prozent des Kältebedarfs wird in Deutschland für die Klimatisierung von Gebäuden verwendet und die Nachfrage steigt.

Abb. 9 Kältebedarf in Deutschland [BINE 20]



Während Lüftungsanlagen, mit oder ohne Wärmerückgewinnung, heute zur Standardausstattung neuer und sanierter Gebäude gehören, sollten Kühlung und Befeuchtung wegen des hohen Energieeinsatzes auch weiterhin nur in begründeten Fällen installiert werden. Ideal ist ein bauliches Konzept, das ohne den Einsatz von Kühltechniken die Innentemperatur an nahezu allen Sommertagen unter 27°C hält.

4.2.1 Einflussfaktoren für Kühlbedarf

Häufig wird die Wärmeabgabe von Betriebseinrichtungen und damit der Kälteenergiebedarf überschätzt. Um die verschiedenen Einflussfaktoren für das Auftreten thermischer Lasten zu kennen, wie z. B. [vgl. Bayern 2008]

- solare Einstrahlung durch Fenster
- Wärmeeinträge über die Gebäudehülle (bei Passivhäusern unwesentlich)
- Wärmeeinträge über die Zuluft von außen
- interne Wärmelasten durch Geräte, Beleuchtung und Personen
- thermisches Speichervermögen der Raumumschließungsflächen

sollte zunächst mittels einer dynamischen Simulation der Temperaturverlauf im Gebäude – bei baulich optimierter Gebäudehülle – untersucht werden. Die Höhe und das zeitliche Aufkommen von Wärmelasten im Gebäude entscheiden dann darüber, wie und mit welchem Aufwand gekühlt werden muss, um die Wärmelasten soweit abzuführen, dass der gewünschte thermische Komfort gewährleistet ist.

Aus dem sich darstellenden Lastprofil können außerdem mögliche alternative Anlagenkonzepte abgeleitet werden. Deshalb sollten solche Simulationsrechnungen im frühen Planungsstadium der endgültigen Entscheidung für eine Klimaanlage vorausgehen. Damit kann auch geklärt werden, ob für die Bauherrschaft die mit einer Simulation ermittelten auftretenden Raumlufttemperaturen ohne Klimaanlage akzeptabel sind. Für die Bestimmung interner Wärmelasten müssen Anwesenheitszeiten von Personen und Nutzungszeiten von Arbeitshilfen/Geräten und Beleuchtung möglichst genau abgeschätzt werden.

Eine Minimierung interner Lasten kann bereits durch eine effizientere und besser geregelte Beleuchtung (hoher Tageslichtanteil, Einsatz von LED, tageslichtabhängige und präsenzabhängige Regelung) oder durch den Einsatz von IT-Geräten mit geringem Energieverbrauch und einer kompletten Abschaltung ungenutzter Geräte erreicht werden. Außerdem sollte die Möglichkeit geprüft werden, Geräte mit hohen Wärmelasten wie z. B. Drucker und Kopierer zentral und außerhalb des allgemeinen Arbeitsbereichs in separaten Räumen unterzubringen, die durch das Öffnen von Fenstern oder eine einfache Entlüftung gekühlt werden können. Bei warmem Wetter reduziert die gegenseitige Sperrung zwischen Fenstern und Kühlgerät mögliche Wärmelasten durch den Eintrag warmer Außenluft [DIN EN 15240].

4.2.2 Möglichkeiten der Abfuhr von Wärmelasten

Während die Außenluftversorgung, die Luftreinhaltung, die Schutzdruckhaltung und zum Teil die Abfuhr von Feuchtelasten nur mit dem Medium Luft erfolgen, können thermische Lasten und zum Teil Feuchtelasten aus Räumen sowohl mit Luft als auch mit den Medien Wasser oder Kältemittel abgeführt werden.

Müssen auftretende interne Lasten abgeführt werden, so bieten sich deshalb verschiedene Möglichkeiten an:

- Interne Lasten können ohne Kühlsystem über Zwischenspeicherung in thermisch trägen Bauteilen abgeführt werden. Die „Entladung“ dieser Speichermassen erfolgt über Nachtlüftung oder Betonkernaktivierung.
- Durch die Integration von Phasenwechselmaterialien (PCM) in Wänden, Decken oder z. B. Fassadenelementen wird die Wärmekapazität des entsprechenden Bauteils durch Paraffine oder Salzhydrate erhöht. Dadurch können ebenfalls die Spitzen der täglichen Temperaturzyklen reduziert werden und eine Entladung der Speichermassen z. B. über Nachtlüftung erfolgen.
- Interne Wärmelasten können allein über eine installierte Lüftungsanlage abgeführt werden. Der Luftvolumenstrom der Lüftungsanlage ist zunächst durch den hygienisch notwendigen Luftwechsel bestimmt. Dieser ist bedingt durch anwesende Personen oder mögliche Schadstoffe in der Luft. Möglicherweise ist er groß genug, dass damit auch die anfallenden thermischen Lasten abgeführt werden können oder es reicht eine geringfügige Erhöhung der Luftwechselrate, um die Aufgaben einer Kühlung zu übernehmen.
- Reicht der Luftvolumenstrom nicht zur Abfuhr der auftretenden thermischen Lasten oder ist diese Aufgabe nur durch einen deutlich höheren als den vorhandenen Luftwechsel zu leisten, trennt man die Aufgabe der Kühllastabfuhr und setzt Luft-Wasser-Anlagen bzw. Luft-Kältemittel-Anlagen ein. Wasserbasierte Systeme und analog Systeme mit Kältemitteln können Energie effizienter transportieren. Es hat sich als optimal erwiesen, wassergestützte Systeme in Kombination mit Einrichtungen zur freien Kühlung einzusetzen.
- Mit Zunahme der inneren Lasten (z. B. Bürotechnik) sowie infolge der niedrigeren Grenzwerte bezüglich Raumluftgeschwindigkeit und Turbulenzgrad (z. B. in DIN EN 13779) hat sich der Einsatz von thermisch aktiven Flächen zur Raumkühlung in großem Umfang durchgesetzt. Zunehmend werden diese Systeme wechselweise auch zur Raumheizung verwendet.

Es handelt sich hierbei um

- Kühldecke
- Kombination von Kühldecke mit Brüstung oder Fußbodenstreifen
- Kühlsegel
- Kapillarrohrsysteme
- Betonkerntemperierung/-aktivierung (BKT)

Bei der BKT handelt es sich um ein relativ träges Kühlsystem. Für einen lokalen und/oder temporären Bedarf an Kühlung eignet sich eine (zusätzliche) flinke Technik wie z. B. Kühlsegel.

- Da die geringe Temperaturdifferenz bei der Betonkernaktivierung einen hohen Volumenstrom erfordert, ist auf eine intelligente Pumpensteuerung zu achten, um den Pumpenstrom so niedrig wie möglich zu halten (vergl. auch Kap.3 zu Umwälzpumpen).
- Die kombinierte Verteilung von Wärme und Kälte im Gebäude z. B. in einer wassergeführten BKT oder einer Lüftungsanlage spart Installationen und damit Investitionskosten.
- Oft ist die Nutzung von überschüssiger Wärme an anderer Stelle besonders energieeffizient, beispielsweise durch Abwärmenutzung der wassergestützten Raumluftkühlgeräte für Warmwasser oder Außenluftvorerwärmung.

4.2.3 Wirtschaftliche Bewertung von Kühlsystemen

Die aufgeführten Möglichkeiten unterscheiden sich in ihrer Wirtschaftlichkeit. Ihre Realisierbarkeit hängt von den auftretenden Kühllasten ab. In energieoptimierten Gebäuden, die einen vergleichsweise geringen Heiz- und Kühlbedarf haben, lässt sich auch ohne aufwändige Gebäudetechnik ein angenehmes Raumklima schaffen. Der Verzicht auf aktives Kühlen zu Gunsten der passiven Kühlung ist nur möglich, wenn Gebäude sorgfältig geplant werden, so dass Architektur, Baukonstruktion, Nutzeranforderungen und Gebäudetechnik in einem integralen Gesamtkonzept aufeinander abgestimmt werden [BINE I/2007]. Die Wirtschaftlichkeit alternativer Konzepte muss projektspezifisch geprüft werden.

Abb. 10 Kühlkonzepte im Vergleich [BINE I / 2007] TABS = ThermoAktive Bauteilsysteme (Quelle: ISE)

Kühlkonzepte im Vergleich		
Luftgeführte Konzepte		
Außenluft	Taglüftung	
	Nachtlüftung	Freie Nachtlüftung Mechanische Nachtlüftung Freie Nachtlüftung + back-up-System (hybrid)
Wassergeführte Konzepte		
Erdreich Grundwasser Außenluft	TABS	Betonkerntemperierung, Kapillarrohrsystem, Fußbodentemperierung, Zweiflächen-Bauteiltemperierung
	Kühlsegel	Von der Decke abgehängte Kühlpaneele
Klimaanlage		
Außenluft	Voll-Klimaanlage (Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten)	

Leistungsfähigkeit, Energiebedarf u. Kosten nehmen zu

4.2.4 Ökologische Bewertung von Kühlsystemen

Ein zusätzliches Kriterium für die Wahl eines Kühlsystems stellt die ökologische Bewertung dar, bei der Kältemaschine, Wärme-/Kältequelle, Antriebsenergie sowie das Kältemittel berücksichtigt werden müssen.

Für die primärenergetische Bewertung der Kühlung sind die Größe der abzuführenden Wärmelasten und das für die Nutzung angemessene bzw. gewählte Anwendungssystem ausschlaggebend. Insbesondere der Einsatz regenerativer Energien oder von Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung haben positive Auswirkung auf den Primärenergiebedarf.

- Der Einsatz von Umweltenergie zur Kühlung (und Beheizung) ist bei Gebäuden mit **thermoaktiven Bauteilsystemen** möglich, bei denen die gebäudeeigene Speicherkapazität zum Temperatenausgleich genutzt und über natürliche Wärmesenken wie Erdreich, Grundwasser oder kühle Nachtluft aktiviert werden kann [BINE I/2007]. Hierzu gehören auch Bausysteme mit integrierten Phasenwechselmaterialien (Phase Change Material, PCM).
- Bei der Temperierung von Räumen über große Flächen (**Betonkerntemperierung BKT**) reichen schon geringe Temperaturdifferenzen zur Beheizung und Kühlung von Gebäuden. Je näher die Systemtemperaturen an den Raumtemperaturen liegen, desto besser der Selbstregelleffekt und das Potenzial für Umweltenergienutzung. Die Kombination großer Flächen und einer geringen Temperaturspreizung zwischen Oberflächen- und Raumtemperatur sind Voraussetzung für eine verstärkte Umweltnutzung und niedrige Betriebskosten. Lediglich die Energie zur Verteilung der Kühlenergie muss aufgewendet werden, nicht aber die zur Erzeugung der Kühlenergie.
- In der Praxis bewährt hat sich die **Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)**, bei der die Wärme aus einer KWK-Anlage während des Sommerhalbjahres eine Absorptionskältemaschine antreibt und damit zur Deckung der Grundlast bei der Kühlung beiträgt. Die Spitzenlasten werden in der Regel durch stromgetriebene Kompressionskältemaschinen abgedeckt. Alternativ kann ein Kältespeicher bei Nacht über die Absorptionskältemaschine beladen werden und die Spitzenlasten des folgenden Tags dann vollständig abdecken. Damit steigt die Auslastung dieser relativ teuren Absorptionskältemaschinen. [BINE 10/05, 12/08]. Außerdem steigt die Effizienz der KWKK: Abwärme ersetzt elektrische Energie in der Hochlastzeit – der Nutzungsgrad des angeschlossenen Heizkraftwerks verbessert sich – die Dimensionierung der Kältemaschinen kann kleiner gewählt werden – die Kältemaschinen arbeiten am Auslegungspunkt mit besseren Wirkungs- und Nutzungsgraden – der Betrieb der Kältemaschinen verlagert sich stärker in die Nachtzeiten und ermöglicht z. B. die Nutzung von Niedertarifen. Zudem können ggf. künftig bei innovativen Tarifsysteimen Kostenvorteile erreicht werden, wenn Lasten entsprechend der Verfügbarkeit regenerativen Stroms verschiebbar sind. Die aufgeführten Punkte zeigen, dass den im allgemeinen hohen spezifischen Investitionskosten relativ geringe verbrauchsgebundene Kosten gegenüberstehen können.
- In fernwärmeversorgten Gebieten kann bei einer hohen Leistungsdichte für Kälte (z. B. Universitäten, Einkaufszentren) die Nutzung von **Fernkälte** eine Alternative sein. Dabei wird Kaltwasser mit einer Vorlauf-temperatur von etwa 5°C als Kälteträger durch Rohrleitungen den Verbrauchern zugeleitet. Als Größenordnung für die Mindestkälteleistung sind etwa 3 bis 4 MW anzunehmen [Recknagel 07/08]. Bei der Planung derartiger Anlagen ist jedoch die Frage der Wirtschaftlichkeit gegenüber Einzelanlagen zu prüfen. Insbesondere spielt die Tarifgestaltung eine Rolle. Für die primärenergetische Bewertung (Aufwandszahl) ist die Erzeugung der Kälte ausschlaggebend, d. h. die Kombination von Energieträger und Anlagentechnik (z. B. Absorptionskältemaschine und Wärme aus KWK).
- Der primärenergetische Vorteil von großen **Absorptionskältemaschinen** liegt gerade in der Nutzung regenerativer Energie oder auch Gas anstelle von Strom. Diese Kältemaschinen können mit Wärme aus Fernwärmenetzen,

Gasturbinen oder Blockheizkraftwerken und außerdem mit solar erzeugtem Heizwasser betrieben werden. Wegen der bei thermisch angetriebenen Kältemaschinen niedrigeren Arbeitszahl gegenüber elektrisch angetriebener Kompressionsanlagen sollte beim Einsatz solarer Kälte die Solaranlage durch die Einbeziehung anderer thermischer Verbraucher maximiert werden (z. B. kombinierte Wohn- und Büronutzung). Primärenergetisch betrachtet kann thermische Kühlung erst bei sehr hohen solaren Deckungsgraden (>70 Prozent) und damit niedrigen Nachheizenergiemengen mit effizienter elektrischer Kühlung konkurrieren.

- Absorptionskälteprozess und **Kompressionskälte**prozess stellen die wichtigsten Verfahren der Kälteerzeugung dar. In beiden Fällen wird die Kälte dadurch erzeugt, dass das Kältemittel bei einem niedrigen Druck verdampft. Die für die Verdampfung des Kältemittels erforderliche Wärme wird dem zu kühlenden Medium entzogen, wodurch der Kühleffekt entsteht. Um das dampfförmige Kältemittel wieder zu verflüssigen, wird es beim Kompressionskälteprozess mechanisch verdichtet. Kompressionskältemaschinen arbeiten mit Strom und müssen deshalb unter ökologischen Aspekten besonders kritisch bewertet werden.
- **Adiabate Kühlung** oder Verdunstungskühlung, bei der Räume über Verdunstungskälte klimatisiert werden, nutzt ausschließlich die Eigenschaften erneuerbarer Energien, da zur Kälteerzeugung nur Luft (Raumluft, Frischluft) und Wasser (zur Abkühlung der verlassenden Raumluft) als Quellen genutzt werden. Über die ohnehin vorhandene Wärmerückgewinnung wird die benötigte Frischluft gekühlt. Die Wärmerückgewinnung, mit deren Hilfe im Winter die Frischluft vorgewärmt und somit der Primärenergieverbrauch gesenkt wird, wird so im Sommer zur Kühlanlage, die ohne notwendiges Kältemittel und ohne großen apparativen Aufwand sehr effizient die Zuluft kühlt. Das Zusammenspiel von Wärmerückgewinnung und Verdunstungskühlung garantiert ganzjährig eine primärenergiesparende Raumklimatisierung. Allerdings entsteht durch die Verdunstungskühlung ein zusätzlicher Wasserbedarf.

Der Betrieb einer aktiven Kühlung sollte nach Möglichkeit in Kombination mit freier Kühlung erfolgen, weil diese bei geringen Außenlufttemperaturen deutlich effizienter als die Kältemaschine arbeitet. Die Regelung muss daher über eine Vorrangschaltung für freie Kühlung verfügen (Außenluft mittels Bypass direkt in den Zuluftkanal) [PHI 31].

4.2.5 Regelung

Für die Minimierung des Klimatisierungsbedarfs müssen zunächst alle Komponenten optimiert und aufeinander abgestimmt werden. Im nächsten Schritt erfolgt dann die Optimierung der Anlagenbetriebsweise über die Regelung. Eine optimierte Regelung geschieht – ganz allgemein – in mehreren Schritten:

- Definition von Komfort- und Toleranzbereich,
- Einstellung und Überwachung der optimierten und bedarfsangepassten Parameter,
- Einhaltung des regelgerechten geplanten Anlagenzustands,
- Überwachung dieser Parameter und der festgelegten Grenzwerte und
- ständige Anpassung der Betriebsoptimierung an veränderte Nutzungsparameter.

Als sinnvoll erweist sich eine Visualisierung und die Dokumentation sämtlicher Parameter in Verbindung mit weiteren klimaspezifischen Größen während des Betriebs sowie deren Auswertung am Ende einer (Heiz-)Kühlperiode. Die Regelung mehrstufiger oder gleitender Anlagen muss gewährleisten, dass

- die Anlage jeweils im benötigten Betriebspunkt arbeitet,
- Stand-by-Verluste minimiert werden,
- bei der Nutzung regenerativer Energien die Anlagen vorrangig regenerativ betrieben werden.

4.2.6 Rationeller Stromeinsatz bei Kälteanlagen/effiziente Kälteanlagen

Wie bereits erwähnt ist der Energieaufwand für die freie Kühlung meist geringer als bei aktiver Kühlung. Eine statische Kühlung durch Kühlpaneele, Kühldecken oder thermoaktive Bauteile erfordert wiederum weniger elektrische Energie als eine Kühlung mit Luft, bei der wegen der Kühlung die Luftmenge höher dimensioniert werden muss als für reine Lüftung.

Bei der Kühlung über eine Nachtlüftung wird temporär durch kühle Nachtluft und mittels hoher Luftmengen „gekühlt“ (es handelt sich hierbei nicht im eigentlichen Sinn um ein Kühlsystem). Es fällt – relativ kurzzeitig – hoher Elektrizitätsbedarf für Luftförderung an.

Dauerhaft hohe Luftwechselraten können in der Heizperiode zu trockener Raumluft und Befeuchtungsbedarf führen. Das Be- und Entfeuchten der Luft durch raumlufttechnische Anlagen sind insgesamt sehr energieintensive Vorgänge. Auf Luftbefeuchtung sollte deshalb nach Möglichkeit verzichtet werden bzw. erhöhte Anforderungen an die Feuchtekonstanz sollten, wenn unumgänglich, auf einzelne Räume beschränkt und dann gegebenenfalls dezentral realisiert werden [Jülich 2008]. Entfeuchtung fällt nur an wenigen (Sommer)-Tagen im Jahr an. Befeuchtung kann im allgemeinen vermieden werden, wenn z. B. bei tiefen (Winter)-Temperaturen die Außenluftmengen reduziert werden.

Eine Systemtrennung in Grund- und Spitzenlast ist im Einzelfall zu bewerten. Dabei ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass die Spitzenleistungen für die Außenluftkühlung statistisch nur an wenigen Stunden im Jahr abgerufen werden. Dagegen können Raumkühleinrichtungen bei hohen internen Wärmequellen eine wesentlich höhere Volllaststundenzahl erfordern. Effiziente Technik amortisiert sich im letzten Fall schneller.

4.2.7 Auswahlkriterien für Kühlung

Erweist sich eine Gebäude- oder Raumklimatisierung als erforderlich, ist neben der Abführung der anfallenden Kühllasten (Auswahlkriterium erforderliche Kühlleistung) und einem umweltverträglichen Betrieb (Auswahlkriterium Primärenergiebedarf) die Wirtschaftlichkeit des Systems (Auswahlkriterium Kosten) zu berücksichtigen.

Erreichbare Kühlleistung

Einsatzmöglichkeiten verschiedener Klimatisierungssysteme definieren sich über die maximal abführbare tagesmittlere Kühllast [Effizienzkriterien HD]:

Nachtlüftung mit frei zugänglichen Speichermassen:	10 – 20 W/m ²
Nur-Luft-Klimaanlagen, Quelllüftungssysteme	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 (Spitzenlasten)	80 – 100 W/m ²

Mittlere Leistungszahl/Primärenergie-Leistungszahl

Unter der mittleren Leistungszahl (COP, Coefficient Of Performance) wird das Verhältnis von abgeführter Kühllast zum gesamten Strombedarf (Kälteerzeugung, Transport, Übergabe incl. Hilfsantriebe, Pumpen usw. sowie Antriebsenergie aufgrund der für die Kühlung notwendigen Erhöhung der Luftförderung) verstanden [Effizienzkriterien HD].

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

In Verbindung mit dem Primärenergiefaktor des eingesetzten Energieträgers stellt diese Bewertung gleichzeitig eine primärenergetische Bewertung des Gesamtsystems dar (Primärenergie-Leistungszahl). In beiden Fällen gilt: je höher die Leistungszahl, desto geringer der Primärenergiebedarf.

Effizienzkriterien

Aufgrund der Vielzahl von technischen Ansätzen und Anwendungsbereichen im Bereich der Klimatisierung lassen sich dort keine allgemeingültigen Grenz- und Zielwerte formulieren. Der Effizienznachweis erfolgt deshalb in der Form, dass Planungsergebnisse offen gelegt und mit anderen Objekten verglichen werden.

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

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

4.2.8 Kennwerte Kühlung

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

Tab. 12 Empfehlung für die Arbeitszahl von Kältemaschinen nach [SIA 380/4]

Arbeitszahl für Kältemaschinen
3,5 und besser

Für Passivhäuser gilt - analog zum maximalen Heizwärmebedarf – ein Maximalwert für den auf die Energiebezugsfläche bezogenen Kühlbedarf.

Tab. 13 Passivhauskriterium für Kühlen

Maximaler Kühlbedarf
15 kWh/(m ² a)

4.3 Zusammenfassung und Empfehlungen

Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sind integraler Bestandteil von Passivhäusern, um hygienische Raumlufthverhältnisse bei minimalen Lüftungswärmeverlusten zu sichern. Um den projektierten Stromverbrauch zu minimieren, sind zunächst die planerischen Voraussetzungen zu erfüllen.

- Sorgfältige Dimensionierung durch Abklärung des genauen Bedarfs, Optimierung der Luftwechselraten,
- Minimierung der Druckverluste in Lüftungskanälen und Anlagenkomponenten,
- Wahl eines auf die Anlage abgestimmten Ventilators mit gutem Wirkungsgrad und geringem Stromverbrauch ($\leq 0,21 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ pro Ventilator),
- Sorgfältige Filterdimensionierung und regelmäßige Filterwartung/-austausch,
- Installation einer bedarfsangepassten Ventilator- und Raumvolumenstromregelung,
- Prüfung der Effizienzverbesserung durch die Nutzung regenerativer Energiequellen (z.B. Erdwärmetauscher, Solarwärme),
- Einsatz eines Lüftungssystems mit Wärmerückgewinnung mit hohem Rückgewinnungsgrad (≥ 80 Prozent) bei dichter Gebäudehülle,
- sorgfältige Einregulierung der Lüftungsanlage,
- Bereitstellung von Dokumentationsunterlagen,
- Nutzereinweisung,
- regelmäßige Wartung und regelmäßiger Filterwechsel.

Kühlung und Befeuchtung sollten auf Sondernutzungszonen beschränkt bleiben. Vor der Installation von Kältegeräten müssen zunächst Maßnahmen zur Minimierung des Kältebedarfs getroffen werden. Hierfür sind bereits in einer frühen Planungsphase die Voraussetzungen zu schaffen.

- Die Verwirklichung eines integralen Gesamtkonzepts schafft die Voraussetzungen für einen möglichen Verzicht auf Kühlung.
- Zu einem funktionierenden Gesamtkonzept mit notwendiger Kühlung gehören auch organisatorische Maßnahmen wie die Orientierung von zu kühlenden Räumen gegen Norden und die Kopplung des Kühlbetriebs an einen aktiven Sonnenschutz und geschlossene Fenster.
- Die Temperatur in Serverräumen sollte nicht tiefer gewählt werden als erforderlich, 26°C ist in aller Regel vertretbar, u. U. Kühlung direkt am Rack.
- Für Kühlung und Befeuchtung muss die Systemauswahl vom Planer aufgrund des Nutzungsprofils und der Randbedingungen begründet werden.
- Solare und andere regenerative Kühlsysteme (z.B. Absorptionskälte aus Fernwärme) sollten stets untersucht werden.
- Die Anlagenaufwandszahl und der flächenspezifische Energieeinsatz sollten für alle Planungen nachgewiesen werden.
- Bei einer Notwendigkeit von RLT-Klimaanlagen sollte die Auslegung auf die hygienisch notwendige Luftmenge entsprechend [DIN EN 13779] bzw. nach [ASR A3.6] erfolgen. Falls die Kühllast höher ist, als mit der Mindestluftfrate abgeführt werden kann, sollte die Klimatisierung vorrangig mit wasserführenden Kühlsystemen ergänzt werden.
- Regelmäßige (jährliche) Messungen, besser noch kontinuierliche Messungen, zur Optimierung des Anlagenbetriebs sollten vorgesehen werden.
- Der Betrieb der aktiven Kühlung sollte immer in Kombination mit freier Kühlung erfolgen.

5. Beleuchtung

5.1 Technische Eckdaten

Die Anteile am Stromverbrauch, die für die Beleuchtung in den einzelnen Sektoren eingesetzt werden, sind durchaus beachtlich, bundesweit wird von etwa 15 Prozent des Stromverbrauchs ausgegangen.

Tab. 14 Anteil Beleuchtung am Stromverbrauch in den Sektoren [Potenziale Effizienz]

	Verbrauch TWh/a	Anteil der Beleuchtung am gesamten Stromverbrauch des Sektors in Prozent
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	38	28
Privathaushalte	14	10
Industrie	19	9
gesamt	71	15

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 sind LED (Light Emitting Diode) hinzugekommen, ein Leuchtmittel auf Halbleiterbasis, das aufgrund seines Funktionsprinzips besonders langlebig ist. Das Angebot an LED ist hinsichtlich Lampenform und Lichtleistung recht breit. Die Preise sind schnell gesunken, sodass für sehr viele Anwendungsfälle eine LED verfügbar und die bei weitem wirtschaftlichste Variante sein wird.

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.

Tab. 15 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

		Elektrische Leistung (W)	Lichtstrom (Lumen)	Lichtausbeute (lm/W)	Mittlere Lebensdauer (h)	Gebrauch
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

Die Angaben in der Tabelle beziehen sich auf in 2015 marktgängige Modelle; 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 Kürze marktverfügbar sein – daher lohnt es sich hier, regelmäßig auf das Angebot zu schauen. Auch für Leuchtmittel gilt die Einstufung in die Effizienzklassen A++ bis E, wie es bereits von Haushaltsgroßgeräten gut bekannt ist. Es empfiehlt sich beim Neukauf Lampen mit EU-Label A++ oder A+ zu wählen.

Wenn Glühlampe, Halogenlampe und Kompaktleuchtstofflampe gleicher Helligkeit in verschiedenen Leistungsstufen miteinander verglichen werden, ergibt sich die nachfolgend gezeigte Leistungsabstufung. Es lohnt sich daher, LED oder Kompaktleuchtstofflampen einzusetzen, schon allein wegen des Rückgangs der Wärmelast.

Tab. 16 Vergleich verschiedener Leuchtmittel bei jeweils gleicher Helligkeit [Allgemeinstrom 09; leds]

Herkömmliche Glühlampe	Halogenlampe (klar)	Kompaktleuchtstofflampe (matt)	LED mit 100 lm/W
25 W	18 W	5 W	2 - 3 W
30 W/40 W	28 W	7 W	3 - 4 W
60 W	42 W	11 W	6 W
75 W	52 W	15 W	7 - 8 W
100 W	70 W	20 W	12 - 14 W
150 W	105 W	30 W	18 - 20 W

Im Leitfaden Elektrische Energie werden Kennwerte für die installierte Lampenleistung pro Fläche genannt [LEE 2000]:

Tab. 17 Spezifische Lichtleistung bei unterschiedlicher Beleuchtungsstärke (P_{B,e} Leistungswert Beleuchtung einfach, P_{B,v} verbessert) [LEE 2000]

Nennbeleuchtungsstärke	Flächenspezifische installierte Lampenleistung	
	einfacher Richtwert p _{B,e}	Verbesserter Richtwert p _{B,v}
50 lx	3.2 W/m ²	2.5 W/m ²
100 lx	4.5 W/m ²	3.5 W/m ²
300 lx	10.0 W/m ²	7.5 W/m ²
500 lx	15.0 W/m ²	11.0 W/m ²
750 lx	20.0 W/m ²	16.0 W/m ²
1000 lx	25.0 W/m ²	21.0 W/m ²

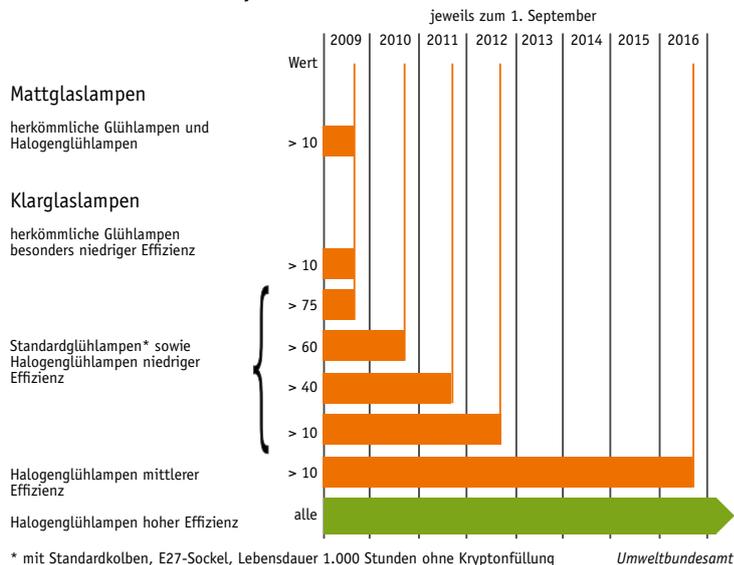
Die Stadt Heidelberg schreibt als Anforderungen an ihre eigenen Gebäude den „verbesserten Richtwert“ vor [Stadt Heidelberg 2010]. Durch den Einsatz hocheffizienter LED-Lampen kann der verbesserte Richtwert unterboten werden.

EVG (elektronische Vorschaltgeräte) sollten aufgrund des besseren Wirkungsgrads, der längeren Lebensdauer der Leuchtmittel, der besseren Schaltfestigkeit und der Abwesenheit von Flackern grundsätzlich eingesetzt werden. Energiesparlampen mit elektronischem Vorschaltgerät haben eine hohe Schaltfestigkeit; manche Modelle (Treppehauslampen) sind selbst bei Schaltvorgängen an der warmen Lampe stabil, wenn dies auch in der Regel eher zu vermeiden ist. Dank ihrer hohen Schaltfestigkeit sind LEDs bei häufigen Schaltvorgängen das Leuchtmittel der Wahl.

Aufgrund einer EU-Richtlinie sind seit September 2009 Glühlampen sukzessiv aus der Produktion genommen worden, für Halogenlampen mittlerer Effizienz gilt dies seit September 2016, ineffiziente Halogenlampen dürfen schon länger nicht mehr verkauft werden [UBA 09].

Abb. 11 Auslaufen ineffizienter Leuchtmittel gemäß EU-Richtlinie [UBA 09]

Das Aus für Glühlampen



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. Als Ziel ist hierfür ein Wert von 80 Prozent eine realistische Kenngröße, wie es auch im Energiekonzept der Stadt Heidelberg von 2010 gefordert wird [Stadt Heidelberg 2010].

Als Regeleinrichtungen für die Beleuchtung sind sowohl Präsenzregelungen (Bewegungsmelder) als auch tageslichtabhängige Regelungen verfügbar sowie 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. Es gibt selbstlernende Regelungen, die die Schaltzeiten an die Gewohnheiten der NutzerInnen anpassen.

Tab. 18 Erforderliche Beleuchtungsstärke bei verschiedenen Sehaufgaben [DIN EN 12464-1]

Tätigkeit	Beleuchtungsstärke (Lux)	Farbwiedergabeindex (R _a)
Sektor Büro		
Schreiben, Schreibmaschine schreiben, Lesen, Datenverarbeitung	500	80
Ablegen, Kopieren, Verkehrszonen (im Büro)	300	80
Technisches Zeichnen	750	80
CAD-Arbeitsplätze	500	80
Besprechungsräume	500	80
Empfangstheke	300	80
Kantinen, Teeküchen	200	80
Öffentliche Bereiche		
Eingangshallen	100	80
Garderoben	200	80
Umkleieräume	300	80
Verkehrsflächen, Flure	100	80
Treppen, Rolltreppen, Fahrbänder	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

Je nach Sehaufgabe ist eine angemessene Beleuchtungsstärke vorzusehen, die DIN EN 12464-1 gibt hierzu umfangreiche Vorgaben, Tab. 18 zeigt einen Auszug.

Neben dem erforderlichen Lichtstrom ist auch eine geeignete Farbwiedergabe notwendig, gemessen durch den Farbwiedergabeindex Ra. Üblicherweise ist ein Index von 80 ausreichend, für Nebenflächen von 60, er sollte bei anspruchsvollen Sehaufgaben, vor allem dort, wo Farbumterscheidungen wichtig sind, 90 betragen.

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

Bei hohen Räumen wird durch abgehängte Leuchten die Lichtpunkthöhe reduziert, um mit niedriger Lichtleistung auf ausreichende Leuchtdichte auf der Arbeitsfläche zu kommen. Ein großer Abstand zwischen Leuchte und Arbeitsfläche erhöht die Verluste durch Lichtanteile, die nur das Umfeld erhellen.

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].

Auch verschiedene Regelsysteme können den Lichtstromverbrauch reduzieren. Z. B. wurde in einer Studie aus Bremen [HB-BEI 07] 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 gleichzeitig zur Heizungsregelung.

Energetisch optimal ist es, wenn Licht als bewusste Nutzerentscheidung eingeschaltet wird, das Ausschalten bzw. Dimmen jedoch automatisch erfolgt, geregelt durch Tageslichtsensor sowie Präsenzmelder. Automatisches Einschalten kann den Stromverbrauch erhöhen, wenn subjektiv von Seiten der Anwesenden noch keine Beleuchtung erforderlich scheint.

Grenzwerte für die Beleuchtungsstärken verschiedener Nutzungsarten sind in Tab. 20 (aus [LEE2000]) angegeben. 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.

Tab. 19 Typische Grenz- und Zielwerte für den jährlichen elektrischen Energiebedarf Beleuchtung E'Li für einige Standardnutzungen mit Annahmen für typische Raumdimension und Glasflächenanteile; Auszug aus SIA 380/4 von 2006

Nutzungsart	spez. Leistung		Volllaststunden		spez. elektrischer Energiebedarf	
	pLi in W/m ²		tLi in h		E'Li in kWh/m ² *a	
	für Grenzwert	für Zielwert	für Grenzwert	für Zielwert	für Grenzwert	für Zielwert
Wohnraum, Schlafzimmer	9,5	6,5	3.800	2.640	36	17
Küche	17	12,5	2.740	2.230	47	28
Hotelzimmer	3	2	1.270	1.170	4	2
Einzel-, Gruppenbüro	16	11,5	1.500	580	24	7
Grossraumbüro	12,5	9	2.320	1.610	29	14
Schulzimmer	14	10	1.530	730	21	7
Bibliothek	7	4,5	1.610	830	11	4
Hörsaal	12,5	9	2.110	1.460	26	13
Schalterhalle, Empfang	8,5	5,5	1.450	650	12	4
Verkehrsfläche	7	4,5	1.500	440	11	2
Fitnessraum	10	7	3.440	2.320	34	16
WC, Bad, Dusche	11	7,5	2.500	1.370	28	10
Parkhaus	3	2	2.130	1.030	9	2

Tabelle 20 zeigt für einige typische Anwendungsfälle, welche installierten Leistungen für Beleuchtungszwecke als Standardfall (Grenzwert) und bei effizienterer Technik (Zielwert) anzusetzen sind. Da seit Veröffentlichung dieser Kennwerte die LED-Technik sehr schnelle Fortschritte gemacht hat, sollten diese Werte inzwischen deutlich unterschritten werden können.

5.2 Beleuchtung am Arbeitsplatz

Hocheffiziente Beleuchtungssysteme können mit einer installierten Leistung von 9 W/m² bis 12 W/m² auf Tischhöhe eine Beleuchtungsstärke von 500 Lux erzielen. Mit LED lassen sich diese Werte nochmals um ein Drittel, im besten Fall um die Hälfte reduzieren. Vorteilhaft ist die Kombination von Präsenzmelder und Helligkeitssensor. Direkt- und Indirektanteile von Leuchten können je nach Abstand vom Fenster variiert und damit 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 (Richtwert: Verhältnis Fenster- zu Bodenfläche > 1 zu 3) und nach Möglichkeit der Verzicht auf einen Fenstersturz. Gerade das durch den oberen Fensteranteil 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 wegen der Sonneneinstrahlung die Jalousien zum Einsatz kommen und dann Teile der Bürofläche 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.

5.3 Beleuchtung im Wohnbereich

Generelle Aussagen sind in diesem Sektor schwierig, da die Nutzung der Räume stark variiert. Analog wie im Bürobereich sollte es jedoch möglich sein, auf Tischhöhe eine Helligkeit von 500 Lux mit einer spezifischen Leistung für die Beleuchtung von 9 bis 12 W/m² bereitzustellen. Hinsichtlich einer weitergehenden Einsparung durch LED gilt das oben Gesagte.

In der Regel werden im Wohnbereich verschiedene Nutzungsbereiche auch jeweils unterschiedliche Anforderungen haben, so dass nur einige übergreifende Aussagen aufgeführt werden:

- Helle Oberflächen sind für einen effizienten Einsatz des Lichtstroms vorteilhaft.
- Gerichtetes Licht auf Arbeitsflächen mit höherer Sehanforderung ist sehr viel effizienter als eine sehr helle Allgemeinbeleuchtung.
- Deckenfluter sind nur bei hellen Decken eine geeignete Variante für eine Grundbeleuchtung. Sie sollten mit LED ausgestattet werden. Lampen mit mehreren hundert Watt Lichtleistung, wie gelegentlich vorzufinden, konterkarieren viele Sparmaßnahmen an anderer Stelle.
- Je nach Nutzungsanforderungen kann auch im Wohnbereich ein Bewegungsmelder eine wirtschaftliche Anschaffung sein.

5.4 Dekorationsbeleuchtung im Verkauf

Für gerichtete Beleuchtung im Verkauf wurden bislang meist Halogen-Spots verwendet. Bei Neu-Installationen sollten LED-Lampen zum Einsatz kommen, die ähnlich gut gerichtetes Licht und neutralweiße Lichtfarbe liefern und zudem sehr viel effizienter sind. Derzeit sind LED noch etwas teurer, jedoch trotzdem sehr wirtschaftlich und zudem ist mit einem weiteren Sinken des Anschaffungspreises zu rechnen.

Wenn keine andere Lösung verfügbar ist, sollten mindestens Halogenlampen mit IRC-Beschichtung (Infrared Coated) gewählt werden. Sie sind um etwa ein Viertel effizienter als die herkömmlichen Modelle. Die Beschichtung bewirkt, dass ein geringerer Anteil des erzeugten Lichts als Wärmestrahlung durch die Verspiegelung nach hinten verloren geht. Zudem erhöht dieser reflektierte Wärmeanteil die Temperatur des Glühfadens weiter. Häufig kann dann z.B. statt einer 50 W-Lampe eine mit 35 W gewählt werden.

5.5 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 oder 120 Lumen pro Watt eingesetzt werden.

Tab. 20 Kennwert nach [SIA 380/4] 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%

5.6 Zusammenfassung und Empfehlungen

Eine sehr umfangreiche Zusammenstellung von Einsparmöglichkeiten an der Beleuchtung wird in der nachstehenden Tabelle gezeigt. Bei der erwähnten Öko-Aus-Funktion kann z.B. ein zeitgesteuertes Treppenhauslicht durch ein zweites Drücken des Lichtschalters vorzeitig wieder ausgeschaltet werden. Der Wirkungsgrad von Leuchten sollte bei 80 Prozent liegen. Leuchten sollten turnusmäßig gereinigt werden, da der Leuchtenwirkungsgrad durch Verschmutzung kontinuierlich abnimmt.

Tab. 21 Einsparmöglichkeiten beim Lichtstromverbrauch; nach [Allgemeinstrom 09], (eigene Recherche)

Allgemein	<ul style="list-style-type: none"> - Leuchtmittel mit sehr guter Lichtausbeute (oberhalb 80, besser 100 oder 120 Lumen pro Watt), insbesondere bei langer Brenndauer - Leuchtmittel mit langer Standzeit (LED), speziell an schwer erreichbaren Orten und dort, wo Personalkosten beim Austausch entstehen - Schaltfeste Leuchtmittel - Leuchten mit guter Lichtlenkung - Einsatz von Leuchtstofflampen an EVGs, wenn keine LED möglich sind - optimierte Zeitautomatik - Einsatz von Helligkeitssensoren und Bewegungsmeldern - helle Gestaltung von Oberflächen - größtmögliche Ausnutzung des Tageslichts (in Abstimmung mit thermischen Erfordernissen)
Treppenhaus und Flure	<ul style="list-style-type: none"> - Energieeffiziente Leuchtmittel mit hoher Schaltfestigkeit und kurzer Startzeit - Verzicht auf Orientierungsbeleuchtung - Zeitautomatik mit möglichst kurzer Brenndauer - Öko-Aus-Funktion: Einbezug des Bewohners in Stromsparprozess - Bei vielen Wohneinheiten: Helligkeitssensor und Bewegungsmelder, ggf. Etagen- bzw. Zonenverbund
Wenig frequentierte Räume (z. B. Heizungsraum, Hausanschlussraum ...)	<ul style="list-style-type: none"> - Individuelle Ein-/Ausschaltung - ggf. Zeitautomatik
Viel frequentierte Räume (z. B. Fahrradkeller, Waschmaschinenraum ...)	<ul style="list-style-type: none"> - Zeitautomatik - Öko-Aus-Funktion: Einbezug des Nutzers in Stromsparprozess - ggf. Bewegungsmelder
Gemeinschaftsräume z. B. Festräume	<ul style="list-style-type: none"> - Individuelle Ein-/Ausschaltung - ggf. Lichtszenen- gesteuerte Beleuchtung als Kombination von Allgemein- und Stimmungsbeleuchtung
Eingänge	<ul style="list-style-type: none"> - Zeitautomatik - ggf. Bewegungsmelder - alternativ: Orientierungsbeleuchtung, volle Leuchtkraft bei Bewegungsvermerk
Wege	<p>System 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tageslichtgesteuerte dauerhafte Orientierungsbeleuchtung - evtl. Einsatz solar gespeister Beleuchtung <p>System 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tageslichtgesteuerte Beleuchtung, Bewegungsmelder <p>System 3:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tageslichtgesteuerte, dauerhafte gedimmte Beleuchtung, volle Leuchtkraft bei Bewegungsvermerk <p>System 4:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bewegungsbegleitende Beleuchtung (Zonenverbund)
Architektonische Akzentbeleuchtung	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz energieeffizienter Leuchtmittel (z. B. LED's) - Tageslichtgesteuert, mehrere Stunden Nacht-Aus
Parkplätze	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz energieeffizienter Leuchtmittel - evtl. Betrieb auf geminderter Leistung - Bewegungs- und Zeitautomatik (Carports/Garagen)
Müllsammelstelle	<ul style="list-style-type: none"> - Zeitautomatik (kurze Beleuchtungszeit) - ggf. Bewegungsmelder - evtl. energieautarkes System mit Solarzelle
Durchgänge	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz von besonders effizienten Leuchtmitteln mit langer Lebensdauer

6 Informations- und Kommunikationstechnik

6.1 Rechenzentren und Serverräume

6.1.1 Determinanten für den Stromverbrauch

Eine EU-geförderte Studie eines Konsortiums von deutschen, österreichischen und französischen Instituten und Firmen kam 2008 zu dem Ergebnis, dass in der EU-27 (EU aller 27 Mitglieder) im Jahr 2006 knapp 40 TWh Strom für Speicher, Netzwerkkomponenten und Infrastruktur in Rechenzentren verbraucht wurde, zudem etwa 17 TWh für die Server [Efficient Servers 08]. Eine aktuelle Untersuchung beschreibt für die Rechenzentren in Deutschland einen Anstieg von 10,5 auf 12 TWh – entsprechend einem Plus von 15 Prozent – im Zeitraum von 2010 bis 2015 [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 notwendigen Infrastruktur für Lüften und Kühlen 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. Ein Server kann virtuell in mehrere unabhängige Server aufgeteilt werden, die je für spezielle Aufgaben eingesetzt werden. Diese Virtualisierung von Servern kann sowohl Investitionsvolumen wie auch Betriebskosten verringern, indem weniger Anlagen benötigt und diese sehr viel besser ausgelastet werden [Energy2.0 Kompendium 2008].

Effizientere Server benötigen geringere Kühlleistung bei gleicher Rechenleistung, dies reduziert die TGA-Investitionen 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 Fehlluftstraten 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.

6.2 Informations- und Kommunikationstechnik dezentral

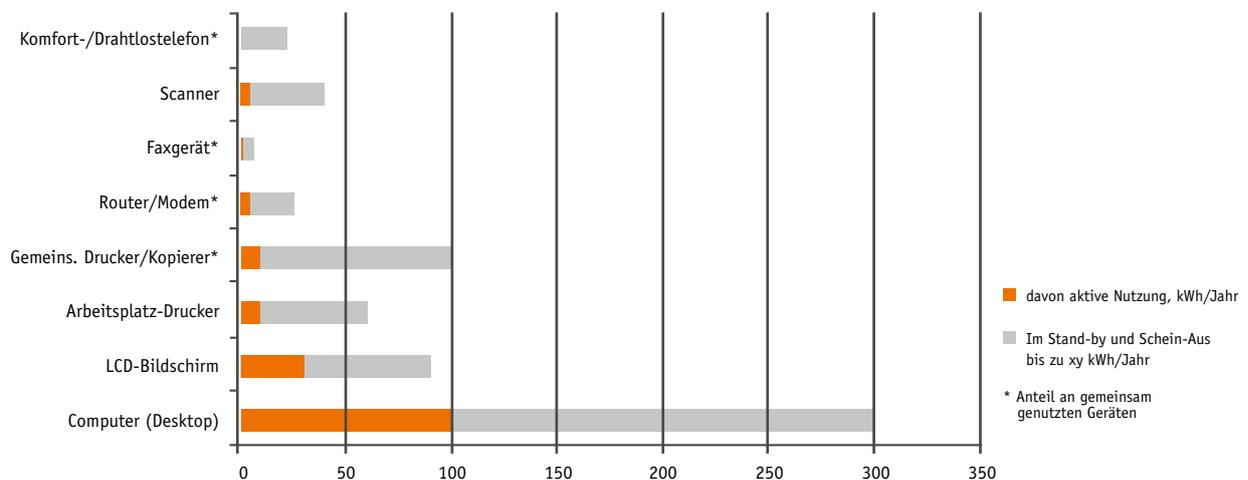
6.2.1 Stromverbrauch am Arbeitsplatz

Geräte der Informations- und Kommunikationstechnik sind in Bürogebäuden für etwa 40 Prozent des Stromverbrauchs verantwortlich. 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.

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 bei älteren Geräten ist auch interessant, wie hoch der Anteil des Stromverbrauchs im ungenutzten Zustand ist; dies können bis zu 90 Prozent sein [PC-Arbeitsplatz]. 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. 12 Verteilung des Stromverbrauchs am Arbeitsplatz auf die typischerweise vorkommenden Geräte [PC-Arbeitsplatz]

Typischer Stromverbrauch am PC-Arbeitsplatz



Einige beispielhafte Verbrauchsangaben für Geräte sind in der folgenden Tabelle genannt:

**Tab. 22 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

Für Drucker bietet der Energy Star mit dem typischen Stromverbrauch pro Woche einen energietechnischen Vergleichswert. Die topten-Datenbanken beziehen dies mit ein.

Peripheriegeräte wie Drucker, Fax, Scanner und Kopierer sind häufig in Multifunktionsgeräten (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.

Effiziente Netzteile sind gerade bei diesen dezentralen Anwendungen ein wichtiger Schritt zu effizienterem Stromeinsatz. Aufgrund der EU-weit geltenden EuP-Richtlinie³ dürfen Geräte, die seit 2013 in den Handel kommen, im Stand-by nicht über 1 W verbrauchen; die Grenze liegt bei 0,5 W, wenn außer der Reaktivierungsfunktion und ggf. einer Anzeige über die Stellung im Stand-by keine weitere Funktion mehr erfüllt wird, wie es z. B. beim TV in der Regel der Fall ist. [EuP 2009].

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 zu den passenden Zeiten 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 bei Nicht-Nutzung komplett vom Netz genommen werden. Eine Master-Slave-Steckerleiste schaltet untergeordnete Geräte (Slaves) aus, wenn das Hauptgerät (Master) vom Netz genommen bzw. in Stand-by gesetzt wird. Steckerleisten mit Überspannungsschutz bieten zusätzliche Sicherheit. Ein Blick in Warentests informiert über die Zuverlässigkeit von angebotenen Produkten.

6.3 Kennwerte Informations- und Kommunikationstechnik

Für Geräte der Informations- und Kommunikationstechnik gilt wie für die Unterhaltungselektronik hinsichtlich des Leistungsbezugs in Stand-by-Stellung die EU-weit geltende EuP-Richtlinie⁴ für Geräte.

Tab. 23 Anforderungen an die Leistung von Geräten der Informations- und Kommunikationstechnik 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

³ Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (EuP – Energy using Products)

6.4 Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Betriebskosten von Servern inklusive ihrer Kühlung summieren sich über die Standzeit von Rechenzentren mittlerweile auf gleich hohe oder sogar höhere Beträge als ihre Anschaffungskosten. Der Kühlenergieeinsatz kann durch die Toleranz einer höheren Raumtemperatur und die Verbesserung der Kühlsysteme um bis zu 40 Prozent reduziert werden.

Für den Stromverbrauch der übrigen Geräte der Informations- und Kommunikationstechnik sind insbesondere die Verluste in Netzteilen verantwortlich.

Aus diesen Tatsachen lassen sich folgende Maßnahmen zur Aktivierung des Einsparpotenzials ableiten:

- Temperatur in Serverräumen nicht tiefer wählen als erforderlich, 26°C ist in aller Regel vertretbar,
- solare Einträge vermeiden,
- effiziente Komponenten verwenden,
- Server gut ausnutzen, ehe weitere Kapazität installiert wird (Virtualisierung),
- Abluftführung optimieren,
- gegebenenfalls mit Wasser kühlen, auch direkt am Geräte-Rack,
- gegebenenfalls Abwärme nutzen (Brauchwarmwassererwärmung über Wärmetauscher),
- bei Neuanschaffungen entsprechende Datenbanken mit Werten sparsamer Geräte heranziehen, beispielsweise www.topten.ch, www.ecotopten.de, www.stromeffizienz.de/dienstleister-oeffentliche-hand.html,
- nur Geräte mit effizienten Netzteilen gemäß neuer EU-Richtlinie auswählen: Stand-by-Verbrauch weniger als 1 respektive 0,5 Watt,
- NutzerInnen auf ihren Einfluss auf den Geräteverbrauch aufmerksam machen, z.B. mit Hinweisschildern,
- schaltbare Steckdosen/Steckerleisten verwenden, beim PC mit Peripherie ggf. Master-/Slave-Steckerleisten,
- gemeinsam genutzte Geräte über Zeitschaltuhr oder über selbst-lernende Vorschaltgeräte ausschalten.

7. Unterhaltungselektronik

Die Ausstattung der Haushalte mit Geräten der Unterhaltungselektronik (UE) und Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) ist in den letzten Jahren ständig gewachsen, die Nutzung speziell der IKT intensiviert sich laufend. Dies führte dazu, dass der Stromverbrauch in diesem Segment trotz effizienterer Geräte zugenommen hat – ein weiterer Anstieg wird erwartet. Dabei sind die Unterschiede in der Gerätetechnik gerade hier erheblich, die Möglichkeiten zur Einsparung hoch – dies zeigt die folgende Tabelle. Die Entscheidung beim Kauf legt den Stromverbrauch in diesem Segment für die nächsten 5 bis 10 Jahre fest, die üblichen Standzeiten für viele Geräte der Unterhaltungselektronik und Informations- und Kommunikationstechnik. Selbst so ein kleines „Spielzeug“ wie ein digitaler Fotorahmen kann 70 kWh pro Jahr Strom verbrauchen und damit 16 Euro Betriebskosten verursachen. Nicht zu vergessen der Verbrauch von elektronischem Spielzeug in den Kinderzimmern.

Tab. 24 Spanne des Stromverbrauchs von Unterhaltungselektronik im Stand-by und im Betrieb
[Herstellerangaben; Stiftung Warentest]

Unterhaltungselektronik Bandbreite der Stromkosten in Stand-by und im Betrieb									
Gerät	Stand-by				An				Summe (gerundet) (Euro/Jahr)
	Stand-by-Leistung (Watt)	Betriebszeit (Std. pro Tag)	Stromverbrauch (kWh pro Jahr)	Stromkosten (Euro pro Jahr)	Leistung im Betrieb (Watt)	Betriebszeit (Std. pro Tag)	Stromverbrauch (kWh pro Jahr)	Stromkosten (Euro pro Jahr)	
Fernsehgerät (Diagonale < 70 cm)	0,1 – 30*	19,5	1 – 214	0 – 60	17 – 35	4,5	25 – 50	7 – 14	7 – 74
Fernsehgerät (Diagonale 110 – 120 cm)	0,1 – 30*	19,5	1 – 214	0 – 60	37 – 115	4,5	55 – 171	15 – 48	15 – 108
Sat-Receiver	0,1 – 9*	19,5	1 – 64	0 – 18	7 – 12	4,5	10 – 18	3 – 5	3 – 23
DVD-Player	01 – 4	20,5	1 – 30	0 – 8,5	6 – 9	3,5	8 – 11	2 – 3	2 – 12
Video- projektoren	0 – 1	23	0 – 8,5	0 – 2,5	150 – 300	1	50 – 100	14 – 28	14 – 31
Digitale Fotorahmen	0 – 1	8	0 – 8,5	0 – 2,5	5 – 11	16	20 – 64	5,5 – 18	6 – 21

gerechnet mit 28 ct/kWh; Betriebsdauer 330 Tage pro Jahr, 35 Tage Urlaub; Stand Anfang 2016

* incl. Geräten im Schnellstart-Modus (Erläuterung s. Folgeseite)

7.1 Kennwerte Unterhaltungselektronik

Für Geräte der Unterhaltungselektronik gilt wie für die Informations- und Kommunikationstechnik hinsichtlich des Leistungsbezugs in Stand-by-Stellung die EU-weit geltende EuP-Richtlinie⁵ für Geräte, die seit 2010 produziert werden.

Für manche Fernsehgeräte gibt es einen zusätzlichen Betriebszustand, den so genannten Schnellstart-Modus. Das Bild baut sich aus diesem Zustand einige Sekunden schneller auf als aus Stand-by-Stellung. Allerdings sollte man wissen, dass der Strombedarf im Schnellstart-Modus bei von Stiftung Warentest geprüften Modellen sowie nach Angaben der Hersteller selbst zwischen 0,5 (selten), 14, 29 Watt und 47 (!) lag [test 4/2011, 8/2011, 10/2015 und 12/2015 Herstellerangaben]. Umgerechnet bedeutet das, dass ein Gerät mit 25 W Leistungsbezug im Schnellstart-Modus gut 200 kWh Strom nur für diese Funktion verbraucht, wenn es statt in Stand-by-Stellung ganzjährig in diesem Betriebszustand verbleibt. Dies entspricht zusätzlichen Kosten von über 50 Euro. Weder in der Betriebsanleitung noch im Fachhandel ist herauszufinden, wie lange das Gerät in diesem Modus verbleibt und wie er deaktiviert werden könnte.

Auch für Fernsehgeräte gibt es ein EU-Label, analog zu dem von Haushaltsgroßgeräten. Derzeit gilt die Einstufung in die Energieeffizienzklassen A+ bis F; in den nächsten Jahren kommen die Effizienzklassen A++ und A+++ hinzu, die schlechtesten Klassen entfallen dann jeweils auch für Fernsehgeräte. Ein neues Gerät sollte Klasse A+ haben, mindestens jedoch Klasse A.

Tab. 25 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

⁵ Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (EuP – Energy using Products)

7.2 Zusammenfassung und Empfehlungen

Das vorhandene Einsparpotenzial im Bereich der Unterhaltungselektronik liegt vor allem in der Geräteanschaffung und im Nutzerverhalten, auf welche sich die folgenden Empfehlungen beziehen.

- Der Einkauf von Geräten sollte kritisch erfolgen: wird das gewünschte Gerät tatsächlich benötigt; entspricht die technische Leistungsfähigkeit den gegebenen Anforderungen?
- Bei Neuanschaffungen sollten entsprechende Datenbanken mit Werten sparsamer Geräte herangezogen werden, beispielsweise www.topten.ch und www.ecotopten.de.
- TV-Geräte mit EU-Label A+ oder A kaufen.
- TV-Geräte ohne Schnellstartmodus wählen.
- Es sollten nur Geräte mit effizienten Netzteilen gemäß neuer EU-Richtlinie ausgewählt werden: Stand-by-Verbrauch weniger als 1 respektive 0,5 Watt.
- NutzerInnen sollten auf ihren Einfluss auf den Geräteverbrauch aufmerksam gemacht werden, z.B. mit Hinweisschildern.
- Für vorhandene Geräte mit Stand-by-Bedarf von einigen Watt schaltbare Steckdosen/Steckerleisten verwenden.

8. Haushaltsgeräte

8.1 Kennzeichnung von Haushaltsgroßgeräten

Für Haushaltsgroßgeräte wurde bereits Mitte der 90er Jahre das EU-Label als Kennzeichen für die energietechnische Qualität eingeführt. Über die Jahre war die Aussagekraft der ursprünglichen Fassung des Labels allerdings sehr schwach geworden, da in vielen Gerätegruppen (fast) alle Gerätetypen in Klasse A lagen. Daher wurde im Mai 2010 von der EU beschlossen, für Kühl- und Gefriergeräte, für Wasch- und Spülmaschinen, für Wäschetrockner und Elektro-Backöfen zu den bislang genutzten Labelklassen eine Klassifizierung mit A+++, A++ und A+ für die effizientesten Modelle dieser Gerätegruppen zuzulassen. Die Klassen E, F und G entfallen.

Seit 2012 müssen die Geräte verpflichtend mit dieser neuen Klassifizierung ausgezeichnet sein. Für Wäschetrockner, Fernsehgeräte, Staubsauger, Dunstabzugshauben, Leuchtmittel etc., für die es ebenfalls ein Effizienzlabel gibt, bleibt die Einteilung vorerst bei den Klassen A bis G, wird aber ebenfalls in Richtung A+++ nachgeführt werden (siehe auch in [UM BW]).

Während der redaktionellen Überarbeitung des vorliegenden Stromsparkonzepts haben das Europäische Parlament und der Europäische Rat eine Neufassung der untenstehenden Klassifizierung beschlossen. Die wenig übersichtlichen Klassen, wie A+++, sollen dabei wieder in Klassen von A bis G zurückgeführt werden. Für diese Regelung gelten aber verschiedene lange Übergangsfristen, so dass in nächster Zeit beim Kauf von Haushaltsgeräten sehr genau hingeschaut werden muss, welches Klassifizierungssystem gültig ist. Die untenstehende Tabelle bietet dazu nach wie vor eine wertvolle Orientierungshilfe.

Die folgende Abbildung zeigt für Haushaltsgroßgeräte die Verteilung der Geräte auf die verschiedenen Effizienzklassen.

Abb. 13 Klassifizierung der derzeit am Markt erhältlichen Haushaltsgroßgeräte nach EU-Label

			Energieeffizienzklasse						
			A+++	A++	A+	A	B	C	D
Kühl- und Gefriergeräte									
	Form/Größe	Anzahl							
Kühlschränke ohne Sternefach	TG/TGU	52	9	24	19	---	---	---	---
Kühlschränke ohne Sternefach	SG -400 l	62	12	32	18	---	---	---	---
Kühlschränke mit (****)-Fach	TG/TGU	61	17	30	14	---	---	---	---
Kühlschränke mit (****)-Fach	SG -400 l	15	2	8	5	---	---	---	---
Kühlschränke mit (****)-Fach	EG, 89 cm	111	24	65	20	---	---	---	---
Kühl-Gefrier-Kombis / MZG	SG 200-400 l	433	170	218	45	---	---	---	---
Gefrierschränke	TG/TGU	46	5	26	15	---	---	---	---
Gefrierschränke	SG -400 l	165	41	97	27	---	---	---	---
Gefriertruhen	200-400 l	76	30	38	8	---	---	---	---
Waschmaschinen			A+++	A++	A+	A	B	C	D
Frontlader	5,0 - 7,0 kg	345	264	50	30	1	---	---	---
Frontlader	8,0 - 9,0 kg	307	306	---	---	---	---	---	---
Toplader	5,0 - 7,0 kg	105	68	21	16	---	---	---	---
Wäschetrockner						A	B	C	D
Front-/Toplader	5,0 - 7,0 kg	26	---	---	---	13	12	---	---
Front-/Toplader	8,0 - 9,0 kg	36	---	---	---	32	4	---	---
Trommel-Wäschetrockner			A+++	A++	A+	A	B	C	D
Ablufttrockner, solar- /gasbetrieben	7,0 kg	3	3	---	---	---	---	---	---
Ablufttrockner, elektrisch	6,0 - 9,0 kg	26	---	---	---	---	2	24	---
Kondentrockner, konventionell	6,0 - 9,0 kg	76	---	---	---	---	74	2	---
Kondentrockner mit Wärmepumpe	7,0 - 9,0 kg	257	80	150	24	3	---	---	---
Spülmaschinen			A+++	A++	A+	A	B	C	D
Frontlader ca. 60 cm breit	12-15 Ged.	1024	333	509	183	4	---	---	---
Frontlader ca. 45 cm breit	8-10 Ged.	253	37	68	132	16	---	---	---

TG=Tischgerät, TGU=Tischgerät unterbaufähig, SG=Standgerät, EG=Einbaugerät, Ged=Zahl Maßgedecke; (*) A-vergleichbar.
 Durchstreichungen = nicht empfohlene Segmente. Datenquelle: NEI-Hausgerätedatenbank Stand 21.10.2016

Auf dem Internetauftritt des Umweltministeriums des Landes Baden-Württemberg www.um.baden-wuerttemberg.de ist nach Eingabe des Suchbegriffs „Sparsame Haushaltsgeräte“ eine umfangreiche Informationsbroschüre zu diesem Thema zu finden.

Daher ist es für den Neukauf erforderlich, den spezifischen Energieverbrauch für die sparsamsten Neugeräte zu kennen. Dies kann über die Geräteliste des Niedrigenergieinstituts in Detmold erfolgen, deren Druckversion jährlich aktualisiert wird, zuletzt im Oktober 2016, und die im Internet laufend auf aktuellem Stand gehalten wird (www.spargeraete.de), oder über die Datenbanken von www.ecotopten.de, von www.topten.ch oder über www.stroeffizienz.de/dienstleister-oeffentliche-hand.html (s. auch [UM BW]).

Generell sollte vor jeder Neuanschaffung die Frage gestellt werden, welche Gerätegröße optimal geeignet ist. Beispielsweise ist eine Waschmaschine mit 7 kg Fassungsvermögen trotz sehr guter Energiekennwerte für einen 2-Personen-Haushalt keine gute Wahl, da sie voraussichtlich häufig nur zum Teil beladen betrieben sein wird. In Teillast verschlechtern sich die Kennwerte, trotz elektronischer Optimierungsprogramme steigen Energie- und Wasserverbrauch pro Kilogramm Wäsche an. Für den 5-Personen-Haushalt oder für manchen kleinen Gewerbebetrieb (z.B. Friseursalon) kann sie ideal sein, da das hohe Fassungsvermögen gut ausgenutzt werden kann.

Zur Einschätzung des eigenen Energieverbrauchs sind so genannte CO₂-Rechner ein nützlicher Maßstab. Sowohl der Energieeinsatz für Heizzwecke als auch für Elektrogeräte, für Mobilität wie auch durch die Ernährungsgewohnheiten wird in Formblätter eingetragen. Resultierend wird der CO₂-Fußabdruck errechnet, derzeit im Mittel in Deutschland rund 11 Tonnen CO₂ pro Person und Jahr www.uba.klima-aktiv.de.

8.2 Einzelgeräte im Haushalt/in der Teeküche

8.2.1 Kühl- und Gefriergeräte

Für Kühl- und Gefriergeräte kann eine einfache Empfehlung ausgesprochen werden: Bei einer Neuanschaffung sollte ein Gerät der Effizienzklasse A++ oder A+++ nach EU-Label gewählt werden. Kühl- und Gefriergeräte dürfen inzwischen nur noch mit mindestens EU-Label A+ auf den Markt kommen. Den wirtschaftlichen Vorteil zeigt die nachfolgende Tabelle.

Tab. 26 Stromverbrauch verschieden effizienter Kühlschränke mit Gefrierfach (Stand 2009)
[NEI-Liste]

Betriebskostenvergleich für Tisch-Kühlschränke mit */***-Fach mit ca. 116 l Volumen Kühlraum und 16 l Gefrierfach				
	A+++ -Gerät	A++ -Gerät	A+ -Gerät	A-Gerät (alt)
Strombedarf pro Jahr [kWh]	93	138	182	220
Strombedarf in 15 Jahren [kWh]	1.395	2.070	2.730	3.300
Stromkosten in 15 Jahren (gerundet) [Euro]	391	580	764	924
Mehrkosten gegenüber A+++-Gerät in 15 Jahren [Euro]		189	365	533
gerechnet mit 28 Cent/kWh				

8.2.2 Spülmaschinen

Ein Warmwasseranschluss für Spülmaschinen ist nicht nur energieeffizient, sondern auch sehr kostengünstig, wie der nachstehende Vergleich verschiedener Geräte zeigt. Dabei wird im berechneten Beispiel davon ausgegangen, dass die Wassererwärmung für das Gerät mit Warmwasseranschluss über einen Sonnenkollektor erfolgt.

Tab. 27 Strombedarf und -kosten für Spülmaschinen verschiedener Energieeffizienzklassen (Vergleich Sonnenkollektor/Nahwärmenetz) [NEI-Liste und Herstellerangaben]

Strombedarf und -kosten für Spülmaschinen verschiedener Energieeffizienzklassen – Vergleich mit/ohne Warmwasseranschluss und Vergleich Sonnenkollektor/ Nahwärmenetz –				
	Neugerät Klasse A+++ mit Warmwasser- anschluss	Neugerät Klasse A+++ ohne Warmwasseranschluss	Altgerät Klasse B ohne Warmwasseranschluss	Altgerät Klasse D ohne Warmwasseranschluss
Strombedarf pro Jahr [kWh]	73	100	200	260
Strombedarf in 15 Jahren [kWh] (gerundet)	1.100	1.500	3.000	3.900
Stromkosten in 15 Jahren in Euro (1)	308	420	840	1.092
Energiekosten in 15 Jahren in Euro (2)	356	420	840	1.092

Annahme: 140 Spülgänge pro Jahr, Gerät für 13 (12) Gedecke; Berechnung lt. EU-Label im Strom sparenden Standardprogramm bzw. Angabe lt. älteren Quellen; Strompreis 28 ct/kWh; (1) Annahme solare Warmwassererzeugung (keine Kosten für Wärmeerzeugung eingerechnet, da Kollektor nicht für Spülmaschine, sondern für Brauchwarmwasser allgemein installiert ist und mehr Warmwasserverbrauch vor allem im Sommer den Jahresnutzungsgrad des Kollektors verbessert); (2) Annahme Wassererwärmung für Gerät mit Warmwasseranschluss über Nahwärmenetz (12 ct/kWh); ein Teil des Stromverbrauches ist für Pumpen und Ventilator erforderlich.

Ganz besonders effizient und auch wirtschaftlich vorteilhaft ist der Warmwasseranschluss dann, wenn das Wasser über Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung – wie in Bahnstadt Standard – oder über einen Kollektor erwärmt wird. Fast alle neuen sowie viele der vorhandenen Geräte lassen sich direkt an warmes Wasser anschließen. Nur für jene Geräte, die einen Wärmetauscher zur Nutzung der Abwärme des Abwassers haben, lohnt sich das nicht; sie sind z. B. bei elektrischer Wassererwärmung von Vorteil.

Bei jenen Gerätetypen, die bei Kaltwasseranschluss im Trockengang die Feuchtigkeit an einer wassergekühlten Gerätewand kondensieren, wird bei Warmwasseranschluss evtl. die Trocknung etwas schlechter, doch kompensiert die im Geschirr enthaltene Wärme dies zumindest teilweise.

8.2.3 Waschmaschinen

Auch bei Waschmaschinen differieren die Betriebskosten mit bzw. ohne Anschluss an eine effiziente Wassererwärmung; wie bei jedem Betriebskostenvergleich empfiehlt es sich, Kosten über die Standzeit eines Gerätes zu betrachten. Nachfolgend sind diese für ein Gerät mit und ein Gerät ohne Warmwasseranschluss aufgeführt, gerechnet mit heutigen Energiepreisen. Auch ohne die Einrechnung einer Energiekostensteigerung ergibt sich eine nennenswerte Differenz. Gemäß dem gezeigten Rechenbeispiel dürfte ein Neugerät mit Warmwasseranschluss rund

65 Euro teurer in der Anschaffung sein, dann wäre die Bilanz für Anschaffungs- und Betriebskosten während einer (statistisch durchschnittlichen) Standzeit von 11 Jahren bei Plus/Minus Null. Wird eine Energiepreissteigerung eingerechnet, wie es zu erwarten ist, schneidet ein Gerät auch bei höherer Mehrinvestition insgesamt besser ab.

Tab. 28 Betriebskostenvergleich für Waschmaschinen mit und ohne Warmwasseranschluss [NEI-Liste und Herstellerangaben]

Betriebskostenvergleich bei Warmwasseranschluss					
jeweils 7-kg-Gerät	Waschmaschine mit Labelklasse A+++		Waschmaschine mit Labelklasse A+++ und Warmwasseranschluss		
	Strom	Wasser	Strom	Gas	Wasser
220 Waschgänge im Programm-Mix pro Jahr	139 kWh	9,2 m ³	17 kWh	100 kWh	9,2 m ³
Betriebskosten im Jahr	39 Euro	37 Euro	5 Euro	7 Euro	37 Euro
Betriebskosten für Strom (+ Gas) + Wasser in 11 Jahren	428 Euro	405 Euro	52 Euro	77 Euro	405 Euro
Gesamt	833 Euro		534 Euro		

Geräte mit 7 kg Fassungsvermögen. Angenommen sind pro Jahr 220 Waschgänge mit 60 °C oder mit 40 °C laut neuem EU-Label. Für Nahwärme wird mit 12 Cent pro Kilowattstunde gerechnet, für Strom mit 28 ct/kWh, für Gas mit 7 ct/kWh, für Wasser mit 4 Euro pro cbm (Zahlenwerte gerundet).

In Einzelfällen können Waschmaschinen-Vorschaltgeräte zur Nachrüstung vorhandener Waschmaschinen ohne Warmwasseranschlussmöglichkeit genutzt werden. Das Vorschaltgerät mischt warmes und kaltes Wasser auf die jeweils im Programm gewünschte Temperatur. Sinnvoll sind diese aufgrund ihres relativ hohen Anschaffungspreises nur, wenn warmes Wasser durch eine Kollektoranlage quasi kostenlos zur Verfügung steht.

Neben dem Warmwasseranschluss sind auch Vergleichswerte bei unterschiedlicher Waschtemperatur eine wichtige Größe. Durch die entsprechende Wahl von Waschprogrammen mit niedrigerer Temperatur ist eine Einsparung von etwa 25 Prozent erzielbar.

Tab. 29 Vergleich für Waschprogramme unterschiedlicher Temperatur [Datenbank www.forum-waschen.de 2016]

Verbrauchsdaten für sparsame Waschmaschinen – Bestandsgeräte				
	Stromverbrauch bei 60°C (kWh)	Stromverbrauch bei 40°C (kWh)	Stromverbrauch bei 30°C (kWh)	Stromverbrauch bei 20°C (kWh)
3 Jahre altes Gerät	0,9	0,49	0,29	0,2
10 Jahre altes Gerät	1,01	0,54	0,33	0,28

Da das Waschen mit niedrigen Temperaturen sehr viel weniger Energie verbraucht, müssen neue Waschmaschinen gemäß der geltenden Ökodesign-Verordnung der EU ein Waschprogramm mit nur 20°C anbieten. Die Waschmittel-Hersteller haben darauf reagiert und die Waschmittel-Rezepturen entsprechend angepasst [Cool 20].

Zudem dürfen inzwischen nur noch Geräte mit mindestens Effizienzklasse A+ auf den Markt gebracht werden.

8.2.4 Wäschetrockner

Wäschetrockner werden zunehmend in Haushalten, teils auch in kleinen Gewerbebetrieben eingesetzt. Generell ist natürlich das Trocknen auf der Wäscheleine die effizienteste Methode. Wenn doch ein Trockner erforderlich ist, gilt es vorrangig, ein sparsames Modell auszuwählen. In der nachfolgenden Tabelle werden verschiedene Geräte verglichen; ein gasbetriebener Trockner schneidet hier am günstigsten ab, an zweiter Stelle folgt ein Wärmepumpentrockner.

Wichtig ist in jedem Fall, dass die Wäsche gut entwässert, d. h. geschleudert wird. Bei 1400 anstatt 1000 Umdrehungen/min wird rund ein Viertel weniger Strom gebraucht. In der Regel sollte bei Trocknernutzung die zugehörige Waschmaschine eine Umdrehungszahl von mindestens 1200 U/min, besser noch 1400 U/min haben.

Tab. 30 Betriebskostenvergleich für unterschiedliche Trockner

Energiebedarf und Stromkosten von Wäschetrocknern		
Energieeffizienzklasse und Art des Wäschetrockners (1)	Energiebedarf je Trockengang nach Schleudern mit 1.000 Umdrehungen/Minute (2)	Stromkosten pro Jahr bei 2 Trockengängen je Woche (3)
	kWh	Euro
A+++ -Gerät 8 kg (K, WP)	1,5	45
B-Gerät 6 kg (K)	4,3	124
C-Gerät 6 kg (A)	4,1	119
Gastrockner 7 kg		gesamt 42
Gas	4,2	30
Strom	0,4	12

(1) Angaben in Klammern: K: Kondensationstrockner, WP: Wärmepumpe, A: Ablufttrockner;
 (2) für Baumwollwäsche;
 (3) berechnet nach Schleudern mit 1.000 Umdreh./Minute; Strom 28 ct/kWh, Gas: 7 ct/kWh. Quelle: NEI-Liste Okt. 2015 sowie Datenbank www.spargeraete.de; Stand Jan. 2016

8.3 Kennwerte Haushaltsgeräte

Für Kühl- und Gefriergeräte, Wasch- und für Spülmaschinen, für Wäschetrockner und Elektrobacköfen gilt das EU-Label – beste Geräte erreichen die Effizienzklasse A+++ . Die Klassen E, F und G entfallen. Für Wäschetrockner, Fernsehgeräte, Staubsauger, Dunstabzugshauben etc. gilt weiterhin die Klasseneinteilung in A bis G, für Leuchtmittel gilt derzeit A++ bis E. In einiger Zeit wird auch für weitere Gerätegruppen die Einstufung in die Klassen A+++ bis D erfolgen.

Tab. 31 Neue Effizienzklassen als Entscheidungskriterium für den Kauf von Haushaltsgroßgeräten

EU-Klassifizierung von Haushaltsgroßgeräten
Empfehlung A+++ oder A++ für Kühl- und Gefriergeräte, Spül- und Waschmaschinen, für Wäschetrockner und Elektrobacköfen. A für die anderen Geräte.

Auch für Haushaltsgroßgeräte gilt hinsichtlich des Leistungsbezugs in Stand-by-Stellung die EU-weit geltende EuP-Richtlinie⁶.

Tab. 32 Anforderungen an die Leistung von Geräten in Stand-by-Stellung 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

⁶ Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (EuP – Energy using Products)

8.4 Zusammenfassung und Empfehlungen

Das vorhandene Einsparpotenzial im Bereich der Haushaltsgeräte liegt vor allem in der Anschaffung von effizienten Geräten und im klugen Nutzerverhalten.

- Informationsmaterial für Einsatz und Nutzung dieser Geräte sollte verfügbar sein, so dass die Einflussmöglichkeiten auf den Stromverbrauch der Geräte eingeschätzt und das Verhalten geeignet modifiziert werden kann.
- Informationen über die Höhe der Stand-by-Verluste vorhandener Geräte und der EuP-Richtlinie für neue Geräte sollten verfügbar gemacht werden.
- Gerätelisten des Niedrigenergieinstituts Detmold sollten als Einkaufshilfe bei Neuanschaffungen zur Verfügung gestellt, Hinweise auf Datenbanken gegeben werden.
- Spülmaschinen sollten an eine nicht-elektrische zentrale Wassererwärmung angeschlossen werden, optimal an solare Wassererwärmung, in Bahnstadt auch an die Fernwärme.
- Für Waschmaschinen ist eine Anschlussmöglichkeit an warmes Wasser unter dem Aspekt mittelfristiger Optimierung des Wohngebietes sinnvoll, wenn auch zu Beginn nur wenige Geräte dieses Typs installiert sein werden.
- Auf im Internet verfügbare CO₂-Rechner sollte hingewiesen werden, um den eigenen CO₂-Verbrauch einschätzen zu können: www.heidelberg.de/co2spiegel

9. Übersichten

9.1 Übersicht Kennwerte

Allgemeinstrom		
Kennwert Allgemeinstrom in Wohngebäuden		
3,7 bis 5 kWh pro m ² und Jahr		
Für Büro- und andere Gebäude ist ein solcher Wert nicht verfügbar.		
Umwälzpumpen		
ab	Pumpentyp	Anforderungen
1.1.2013	externe Umwälzpumpen	EEI ≤ 0,27; Produktinformation
	Trinkwasser-Zirkulationspumpen	nur Produktinformation
1.8.2015	externe Umwälzpumpen und in neue Produkte integrierte Umwälzpumpen	EEI ≤ 0,23; Produktinformation
1.1.2020	in bestehende Produkte integrierte Umwälzpumpen	Ende der Möglichkeit, integrierte Heizungsumwälzpumpen, die vor dem 1.8.2015 in Verkehr gebracht wurden, zu ersetzen
Lüftung und Klimatisierung		
Spezifische elektrische Ventilatorleistung		
Ventilatorleistung nach Kategorie SFP 2 (0,28 W/(m ³ /h) bis 0,42 W/(m ³ /h) pro Zu-/Abluftgerät		
Wärmebereitstellungsgrad bei Anlagen mit Luft-Luft-Wärmeübertrager		
80 % oder besser, die Energiekonzeption Heidelberg 2010 fordert ebenso 80 %		
Kaltgeräte		
Arbeitszahl 3,5 und besser		
Beleuchtung		
Maximal installierte Lichtleistung		
8 bis 12 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
Unterhaltungselektronik		
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
Haushaltsgeräte		
Empfehlung A+++ oder A++ für Kühl- und Gefriergeräte, Spül- und Waschmaschinen, für Wäschetrockner und Elektrobacköfen. A für die anderen Geräte.		
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

9.2 Übersicht Empfehlungen

Allgemeinstrom

Die Liste von Verbrauchern im Bereich Allgemeinstrom - also von Strom, dessen Verbrauch auf die Nutzerinnen und Nutzer bzw. Mietparteien eines Gebäudes aufgeteilt wird - ist beträchtlich und variiert je nach Gebäudenutzung (z. B. Wohn-, Büro-, Gewerbenutzung) stark.

Einsparungen ergeben sich vor allem

- in der Verwendung von effizienten Netzteilen mit niedrigen Stand-by-Verlusten, z.B. für Klingeltrafos, Brandmeldeanlagen, Antennenverstärker ...,
- durch eine knappe, jeweils der Anwendung angepasste Dimensionierung von Allgemeinbeleuchtung in Kombination mit Bewegungsmeldern und/oder Zeitschaltuhren (zu Details siehe das Querschnittskapitel zu Beleuchtung),
- soweit nicht unter Betriebskosten Heizung erfasst: durch Umwälzpumpen mit Energieeffizienzindex (EEI) von mindestens 0,23, besser 0,20 (zu Pumpen siehe eigenes Kapitel),
- für die jeweilige Anwendung optimierte intelligente Regeltechnik,
- durch Planungen, die ohne elektrische Begleitheizungen zum Frostschutz von Wasserleitungen oder Abwasserrohren auskommen,
- durch Planungen, die den Verzicht auf Flächenheizungen im Außenbereich ermöglichen, z. B. bei Tiefgaragen.

Aufzüge

Das Einsparpotenzial bei Aufzügen hängt sehr stark vom Aufzugstyp (technische Ausstattung) und der Nutzung (Gebäudenutzung und -größe) ab. Eine Optimierung des Aufzugsbetriebs kann durch die folgenden Maßnahmen erreicht werden.

- Wahl eines Aufzugs mit an die Anforderung angepasster Leistung,
- Aufzugstyp mit Energieeffizienzklasse A (oder mindestens B) wählen,
- Stand-by-Stromverbrauch gering halten durch Abschaltung des Kabinenlichts und des Displays, durch effiziente Spannungsversorgung (Schaltnetzteile) und durch die Wahl eines Modells, das keine Energie zum Geschlossenhalten der Kabinentür benötigt,
- Verwendung von hocheffizienten LED-Lampen,
- Wahl einer entsprechend der Gebäudenutzung vertretbar niedrigen Geschwindigkeit, da höhere Beschleunigung größere Motoren verlangt, die aufgrund großer Dimensionierung höhere Verlustanteile aufweisen,
- in größeren Objekten mit vielen Aufzugfahrten sollte geprüft werden, ob ein rückspeisefähiger Umrichter zur Energierückgewinnung (Rekuperation) eine wirtschaftliche Investition darstellt,
- Optimierung des Gegengewichts entsprechend realistischer Nutzungsannahmen,
- bei Aufzuggruppen (in größeren Gebäuden) Abschalten einzelner Aufzüge in Zeiten geringer Nutzung.



Umwälzpumpen

Umwälzpumpen sind im Einsatz als Heizungsumwälzpumpen, als Trinkwasser-Zirkulationspumpen, als Umwälzpumpen im Solarkreislauf, in Systemen mit Erdwärmekollektoren sowie in Klimaanlage. Ihr Einfluss auf den Stromverbrauch bleibt in der Regel unbeachtet. Dabei ist neben der Effizienz der Pumpe auch die Auslegung des Wärmeverteilnetzes für den Betriebsstromverbrauch verantwortlich, weshalb für neue Netze ein hydraulischer Abgleich vorgeschrieben ist (z. B. DIN 4701-10, EnEV).

Das große Einsparpotenzial von bis zu 80 Prozent bei den Umwälzpumpen kann durch die aufgeführten Maßnahmen erschlossen werden.

- Hocheffiziente Pumpen mit Energieeffizienzindex 0,23 oder besser 0,20 sollten installiert werden.
- Heizungspumpen müssen korrekt dimensioniert werden. Zu große Pumpen sind teurer in der Anschaffung und weniger effizient im Betrieb. Als Faustregel gilt: Pumpenleistung ca. 1/1.000 der Heizleistung.
- Besonders effizient arbeiten differenzdruckgeregelte Pumpen. Ihr Einsatz sollte geprüft werden.
- Eine Dokumentation des hydraulischen Abgleichs sollte angefordert werden.
- Die Regelung von Pumpen sollte sich am Bedarf orientieren (bedarfsgerechte Regelung). Im Zusammenhang mit Betonkerntemperatur hat sich eine Taktung der Umwälzpumpen bewährt.
- Bei sehr gut wärmedämmten Gebäuden kann die Verteilung des verbleibenden geringen Restwärmebedarfs ggf. über die Lüftungsanlage erfolgen, in diesen Fällen ist u.U. kein herkömmliches Heizsystem mehr erforderlich. In diesen Fällen sind analoge Effizienzanforderungen an die Lüftungssysteme zu richten (siehe eigenes Kapitel).
- Auch für Sonnenkollektor- sowie für Klimaanlage und Erdwärmetauscher sollten effiziente Pumpen eingesetzt werden.

Lüftung und Kühlung

Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sind integraler Bestandteil von Passivhäusern, um hygienische Raumluftverhältnisse bei minimalen Lüftungswärmeverlusten zu sichern. Um den projektierten Stromverbrauch zu minimieren, sind zunächst die planerischen Voraussetzungen zu erfüllen.

- Sorgfältige Dimensionierung durch Abklärung des genauen Bedarfs, Optimierung der Luftwechselraten,
- Minimierung der Druckverluste in Lüftungskanälen und Anlagenkomponenten,
- Wahl eines auf die Anlage abgestimmten Ventilators mit gutem Wirkungsgrad und geringem Stromverbrauch ($\leq 0,21$ Wh/m³ pro Ventilator),
- Sorgfältige Filterdimensionierung und regelmäßige Filterwartung/-austausch,
- Installation einer bedarfsangepassten Ventilator- und Raumvolumenstromregelung,



- Prüfung der Effizienzverbesserung durch die Nutzung regenerativer Energiequellen (z.B. Erdwärmetauscher, Solarwärme),
- Einsatz eines Lüftungssystems mit Wärmerückgewinnung mit hohem Rückgewinnungsgrad (≥ 80 Prozent)
– sorgfältige Einregulierung der Lüftungsanlage,
- Nutzereinweisung,
- Bereitstellung von Dokumentationsunterlagen,
- regelmäßige Wartung und regelmäßiger Filterwechsel.

Kühlung und Befeuchtung sollten auf Sondernutzungszonen beschränkt bleiben. Vor der Installation von Kältegeräten müssen zunächst Maßnahmen zur Minimierung des Kältebedarfs getroffen werden. Hierfür sind bereits in einer frühen Planungsphase die Voraussetzungen zu schaffen.

- Die Verwirklichung eines integralen Gesamtkonzepts schafft die Voraussetzungen für einen möglichen Verzicht auf Kühlung.
- Zu einem funktionierenden Gesamtkonzept mit notwendiger Kühlung gehören auch organisatorische Maßnahmen wie die Orientierung von zu kühlenden Räumen gegen Norden und die Kopplung des Kühlbetriebs an einen aktiven Sonnenschutz und geschlossene Fenster.
- Die Temperatur in Serverräumen sollte nicht tiefer gewählt werden als erforderlich, 26°C ist in aller Regel vertretbar/solare Einträge sind zu vermeiden/u.U. Kühlung direkt am Rack.
- Für Kühlung und Befeuchtung muss die Systemauswahl vom Planer aufgrund des Nutzungsprofils und der Randbedingungen begründet werden.
- Solare und andere regenerative Kühlsysteme (z.B. Absorptionskälte aus Fernwärme) sollten stets untersucht werden.
- Die Anlagenaufwandszahl und der flächenspezifische Energieeinsatz sollten für alle Planungen nachgewiesen werden.
- Bei einer Notwendigkeit von RLT-Klimaanlagen sollte die Auslegung auf die hygienisch notwendige Luftmenge entsprechend [DIN EN 13779] bzw. nach [ASR A3.6] erfolgen. Falls die Kühllast höher ist, als mit der Mindestluftfrate abgeführt werden kann, sollte die Klimatisierung vorrangig mit wasserführenden Kühlsystemen ergänzt werden.
- Regelmäßige (jährliche) Messungen, besser noch kontinuierliche Messungen, zur Optimierung des Anlagenbetriebs sollten vorgesehen werden.
- Der Betrieb der aktiven Kühlung sollte immer in Kombination mit freier Kühlung erfolgen.

Beleuchtung

Eine sehr umfangreiche Zusammenstellung von Einsparmöglichkeiten an der Beleuchtung wird in der nachstehenden Tabelle gezeigt. Bei der erwähnten Öko-Aus-Funktion kann z. B. ein zeitgesteuertes Treppenhauslicht durch ein zweites Drücken des Lichtschalters vorzeitig wieder ausgeschaltet werden.

Der Wirkungsgrad von Leuchten sollte bei 80 Prozent liegen. Leuchten sollten turnusmäßig gereinigt werden, da der Leuchtenwirkungsgrad durch Verschmutzung kontinuierlich abnimmt.

Allgemein	<ul style="list-style-type: none"> - Leuchtmittel mit sehr guter Lichtausbeute (oberhalb 80, besser 100 oder 120 Lumen pro Watt), insbesondere bei langer Brenndauer - Leuchtmittel der Effizienzklasse A++ wählen - Leuchtmittel mit langer Standzeit (LED), speziell an schwer erreichbaren Orten und dort, wo Personalkosten beim Austausch entstehen - Schaltfeste Leuchtmittel - Leuchten mit guter Lichtlenkung - Einsatz von EVGs - optimierte Zeitautomatik - Einsatz von Helligkeitssensoren und Bewegungsmeldern - helle Gestaltung von Oberflächen - größtmögliche Ausnutzung des Tageslichts (in Abstimmung mit thermischen Erfordernissen)
Treppenhaus und Flure	<ul style="list-style-type: none"> - Energieeffiziente Leuchtmittel mit hoher Schaltfestigkeit und schneller Helligkeit - Verzicht auf Orientierungsbeleuchtung - Zeitautomatik mit möglichst kurzer Brenndauer - Öko-Aus-Funktion: Einbezug des Bewohners in Stromsparprozess - Bei vielen Wohneinheiten: Helligkeitssensor und Bewegungsmelder, ggf. Etagen- bzw. Zonenverbund
Wenig frequentierte Räume (z. B. Heizungsraum, Hausanschlussraum ...)	<ul style="list-style-type: none"> - Individuelle Ein-/Ausschaltung - ggf. Zeitautomatik
Viel frequentierte Räume (z. B. Fahrradkeller, Waschmaschinenraum ...)	<ul style="list-style-type: none"> - Zeitautomatik - Öko-Aus-Funktion: Einbezug des Nutzers in Stromsparprozess - ggf. Bewegungsmelder
Gemeinschaftsräume z. B. Festräume	<ul style="list-style-type: none"> - Individuelle Ein-/Ausschaltung - ggf. Lichtszenen- gesteuerte Beleuchtung als Kombination von Allgemein- und Stimmungsbeleuchtung
Eingänge	<ul style="list-style-type: none"> - Zeitautomatik - ggf. Bewegungsmelder - alternativ: Orientierungsbeleuchtung, volle Leuchtkraft bei Bewegungsvermerk
Wege	<p>System 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tageslichtgesteuerte dauerhafte Orientierungsbeleuchtung - evtl. Einsatz solargespeicherter Beleuchtung <p>System 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tageslichtgesteuerte Beleuchtung, Bewegungsmelder <p>System 3:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tageslichtgesteuerte, dauerhafte gedimmte Beleuchtung, volle Leuchtkraft bei Bewegungsvermerk <p>System 4:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bewegungsbegleitende Beleuchtung (Zonenverbund)
Architektonische Akzentbeleuchtung	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz energieeffizienter Leuchtmittel (z. B. LED's) - Tageslichtgesteuert, mehrere Stunden Nacht-Aus
Parkplätze	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz energieeffizienter Leuchtmittel - evtl. Betrieb auf geminderter Leistung - Bewegungs- und Zeitautomatik (Carports/Garagen)
Müllsammelstelle	<ul style="list-style-type: none"> - Zeitautomatik (kurze Beleuchtungszeit) - ggf. Bewegungsmelder - evtl. energieautarkes System mit Solarzelle
Durchgänge	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz von besonders effizienten Leuchtmitteln mit langer Lebensdauer



Informations- und Kommunikationstechnik

Die Betriebskosten von Servern inklusive ihrer Kühlung summieren sich über die Standzeit von Rechenzentren mittlerweile auf gleich hohe oder sogar höhere Beträge wie ihre Anschaffungskosten. Der Kühlenergieeinsatz kann durch die Toleranz einer höheren Raumtemperatur und die Verbesserung der Kühlsysteme um bis zu 40 Prozent reduziert werden.

Für den Stromverbrauch der übrigen Geräte sind insbesondere die Verluste in Netzteilen verantwortlich. Daraus lassen sich folgende Maßnahmen zur Aktivierung des Einsparpotenzials ableiten:

- Temperatur in Serverräumen nicht tiefer wählen als erforderlich, 26°C ist vertretbar.
- Solare Einträge vermeiden,
- effiziente Komponenten verwenden,
- Server gut ausnutzen, ehe weitere Kapazität installiert wird (Virtualisierung),
- Abluftführung optimieren,
- gegebenenfalls mit Wasser kühlen,
- gegebenenfalls Abwärme nutzen (Brauchwarmwassererwärmung über Wärmetauscher),
- bei Neuanschaffungen entsprechende Datenbanken mit Werten sparsamer Geräte heranziehen, beispielsweise www.topten.ch, www.ecotopten.de, www.stromeffizienz.de/dienstleister-oeffentliche-hand.html,
- nur Geräte mit effizienten Netzteilen gemäß EU-Richtlinie auswählen: Stand-by-Verbrauch weniger als 1 respektive 0,5 Watt,
- NutzerInnen auf ihren Einfluss auf den Geräteverbrauch aufmerksam machen, z. B. mit Hiweisschildern,
- schaltbare Steckdosen/Steckerleisten verwenden, beim PC mit Peripherie ggf. Master-/Slave-Steckerleisten,
- gemeinsam genutzte Geräte über Zeitschaltuhr oder über selbst-lernende Vorschaltgeräte ausschalten.



Unterhaltungselektronik

Das vorhandene Einsparpotenzial im Bereich der Unterhaltungselektronik liegt vor allem in der Geräteanschaffung und im Nutzerverhalten, auf welche sich die folgenden Empfehlungen beziehen.

- Der Einkauf von Geräten sollte kritisch erfolgen: wird das gewünschte Gerät tatsächlich benötigt; entspricht die technische Leistungsfähigkeit den gegebenen Anforderungen?
- Bei Neuanschaffungen sollten entsprechende Datenbanken mit Werten sparsamer Geräte herangezogen werden, beispielsweise www.topten.ch und www.ecotopten.de.
- TV-Geräte mit EU-Label A kaufen.
- TV-Geräte ohne Schnellstartmodus wählen.
- Es sollten nur Geräte mit effizienten Netzteilen gemäß EU-Richtlinie ausgewählt werden: Stand-by-Verbrauch weniger als 1 respektive 0,5 Watt.
- NutzerInnen sollten auf ihren Einfluss auf den Geräteverbrauch aufmerksam gemacht werden.
- Für vorhandene Geräte mit Stand-by-Bedarf von einigen Watt schaltbare Steckdosen/Steckerleisten verwenden.

Haushaltsgeräte

Das vorhandene Einsparpotenzial im Bereich der Haushaltsgeräte liegt vor allem in der Geräteanschaffung und im Nutzerverhalten.

- Informationsmaterial für Einsatz und Nutzung dieser Geräte sollte verfügbar sein, so dass die Einflussmöglichkeiten auf den Stromverbrauch der Geräte eingeschätzt und das Verhalten geeignet modifiziert werden kann.
- Informationen über die Höhe der Stand-by-Verluste vorhandener Geräte und der EuP-Richtlinie für neue Geräte sollten verfügbar gemacht werden.
- Gerätelisten des Niedrigenergieinstituts Detmold sollten als Einkaufshilfe bei Neuanschaffungen zur Verfügung gestellt, Hinweise auf Datenbanken gegeben werden.
- Spülmaschinen sollten an eine nicht-elektrische zentrale Wassererwärmung angeschlossen werden, optimal an solare Wassererwärmung.
- Für Waschmaschinen ist eine Anschlussmöglichkeit an warmes Wasser unter dem Aspekt mittelfristiger Optimierung des Wohngebietes sinnvoll, wenn auch zu Beginn nur wenige Geräte dieses Typs installiert sein werden.
- Auf im Internet verfügbare CO₂-Rechner sollte hingewiesen werden, um den eigenen CO₂-Verbrauch einschätzen zu können: www.uba.klima-aktiv.de

10 Literaturverzeichnis

[26°C]	26°C in EDV-Räumen – eine Temperatur ohne Risiko, Bundesamt für Energie, Bern, energieSchweiz 2004
[Allgemeinstrom 09]	Allgemeinstrom in Wohngebäuden, Dr.-Ing. Klaus-Dieter Clausnitzer, Bremer Energieinstitut BEI, Febr. 2009
[ASR A3.5]	Technische Regeln für Arbeitsstätten. ASR A3.5 Raumtemperatur. Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2010, zuletzt geändert 2014
[ASR A3.6]	Technische Regeln für Arbeitsstätten. ASR A3.6 Lüftung. Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2012, geändert 2013
[BAM + UBA 09]	EU-Verordnung für umweltgerechte Gestaltung von Umwälzpumpen, BAM + UBA, 2009
[Bay LA Umwelt 2008]	Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden – Planungsleitfaden, Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2008
[Bayern 2008]	Effiziente Energienutzung in Bürogebäuden, Planungsleitfaden, Bayrisches Landesamt für Umwelt 2008
[BINE 10/05]	Kältespeicher in großen Kältenetzen, BINE Informationsdienst, Projektinfo 10/2005
[BINE 12/08]	Kältespeicher optimiert Fernkältesystem, BINE Informationsdienst, Projektinfo 12/2008
[BINE 13/09]	Bürogebäude dezentral lüften und klimatisieren, BINE Informationsdienst, Projektinfo 13/2009
[BINE 16/09]	Verwaltungsgebäude als energieeffizientes Ensemble, BINE Informationsdienst, Projektinfo 16/2009
[BINE 20]	BINE basisENERGIE 20, Oktober 2006; Energie sparen bei der Kälteerzeugung
[BINE I/2007]	BINE Themeninfo I/2007 Thermoaktive Bauteilsysteme, BINE Informationsdienst 2007
[Böhnke 08]	Energieeffizienz von Aufzügen, Referat von Böhnke & Partner auf der VFA-Mitgliederversammlung April 2009
[BMW 2015]	Studie zur Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland, Fraunhofer IZM und Borderstep-Institut, BMW 2015
[Cool 20]	Cool Waschen mit 20°C - Infoblatt von topten.ch
[dena]	Frische Luft für wenig Geld, Energieeffiziente Lüftung und Klimatisierung von Bürogebäuden, 01/09
[DIN 1946-6]	Raumlufttechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung. Ausgabe 2009-05
[DIN V4701-10]	Energetische Bewertung von heiz- und raumlufttechnischen Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Fassung 20012-07
[DIN EN 12464-1]	Licht und Beleuchtung – Teil 1: Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen, Fassung 2008-11
[DIN EN 13779]	Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme; Deutsche Fassung EN 13779:2007-07 (wird ersetzt durch DIN EN 16798-3, ca. Mitte 2016)
[DIN EN 15240]	Lüftung von Gebäuden – Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Leitlinien für die Inspektion von Lüftungsanlagen; Deutsche Fassung DIN EN 15240:2007 (wird ersetzt durch DIN EN 16798-17, ca. Mitte 2016)
[DIN EN 15251]	Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251:2012-12
[pr EN 16798-1]	Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, Teil 1
[Ecoman]	www.ecoman.org
[Efficient Servers 08]	Energy efficient Servers in Europe, Bernd Schäppi, Österreichische Energieagentur und andere; Intelligent Energy Europe 2008
[Effizienzkriterien HD]	Effizienzkriterien für kommunale Gebäude in Heidelberg, Stadt Heidelberg, Amt für Umweltschutz, Energie und Gesundheitsförderung
[Energie Schweiz]	www.electricity-research.ch
[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
[EnEV 2014]	Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung, Neufassung, in Kraft seit 1. Mai 2014)
[EU 2014a]	Amtsblatt der Europäischen Union: Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1253/2014 der Kommission vom 7. Juli 2014 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates hinsichtlich der Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlagen
[EU 2014b]	Amtsblatt der Europäischen Union: Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1254/2014 der Kommission vom 11. Juli 2014 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlamentes und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Wohnungslüftungsanlagen in Bezug auf den Energieverbrauch
[EuP 2009]	Guidelines accompanying Commission Regulation (EC) No 1275/2008 of 17. December 2008 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for standby and off-mode electric power consumption of electrical and electronic household equipment (October 2009)

[Europump]	www.europump.org EU Energy consumption label
[Heidelberg 2010]	Energiekonzeption 2010 der Stadt Heidelberg, Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie, Heidelberg
[HB-BEI 07]	Energieeinsparung in Bildungseinrichtungen durch Gebäudetechnik, Hochschule Bremen, Bremer Energie-Konsens 2007
[IBM 2008]	IBM Global Business services, Tickt der Norden grün, Klimaschutz, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit im Mittelstand, Befragung von mittelständischen Unternehmen in Norddeutschland im März/April 2008 www-05.ibm.com/de/ibm/green/pdf/IBM_Mittelstandsstudie_Gruener_Norden.pdf
[ISR 2010]	Energy Efficient Elevators and Escalators, ISR – University of Coimbra mit ELA, ENEA, FhG-ISI und KAPE für Intelligent Energy Europe, 2010
[IWU Büro 2001]	Studie „Energieeffiziente Büro- und Verwaltungsgebäude“ Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2001
[Jülich 2008]	Leitfaden für die energetische Sanierung von Laboratorien, Forschungszentrum Jülich / BINE Projektinfo 02/04 / www.labsan.de
[Klimaschutz HD 2009]	Ratgeber Energieeffizientes Bauen und Sanieren, Klimaschutz in Heidelberg, Stadt Heidelberg, November 2009
[leds]	www.leds.de
[LEE 200]	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-Liste]	Geräteliste des Niedrigenergieinstituts in Detmold, Stand Oktober 2015 sowie NEI-Gerätedatenbank www.spargeräte.de
[Nipkow 06]	Energieverbrauch und Einsparpotenziale bei Aufzügen, Jürg Nipkow, ARENA Zürich, in Bulletin SEV/VSE 9/06
[no-e Stand-by]	www.no-e.de/html/un glaublich.html
[PC-Arbeitsplatz]	Stromsparen am PC-Arbeitsplatz, energieSchweiz 2007
[PHI 31]	Protokollband Nr. 31, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III, Energieeffiziente Raumkühlung, Passivhausinstitut Juli 2005
[PHPP 2009]	PHPP - Passivhaus-Projektierungspaket Version 9 (2015) Darmstadt 2015. Dokumentation und Excel-Arbeitsmappe.
[Potenziale Effizienz]	Optionen und Potenziale für Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen, Wuppertal-Institut im Auftrag von E.ON AG, Mai 2006
[Recknagel 07/08]	Recknagel/Sprenger/Schramek, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenburg Industrieverlag
[RLT 2015]	Herstellerverband Raumlufthechnische Geräte e.V.: RLT-Richtlinie Zertifizierung Ausgabe August 2015/a
[SIA 380/4]	Schweizer Norm SIA 380/4:2006 Bauwesen, Elektrische Energie im Hochbau
[SIA Leitfaden 2006]	Elektrische Energie im Hochbau, Leitfaden zur Anwendung der Norm SIA 380/4, Ausgabe 2006
[Stadt Heidelberg 1992]	Handlungsorientiertes kommunales Konzept zur Reduktion von klimarelevanten Spurengasen für die Stadt Heidelberg, ifeu-Institut, Heidelberg 1992
[Stadt Heidelberg 2004]	Heidelberg, Stadt der Zukunft - Klimaschutzkonzept Heidelberg 2004, Schriftenreihe zur Umwelt, Heft 1/2006, Stadt Heidelberg, Amt für Umweltschutz, Gewerbeaufsicht und Energie
[Stadt Heidelberg 2010]	Energiekonzeption 2010 der Stadt Heidelberg, Fotschreibung der Konzeption 2001, Amt für Umweltsschutz, Gewerbeaufsicht und Energie, 2010
[Stromsparen]	Stromsparen Schritt für Schritt im Büro, www.stromsparenjetzt.at , O.Ö. Energiesparverband, Linz
[test]	Verschiedene Tests der Stiftung Warentest
[topmotors 24]	Merkblatt 24: Ventilatoren, www.topmotors.ch , Nov. 2012
[UBA 09]	Beleuchtungstechnik mit geringerer Umweltbelastung, Umweltbundesamt 2009
[Umrichter 08]	Verbesserung der Energieeffizienz von Aufzügen und Transportanlagen durch Entwicklung eines neuartigen Frequenzumformers, Bundesamt für Energie BfE, Bern, Nov. 2008
[UM BW]	Umweltministerium des Landes Baden-Württemberg, www.um.baden-wuerttemberg.de Suchbegriff „Sparsame Haushaltsgeräte“ führt auf eine umfangreiche Informationsbroschüre
[www.dena.de]	Pressemappe der Deutschen Energieagentur (dena), 27.11.2007

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