

Wuppertal Institut für Klima · Umwelt · Energie
im Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen

Peter Viebahn

Energieeinsparung durch Nutzlicht- Contracting

Entwicklung eines Contracting-Modells für das
allgemeine Verfügungszentrum der Universität
Osnabrück

Kurzfassung der Diplomarbeit unter wissenschaftlicher
Leitung von Prof. Dr. Peter Hennicke und Dipl.-Math.
Thomas Haarmann

unter Mitwirkung von
Dipl.-Ing. Gerhard Wohlauf

Nr. 60 • September 1996

ISSN 0949-5266

Wuppertal Papers

„Wuppertal Papers“ werden einer begrenzten Anzahl von Fachleuten zur Verfügung gestellt, um sich relativ frühzeitig mit bestimmten Aspekten der Arbeit des Wuppertal Instituts vertraut zu machen. Obschon die Arbeiten vor ihrer Fassung als „Wuppertal Papers“ normalerweise intern eine gewisse Diskussion erfahren, betrachten die Autoren/Autorinnen ihre Ergebnisse und Überlegungen als vorläufig. Alle Empfänger/innen sind daher eingeladen, die vorgelegte Arbeit zu kommentieren und anzureichern. Das Wuppertal Institut identifiziert sich nicht notwendigerweise mit dem Inhalt.

„Wuppertal Papers“ do not necessarily represent the opinion of the Wuppertal Institute. They are provided to a limited number of experts so that they can learn about the ongoing work at a relatively early stage. Even though the content has normally been discussed within the Wuppertal Institute prior to being issued in form of a „Wuppertal Papers“, the authors consider their work still to be of a certain preliminary nature. For this reason, all recipients of „Wuppertal Papers“ are very much invited to comment and enrich the work presented here.

Der Autor ist für konstruktive Kritik, Anmerkungen und Fragen an der Universität Osnabrück (Anschrift s. nächste Seite) zu erreichen.

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH
Abteilung Energie
Postfach 10 04 80
D-42004 Wuppertal



Dieser Text ist eine gekürzte und überarbeitete Fassung der Diplomarbeit »Analyse und Realisierung von Energieeinsparungen in öffentlichen Gebäuden – Entwicklung eines Beleuchtungs-Contractings für die Universität Osnabrück«, die der Autor im Ergänzungsstudiengang Angewandte Systemwissenschaft am Fachbereich Mathematik/Informatik der Universität Osnabrück im Juni 1995 vorgelegt hat. Die Überarbeitung erfolgte unter Mitwirkung von Dipl.-Ing. Gerhard Wohlauf, Energieabteilung des Wuppertal-Instituts.

1. Gutachter: Prof. Dr. Peter Hennicke
2. Gutachter: Dipl.-Math. Thomas Haarmann

Die 156-seitige Langfassung ist unter dem Titel »Energieeinsparung durch Nutzlicht-Contracting – ein Einsparkraftwerk für die Universität Osnabrück und die Widerstände dagegen« im Verlag Möllmann, Paderborn, erschienen und kann dort oder über jede Buchhandlung (ISBN 3-931156-04-4) zum Preis von 19,80 DM bezogen werden.

Verfasser: Peter Viebahn
Universität Osnabrück
Institut für Umweltsystemforschung
49069 Osnabrück
Tel. +49 541 969 2589
Fax +49 541 969 2599
e-mail Peter.Viebahn@usf.Uni-Osnabrueck.DE

Inhaltsverzeichnis

I	EINLEITUNG	5
II	ENERGIEEINSPARUNG DURCH NUTZLICHT-CONTRACTING	6
1	Gründe für die Erneuerung von Beleuchtungsanlagen	6
1.1	Verbesserung der Arbeitsbedingungen	6
1.2	Senkung des Energieverbrauchs	6
1.2.1	Erhöhung der Lichtausbeute durch Verwendung von Dreibandleuchtstofflampen	7
1.2.2	Höhere Wirkungsgrade der Leuchten durch Verwendung von Spiegelrasterleuchten	7
1.2.3	Geringere Verlustleistung durch elektronische Vorschaltgeräte	7
1.2.4	Höherer Beleuchtungswirkungsgrad durch bessere Lichtstärkeverteilung	8
1.2.5	Energieeinsparung durch tageslichtabhängige Regelung	8
1.3	Vermeidung von Kontaminationen durch Schadstoffe in älteren Beleuchtungsanlagen	9
1.4	Zusammenfassung	9
2	Hemmnisse bei der Umsetzung der Einsparpotentiale im öffentlichen Bereich	10
3	Contracting als Lösung	12
3.1	Idee des Einspar-Contractings	12
3.2	Gestaltung von Contracting-Verträgen	14
3.2.1	Dynamische Beteiligung am Einspargewinn (»Erfolgsmodell«)	14
3.2.2	Rückzahlung fester Raten (»Kreditmodell«)	15
3.3	Erfahrungen bei der Umsetzung von Contracting	16
4	Ermittlung des Stromverbrauchs und der CO₂-Emissionen	17
5	Ermittlung des Einsparpotentials	18
5.1	Vergleichskennzahlen auf Gebäudeebene	18
5.2	Vergleichskennzahlen für Betriebseinheiten nach SIA 380/4	19
6	Jährliche Betriebskosten	20
6.1	Allgemeine Vorgehensweise	20
6.2	Stromkosten	21
6.3	Leuchtmittel-Austauschkosten	22
6.4	Wartungskosten	23
7	Kapitaldienst	24
8	Wirtschaftlichkeitsberechnungen	25
8.1	Amortisationszeit (t_A)	25
8.2	Kosten pro eingesparter Kilowattstunde ($K_{\text{spez,kwh}}$)	25
8.3	Kosten pro eingesparter Tonne an CO ₂ -Emissionen ($K_{\text{spez,CO}_2}$)	25
8.4	Nutzen/Kosten-Verhältnis (NK)	26
8.5	Zusammenfassung	26

III	PLANUNG EINER NEUEN BELEUCHTUNGSANLAGE FÜR DAS ALLGEMEINE VERFÜGUNGSZENTRUM DER UNIVERSITÄT OSNABRÜCK	26
9	Beschreibung des untersuchten Gebäudes	26
10	Einsparbemühungen der Universität	27
11	Anwendung von Einspar-Contracting auf Hochschulbauten	27
11.1	Haushaltsrechtliches Vorgehen	28
11.2	Aufteilung des Einspargewinns	28
12	Soll-Ist-Vergleich der Beleuchtungsanlage (Grobanalyse)	29
12.1	Analyse auf Gebäudeebene	29
12.1.1	Installierte Leistung	29
12.1.2	Stromverbrauch	31
12.1.3	CO ₂ -Ausstoß	32
12.2	Analyse anhand der Betriebseinheiten	32
12.2.1	Installierte Leistung	33
12.2.2	Stromverbrauch	34
12.2.3	CO ₂ -Ausstoß	35
12.3	Zusammenfassung	35
13	Planung einer neuen Beleuchtungsanlage	36
13.1	Auswahl der Leuchten	37
13.2	Investitionskosten der neuen Anlage	37
14	Einsparung an Betriebskosten	37
14.1	Erläuterung des Stromvertrages	38
14.2	Stromkostensparnis durch die neue Beleuchtungsanlage	39
14.3	Leuchtmittel-Austauschkosten	41
14.4	Wartungskosten	42
14.5	Zusammenfassung	42
15	Kapitaldienst	43
15.1	Rechnung mit gesamtem Einspargewinn	43
15.2	Rechnung mit 80% des Einspargewinns	43
16	Wirtschaftlichkeitsberechnungen	44
16.1	Amortisationszeit (t_A)	44
16.2	Kosten pro eingesparter Kilowattstunde ($K_{\text{spez,kwh}}$)	44
16.3	Kosten pro eingesparter Tonne an CO ₂ -Emissionen ($K_{\text{spez,CO}_2}$)	45
16.4	Nutzen/Kosten-Verhältnis (NK)	45
16.5	Zusammenfassung	46
17	Zusammenfassender Vergleich alte/neue Anlage	46
IV	LITERATURVERZEICHNIS	47

I Einleitung

Der Energiesektor trägt über die Nutzung der fossilen Energieträger Kohle, Öl und Erdgas mit etwa 50% zum anthropogenen Treibhauseffekt bei. An den durch energetische Nutzung verursachten Treibhausgasemissionen CO₂, Ozon, Methan und Distickstoffoxyd haben die CO₂-Emissionen einen Anteil von 80%, wobei die hauptsächliche Quelle die fossilen Energieträger sind (ENQUETE 1995, S. 112).

Die Enquete-Kommission »Schutz der Erdatmosphäre« des 12. Deutschen Bundestages empfahl daher, die nationalen energiebedingten CO₂-Emissionen, bezogen auf die Absolutwerte des Jahres 1987, bis zum Jahr 2005 um 30 Prozent, bis in die 20er Jahre des nächsten Jahrhunderts um 45 Prozent und bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts um 80 Prozent zu reduzieren (ENQUETE 1995, S. 247).

Es herrscht inzwischen unter Fachleuten Einverständnis darüber, daß diese CO₂-Reduktion nur durch folgende Schritte erreicht werden kann:

1. Energieeinsparung und rationelle Energieverwendung,
2. Förderung und Nutzung regenerativer Energien,
3. Entwicklung, Förderung und Nutzung von Energiespeichertechniken für Strom und Wärme,
4. Verzicht auf Atomenergie.

In Deutschland könnten 45% der Primärenergie eingespart werden, was einer Energiekosteneinsparung von 100 Mrd. DM/a entspricht. Betrachtet man nur das bei den derzeitigen Preisen theoretisch *wirtschaftliche* Potential, können immer noch 30% bei Strom und Wärme vermieden werden. Über eingesparte Energiekosten in Höhe von 10 Mrd. DM können Effizienzinvestitionen von 35–50 Mrd. DM/a rentabel refinanziert werden. (HENNICKE 1995)

Der Kleinverbrauchssektor, zu dem die Universitäten gehören, ist mit rund 18% am Endenergieverbrauch Deutschlands beteiligt. Im Hochschulbereich liegen die größten Stromverbräuche in der Beleuchtung (Anteil 30%) und im Lüftungsbereich (Anteil 25) (SWH 1993a, S. 62). Nach Studien in Schleswig-Holstein, Österreich und der Schweiz sowie zuletzt von hessischen Modelluntersuchungen an Schulen und Verwaltungsgebäuden sind »besonders hohe Einsparungen bei der Optimierung von Lüftungsanlagen und der Beleuchtung erreichbar« (HMUEB 1994f, S. b).

Dies liegt u.a. daran, daß in den letzten Jahren das Hauptaugenmerk auf dem Wärmebereich lag und Einsparungen im Strombereich vernachlässigt wurden. Mit der vorliegenden Arbeit soll daher der Blick auf den Sektor der *Beleuchtung* gelenkt werden, der angesichts der großen Einsparpotentiale einen der vordringlich zu bearbeitenden Bereiche darstellt¹. Betrachtet werden hier jedoch nur *Systeme mit Leuchtstofflampen*, die in Verwaltung und Betrieb zu finden sind.

In Abschnitt II wird in den Kapiteln 1–8 zunächst allgemein dargestellt, wie der Stromverbrauch, das -einsparpotential sowie die Betriebskosten von Beleuchtungsanlagen ermittelt werden können, welche Hemmnisse bei der Umsetzung speziell im öffentlichen Bereich bestehen und wie das Contracting hier ansetzen kann. Zudem werden Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die Investition in eine neue Anlage besprochen. Die Einsparanalyse beruht auf der Schweizer Norm SIA 380/4.

¹ Nach Auskunft der Bundesregierung würde die technisch machbare Halbierung des Energieverbrauchs im Beleuchtungssektor mit rund 13,5 Mio. t CO₂/a mehr zum Klimaschutz beitragen, als im Neubaubereich durch die novellierte Wärmeschutzverordnung mit einem Potential von rund 10 Mio. t CO₂/a zu erwarten wäre (SWH 1993a, S. 46).

In Abschnitt III mit den Kapiteln 9–18 werden die vorher beschriebenen Sachverhalte schließlich anhand eines Beispiels aus der Praxis mit Leben gefüllt. Für das Allgemeine Verfügungszentrum (AVZ), eines der Hauptgebäude der Universität Osnabrück mit 11.241 m² Hauptnutzfläche, wird untersucht, welches Stromeinsparpotential bei der dort installierten veralteten Beleuchtungsanlage aus den 70er Jahren besteht, warum es trotz zehnjähriger Bemühungen der Universität nicht umgesetzt werden konnte und wie ein Contracting-Verfahren helfen könnte.

II Energieeinsparung durch Nutzlicht-Contracting

1 Gründe für die Erneuerung von Beleuchtungsanlagen

Die Hauptgründe, eine Beleuchtungsanlage zu sanieren, sind die oft nicht mehr eingehaltenen *Arbeitsschutzbestimmungen* und der hohe *Energieverbrauch* alter Anlagen.

1.1 Verbesserung der Arbeitsbedingungen

Eine künstliche Beleuchtung soll hauptsächlich

- die erfolgreiche Abwicklung einer Sehaufgabe ermöglichen (Sehvermögen),
- das Wohlbefinden der Mitarbeiter/innen garantieren (Sehkomfort) und
- eine gewisse Emotion hervorrufen (visuelle Geborgenheit).

Nach der *Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV)* und entsprechenden *Arbeitsstättenrichtlinien ASR 7/3* »künstliche Beleuchtung« und *ASR 7/4* »Sicherheitsbeleuchtung« ist die »Beleuchtung nach den allgemein anerkannten, sicherheitstechnischen, arbeitsmedizinischen und hygienischen Erkenntnissen so auszulegen, daß sich keine Unfall- oder Gesundheitsgefahren für die Arbeitnehmer ergeben können. Die Beleuchtung muß sich nach der Art der Sehaufgabe richten« (HMUEB 1994d, S. 5). Die Arbeitsstättenrichtlinien bauen auf der DIN 5035 »Beleuchtung mit künstlichem Licht« auf, in der verschiedene *Gütemerkmale der Beleuchtung* festgelegt sind. So sind für bestimmte Tätigkeiten und Innenräume Mindestmaße der Nennbeleuchtungsstärke und Vorgaben der Lichtfarbe, Farbwiedergabe sowie der Begrenzung der Direktblendung vorgegeben. Speziell für *öffentliche Verwaltungen* wurden basierend auf diesen Vorschriften die AMEV-Hinweise für die Innenraumbeleuchtung (*Beleuchtung '92* und *BelBildschirm 89* – Beleuchtung von Bildschirmarbeitsplätzen) als Arbeitshilfe herausgegeben (AMEV 1992, AMEV 1989).

1.2 Senkung des Energieverbrauchs

Der Energieverbrauch von Leuchten kann auf verschiedene Arten wesentlich abgesenkt werden. Wie im folgenden erläutert wird, sind bei Berücksichtigung aller Kriterien Einsparungen bis zu 75% des vorherigen Stromverbrauchs möglich.

1.2.1 Erhöhung der Lichtausbeute durch Verwendung von Dreibandeneleuchtstofflampen

Bisher werden oft noch Standardlampen verwendet. Sie haben einen relativ hohen Stromverbrauch – moderne Dreibandeneleuchtstofflampen haben dagegen eine bis zu 35% höhere *Lichtausbeute*, die über eine andere Zusammensetzung des Leuchtstoffes erreicht wird (TRILUX o.J., S. 330). Die Lichtausbeute η gibt Auskunft darüber, wie gut eine Lichtquelle elektrische Energie (P) in Lichtstrom (Φ) umsetzen kann, d.h. mit wie wenig Wärmeverlust dies geschieht (RAVEL 1994, S. 52): $\eta = \Phi/P$

Während eine Standardlampe mit 58 W Leistung und 4000 lm nur eine Lichtausbeute von $\eta = 4000 \text{ lm} / 58 \text{ W} = 70 \text{ lm/W}$ erreicht, hat eine Dreibandeneleuchtstofflampe gleicher Leistung eine Lichtausbeute von $\eta = 5.200 \text{ lm} / 58 \text{ W} = 90 \text{ lm/W}$.

1.2.2 Höhere Wirkungsgrade der Leuchten durch Verwendung von Spiegelrasterleuchten

Die *Betriebswirkungsgrade* η_{LB} verschiedener Leuchten-Bauweisen bewegen sich von ca. 50% bei opalen Abdeckungen bis zu 74% bei Spiegelrasterleuchten. η_{LB} ist um so größer, je mehr Lichtstrom von einer Leuchte abgegeben wird. Der hohe Wert wird erreicht durch Verwendung hochwertiger lichttechnischer Bauelemente wie z.B. hochglänzender Spiegelreflektoren mit computeroptimierten Formen. Als Reflektoren können neben hochglänzenden auch weiße Oberflächen verwendet werden.

Kombiniert man Dreibandeneleuchtstofflampen mit Spiegelrasterleuchten, *können im Vergleich zum alten Zustand rund 25% Strom eingespart werden* (HERBST 1992 nach SWH 1993a, S. 47).

1.2.3 Geringere Verlustleistung durch elektronische Vorschaltgeräte

Im herkömmlichen Leuchtenbestand werden oft *konventionelle Vorschaltgeräte* (KVG) verwendet. Sie bestehen aus einem Eisenkern, umwickelt mit Kupferdraht, und wirken als induktiver Widerstand, so daß ein KVG z.B. zu einer 58 W-Lampe mit einer Verlustleistung von 13 W angesetzt werden muß.

Werden *verlustarme Vorschaltgeräte* (VVG) eingesetzt, wird die Verlustleistung gegenüber einem KVG um bis zu 38% verringert, da höherwertige Elektrobleche und größere Kupferquerschnitte verwendet werden. VVGs gehören heute zunehmend zur Grundausstattung. KVGs und VVGs sind magnetische Vorschaltgeräte, in denen der Strom durch magnetische Selbstinduktion begrenzt wird.

Demgegenüber sind bei *elektronischen Vorschaltgeräten* (EVG) die induktiven Drosselspulen durch elektronische Baugruppen ersetzt, die gleichzeitig die Funktion von Starter und Kondensator erfüllen. Durch das EVG wird bei einer Verlustleistung von nur etwa 5 W die Netzspannung 220 V/50 Hz in eine hochfrequente Wechselspannung von 25 bis 40 kHz umgewandelt. Dadurch kann sich bei fast gleichem Lichtstrom einer 58 W-Lampe deren Leistungsaufnahme auf ca. 50 W reduzieren (FGL 1992, S. 38). Gegenüber KVGs weisen EVGs somit eine bis zu 62% niedrigere Verlustleistung auf.

Da bei der Verwendung von elektronischen Vorschaltgeräten zudem keine Kompensation durch eine kapazitive Schaltung nötig ist, *verringert sich die Systemleistung um bis zu 27%*. Dies wird in der folgenden Abbildung für eine 2-flammige Leuchte gezeigt:

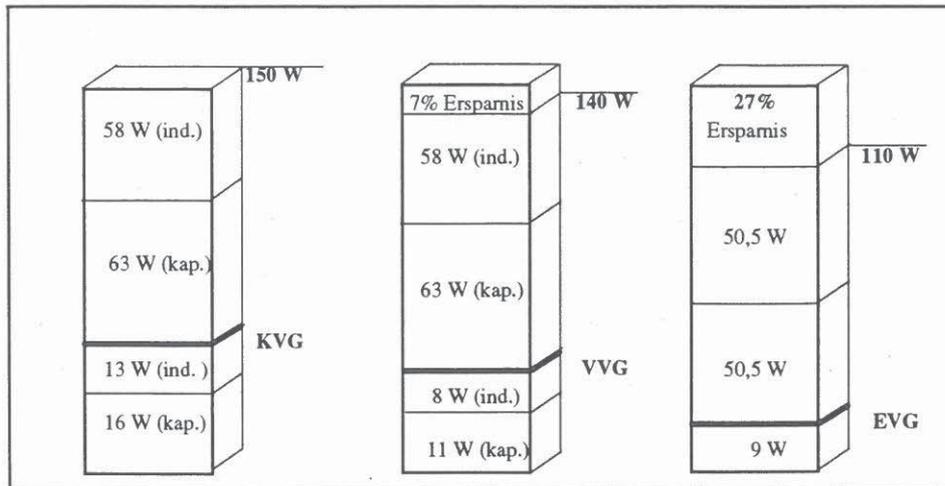


Abb. 1.1: Vergleich der Anschlußleistung am Beispiel einer 2-flammigen Leuchte mit 58 W-Lampen (nach PHILIPS 1994)²

Der Einsatz von elektronischen Vorschaltgeräten hat neben der Reduzierung der Verlustleistung und der erhöhten Lichtausbeute der Lampen weitere Vorteile (nach HMUEB 1994c, S. 82; PHILIPS 1994, S. 11; TRILUX O.J., S. 350): Zur *Komforterhöhung* tragen u.a. die schonende, flackerfreie Zündung, die geringe Standzeit und ein angenehmes, flimmerfreies Licht ohne Stroboskopeffekte bei. Durch die vollelektronische Bauweise entstehen keine störenden Brummgeräusche und kein Blinken und Flackern. Auf die *Wirtschaftlichkeit* wirkt sich u.a. die um 50% höhere Nutzbrenndauer (12.000 Stunden anstatt 7.500 Stunden) aus (niedrigere Wartungskosten) sowie die Möglichkeit des Einsatzes in einer tageslichtabhängigen Regelung, da EVGs gedimmt werden können. Außerdem kann der Planungsfaktor gesenkt werden, da mit Hilfe der Dimmung die Beleuchtungsstärke automatisch angehoben werden kann, wenn der Lichtstrom zurückgeht.

1.2.4 Höherer Beleuchtungswirkungsgrad durch bessere Lichtstärkeverteilung

Indem auf eine richtige Lichtstärkeverteilung geachtet wird, können überflüssige Verluste vermieden werden, so daß der *Beleuchtungswirkungsgrad* η_B steigt. η_B ist um so größer, je mehr Leuchtenlichtstrom direkt auf die zu beleuchtende Arbeitsfläche gelangt.

Durch bessere Lichtstärkeverteilung reichen weniger Leuchten als vorher aus, was zu einer zusätzlichen Einsparung führt. Der Beleuchtungswirkungsgrad wird auch erhöht durch hohe Reflexionsgrade von Decken und Wänden (weißer Anstrich statt der in Unterrichtsräumen oft anzutreffenden Grün-/Gelbtönen). Die mögliche Einsparung wird im weiteren mangels Angaben mit x% bezeichnet.

1.2.5 Energieeinsparung durch tageslichtabhängige Regelung

Eine weitere Einsparmöglichkeit ist die Installation einer tageslichtabhängigen Dimmung. Mittels eines Sensors werden in Abhängigkeit des Tageslichteinfalls und der geforderten Be-

² Geht man von 310 Mio. (in der alten Bundesrepublik) 1992 noch installierten KVGs mit einer Nutzungszeit von 1.600 Stunden pro Jahr aus, ergäbe sich durch den Austausch gegen EVGs (Ersparnis von je 13 W) eine Stromeinsparung von 6.500 GWh/a (nach Siemens in HMUEB 1994d, S. 4). Das würde gleichzeitig eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 13 Mio. t (=1,3 % der gesamten CO₂-Freisetzung) bedeuten.

leuchtungsstärke die Leuchten bis auf 1% der maximalen Lichtleistung heruntergefahren. Reicht mehrere Minuten lang ausschließlich das Tageslicht, werden sie ganz ausgeschaltet. Benötigt werden jedoch *dimmbare* EVGs.

Die Stadt Georgsmarienhütte installiert diese Technik seit 1992 sukzessive in allen Schulräumen und hat somit eine über zweijährige Erfahrung sammeln können. Durch die tageslichtabhängige Regelung konnte der Stromverbrauch der Leuchten zusätzlich zur Einsparung mittels Spiegelrasterleuchten und EVG um weitere 20% gesenkt werden (errechnet aus GMH 1993, S. 16).

1.3 Vermeidung von Kontaminationen durch Schadstoffe in älteren Beleuchtungsanlagen

In vielen Beleuchtungsanlagen aus den 70er Jahren sind noch Leuchten mit *PCB-haltigen Kondensatoren* installiert. Gemäß § 2 der PCB-, PCT- und VC-Verbotsverordnung vom 18. Juli 1989 ist u.a. die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung von PCB-haltigen Kondensatoren inzwischen grundsätzlich verboten. Ausgenommen von diesem Verbot sind jedoch Leuchtenkondensatoren bis zu ihrer Außerbetriebnahme, längstens bis zum 31.12.1999 (BMF 1990, S. 8).

Die (konventionellen) Vorschaltgeräte der Lampen haben zwischen Eisenblock und Gehäuse oft eine *Wärmeisolation aus Asbestpappe*, was ein weiterer Grund für den Austausch der gesamten Beleuchtungsanlage ist.

1.4 Zusammenfassung

Als Zusammenfassung von Kapitel 1 werden in folgender Tabelle noch einmal sämtliche Maßnahmen mit ihren Wirkungen dargestellt. Alleine durch die Verwendung von

- *Dreibandenleuchtstofflampen*,
- *(Spiegel)rasterleuchten* und
- *elektronischen Vorschaltgeräten*

lassen sich also *Einsparungen von mehr als 50%* erreichen. Bei zusätzlicher Installierung einer *tageslichtorientierten Regelung* können nach der *Literatur 60–80% bei Komplettsanierungen* eingespart werden (BEDOCS 1991).

alter Zustand	neuer Zustand	Ergebnis der Maßnahme
blendende Leuchten	Leuchten für Arbeitsplätze mit Bildschirmunterstützung	Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften
<ul style="list-style-type: none"> • hoher Indirektanteil • Standardlampen • freistrahkende Leuchten 	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Direktanteil durch • Dreibanden-Leuchtstofflampen • in (Spiegel)rasterleuchten 	<ul style="list-style-type: none"> x% Energieeinsparung 10% Energieeinsparung 15% Energieeinsparung Summe: 25% + x% Energieeinsparung (Leistung)
KVG	EVG	25% Energieeinsparung (Leistung)
keine Regelung	tageslichtabhängige Regelung	20–50% Energieeinsparung (Verbrauch)
PCB-haltige Kondensatoren	PCB-freie Kondensatoren bzw. keine Kondensat. bei EVGs	Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften

Tab. 1.1: Maßnahmenkatalog zur Verbesserung der Beleuchtung

2 Hemmnisse bei der Umsetzung der Einsparpotentiale im öffentlichen Bereich

Viele der technischen Potentiale an Energieeinsparungen werden bisher nicht umgesetzt, obwohl sie auch heute schon wirtschaftlich lohnend wären. Es ist daher nötig, nach den Hemmnissen zu fragen und Wege zur Realisierung der seit langem bekannten Einsparpotentiale zu finden. Im folgenden werden nur *Hemmnisse im öffentlichen Bereich* betrachtet, die entsprechend bei der Umsetzung von Energiesparmaßnahmen in Hochschulen auftreten. Die nachfolgende Tabelle ist ein modifizierter Auszug aus ALTNER ET AL 1995, Tab. 6.2.

1 Energiepreise

1.1	Geringes allgemeines Preisniveau	xx
1.2	Unsicherheit über zukünftige Energiepreisentwicklung	x

2 Hemmnisse bei der Finanzierung

2.1	Forderung nach kurzen Amortisationszeiten (pay back gap)	xx
2.2	Finanzierungsengpässe, Kapitalmangel	xx
2.3	Getrennte Investitions- und Verwaltungshaushalte in öff. Haushalten	xx
2.4	Investor-Nutzer-Problematik	xx
2.5	Keine angepassten Finanzierungsformen	(x)

3 Informationsdefizite und Kenntnismängel

3.1	Ungenügende Kenntnisse über Einsatzmöglichkeiten, konkrete Einsatzbedingungen, Leistungsfähigkeit, Kosten, Risiken	xx
3.2	Fehlendes Energiekostenbewußtsein	x
3.3	Wenig Erfahrungen/Kenntnisse bei Herstellern/Installateuren/Architekten	x
3.4	Vorrang architektonisch-repräsentativer Gesichtspunkte	x

4 Motivation

4.1	Fehlende Motivation politisch Verantwortlicher	xx
4.2	Mangelndes Bewußtsein der Gebäudenutzer hinsichtlich Umweltfragen	x

5 Rechtliche Hemmnisse

5.1	Tarifordnung	x
5.2	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure	xx
5.3	Freiheit von Lehre und Forschung	(x)

xx: hohe Bedeutung

x: zutreffend

(x): teilweise zutreffend

Tab. 2.1: Hemmnisse bei der Umsetzung von Einsparpotentialen im öffentlichen Bereich

1. Die derzeitigen Energiepreise spiegeln nicht die »ökologische Wahrheit« (Weizsäcker) wider, da die externen Kosten der Energieerzeugung und -verwendung nicht berücksichtigt werden (1.1). Daher sind viele Energiesparmaßnahmen unter herkömmlichen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen unwirtschaftlich, obwohl sie volkswirtschaftlich und ökologisch gesehen positiv zu beurteilen wären.

Insbesondere die unsichere zukünftige Preisentwicklung (1.2) hemmt Investitionen; sowohl im Hinblick auf mögliche Energiesteuern als auch anderer Faktoren wie z.B. der Preisentwicklung nach Wegfall des Kohlepfennigs (Kohle-Ausgleichsabgabe) ab 1.1.1996.

2. Finanzierungshemmnisse entstehen häufig durch die kurzfristige Sichtweise der Betreiber. Maßnahmen, die mittelfristig gewinnbringend sind, werden aufgrund von Disparitäten in der Ertragserwartung nicht durchgeführt. Da oft eine Amortisationszeit von 3–5 Jahren gewünscht wird, entsteht ein »pay back gap« (2.1). Ein weiterer Hinderungsgrund sind kurzfristige Finanzierungsengpässe und Kapitalmangel (2.2), gerade bei öffentlichen Haushalten. Während in der gewerblichen Wirtschaft Anreize bestehen, möglichst sparsam mit Ressourcen umzugehen, ist dies durch die kameralistische Rechnungslegung mit der Trennung von Investitions- und Verwaltungshaushalt in öffentlichen Einrichtungen (2.3) nicht der Fall und auch wegen mangelnder Kostenkenntnisse oft nicht möglich. Selbst für Institute bzw. universitäre Organisationseinheiten, die an Einsparungen interessiert sind, bestehen keine Anreize, sich um Einsparungen zu bemühen, da sie die Investitionen zu tragen haben, von den eingesparten Kosten aber nicht profitieren können, da die Gewinne an das Land zurückfließen (Investor-Nutzer-Problematik, 2.4). Zur Überwindung dieser Hemmnisse sind aber auch noch nicht genügend (externe) Finanzierungsformen (2.5), wie das in dieser Arbeit beschriebene Contracting, erprobt.
 3. Häufig bestehen ungenügende Kenntnisse über Einsparmöglichkeiten und deren Wirtschaftlichkeit (3.1), da z.B. speziell in Hochschulen bisher der sogenannte sicherheitsbezogene Umweltschutz (Gefahrstoffverordnung, Sonderabfälle) Vorrang vor ressourcenbezogenen Umweltschutzmaßnahmen hatte. Bei den meisten Nutzern ist kein Bewußtsein für die durch sie verursachten Energiekosten vorhanden (3.2). Mit neuester Technik, z.B. der tageslichtabhängigen Regelung, gibt es bisher wenig Erfahrungen sowohl von Betreibern als auch Architekten (3.3). Bei Baumaßnahmen, die von den Staatshochbauämtern durchgeführt werden, haben oft noch architektonisch-repräsentative Gesichtspunkte Vorrang (3.4) vor Umweltschutzmaßnahmen.
 4. Trotz der Verankerung von Umweltschutzaspekten in Ländergesetzen fehlt oft die Motivation Verantwortlicher (4.1), sich auch um die Einhaltung der Bestimmungen zu kümmern. Oft kommt mangelndes Bewußtsein der Gebäudenutzer (4.2) hinzu.
 5. Rechtliche Hemmnisse stellen z.B. oft noch die geltenden Tarifordnungen (5.1) dar, die Mehrverbrauch durch günstigere Tarife belohnen und Einsparungen bestrafen, sowie die HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) (5.2). Da die Planung energetisch optimierter Gebäude aufwendiger ist, muß der entstandene Mehraufwand als besondere Leistung separat ausgehandelt werden. Die Verringerung einer Anlagengröße hat derzeit eine Verminderung des Honorars zur Folge; beispielsweise könnte die Reduzierung von externen und internen Wärmelasten ggf. eine Klimaanlage überflüssig machen und damit das Honorar des Planungsbüros senken (HMUEB 1994e, S. 92). Bei einer extensiven Auslegung der HOAI sind die bei einer Integralen Planung erforderlichen Arbeitsschritte und Leistungen jedoch durchaus in den Leistungen der HOAI enthalten (nach HMUEB 1994c, S. 20f).
- Hochschulen sind geprägt durch den in den Landeshochschulgesetzen festgeschriebenen Grundsatz der Freiheit von Forschung und Lehre, in dessen Zusammenhang sich originäre, bereichsspezifische Verantwortungsebenen gebildet haben, die nicht der sonst üblichen

Pflichtdelegation bedürfen. Dadurch können Anweisungen zur Energieeinsparung oft nicht durchgesetzt werden (5.3).

3 Contracting als Lösung

3.1 Idee des Einspar-Contractings

Als ein wichtiges Instrument zur Überwindung bestehender Finanzierungshemmnisse hat sich das Einspar-Contracting erwiesen. Andere Begriffe sind »vertragliches Energiesparen«, »Betreibermodelle« oder »Drittfinanzierungsmodelle«.

Der Grundgedanke des Einspar-Contractings ist, daß ein externer Geldgeber, der sogenannte *Contractor*, für ein Unternehmen eine Einsparinvestition plant, finanziert und durchführt. Das Unternehmen, in unserem Fall die Universität bzw. das Land, spart daraufhin jährlich Energiekosten in einer bestimmten, vorher berechneten Höhe, ein. Über diese Einsparungen werden die entstandenen Kapitalkosten (Zins, Tilgung und Kosten des Contractors) nach und nach zurückgezahlt. Wichtig dabei ist, daß der Stromabnehmer keine höhere Belastung als vor der Maßnahme hat, da die Aufwendungen für die Energiekosten in gleicher Höhe weiterbestehen, nur daß ein Teil davon den verringerten Energiebezug darstellt, der andere Teil die Rückzahlung. Nach Ablauf des Contracting-Vertrages stehen dem Unternehmen sämtliche Einsparungen zur Verfügung.

Mittels Contracting können unterschiedliche Energiedienstleistungen wie Beleuchtung, Klimatisierung, Heizung, Pumpen, Druckluft, Kälte oder Prozeßwärme bereitgestellt werden. Es ist vor allem für Unternehmen interessant, deren jährliche Energiekosten 50.000 DM überschreiten. Die Laufzeit von Contracting-Verträgen liegt in der Regel zwischen fünf und zehn Jahren (ÖKO 1993). Das Konzept der Rückzahlung wird in der folgenden Abbildung verdeutlicht; dabei wird mit steigenden Energiekosten gerechnet:

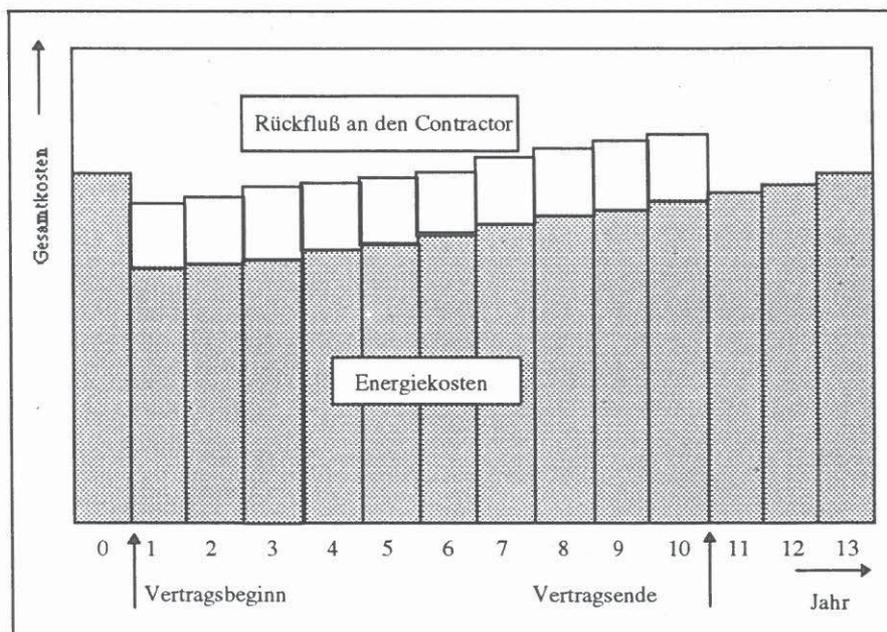


Abb. 3.1: Kostenfluß bei Einspar-Contracting (SWH 1993b)

Wird der gesamte Einspargewinn zur Rückzahlung verwendet, spricht man vom »*first-out-contracting*«. Als zusätzlicher Anreiz für das Unternehmen kann ihm ein Teil (10 bis 20%) des Einspargewinns sofort, z.B. zur Reinvestition in weitere Einsparmaßnahmen, zur Verfügung gestellt werden (»*shared-savings*«-Ansatz). Dadurch steigt allerdings der Zeitraum, bis die Kapitalkosten zurückgezahlt sind. Durch die längere Laufzeit fallen auch mehr Zinsen an (Beispiel siehe Kapitel 15). Die Rückzahlungsrate kann auf verschiedene Weisen festgelegt werden. Beim »Kreditmodell« zahlt das Unternehmen jährlich eine festgelegte Rate zurück; beim »Erfolgsmodell« erhält der Contractor über die Laufzeit des Vertrages einen bestimmten Prozentsatz der Einsparungen. Die beiden Modelle werden im folgenden Kapitel dargestellt.

Allgemein bezieht sich Contracting nur auf die *energiebedingten* Investitionen. Diese ergeben sich folgendermaßen aus den *Gesamtinvestitionen* (SWH 1995a, S. 7):

	<i>Gesamtinvestition</i>
-	<u>Kosten für Mängelbeseitigung im Umfeld</u>
=	Preis für neue Anlage
-	Preis für neue Anlage mit den Eigenschaften der alten Anlage (Referenzanlage)
-	Kosten für vom Kunden gewünschte Qualitätsverbesserungen
+	<u>Restwert der alten Anlage</u>
=	<i>Energiebedingte Investition</i>

Die einzelnen Schritte beim Einspar-Contracting verlaufen wie folgt:

- Zunächst nimmt das Unternehmen, das Einsparungen realisieren möchte, Kontakt mit einem Contractor auf – das kann eine Energieagentur, die örtlichen Stadtwerke, Unternehmen aus der Wärmebranche, Anlagenhersteller oder auch eine Bank sein.
- Der Contractor untersucht daraufhin in einer Grobanalyse den Energieverbrauch des Unternehmens, wozu sämtliche Energieverbrauchsdaten aufgenommen werden. In Einzelfällen wird die Analyse auch nur für einzelne Verbraucher (Wärmebereich, Lüftung/Kühlung, Beleuchtung u.a.) durchgeführt.
- Aufgrund der Grobanalyse kann im Normalfall abgeschätzt werden, welche Sparmaßnahmen sich rentieren und für den Contractor und das Unternehmen interessant sind. In einem Einspar-Vertrag wird daraufhin festgehalten, welche Maßnahmen einbezogen werden, wie die Feinanalyse dieser Maßnahmen durchgeführt wird, wie die eingesparten Energiekosten zu berechnen sind und wie die Rückzahlungsmodalitäten aussehen.
- Der Contractor untersucht daraufhin in der Feinanalyse die geplanten Einsparmaßnahmen und übernimmt im Falle der Realisierung die Durchführung und Finanzierung. Falls die Maßnahme nach der Feinanalyse nicht durchgeführt wird (z.B. falls günstigere Partner zur Verfügung stehen), ist nur die Analyse zu bezahlen.
- Nach Ablauf der vertraglich vereinbarten Contractinglaufzeit geht die Anlage in den Besitz des Unternehmens über, sofern sie nicht schon automatisch nach dem Einbau dem Unternehmen überschrieben wird (das ist der Fall bei allen mit dem Gebäude fest verbundenen Anlagen, jedoch nicht unbedingt bei Beleuchtungsanlagen³).

³ Das FG Brandenburg hat in einem Urteil vom 5.5.1994 (NWB Spezial Nr. 30/1994, S. 4) entschieden, daß eine Beleuchtungsanlage (BA) investitionszulagenbegünstigt nach dem InvZulG 1991 sein kann. Dabei wurde klargestellt, daß die dem Urteil zugrunde liegende BA ein *bewegliches Wirtschaftsgut* darstelle, das weder nach § 93 BGB noch nach § 94 Abs. 2 BGB dadurch zum Gebäudebestandteil geworden sei, daß es durch einfache Schraubverbindungen mit der Decke verbunden worden ist. Ebensowenig handele es sich bei der BA um ein Wirtschaftsgut, ohne das das Gebäude nach der Verkehrsanschauung nicht fertiggestellt sei.

Speziell für Kommunen muß die seit 1.1.1995 geltende EU-Ausschreibungsrichtlinie beachtet werden. Ist das Volumen einer Dienstleistung in den ersten fünf Jahren größer als 200.000 ECU (etwa 400.000 DM), muß der Einspar-Vertrag EU-weit ausgeschrieben werden. Dies ist z.B. der Fall, wenn jährlich Wärme im Wert von 100.000 DM geliefert wird und die Gesamtsumme von 500.000 DM somit den geltenden Grenzwert übersteigt.⁴

Die *Vorteile des Einspar-Contractings* sind:

- Das Unternehmen bekommt sämtliche Dienstleistungen (Begehung, Analysen, Planung, Ausschreibung, Bauleitung, Wartung) aus einer Hand, wodurch auch die Kosten gesenkt werden. Ebenso wird der personelle Aufwand verringert. Der Contractor hat auch einen besseren Marktüberblick als einzelne Unternehmen, so daß er die neuesten Entwicklungen berücksichtigen kann.
- Durch Einspar-Contracting können einige der oben beschriebenen Hemmnisse überwunden werden: Durch die externe Finanzierung brauchen keine eigenen Mittel zur Verfügung zu stehen; im Gegensatz zur Disparität der Rentabilitätsforderungen von Unternehmen oder öffentlichen Einrichtungen kann ein Contractor auch längere Amortisationszeiten hinnehmen, da ihm die Rückzahlung der Investition durch die sicheren Einsparungen garantiert wird; durch das Know-how des Contractors spielen Kenntnismängel und fehlender Marktüberblick des Unternehmens keine Rolle mehr; die Investor-Nutzer-Problematik wird umgangen, indem der Betreiber seine Anlage vorfinanziert bekommt, die Nutzer sie aber abbezahlen und dann weiterhin von den Einsparungen profitieren.
- Das »hohe Sicherheitsbedürfnis bei Beschaffungsentscheidungen der öffentlichen Hände« (MEIXNER 1994, S. 7) ist durch die »bürokratische Grundregel« geprägt, nach der *nicht unbedingt alles richtig gemacht zu werden braucht, aber auf keinen Fall etwas falsch gemacht werden darf*. Im Fall des Contractings wird das Investitionsrisiko auf den Contractor abgewälzt, der aufgrund seiner gesammelten Erfahrungen und der Breite der finanzierten Anlagen Ausfälle einer Anlage, z.B. einem BHKW, eher verkraften kann als der Nutzer selber.

3.2 Gestaltung von Contracting-Verträgen

Im folgenden werden die beiden schon erwähnten Rückzahlungsarten näher erläutert.⁵

3.2.1 Dynamische Beteiligung am Einspargewinn (»Erfolgsmodell«)

Erhält der Contractor innerhalb einer vertraglich festgelegten Zeitspanne einen vorher festgelegten Prozentsatz des Einspargewinns, spricht man vom »Erfolgsmodell«. Der Contractor wird bemüht sein, die effizienteste Technik einzubauen, um soviel Einsparungen wie möglich herauszuholen. Kommen während der Vertragslaufzeit neue Techniken auf den Markt, kann es sich für ihn durchaus lohnen, weitere Einspar-Investitionen zu tätigen, da sich der Einspargewinn und damit auch sein Anteil entsprechend weiter erhöht.

Voraussetzung für dieses Modell ist, daß sowohl der alte (V_{alt}) als auch der neue Energieverbrauch (V_{neu}) des betrachteten Bereichs genau gemessen werden kann. Dazu ist es not-

⁴ Stephan Kohler, niedersächsische Energieagentur, auf einem Vortrag innerhalb einer A.K.U. Tagung zu Finanzierungsmodellen für Energieeinsparungen in Georgsmarienhütte am 30.3.1995.

⁵ Eine etwas andere Einteilung hat die Hessische Energieagentur entwickelt. Dort sind auch Muster für Contracting-Verträge im Strombereich zu bekommen: HessenEnergie, Mainzer Str. 98-102, 65189 Wiesbaden, Tel. 0611/74623-0.

wendig, bis zu einem Jahr lang vor Beginn der Sanierung den ursprünglichen Stromverbrauch zu messen. Mit einem Strompreis p_k ergibt sich der Einspargewinn K_{ein} dann aus

$$K_{\text{ein}} = V_{\text{alt}} * p_{k_{\text{alt}}} - V_{\text{neu}} * p_{k_{\text{neu}}}$$

Gleichzeitig müssen Energieeinsparungen genau zuzuordnen sein. Durch Verhaltensänderungen bedingte Einsparungen (z.B. häufigeres Lichtausschalten als vorher) dürfen nicht der Investition zugerechnet werden.

In dem Vertrag müssen weiterhin Vorkehrungen für *betriebliche Veränderungen* getroffen werden, da durch (De-)Installation einer zusätzlichen Anlage (z.B. Laborgeräte) erhebliche Minder- oder Mehrverbräuche eintreten können. Dazu kann in den Vertrag eine Klausel eingebaut werden, daß der Referenzverbrauch (Verbrauch, gegenüber dem die Einsparung gemessen wird) V_{alt} neu festgelegt wird, wenn sich der Energieverbrauch durch betriebliche Veränderungen um einen bestimmten Prozentsatz, z.B. 5%, verändert. Darunter liegende Veränderungen werden jedoch nicht berücksichtigt. Es besteht daher zunächst auch kein Anreiz für den Kunden, in weitere Einsparmaßnahmen zu investieren (z.B. in eine Motivationskampagne, um das Nutzerverhalten nachhaltig zu beeinflussen), da der gesamte oder zumindest der größte Anteil am Einspargewinn automatisch an den Contractor fließt:

Um Strompreisänderungen zu berücksichtigen, werden spezielle Klauseln benötigt. Dabei müssen die Referenzkosten entsprechend den geänderten Strompreisen auch neu berechnet werden, um die Differenz zwischen alten und neuen Kosten richtig widerzugeben.

Dieses Verfahren kann dazu führen, daß insgesamt weit mehr als der erforderliche Kapitaldienst an den Contractor gezahlt wird. Andererseits liegt auch das volle Risiko beim Contractor, da bei mißlungener Durchführung entsprechend weniger Kapital zurückfließt. Während die oben genannten Bedingungen z.B. für die von zentraler Stelle aus erfolgende Wärmeversorgung eines Gebäudes mittels eines neu installierten BHKWs erfüllt sind, da der Energieverbrauch und die Betriebsdauer über einen einzigen Zähler ablesbar sind, ist dies für eine Beleuchtungsanlage oft nicht möglich. Da meistens *alle* technischen Geräte über einen Zähler laufen, können weder der Stromverbrauch der Beleuchtungsanlage gemessen noch betriebliche Veränderungen erfaßt werden. Falls möglich, müßten dazu erst über eine längere Zeitspanne umfangreiche Meßeinrichtungen installiert sein.

3.2.2 Rückzahlung fester Raten (»Kreditmodell«)

Falls der Erfolg einer Einsparmaßnahme, in unserem Fall die durch die neue Beleuchtungsanlage eingesparte Strommenge, nur abgeschätzt, aber nicht genau gemessen werden kann, ist es sinnvoll, feste Raten zu vereinbaren, die monatlich oder jährlich an den Contractor gezahlt werden. Sie entsprechen dem *prognostiziertem* Einspargewinn bzw. dem größten Teil davon. Zusammen mit den Kosten des verbliebenen Stromverbrauchs entstehen dem Kunden – wie beim Erfolgsmodell – monatlich nicht mehr Kosten als vor der Maßnahme. Die Laufzeit errechnet sich aus der Annuitätenformel, so daß – im Unterschied zum Erfolgsmodell – nach Ende des Vertrages genau der berechnete Kapitaldienst beglichen ist. Höhere oder niedrigere Einsparungen als erwartet haben keine Auswirkungen auf Laufzeit und Kapitaldienst. Bei in etwa richtiger Abschätzung wird die Gesamtrechnung im bisherigen Rahmen schwanken.

Zeichnet sich ein Jahr nach Beginn der Maßnahme allerdings ab, daß erhebliche Fehleinschätzungen erfolgten, wird die jährliche Rückzahlungsrate und damit die Laufzeit und der Kapitaldienst neu festgelegt. Ebenso erfolgen Anpassungen an Strompreisänderungen.

Im Unterschied zum Erfolgsmodell kommen Einsparungen, die der Kunde durch zusätzliche Maßnahmen erreicht, auch nur ihm zugute. Dies wäre z.B. der Fall, wenn es gelingt, den Stromverbrauch durch die Beleuchtungsanlage nicht nur über die neu installierte Technik, sondern auch mit Hilfe von Verhaltensänderungen bei den Nutzer/inne/n zu senken.

3.3 Erfahrungen bei der Umsetzung von Contracting

Das Öko-Institut in Freiburg hat bei verschiedenen Versorgungsunternehmen die Durchführung von Contracting-Pilotprojekten begleitet (ÖKO 1996). Da es relativ wenig Erfahrung mit diesem neuen Instrument gibt, werden im folgenden einige der dort gemachten Erfahrungen dargestellt.

- Durch Contracting läßt sich nur ein Teil des insgesamt vorhandenen wirtschaftlichen Einsparpotentials erschließen. Dieses hat verschiedene Ursachen: Nichtinvestive Einsparmaßnahmen (z.B. verändertes Verbraucherverhalten) können nicht berücksichtigt werden; von den Unternehmen wird zum Teil entschieden, Maßnahmen selbst zu realisieren; rentable und den Betrieb nicht beeinträchtigende wirtschaftliche Maßnahmen werden zum Teil aus betriebsinternen Gründen von den Unternehmen abgelehnt.
- Vor allem umfangreiche Maßnahmen mit hohen absoluten Einsparungen stehen häufig in Verbindung mit ohnehin erforderlichen Sanierungen. Damit entfällt auf den Kunden ein hoher Eigenanteil bei den Investitionen. Wenn ein Ersatz der Altanlage wegen fehlender Mittel für den Kunden nicht infrage kommt, wird auch die (energiesparende) Contracting-Maßnahme gehemmt.
- Die energetische Sanierung in Betrieben mit der Zielrichtung »Energieeinsparung« ist in der umfassenden Form in der Praxis noch äußerst ungewohnt. Das erforderliche Know-how bezüglich der Einspartechnologie ist in seiner ganzen Breite kaum in Ingenieurbüros vorzufinden. Zur Entwicklung des Einsparmarktes ist eine Know-how-Erweiterung in den Büros unumgänglich.
- Intensive Einsparuntersuchungen durch externe Berater können Informationsdefizite der zuständigen firmeneigenen Techniker offenlegen. Je größer die Befürchtungen vor Offenlegung von Schwachstellen, desto geringer ist die Bereitschaft zur Zusammenarbeit.
- Aber auch der umgekehrte Fall ist anzutreffen: Sinnvolle Energiesparmaßnahmen werden vom zuständigen Techniker der Geschäftsleitung seit Jahren vorgeschlagen. Es werden jedoch keine Mittel bereitgestellt. Hier kann der externe Berater bestehende Vorschläge unterstützen.
- Bei der Konzeption der Contractingangebote ist das Kreditwesengesetz (KWG) zu beachten. Eine Kreditvergabe in größerem Umfang ist nur Banken gestattet. Der Konflikt mit dem KWG kann dann vermieden werden, wenn der Contractor Planung und Bau der Einspar-Anlage übernimmt und diese Leistung inklusive der Anlagenkosten vom Kunden vergütet wird.
- Beim Einspar-Contracting sind häufig die installierten Anlagenteile fest mit dem Gebäude verbunden. Ein juristischer Eigentumsvorbehalt ist deshalb im Konfliktfall nur schwer durchsetzbar. Aus diesem Grund wird in der Regel vereinbart, daß die installierten Anlagen nach der Inbetriebnahme in das Eigentum des Kunden übergehen. Das Ausfallrisiko des Contractors muß deshalb anders, z.B. über einen Risikoaufschlag, abgedeckt werden.
- Private Anbieter zielen zum Teil nur auf die Kosteneinsparung durch Leistungsreduzierung ab. Zu einem soliden Konzept gehört aber auch die Realisierung von Einsparung von elektrischer Arbeit (und damit eine Verminderung der Emissionen).

4 Ermittlung des Stromverbrauchs und der CO₂-Emissionen

Will man das Stromeinsparpotential einer Beleuchtungsanlage näher berechnen, muß zunächst der *derzeitige* Stromverbrauch der Beleuchtungsanlage ermittelt werden. Das kann auf verschiedenen Wegen geschehen, u.a. über

1. *Dezentrale Stromzähler*: Am einfachsten wäre es, wenn der Beleuchtungsstrom jeder Betriebseinheit mittels eines eigenen Zählers gemessen werden könnte. Üblicherweise kann jedoch noch nicht einmal der Beleuchtungsstrom für das Gebäude insgesamt erfaßt werden.
2. *Betriebsstunden*: Hat man zwar keine separaten Zähler, aber die Betriebsstunden der Leuchten pro Betriebseinheit zur Verfügung, kann der Stromverbrauch [kWh] über das Produkt aus der dort installierten Leistung [kW] und der Betriebsdauer [h] errechnet werden. Dies ist relativ einfach für Leuchten, die eine bestimmte Zeit brennen (Flure, Sanitärräume, Bibliothek), bedeutet jedoch eine vorherige Berechnung der jeweils installierten Leistung. Es wird aber schon schwieriger, wenn z.B. Büroräume so unregelmäßig besetzt sind wie in einer Universität. Aufgrund der flexiblen Arbeitszeit und unregelmäßigen Anwesenheit der Dozent/inn/en, Mitarbeiter/innen und Hilfskräfte erfordert dies im aufwendigsten Fall die Befragung jedes Büronutzers und scheidet damit für unseren Fall aus.
3. *Restliche Verbraucher*: Kennt man alle anderen Stromverbraucher sowie deren Betriebsdauer, kann man ihren Stromverbrauch vom gesamten Stromverbrauch des Gebäudes abziehen und erhält so den Stromverbrauch der Beleuchtungsanlage. Dies erfordert in komplexen Gebäuden jedoch einigen Rechercheaufwand, außerdem muß dafür der Gesamtverbrauch genau bekannt sein.
4. *Lampen-Austauschrate und -Lebensdauer*. Scheiden die vorherigen drei Möglichkeiten aus, bleibt noch folgender Weg übrig: Kennt man die durchschnittliche Lampenaustauschrate pro Jahr (r_{ges}), erhält man aus dem Produkt von r_{ges} und der durchschnittlichen Nutzbrenndauer einer Lampe (l) die durchschnittliche Nutzungsdauer der Beleuchtungsanlage pro Jahr (b). Das Produkt aus b und der durchschnittlichen Leistung einer Lampe p ergibt somit den Verbrauch $V_{alt,ges}$ der Beleuchtungsanlage.⁶

$$b \text{ [h/a]} = r_{ges} \text{ [Stück/a]} * l \text{ [h/Stück]} \quad (4.1)$$

$$V_{alt,ges}[\text{kWh/a}] = b \text{ [h/a]} * p \text{ [kW]} \quad (4.2)$$

Zum Berechnen der CO₂-Emissionen muß ein Umrechnungsfaktor c [t/MWh] zwischen dem Stromverbrauch [MWh] und dem dadurch bedingten CO₂-Ausstoß [t] ermittelt werden. Er hängt ab von dem jeweiligen Energiemix, mit dem je nach Ort der Strom erzeugt wird. Die gesamte Beleuchtungsanlage verursacht dann einen CO₂-Ausstoß von

$$C_{alt,ges} \text{ [t/a]} = V_{alt,ges} \text{ [MWh/a]} * c \text{ [t/MWh]} \quad (4.3)$$

⁶ Dies ist nur möglich, wenn r_{ges} über mehrere Jahre hinweg auf relativ konstantem Niveau bleibt und die Anzahl R der installierten Lampen relativ hoch ist. Dann spielt es keine Rolle, ob man für *jede* Lampe deren Leistung mit ihrer Nutzungsdauer *pro Jahr* multipliziert und aufaddiert oder ob man annimmt, *nur* die r_{ges} Lampen haben gebrannt, dafür aber ihre *ganze Lebensdauer* lang.

5 Ermittlung des Einsparpotentials

Will man den Elektrizitätsbedarf verschiedener Gebäude oder einzelner Betriebseinheiten vergleichen und dessen Effizienz bewerten, benötigt man geeignete normierte Werte, sogenannte *Energiekennzahlen*. Für Bewertungsverfahren wird in jedem Fall die *Bezugsfläche* benötigt; hier wird unterschieden zwischen *Bruttogeschossfläche*, *Energiebezugsfläche* und *Hauptnutzfläche*. Sie sind folgendermaßen definiert (erstere beiden aus der DIN-Norm 277⁷, letztere aus HMUEB 1994f, S. 19):

- Nettogrundfläche: Summe der nutzbaren, zwischen den aufgehenden Bauteilen befindlichen Grundflächen aller Grundrißebenen eines Bauwerkes.
- Hauptnutzfläche (HNF): Alle Flächen der Netto-Grundfläche ohne Nebennutzflächen (Abstellräume, Sanitärräume), Funktionsflächen (betriebstechnische Anlagen) und Verkehrsflächen.
- Bruttogeschossfläche (BGF): Summe aller Geschossflächen eines Gebäudes incl. umschließender und innenliegender Wände.
- Energiebezugsfläche (EBF): Alle Flächen der BGF, für deren Nutzung eine Beheizung oder Klimatisierung notwendig ist.

Für Verwaltungs- und Universitätsgebäude ist nach der VDI-Richtlinie 3807⁸ die Verwendung der HNF gebräuchlich. Betrachtet man *einzelne* Räume bzw. Betriebseinheiten, ist deren BGF in etwa gleich der HNF. Bei der Betrachtung von Büros, Hörsälen und der Bibliothek kann also anstelle der HNF auch die entsprechende BGF verwendet werden.

Im folgenden werden nur noch *Beleuchtungssysteme* betrachtet. Die Analyse der Energiekennzahlen erfolgt auf zwei Ebenen, der *Gebäudeebene* und der Ebene der *Betriebseinheiten*.

5.1 Vergleichskennzahlen auf Gebäudeebene

Erste Anhaltspunkte für die Effizienz eines Beleuchtungssystems liefert die installierte elektrische Leistung der gesamten Beleuchtungsanlage, bezogen auf die gesamte beleuchtete Fläche. Sie wird gemessen in W/m^2 . Ist die *Hauptnutzfläche* gegeben, kann auch die bzgl. dieser Fläche installierte Leistung ermittelt werden, nur muß beachtet werden, daß in der HNF keine Verkehrsflächen und Sanitärräume enthalten sind.

Eine Vergleichskennzahl kann der *Beleuchtung '92* (Hinweise für die Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden) entnommen werden, in denen Kennzahlen für Büros und Klassenräume mit einer Nennbeleuchtungsstärke von $E_n = 300 \text{ lx}$ errechnet wurden. Sie »berücksichtigen die allgemein üblichen Verhältnisse bei Arbeits- und Unterrichtsräumen in öffentlichen Gebäuden, die DIN-Normen, lichttechnische Forschungs- und Untersuchungsergebnisse und die Erfahrungen in staatlichen und kommunalen Verwaltungen« (AMEV 1992, S. 17). Danach reichen $8\text{--}12 \text{ W/m}^2$ aus, um eine mittlere Beleuchtungsstärke von $E_m \geq 300 \text{ lx}$ zu erzielen. Da in der HNF des in Abschnitt III betrachteten Gebäudes bis auf zwei Hörsäle nur Räume mit einer Nennbeleuchtungsstärke von 300 lx enthalten sind, können diese Werte als erste Vergleichskennzahlen herangezogen werden.

Der Abschätzung in AMEV 1992 wurden weiße Rasterleuchten und nicht näher spezifizierte Vorschaltgeräte zugrunde gelegt. Da zum damaligen Zeitpunkt (1992) elektronische Vor-

⁷ DIN-Norm 277: Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau, Ausgabe Juni 1987

⁸ VDI-Richtlinie 3807, Blatt 1, Entwurf: Energieverbrauchskennwerte für Gebäude, Grundlagen, Düsseldorf

schaltgeräte nur vereinzelt üblich waren, dürften die Werte bei diesen noch etwa 20% geringer ausfallen. Bei vorsichtiger Abschätzung ergibt sich somit als Energiekennzahl für eine mittlere Beleuchtungsstärke von $E_m \geq 300 \text{ lx}$ ein Wert von $e_{ges} = 8 \text{ W/m}^2$.

5.2 Vergleichskennzahlen für Betriebseinheiten nach SIA 380/4

Um genauere Abschätzungen zu erhalten, wird ein Gebäude in seine verschiedenen *Betriebseinheiten* (BE) aufgeteilt und für jede BE eine eigene *Teilenergiekennzahl* ermittelt. Typische Betriebseinheiten, die auch *Zonen* genannt werden, sind z.B. Verkehrsflächen, Sanitärräume, Büroräume oder Hörsäle. Im folgenden wird nach der Norm SIA 380/4 vorgegangen.

Die Norm SIA 380/4 wurde vom Schweizer Ingenieur- und Architektenverein (SIA) 1992 entworfen. Sie beschreibt die Erstellung einer Elektrizitätsbilanz und enthält Leistungs-Vorgaben (Grenzwerte, Zielwerte) für den Neu- und Umbau von Anlagen und Gebäuden für Dienstleistungs-, Gewerbe- und Handelsbauten. Die Methode wurde bisher im Rahmen des Schweizer Programms *Rationelle Verwendung von Elektrizität* (RAVEL) zur Bewertung des Elektrizitätsverbrauchs in Dienstleistungsgebäuden erprobt.

Für die Verwendungszwecke *Beleuchtung*, *Lüftung/Klima* und *Diverse Technik* liegen in der SIA 380/4 tabellarisch erfaßte Best- und Grenzwerte der spezifischen Leistung (W/m^2) vor. Der *Bestwert* (BW) stellt die bestmögliche Kombination von Einzelkomponenten dar, der *Grenzwert* (GW) die maximal zulässige spezifische Leistung, »bei der die Anforderungen der Bauherrschaft erfüllt sind und das Objekt wirtschaftlich erstellt und betrieben werden kann« (HMUEB 1994e, S. 43). *Bezugsgröße* für die Errechnung der Teilenergiekennzahl ist für *Beleuchtung* und *Lüftung/Klima* die Bruttogeschosßfläche, für *Diverse Technik* die Energiebezugsfläche der jeweiligen Betriebseinheit (HMUEB 1994f, S. 10).

Die Betriebseinheiten sind in verschiedene *Klassen* aufgeteilt, um die unterschiedlichen Tageslichtanteile und Nutzungsanforderungen berücksichtigen zu können. So haben Büroräume mit zwei Fensterreihen einen geringeren Stromverbrauch als Räume mit einer Fensterreihe oder als Innenräume. In Tabelle 5.1 sind die Best- und Grenzwerte für die Beleuchtung der in Abschnitt III benötigten Betriebseinheiten aufgeführt. Eigene Ergänzungen sind kursiv dargestellt. E_n ist die empfohlene Nennbeleuchtungsstärke nach SIA 380/4, die bis auf die Sanitärräume (100 lx) den Vorgaben der DIN 5035 (»Beleuchtung mit künstlichem Licht«) entsprechen (AMEV 1992).

Betriebs- einheit	Klasse	BW [W/m ²]	GW [W/m ²]	E_n [lx]	Beschreibung
Büroräume	1	3.0	7.0	300	überwiegend mit Tageslicht; Einzelbüro
	2	6.0	11.0	500	zum Teil mit Tageslicht; Gruppenbüro
	3	10.0	15.0	300	ohne Tageslicht
Bibliothek	1	wie Büroräume 1			
	2	wie Büroräume 2			
Schulräume	1	5.0	10.0	300	überwiegend mit Tageslicht
Hörsaal		15.0	20.0	500	mit Tageslicht
Verkehrsfläche	1	3.0	5.0	50	mit Tageslicht
Sanitärräume	1	wie Verkehrsflächen			

Tab. 5.1: Best- und Grenzwerte der spezifischen Leistung nach SIA 380/4 (HMUEB 1994e, HMUEB 1994f)

Die Norm SIA 380/4 wurde vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten (HMUEB) für sein 1992 begonnenes Projekt »Modelluntersuchungen zur Stromeinsparung in kommunalen Gebäuden« zugrunde gelegt. An zwölf Objekten mit verschiedenen Nutzungsarten mit möglichst typischer Größe sollte festgestellt werden, welche wirtschaftlichen Potentiale zum Erreichen einer dauerhaften Stromeinsparung und Umweltentlastung zu welchen Bedingungen realisierbar sind. Ziel war es u.a., ein standardisiertes Verfahren für zukünftige Projekte zu entwickeln, das in ein *Pflichtenheft* (HMUEB 1994f) mündete, und im weiteren einen Leitfaden für Energieanalysen aufzustellen (Leitfaden Elektrische Energie LEE, HMUEB 1994e).

Als Ergebnis wurde festgehalten: »Der Strombedarf für Beleuchtung kann in Einzelfällen auf ein Viertel des heutigen Wertes, häufig zumindest auf die Hälfte, reduziert werden ... Es ist ersichtlich, daß die Werte der SIA ein erreichbares Ziel darstellen, denn viele Modellgebäude könnten im Sanierungsfall diesen Wertebereich erreichen, in Einzelfällen sogar unterschreiten. Mit aufgrund der geringen statistischen Absicherung gebotener Vorsicht läßt sich dennoch die Aussage ableiten, daß die Best- und Grenzwerte der SIA 380/4 als realistischer Maßstab für Sanierungen dienen können« (HMUEB 1994e, S. 65).

6 Jährliche Betriebskosten

Um die Wirtschaftlichkeit einer Investition beurteilen zu können, müssen neben den Investitionskosten auch die jährlichen Betriebskosten (Stromkosten, Wartungskosten und die Kosten für den Austausch der Lampen) betrachtet werden. Dabei darf nicht von den jetzigen Preisen ausgegangen werden, sondern es müssen zukünftige Preisentwicklungen berücksichtigt werden.

6.1 Allgemeine Vorgehensweise

Die während der Betriebsdauer der neuen Beleuchtungsanlage entstehenden jährlichen Betriebskosten werden mit den Betriebskosten verglichen, die *ohne* eine Sanierung anfallen würden. Vereinfachend bildet man dazu einen *Mittelwert* über die Kosten des ganzen Betrachtungszeitraumes (Standzeit der Anlage). Der Mittelwert errechnet sich aus den Kosten im ersten Jahr der neuen Anlage p_{alt} , multipliziert mit einem *Mittelwertfaktor* m , der die Preissteigerungen beinhaltet. Die Mittelwertfaktoren stellen das Verhältnis der mittleren Preise während der Nutzungsdauer zum heutigen Preis dar.⁹

Im weiteren werden folgende Variablen für Preise und Mittelwertfaktoren benutzt:

$p_{\text{k,neu}}$	= $p_{\text{k,alt}} * m_{\text{k}}$	zur Berechnung der Strompreise,
$p_{\text{pers,neu}}$	= $p_{\text{pers,alt}} * m_{\text{pers}}$	zur Berechnung der Personalkosten,
$p_{\text{wart,neu}}$	= $p_{\text{wart,alt}} * m_{\text{pers}}$	zur Berechnung der Wartungskosten,
$p_{\text{lampe,neu}}$	= $p_{\text{lampe,alt}} * m_{\text{infl}}$	zur Berechnung der Sachkosten.

Die Mittelwertfaktoren m berechnen sich nach

⁹ Diese Vorgehensweise wird im Pflichtenheft des HMUEB (HMUEB 1994f, S. 16) für die Ermittlung der Jahreskosten empfohlen; die entsprechende Berechnungsformel der Mittelwertfaktoren findet sich im Leitfaden Elektrische Energie, LEE (HMUEB 1994c, S. 70), die Tabellenwerte der Mittelwertfaktoren im dazugehörigen Anhangband (HMUEB 1994a, S. 50).

$$m = \frac{1+s}{i-s} * \left[1 - \left(\frac{1+s}{1+i} \right)^n \right] * a_{i,n} \quad [-] \quad \text{mit}$$

i	[%]	= Kapitalzinssatz (p.a.),
s	[%]	= Teuerungsrate (p.a.),
n	[a]	= Nutzungsdauer,
$a_{i,n}$	[-]	= Annuitätsfaktor.

Als Nutzungsdauer (Standzeit) von Beleuchtungsanlagen werden im allgemeinen $n=15$ Jahre angenommen (HMUEB 1993, S. 145). Der Kalkulationszinssatz ($i=8\%$) und die jährlichen Teuerungsrate s werden aus dem Pflichtenheft übernommen, so daß sich nach Tabelle A 3.6.2 aus HMUEB 1994a folgende Mittelwertfaktoren m ergeben:

	s	m
Strom a	4%	1,31
Strom b	9%	1,89
Wartung/Personal	6%	1,51
Inflationsrate	3%	1,22

Tab. 6.1: Jährliche Teuerungsrate und Mittelwertfaktoren

Diese Mittelwertfaktoren werden für die Berechnungen in den nächsten Kapiteln zugrunde gelegt. Im weiteren werden folgende Indizes verwendet:

- alt: alte Beleuchtungsanlage, Kosten bewertet nach bisherigen Preisen
 ist: alte Beleuchtungsanlage, Kosten bewertet nach zukünftigen mittleren Preisen
 neu: neue Beleuchtungsanlage, Kosten bewertet nach zukünftigen mittleren Preisen

6.2 Stromkosten

Aus dem Ausgangsstrompreis pk_{alt} [DM/kWh] ergeben sich bei Beibehaltung des alten Verbrauchs V_{alt} (alte BA), aber bei zukünftig zu zahlenden mittleren Preisen pk_{neu} mit $pk_{neu} = pk_{alt} * m_k$ [DM/kWh], mittlere jährliche Kosten von $k_{ist} = V_{alt} * pk_{neu}$ [DM/a]. Sinkt der Verbrauch durch die neue Beleuchtungsanlage, entstehen zukünftig nur noch mittlere Kosten von $k_{neu} = V_{neu} * pk_{neu}$ [DM/a]. Dies ergibt eine jährliche mittlere Einsparung von $k_{ein} = k_{ist} - k_{neu}$.

a) $s_{strom} = 4\%$

Rechnet man mit der bisherigen jährlichen Teuerungsrate für Strom ($s_{strom} = 4\%$), muß $m=1,31$ angesetzt werden.

b) $s_{strom} = 9\%$

Nach E. U. v. Weizsäcker's Konzept einer ökologischen Steuerreform (WEIZSÄCKER 1992, S. 163ff), würden die Energiepreise (außer für Solarenergie, Windkraft, kleine Wasserkraftwerke und Biogas) allein durch die Ökosteuer jedes Jahr um 5% steigen, so daß innerhalb von zehn Jahren das 1,65-fache der jetzigen Preise zu zahlen wäre (nach 14 Jahren eine Verdoppelung). Mit einem Aufschlag von 5% auf den in a) verwendeten Satz von 4% ergibt sich $s_{strom} = 9\%$ und $m=1,89$.

Die Berechnung vernünftiger Mittelwerte ist jedoch ein großer Unsicherheitsfaktor, da die Strompreisentwicklung von vielen Faktoren abhängt:

- Allgemeine Preissteigerungsrate,
- mögliche Energiesteuer (evtl. innerhalb einer Ökologischen Steuerreform),
- Stromkonkurrenz aus dem Ausland nach Deregulierung im EU-Rahmen,
- Änderung der Preispolitik der EVUs bzw. Stadtwerke (z.B. Linearisierung auch bei Großkundenverträgen),
- Ersatzinvestitionen für veraltete Kraftwerke zu Beginn des nächsten Jahrhunderts.

6.3 Leuchtmittel-Austauschkosten

Die Berechnung der Austauschkosten verläuft etwas anders als bei den Stromkosten, falls es bisherige ($p_{\text{lampe,alt,1}}$) und zukünftige Preise ($p_{\text{lampe,neu,1}}$) für die alten Lampen und bisherige ($p_{\text{lampe,alt,2}}$) und zukünftige ($p_{\text{lampe,neu,2}}$) Preise für die neuen Lampen gibt. Dies ist dann der Fall, wenn in alten Beleuchtungsanlagen z.B. 38 W- oder 65 W-Lampen verwendet werden, die nur noch zu Ersatzzwecken hergestellt werden und dementsprechend teurer sind als heute standardmäßig eingesetzte Lampen.

Alte Leuchten:

Die Austauschkosten setzen sich aus dem Preis und den Entsorgungskosten pro Lampe ($p_{\text{lampe,alt,1}}$) sowie den Lampenwechselkosten ($p_{\text{pers,alt,1}}$) zusammen. Sie werden hier wegen der unterschiedlichen Teuerungsraten getrennt betrachtet. Während erstere leicht zu ermitteln sind, können Lampenwechselkosten nur geschätzt werden. Für eine ähnliche Beleuchtungssanierung der Eidgenössischen Drucksachen- und Materialzentrale in Bern wurden 2,45 sFr pro auszuwechselnde Lampe vor der Sanierung angenommen (RAVEL 1993, S. 92). Übernimmt man diese Zahl in DM, gilt

$$p_{\text{pers,alt,1}} = 2,45 \text{ DM/Lampe} \quad (6.1)$$

Mit den Mittelwertfaktoren aus Tabelle 6.1 folgt

$$p_{\text{lampe,neu,1}} = p_{\text{lampe,alt,1}} * m_{\text{infl}} = p_{\text{lampe,alt,1}} * 1,22 \quad \text{und} \quad (6.2)$$

$$p_{\text{pers,neu,1}} = 2,45 \text{ DM/Lampe} * 1,51 = 3,70 \text{ DM/Lampe} \quad (6.3)$$

Neue Leuchten:

Nach RAVEL müssen als Lampenwechselkosten nur noch 1,30 sFr (hier 1,30 DM) pro neuer Lampe angesetzt werden (RAVEL 1993, S. 93), also

$$p_{\text{pers,alt,2}} = 1,30 \text{ DM/Lampe} \quad (6.4)$$

Mit den Mittelwertfaktoren folgt dann

$$p_{\text{lampe,neu,2}} = p_{\text{lampe,alt,2}} * m_{\text{infl}} = p_{\text{lampe,alt,2}} * 1,22 \quad \text{und} \quad (6.5)$$

$$p_{\text{pers,neu,2}} = 1,30 \text{ DM/Lampe} * 1,51 = 1,96 \text{ DM/Lampe} \quad (6.6)$$

Die Austauschkosten für alle Lampen (k_{aus}) ergeben sich aus den Kosten pro Lampe, multipliziert mit der Anzahl jährlich auszutauschender Lampen r . r_{neu} errechnet sich aus der Anzahl neu zu installierender Lampen R_{neu} und der neuen Austauschrate aus_{neu} zu $r_{\text{neu}} = R_{\text{neu}} * \text{aus}_{\text{neu}}$. Ist die alte Austauschrate aus_{alt} gegeben, die sich auf eine Nutzbrenndauer von 7.500 Stunden bezieht, gilt $\text{aus}_{\text{neu}} = \text{aus}_{\text{alt}} * 7.500 / 12.000$, da die Nutzbrenndauer bei Verwendung von elektronischen Vorschaltgeräten von 7.500 auf 12.000 Stunden ansteigt. Es folgt also

$$r_{\text{neu}} = R_{\text{neu}} * \text{aus}_{\text{neu}} = \frac{R_{\text{neu}} * \text{aus}_{\text{alt}} * 7500}{12000} \text{ [Lampen/a]} \quad (6.7)$$

Die alten und neuen jährlichen Austauschkosten k_{aus} belaufen sich somit auf

$$k_{\text{aus,ist}} = r_{\text{alt}} * (\text{Plampe,neu,1} + \text{Ppers,neu,1}) \text{ [DM/a]}, \quad (6.8)$$

$$k_{\text{aus,neu}} = r_{\text{neu}} * (\text{Plampe,neu,2} + \text{Ppers,neu,2}) \text{ [DM/a]} \text{ und} \quad (6.9)$$

$$k_{\text{aus,ein}} = k_{\text{aus,ist}} - k_{\text{aus,neu}} \text{ [DM/a]}. \quad (6.10)$$

Rechnet man nur die wirklich meßbaren Beschaffungs- und Entsorgungskosten der Lampen (ohne Personalaufwand), ergeben sich folgende Werte:

$$k_{\text{aus,ist,teil}} = r_{\text{alt}} * \text{Plampe,neu,1} \text{ [DM/a]},$$

$$k_{\text{aus,neu,teil}} = r_{\text{neu}} * \text{Plampe,neu,2} \text{ [DM/a]} \text{ und}$$

$$k_{\text{aus,ein,teil}} = k_{\text{aus,ist,teil}} - k_{\text{aus,neu,teil}} \text{ [DM/a]}.$$

6.4 Wartungskosten

Die Berechnung der jährlichen Instandhaltungskosten (Reinigung der Leuchten, Auswechseln der Starter, Fassungen u.s.w. und Beseitigung sonstiger elektrischer und mechanischer Mängel) verläuft ähnlich der der Austauschkosten:

Alte Leuchten:

Nach der *Beleuchtung '92* können als Wartungskosten 1% der Investitionskosten der Leuchtenbeschaffung angesetzt werden (AMEV 1992, S. 39). In HMUEB 1993, S. 145 werden dafür 1,5% angegeben. GMH 1993, S. 16 rechnet mit 16 DM/Leuchte. Da zum Berechnen der ersten beiden Werte die Datengrundlage fehlt und der letztere Wert zu hoch erscheint, wird hier ebenfalls der Ansatz aus RAVEL verwendet, der von 6,30 sFr pro Leuchte ausgeht (RAVEL 1993, S. 92), so daß gilt

$$p_{\text{wart,alt,1}} = 6,30 \text{ DM/Leuchte} * a \text{ und} \quad (6.11)$$

$$\begin{aligned} p_{\text{wart,neu,1}} &= p_{\text{wart,alt,1}} * m_{\text{pers}} = 6,30 \text{ DM}/(\text{Leuchte} * a) * 1,51 \\ &= 9,51 \text{ DM/Leuchte} * a \end{aligned} \quad (6.12)$$

Neue Leuchten:

Hierfür werden ebenfalls die Angaben aus RAVEL 1993, S. 93 verwendet, wonach die Wartungskosten 3,90 sFr (hier 3,90 DM) pro neuer Leuchte betragen, so daß sich ergibt

$$p_{\text{wart,alt,2}} = 3,90 \text{ DM/Leuchte} * a \text{ und} \quad (6.13)$$

$$\begin{aligned} p_{\text{wart,neu,2}} &= p_{\text{wart,alt,2}} * m_{\text{pers}} = 3,90 \text{ DM}/(\text{Leuchte} * a) * 1,51 \\ &= 5,89 \text{ DM/Leuchte} * a \end{aligned} \quad (6.14)$$

Mit der alten und neuen Leuchtenzahl (L_{alt} , L_{neu}) belaufen sich somit die alten und neuen jährlichen Wartungskosten k_{wart} auf

$$k_{\text{wart,ist}} = L_{\text{alt}} * p_{\text{wart,neu,1}} = L_{\text{alt}} * 9,51 \text{ [DM/a]}, \quad (6.15)$$

$$k_{\text{wart,neu}} = L_{\text{neu}} * p_{\text{wart,neu,2}} = L_{\text{neu}} * 5,89 \text{ [DM/a]} \text{ und} \quad (6.16)$$

$$k_{\text{wart,ein}} = k_{\text{wart,ist}} - k_{\text{wart,neu}} \text{ [DM/a]}. \quad (6.17)$$

Weitere jährliche Kosten fallen mit der Rückzahlung der Investition an, auf die im folgenden eingegangen wird.

7 Kapitaldienst

Kann die Investition direkt getätigt werden, fallen keine zusätzlichen Finanzierungskosten an, so daß die Kapitalkosten gleich den Investitionskosten sind. Werden die Investitionskosten jedoch über einen Kredit finanziert, müssen die zu zahlenden Zinsen mit berücksichtigt werden. Zins und Tilgung ergeben den Kapitaldienst. Da dies eine wichtige Grundlage für Contracting-Verträge ist, wird im folgenden die Berechnung des Kapitaldienstes vorgestellt.

Seien K_{inv} [DM] = Kosten einer zu tätigenen Investition,
 i [%] = Kapitalzinssatz (p.a.),
 $j = 1 + i/100$ [-]
 n [a] = Laufzeit,
 $a_{i,n}$ [-] = Annuitätsfaktor,

dann beträgt nach AMEV 1992, S. 38 die Höhe des *jährlichen* Kapitaldienstes kap

$$kap = \frac{K_{\text{inv}} * a_{i,n}}{100} \text{ [DM/a]} \quad \text{mit} \quad a_{i,n} = \frac{(j-1) * j^n}{j^n - 1} * 100 \quad (7.1)$$

Der gesamte Kapitaldienst Kap errechnet somit sich zu

$$Kap = kap * n \text{ [DM]} \quad (7.2)$$

Beispiel: $K_{\text{inv}} = 1000 \text{ DM}$, $n = 10 \text{ a}$, $i = 8\%$, dann folgt $a_{i,n} = 14,9$, $kap = 149 \text{ DM/a}$ und $Kap = 1.490 \text{ DM}$.

Steht jedes Jahr eine bestimmte Summe K_{ein} zur Rückzahlung zur Verfügung, kann man aus Formel (7.1) die nötige Laufzeit n herleiten, bis der Kredit zurückgezahlt ist. Wie leicht zu zeigen ist, gilt

$$n = \frac{\log \frac{A}{A + 1 - j}}{\log j} \text{ [a]} \quad \text{mit} \quad A = \frac{K_{\text{ein}}}{K_{\text{inv}}} \quad (7.3)$$

Damit ergeben sich die Kapitalkosten Kap als

$$Kap = K_{\text{ein}} * n \text{ [DM]} \quad (7.4)$$

Beispiel: Obige Daten; $K_{\text{ein}} = 200 \text{ DM}$, dann folgt $A = 0,2$ und $n = 6,6 \text{ a}$.

8 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Investition in eine neue Beleuchtungsanlage werden folgende Kenngrößen verwendet:

- Amortisationszeit (t_A),
- Kosten pro eingesparter Kilowattstunde ($K_{\text{spez,kwh}}$),
- Kosten pro eingesparter Tonne an CO₂-Emissionen ($K_{\text{spez,CO}_2}$) und
- Nutzen/Kosten-Verhältnis (NK).

8.1 Amortisationszeit (t_A)

Die Amortisation ist die Zeitspanne, in der eine Investition K über die durch sie ermöglichten jährlichen Energie- oder sonstigen Kosteneinsparungen K_{ein} zurückgezahlt werden kann:

$$t_A = \frac{K}{K_{\text{ein}}} \quad [\text{a}] \quad (8.1)$$

t_A sollte nach dem hessischen Pflichtenheft zwischen drei und zehn Jahren liegen (HMUEB 1994f, S. 13). Werte für die Beleuchtungssanierung vergleichbarer kommunaler Gebäude (Schulen), für die modellhaft Stromsparpotentiale untersucht wurden, liegen zwischen 1,9 und 6,8 Jahren (HMUEB 1994e, S. 57). Die Amortisationszeit wurde dort bezogen auf den *einsparbedingten*, zusätzlichen Kostenanteil berechnet.

8.2 Kosten pro eingesparter Kilowattstunde ($K_{\text{spez,kwh}}$)

Für die Kenngröße $K_{\text{spez,kwh}}$ werden die über die gesamte Lebensdauer (nicht nur über die Amortisationsdauer oder die Vertragsdauer) der Anlage aufsummierten eingesparten Kilowattstunden ($V_{\text{ein,leben}}$) mit den notwendigen Kapitalkosten in Beziehung gesetzt:

$$K_{\text{spez,kwh}} = \frac{K}{V_{\text{ein,leben}}} \quad [\text{Pf/kWh}] \quad (8.3)$$

Es wird also berechnet, wie teuer es ist, eine kWh *nicht* zu verbrauchen. Ist $K_{\text{spez,kwh}}$ kleiner als der an den Energieversorger zu zahlende Arbeitspreis p_k , ist es billiger, den Strom einzusparen, als ihn vom Energielieferanten zu beziehen. Selbst wenn $K_{\text{spez,kwh}} = p_k$, sollte in die Einsparung investiert werden, da steigende Preise nicht ausgeschlossen sind. Wiederum aus HMUEB 1994e, S. 57 ergeben sich für Stromeinsparprojekte in den untersuchten kommunalen Gebäuden Werte von 9,0 bis 14,8 Pf/kWh (bzgl. des *einsparbedingten* Kostenanteils).

8.3 Kosten pro eingesparter Tonne an CO₂-Emissionen ($K_{\text{spez,CO}_2}$)

Analog zum Verhältnis von Investitionskosten und eingesparter Strommenge wird hier das Verhältnis von Investitionskosten zu vermiedenen CO₂-Emissionen ($C_{\text{ein,leben}}$) berechnet.

$$K_{\text{spez,CO}_2} = \frac{K}{C_{\text{ein,leben}}} \quad [\text{DM/t}] \quad (8.4)$$

Als Vergleichswert (bzgl. des *einsparbedingten* Kostenanteils) wird in MEIXNER 1994 217 DM/t bzgl. eines CO₂-Faktors $c = 0,784$ t/MWh angegeben. Geht man von den Berechnungen in HMUEB 1994e, S. 57 aus, kann man aus den Tabellen einen Faktor $c = 0,604$ t/MWh ermitteln. Für die untersuchten kommunalen Gebäude werden Werte von 165 bis 246 DM/t (bzgl. des *einsparbedingten* Kostenanteils) angegeben.

8.4 Nutzen/Kosten-Verhältnis (NK)

Zur Berechnung von NK wird aller *zusätzlich* durch die Maßnahme erzielter *Nutzen* ins Verhältnis zu allen dafür notwendigen *Kosten* gesetzt. NK sollte auf jeden Fall größer als 1 sein.

$$\text{NK} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Kosten}} \quad [-] \quad \text{mit} \quad (8.5)$$

Kosten = k_{ap} und

Nutzen = $k_{\text{strom,ein}} + k_{\text{aus,ein}} + k_{\text{wart,ein}}$

8.5 Zusammenfassung

Neben der rein betriebswirtschaftlichen Betrachtung müssen auch die volkswirtschaftlichen Auswirkungen, insbesondere im Hinblick auf unterlassene Umweltschutzmaßnahmen, mit einbezogen werden. Bisher werden die sozialen und ökologische Folgekosten noch nicht erfaßt. Nach HMUEB 1994e, S. 59 sei »von einer Bewertung von Maßnahmen rein aufgrund dieser wirtschaftlichen Eckwerte abgeraten. Es müssen stets und unbedingt im Kontext die erzielten Einsparquoten sowie die Nachhaltigkeit der betrachteten Sparvorschläge berücksichtigt werden.«

Angesichts der geforderten Reduzierung der CO₂-Emissionen um 30 bis 50% bis über die Jahrtausendwende können die Wirtschaftlichkeitsberechnungen nur eine zusätzliche Betrachtung, nicht jedoch eine Entscheidungsgrundlage sein, da ohne die Investition die Ziele nicht erreicht werden können. Wie bei der Einschätzung der Wirtschaftlichkeit bei den hessischen Modelluntersuchungen sollte zumindest der Grundsatz gelten:

»Jede Maßnahme, die die gewünschte Energiedienstleistung zu geringeren Kosten erbringen kann als der Energiebezug, ist wirtschaftlich.« (HMUEB 1994e, S. 66).

III Planung einer neuen Beleuchtungsanlage für das Allgemeine Verfügungszentrum der Universität Osnabrück

9 Beschreibung des untersuchten Gebäudes

Das hier untersuchte Allgemeine Verfügungszentrum (AVZ) der Universität Osnabrück ist ein 1972 in Stahlbetonskelettbauweise aus Rastern à 1,20 Meter errichtetes Gebäude mit 13.246 m² Bruttogeschosßfläche bzw. 11.241 m² Hauptnutzfläche. Heutige Nutzer sind der Fachbereich Mathematik/Informatik mit Systemwissenschaften (Büros), der Fachbereich Physik (Labore), die Arbeitsgruppe Gesundheitswissenschaften (Labore, Büros), das Rechenzentrum (Büros, Maschinenräume, Computerräume), die Bereichsbibliothek Naturwissen-

schaften/Mathematik und das Dezernat 6 (Technik/Liegenschaften/Sicherheit) (Büros, Werkstätten).

10 Einsparbemühungen der Universität

In Vorwegnahme der nachfolgenden Kapitel zeigt die folgende Aufstellung, warum eine Sanierung der in dem Gebäude befindlichen Beleuchtungsanlage (BA) dringend geboten ist:

- Stromeinsparung ca. 380.000 kWh/a (=71,8%),
- Stromkosteneinsparung ca. 95.000 DM/a bei einem Investitionsvolumen von 562.000 DM,
- weitere Kosteneinsparungen durch geringere Lampen-Austauschrate,
- Verletzung der Arbeitsstättenrichtlinie und des IuK - Tarifvertrages (da keine Blendungsfreiheit),
- PCB-haltige Kondensatoren, deren Verwendung ab Ende 1999 verboten ist,
- Wärmeisolation aus Asbestpappe in den Vorschaltgeräten der Lampen.

Die Universität versucht seit Ende 1984, also seit nunmehr über elf Jahren, finanzielle Mittel zur Erneuerung der BA zu bekommen. Sämtliche Versuche scheiterten an den Hemmnissen *Kapitalmangel, Haushaltsrecht, fehlende Motivation politisch Verantwortlicher* und *Unkenntnis von Einsparmöglichkeiten* (zu den Hemmnissen allgemein siehe Kapitel 2). Eine Auflistung aller bisher vergeblichen Aktionen umfaßt inzwischen 35 Punkte.

Dreh- und Angelpunkt war in den ersten Jahren jeweils das für die Bauplanung und -ausführung zuständige Staatshochbauamt (SHB) in Osnabrück, das sich sowohl Bitten der Universität als auch Anweisungen der vorgesetzten Oberfinanzdirektion (OFD) widersetzte. So wies die OFD 1990 das SHB auf einen Runderlaß des Finanzministeriums hin, daß Beleuchtungsanlagen, die älter als 15 Jahre sind, unwirtschaftlich und daher auszutauschen seien. Beleuchtungsanlagen mit PCB-haltigen Kondensatoren seien bevorzugt auszutauschen. Beides traf auch auf die BA des AVZ zu. Das SHB empfahl der Universität jedoch, sich die notwendigen Mittel selber zu suchen.

Auch der Personalrat bemängelte Ende 1991 vergeblich, daß der IuK-Tarifvertrag durch die blendenden Leuchten seit Jahren nicht eingehalten werde. Höhepunkt war jedoch das Jahr 1993, als eine inzwischen bewilligte Teilrate von 200.000 DM aufgrund einer allgemeinen Ausgabensperre des Landes wieder verfiel, nachdem das SHB neun Monate zur Ausschreibung der neuen Leuchten brauchte.

Schließlich griff der finanzpolitische Sprecher von Bündnis90/Die Grünen im Landtag, Dr. Norbert Roske, eine Bitte des Präsidenten der Universität an alle Osnabrücker Landtagsabgeordneten auf, sich für eine neue BA einzusetzen. Nachdem die Stadtwerke Osnabrück AG sich bereit erklärten, innerhalb eines möglichen Contracting-Verfahrens die Sanierung der BA vorzufinanzieren, wurde im Landtag auf Antrag von MdL Roske beschlossen, daß das Finanzministerium angewiesen werde, *sämtliche* PCB-haltigen Beleuchtungskörper der Universität Osnabrück auszutauschen. Der Landesrechnungshof sei mit einem »Privatinvestorenmodell« einverstanden. Inzwischen laufen erste Verhandlungen zur Vergabe des Contracting-Verfahrens.

11 Anwendung von Einspar-Contracting auf Hochschulbauten

Die allgemeinen Grundlagen und der Ablauf von Einspar-Contracting wurden schon in Kapitel 3 beschrieben. Viele der aufgelisteten Hemmnisse bei der Umsetzung von Einsparpotentia-

len haben die Idee des Einspar-Contractings sich erst entwickeln lassen. Gäbe es diese Hemmnisse nicht, wäre Contracting überflüssig, da der Kapitaldienst nur zusätzliche Kosten gegenüber der reinen Investition darstellt.

11.1 Haushaltsrechtliches Vorgehen

Zur haushaltstechnischen Regelung von Contracting-Verfahren hat das Land Niedersachsen inzwischen einen neuen Haushaltstitel (Nr. 51 758, »Ausgaben für die von Dritten vorfinanzierten Energiesparmaßnahmen«) eingeführt. Die ursprünglich gezahlten Stromkosten werden weiter in den bisherigen Titel 51 701 (»Bewirtschaftung von Grundstücken, Gebäuden und Räumen«) eingestellt und der Einsparanteil von dort in den Titel 51 758 überwiesen, um ihn an den Contractor weiterleiten zu können.

11.2 Aufteilung des Einspargewinns

Damit beide Partner (Kunde/Contractor) von den Einsparmaßnahmen profitieren, sollten die eingesparten Kosten nicht nur für die Rückzahlung der Kapitalkosten verwendet werden, sondern der Gebäudebetreiber, hier das Land, sollte auch einen Anteil für sich erhalten (»*shared-savings*«-Ansatz). Dieser Anteil wird wieder in Energiesparmaßnahmen reinvestiert, um so von externen Geldern unabhängig zu werden.¹⁰

In dieser Arbeit wird daher von einer Aufteilung der eingesparten Kosten von 20% für den Kunden und 80% für den Contractor ausgegangen. Auf die sich daraus ergebenden höheren Kapitalkosten wird in Kapitel 15 eingegangen.

Für die Verwendung des 20%-Anteils des Landes gibt es folgende Alternativen:

1. Die 20% der eingesparten Kosten gehen direkt ans Land und stehen dort zur weiteren Verwendung zur Verfügung. Da jedoch wenig Vorliebe für Energieeinsparungen herrscht, werden die Mittel wohl eher zur Deckung anderer Defizite verwendet anstatt sinnvoll für Umweltschutzmaßnahmen eingesetzt.
2. Der Anteil von 20% fließt der Universität zur weiteren Verwendung zu. Dabei können die Gelder jedoch nur für Titel verwendet werden, die mit der Titelgruppe 5 »sächliche Verwaltungsausgaben« (laufende Kosten) deckungsfähig sind, da sie dieser Titelgruppe auch entnommen wurden.

Mit dem Land muß zur Vertragsgestaltung geklärt werden, ob nach Beendigung des Contracting-Verfahrens sämtliche Einspargewinne dem Land zufallen oder ob die Universität weiterhin ihren Anteil erhält. Bei einem Contracting über zehn Jahre beispielsweise und einer Standzeit der neuen Anlage von 15 Jahren fallen nach Rückzahlung der Kapitalkosten weitere fünf Jahre Gewinne an, die dann voll zur Verfügung stehen.

Es könnte auch eine Regelung analog zur oben erwähnten Vorgehensweise für Bundesbauten getroffen und festgeschrieben werden, die Gewinne nach Ablauf des Vertrages nur zum Zwecke von Energiesparmaßnahmen zu verwenden.

¹⁰ Eine ähnliche Praxis verfolgt der Bund schon länger für seine Bauten, für die nach einer einmaligen Anschubfinanzierung sämtliche weiteren Einsparinvestitionen über vorher eingesparte Betriebskosten refinanziert werden.

12 Soll-Ist-Vergleich der Beleuchtungsanlage (Grobanalyse)

12.1 Analyse auf Gebäudeebene

12.1.1 Installierte Leistung

In der folgenden Tabelle wird die installierte Leistung der Beleuchtungsanlage dargestellt. Als Leistung der (konventionellen) Vorschaltgeräte wurden 11 Watt für KVGs zu 18 W-Lampen und 13 Watt für alle anderen KVGs angesetzt (nach TRILUX o.J., S. 339; die KVGs für die 38 W-Lampen wurden ebenfalls zu 13 W geschätzt). Die Berechnung der Leistung einer Leuchte erfolgt nach dem in Abbildung 1.1 gezeigten Muster; als zusätzliche Leistung bei kapazitiver Schaltung wurden 5 W für Lampe und 3 W für das Vorschaltgerät angenommen.

Insgesamt sind 336,5 kW installiert bei 3.335 Leuchten und 6.255 Lampen¹¹.

Leuchtenart	Lampenleistung [Watt]	Gruppe	Leuchten [Stück]	Lampen [Stück]	GESAMT-LEISTUNG [kW]
1-flammig	18	2	4	4	0,13
	38	1	620	620	34,10
	58	2	33	33	2,48
2-flammig	38	1	2.494	4.988	274,34
	58	2	63	126	9,45
4-flammig	18	2	121	484	15,97
durchschn.	53,79		3.335	6.255	336,47
davon		Gruppe 1	91,67 %	=	308,44
		Gruppe 2	8,33 %	=	28,03

Tab. 12.1: Installierte Leistung der Leuchten im AVZ

Beim Betrachten der Aufstellung in Tabelle 12.1 fällt auf, daß der Großteil der Leistung, nämlich 91,67%, auf die 38 W-Lampen entfällt (fett gedruckt), während alle anderen zusammen nur 8,33% ausmachen.

Um einfacher rechnen zu können, werden daher im weiteren nur die 38 W-Lampen betrachtet (als Gruppe 1 bezeichnet). Von ihnen sind 308,44 kW mit 3.114 Leuchten und 5.608 Lampen installiert. Alle diesbezüglichen Größen bekommen im weiteren den Index 1.

Als Leuchtstofflampen wurden bisher röhrenförmige Standardlampen verwendet. Ein besonderer Aspekt der 38 W-Lampen ist ihre *Sondergröße*. Die Größe ist bedingt durch die Skelett-Bauweise des Gebäudes. Das AVZ ist in Raster von 1,20 m * 1,20 m unterteilt, so daß jeder Raum genau x Raster breit und y Raster lang ist. Die Leuchten sind überwiegend zwi-

¹¹ Will man den Stromverbrauch für die *gesamte* AVZ-Beleuchtung berechnen, muß noch die *Notbeleuchtungsanlage* ergänzt werden. Wie in der Langfassung gezeigt wird, ist eine erhebliche Stromeinsparung (71.114 kWh/a) über den Austausch der Glühbirnen gegen Energiesparlampen möglich.

schen zwei Rastern montiert (siehe die folgende Abbildung). Sie sind 1,08 m lang mit Lampen der Länge 1,045 m. Gängige Lampen dagegen sind 1,20 m (36 W) oder 1,50 m (58 W) lang. Bei einer Neuinstallation ist es daher nicht möglich, die Leuchten 1:1 auszutauschen (was auch aufgrund der viel zu hohen Installationsdichte sinnlos wäre).

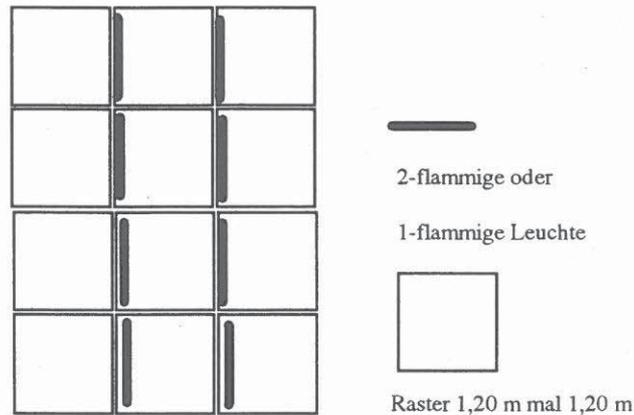


Abb. 12.1: Anordnung der Leuchten am vorgegebenen Raster

Die Leuchtstofflampen sind in *freistrahrenden Leuchten* direkt an der Decke montiert, so daß ein Großteil des Lichts an die Decke geworfen anstatt wie im Fall von Rasterleuchten nach unten auf die zu beleuchtende Fläche reflektiert wird. Aufgrund der Konstruktion existiert *keine Begrenzung der Direktblendung*, was sich insbesondere bei der Arbeit an Bildschirmen unangenehm bemerkbar macht. Für Bildschirmarbeitsplätze sind diese Leuchten daher völlig ungeeignet und nicht mit der Arbeitsstättenverordnung vereinbar. Sämtliche Leuchten sind mit *konventionellen Vorschaltgeräten* ausgestattet, wie sie beim Bau des Gebäudes 1972 installiert wurden. Aufgrund des Alters sind in fast allen Leuchten *PCB-haltige Kondensatoren* vorhanden. In einigen Leuchten wurden schadhafte Kondensatoren entfernt, aber nicht wieder durch andere Kondensatoren ersetzt. Aufgrund der PCB-Verbotsordnung von 1989 müssen die PCB-haltigen Kondensatoren bis spätestens zum 31.12.1999 ausgetauscht werden.

Für den folgenden Soll-Ist-Vergleich der spezifischen Leistung p ist zu beachten, daß sich die Leuchten auch in Fluren, Foyer und Sanitärräumen befinden, die jedoch nicht zur Hauptnutzfläche mitgezählt werden. p kann daher auf zwei verschiedene Weisen berechnet werden:

$$p_1 = \frac{P_{\text{alt},1} - P_{\text{Verkehrsfl.}} - P_{\text{Sanitär.}}}{\text{HNF}} = \frac{308,44 \text{ kW} - 23,32 \text{ kW}}{9.318 \text{ m}^2} = \frac{285,12 \text{ kW}}{9.318 \text{ m}^2} = 30,60 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

oder

$$p_2 = \frac{P_{\text{alt},1}}{\text{HNF} + F_{\text{Verkehrsfl.}} + F_{\text{Sanitär.}}} = \frac{308,44 \text{ kW}}{9.318 \text{ qm} + 2.368 \text{ m}^2} = \frac{308,44 \text{ kW}}{11.686 \text{ m}^2} = 26,39 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Der kleinere Wert für p_2 ergibt sich dadurch, daß die Verkehrsflächen und Sanitärräume eine geringere spezifische Leistung als die restlichen Betriebseinheiten haben (siehe Kapitel 12.2). Vergleicht man die spezifische Leistung mit dem in Kapitel 5.1 hergeleiteten Soll-Wert von $e_{\text{ges}} = 8 \text{ W/m}^2$, ergibt sich, je nach Sichtweise, folgendes Einsparpotential Ein_p an Leistung:

$$p_1 = 30,60 \text{ W/m}^2, \quad e_{\text{ges}} = 8 \text{ W/m}^2 \Rightarrow \quad \text{Ein}_{p,1} = 73,86\%$$

$$p_2 = 26,39 \text{ W/m}^2, \quad e_{\text{ges}} = 8 \text{ W/m}^2 \Rightarrow \quad \text{Ein}_{p,2} = 69,69\%$$

Diese Werte bestätigen das in Kapitel 1.2 angegebene hohe Einsparpotential, was insbesondere in den freistrahrenden Leuchten begründet ist. Es zeigt sich jedoch in den beiden verschiedenen Werten p_1 und p_2 die Notwendigkeit, für die einzelnen Betriebseinheiten getrennt ihr jeweiliges Einsparpotential auszurechnen, um zu genaueren Werten zu kommen.

Zunächst jedoch wird der Stromverbrauch der Leuchten berechnet, um konkret das Strom-einsparpotential angeben zu können.

12.1.2 Stromverbrauch

Von den in Kapitel 4 beschriebenen Verfahren zur Ermittlung des Stromverbrauchs wird hier die Berechnung über die Lampen-Austauschrate und -Lebensdauer gewählt, da die anderen drei Möglichkeiten für das AVZ ausscheiden.

Nach Angaben des Technischen Dienstes wurden in den letzten Jahren jährlich *insgesamt* $r_{\text{ges}} = 1.500$ Lampen ausgetauscht. Nach Tabelle 12.1 beträgt die durchschnittliche Leistung *aller* Lampen $p = 53,79$ W. Die Lebensdauer für Leuchtstofflampen ohne EVG beträgt $l = 7.500$ h/Stück. Somit gilt für den Verbrauch *sämtlicher* Lampen nach Formel 4.1 und 4.2:

$$V_{\text{alt,ges}} = 1.500 \text{ Stück/a} * 7.500 \text{ h/Stück} * 0,05379 \text{ kW} = 605.160 \text{ kWh/a}$$

Teilt man den ermittelten Verbrauch durch die gesamte installierte Leistung P_{ges} , erhält man die durchschnittliche Brenndauer einer Lampe (b_{ges}):

$$b_{\text{ges}} = V_{\text{alt,ges}} [\text{kWh/a}] / P_{\text{ges}} [\text{kW}], \text{ also}$$

$$b_{\text{ges}} = 605.160 \text{ kWh/a} / 336,47 \text{ kW} = 1.799 \text{ h/a}$$

Der errechnete Verbrauch $V_{\text{alt,ges}}$ bezieht sich auf *alle* installierten Leuchten; da hier nur die 38 W-Lampen betrachtet werden, muß der Verbrauch der anderen Lampen ($V_{\text{alt,2}}$) noch abgezogen werden. Wie in der Langfassung berechnet wird, beträgt $V_{\text{alt,2}} = 75.855$ kWh/a. Es ergibt sich somit für den Stromverbrauch der hier betrachteten Leuchten ($V_{\text{alt,1}} =: V_{\text{alt}}$)

$$V_{\text{alt}} = V_{\text{alt,ges}} - V_{\text{alt,2}}, \text{ also}$$

$$V_{\text{alt}} = 605.160 \text{ kWh/a} - 75.855 \text{ kWh/a} = 529.305 \text{ kWh/a}$$

und $b = b_1 = V_{\text{alt}} / P_1, \text{ also}$

$$b = 529.305 \text{ kWh/a} / 308,44 \text{ kW} = 1.716 \text{ h/a}$$

Teilt man V_{alt} wieder durch die Lebensdauer (7.500 h/Stück) und die durchschnittliche Leistung der 38 W-Lampen (55 W), erhält man deren jährliche Austauschrate

$$r_{\text{alt}} = 1.283 \text{ Stück}^{12} \text{ bzw. } \text{aus}_{\text{alt}} = 22,9\%. \quad (12.1)$$

Eine potentielle Einsparung von $\text{Ein}_{\text{p},2} = 69,69\%$ bedeutet somit eine Einsparung von

$$V_{\text{ein}} = V_{\text{alt}} * \text{Ein}_{\text{p},2} = 529.305 \text{ kWh/a} * 0,6969 = 368.873 \text{ kWh/a}$$

und einen neuen Stromverbrauch von

$$V_{\text{neu}} = V_{\text{alt}} - V_{\text{ein}} = 529.305 \text{ kWh/a} - 368.873 \text{ kWh/a} = 160.432 \text{ kWh/a}$$

Zum Vergleich: Der Stromverbrauch des AVZs betrug 1993 1.098.474 kWh, der Anteil der gesamten Beleuchtung ($V_{\text{alt,ges}} = 605.160 \text{ kWh/a}$) liegt somit bei 55,1%, was ein wesentlich höherer Wert im Vergleich zu den Literaturwerten ist. Rechnet man noch die Notbeleuchtung dazu, steigt der Anteil auf 64,1%. Der Anteil nur der 38 W-Lampen ($V_{\text{alt}} = 529.305 \text{ kWh}$) beträgt 48,2%.

12.1.3 CO₂-Ausstoß

Die gesamte Beleuchtungsanlage verursacht nach Formel 4.3 einen CO₂-Ausstoß von

$$C_{\text{alt,ges}} [\text{t/a}] = V_{\text{alt,ges}} [\text{MWh/a}] * c [\text{t/MWh}]$$

Die Stadt Osnabrück rechnet in ihrer CO₂-Bilanz mit einem Wert von $c = 0,864 \text{ t/MWh}$ (OSNABRÜCK 1992), der hier ebenfalls verwendet wird, um auf der gleichen Basis zu rechnen, so daß die CO₂-Emissionen

$$C_{\text{alt,ges}} = 605,160 \text{ MWh/a} * 0,864 \text{ t/MWh} = 522,86 \text{ t/a}$$

betragen. Betrachtet man nur die 38 W-Lampen, ergibt sich

$$C_{\text{alt}} = 529,305 \text{ MWh/a} * 0,864 \text{ t/MWh} = 457,32 \text{ t/a.}$$

Es sind somit Einsparungen möglich von

$$C_{\text{ein}} = 368,873 \text{ MWh/a} * 0,864 \text{ t/MWh} = 318,71 \text{ t/a.}$$

12.2 Analyse anhand der Betriebseinheiten

Im AVZ existieren die Betriebseinheiten *Verkehrsflächen* (*a: Foyer, b: Flure*), *Sanitärräume*, *Bibliothek*, *Hörsäle*, *Kursräume*, *RZ-Maschinenraum* und *Büroräume*. Für diese Betriebseinheiten wurden – bis auf die Büros wegen der unregelmäßigen Nutzungszeit – die Fläche, die

¹² Da die Austauschrate der 38 W-Lampen (r_{alt}) in der Universität nicht gesondert erfaßt wurde, mußte dieser etwas umständliche Weg über die *Gesamtzahlen* gewählt werden.

Nutzungszeit und die installierte Leistung berechnet. Übrig bleiben somit die Büros, deren Daten dann durch Subtraktion der anderen Betriebseinheiten von den Gesamtwerten ermittelt werden konnten. Mit diesen Daten ist es möglich, für jede Betriebseinheit t die spezifische Leistung p_t und den Stromverbrauch $V_{alt,t}$ relativ genau zu berechnen. Zum Abschätzen des Einsparpotentials werden Teilenergiekennzahlen e_t in Anlehnung an die in Kapitel 5.2 beschriebene Norm SIA 380/4 verwendet.

12.2.1 Installierte Leistung

In der folgenden Tabelle sind die für die verschiedenen Betriebseinheiten ermittelten Daten dargestellt:

BE-Nr.	Betriebseinheit	Fläche F m ²	Leistung P _{alt} kW	anteilig %	Ist-spez. Lstg. pt W/m ²	Betriebs- stunden B h	Verbrauch V _{alt} kWh	anteilig %
1a	Verkehr/Foyer	242	2,20	0,71	9,09	3.825	8.415	1,59
1b	Verkehr/Flure	1.642	14,80	4,80	9,01	3.825	56.591	10,69
2	Sanitärräume	484	6,33	2,05	13,07	3.825	24.193	4,57
	ZwSumme A	2.368	23,32	7,56	9,85		89.199	16,85
3	Bibliothek	2.063	27,56	8,93	13,36	2.900	79.910	15,10
4	2 Hörsäle	285	9,35	3,03	32,81	1.167	10.911	2,06
5	10 Kursräume	641	19,91	6,46	31,06	711	14.156	2,67
6	RZ Maschraum	256	6,16	2,00	24,06	3.264	20.106	3,80
	ZwSumme B	5.613	86,30	27,98	15,37		214.282	40,48
7	Rest für Büros	6.073	222,15	72,02	36,58	1.418	315.023	59,52
	<i>Summe HNF</i>	9.318	285,12	92,44	30,60			
	<i>Summe Ver/San</i>	2.368	23,32	7,56	9,85	3.825	89.199	
	Summe Ges.	11.686	308,44	100,00	26,39	1.716	529.305	100,00

Tab. 12.2: Daten der Beleuchtungsanlage in den verschiedenen Betriebseinheiten

ZwSumme A umfaßt die nicht zur HNF gehörenden Betriebseinheiten Verkehrsflächen/Sanitärräume; ZwSumme B enthält alle erfaßten Betriebseinheiten. Die Daten in der Zeile »7 Rest für Büros« wurden aus den vorherigen Zeilen und den Gesamtsummen ermittelt (wobei der Gesamtstromverbrauch aus 12.1.2 übernommen wurde):

$$\begin{aligned}
 F_{\text{büros}} &= \text{HNF} - \text{Fläche}_{\text{ZwSummeB}} + \text{Fläche}_{\text{ZwSummeA}} \\
 P_{\text{büros}} &= P_1 - P_{\text{ZwSummeB}} \\
 V_{\text{alt,Büros}} &= V_{\text{alt}} - V_{\text{ZwSummeB}} \\
 B_{\text{büros}} &= V_{\text{alt,Büros}} / P_{\text{Büros}}
 \end{aligned}$$

Die in ZwSumme B erfaßten Betriebseinheiten decken ca. 40% des Stromverbrauchs von $V_{\text{alt}} = 529.305 \text{ kWh/a}$ ab. Die übrigen 60% entfallen somit auf die *Büros* ($V_{\text{alt,Büros}} = 315.023 \text{ kWh/a}$). Aus der anteiligen Leistung $P_{\text{Büros}} = 222,15 \text{ kW}$ ergibt sich eine Betriebsdauer von $B_{\text{Büros}} = 1.418 \text{ h/a}$. Geht man von 250 Arbeitstagen aus, bedeutet dies eine *tägliche*

Brenndauer von 5,7 Stunden, rechnet man sechs Wochen Urlaub ab (220 Tage), kommt man auf eine Brenndauer von 6,5 Stunden/Tag.

Als nächstes werden die ermittelten spezifischen Werte p_t mit den Soll-Werten e_t verglichen, die aus den in Tabelle 5.1 dargestellten Vorgaben der SIA 380/4 unter Beachtung der jeweiligen räumlichen Situation im AVZ-Gebäude hergeleitet wurden. In der folgenden Tabelle ist neben den oben erwähnten Werten auch die neu zu installierende Leistung P_{neu} dargestellt, die aus dem Einsparpotential berechnet wurde, das sich bei Vergleich der spezifischen Soll/Ist-Werte ergibt. Aus ihr wird in Kapitel 13 die Anzahl neu zu installierender Leuchten berechnet, indem die Gesamtleistung durch die Lampenleistung geteilt wird.

BE-Nr.	Betriebseinheit	Nennbel. stärke En [lx]	Ist-Lstg. P_{alt} [kW]	Ist-spez. Lstg. p_t [W/m ²]	Soll-spez. Lstg. e_t [W/m ²]	Einsparun pez.Leistg [%]	Leistung P_{neu} [kW]	Einsparung Verbr. V_{ein} [kWh]
1a	Verkehr/Foyer	50	2,20	9,09	4	56,00	0,97	4.712
1b	Verkehr/Flure	50	14,80	9,01	4	55,61	6,57	31.468
2	Sanitärräume	50	6,33	13,07	4	69,39	1,94	16.788
	<i>ZwSumme A</i>		23,32	9,85			9,47	52.969
3	Bibliothek	300	27,56	13,36	7	47,59	14,44	38.031
4	2 Hörsäle	500	9,35	32,81	16	51,23	4,56	5.590
5	10 Kursräume	300	19,91	31,06	5	83,90	3,21	11.877
6	RZ Masch'raum	300	6,16	24,06	4	83,38	1,02	16.764
	<i>ZwSumme B</i>		86,30	15,37			32,70	125.230
7	Rest für Büros	300	222,15	36,58	7	80,86	42,51	254.738
	Summe HNF		285,12	30,60	8	73,86	65,74	
	Summe Ver/San		23,32	9,85			9,47	
	Summe Ges.		308,44	26,39	8	75,62	75,21	379.969

Tab. 12.3: Soll-Ist-Werte der spezifischen Leistung und Einsparpotentiale der Beleuchtungsanlage

12.2.2 Stromverbrauch

Da für die einzelnen Betriebseinheiten, wie oben beschrieben, die Betriebszeiten ermittelt wurden, läßt sich leicht der *Stromverbrauch* pro Betriebseinheit und das Einsparpotential berechnen. Letzteres ist ebenfalls in Tab. 12.3 dargestellt. Zählt man alle Einsparungen zusammen, erhält man den Wert

$$V_{ein} = 379.968 \text{ kWh/a}$$

Er liegt um 11.095 kWh über dem Wert auf Gebäudeebene. Bezogen auf den in 12.1.2 errechneten Stromverbrauch von $V_{alt} = 529.305 \text{ kWh/a}$ ergibt sich eine potentielle Einsparung von $Ein_v = 71,8\%$. Der neue Stromverbrauch errechnet sich zu

$$V_{neu} = V_{alt} - V_{ein} = 542.803 \text{ kWh/a} - 391.216 \text{ kWh/a} = 151.587 \text{ kWh/a.}$$

Vergleicht man die eingesparte *Leistung*

$$P_{\text{ein}} = 233,23 \text{ kW}$$

mit der ursprünglichen Leistung von $P_{\text{alt}} = 308,44 \text{ kW}$, ergibt sich eine Leistungseinsparung von $\text{Ein}_p = 75,62\%$, was etwas über dem in 12.1.2 ermittelten Wert $\text{Ein}_{p,2} = 69,69\%$ liegt. Das zeigt die Notwendigkeit, Einsparanalysen auf der Ebene der *Betriebseinheiten* durchzuführen.

12.2.3 CO₂-Ausstoß

Aus der eingesparten Strommenge V_{ein} ergeben sich somit nach Formel 4.3 Einsparungen bei den CO₂-Emissionen von

$$C_{\text{ein}} = 379,968 \text{ MWh/a} * 0,864 \text{ t/MWh} = 328,29 \text{ t/a}$$

12.3 Zusammenfassung

Aufgrund der genaueren Werte, die durch eine Betrachtung auf der Ebene der Betriebseinheiten erreicht werden können, werden im folgenden die in Kapitel 12.2 in Anlehnung an SIA 380/4 errechneten Werte als Grundlage genommen. Tabelle 12.4 faßt noch einmal die wichtigsten Daten zusammen, Abbildung 12.2 zeigt jeweils den alten und neuen Wert und die Höhe der Einsparung.

Leistung relevante Leuchten:	$P_{\text{alt}} = 308,44 \text{ kW}$
Einsparung Leistung absolut:	$P_{\text{ein}} = 233,23 \text{ kW}$
Leistung neu:	$P_{\text{neu}} = 75,21 \text{ kW}$
Einsparung Leistung prozentual:	$\text{Ein}_p = 75,62\%$
spezifische Leistung:	$p_{\text{alt}} = 26,39 \text{ W/m}^2$
spezifische Leistung neu:	$p_{\text{neu}} = 6,4 \text{ W/m}^2$
Stromverbrauch relevante Leuchten:	$V_{\text{alt}} = 529.305 \text{ kWh/a}$
Einsparung Stromverbrauch:	$V_{\text{ein}} = 379.968 \text{ kWh/a}$
Stromverbrauch neu:	$V_{\text{neu}} = 149.337 \text{ kWh/a}$
durchschnittl. Einsparpotential:	$\text{Ein}_v = 71,8\%$
Betriebsdauer:	$b_{\text{rel}} = 1.716 \text{ h/a}$
CO ₂ -Emissionen:	$C_{\text{alt}} = 457,32 \text{ t/a}$
Einsparung CO ₂ -Emissionen:	$C_{\text{ein}} = 328,29 \text{ t/a}$
CO ₂ -Emissionen neu:	$C_{\text{neu}} = 129,03 \text{ t/a}$
Stromverbrauch AVZ:	$V_{\text{avz}} = 1.098.474 \text{ kWh/a}$
Anteil rel. Beleuchtung:	$\text{Bel} = 48,3\%$

Tab. 12.4: Einsparpotentiale der Beleuchtungsanlage AVZ

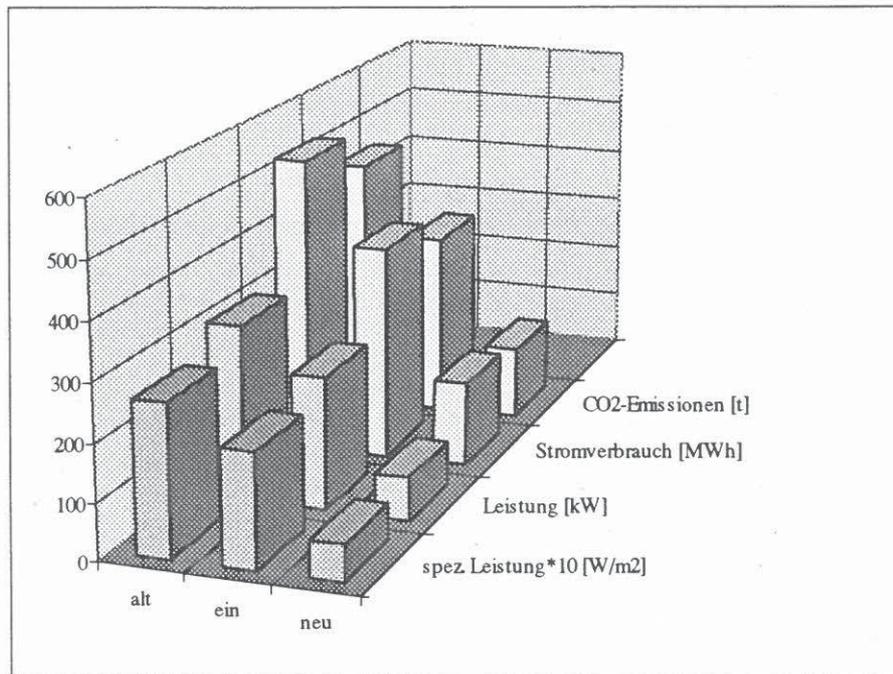


Abb. 12.2: Einsparpotentiale der Beleuchtungsanlage AVZ

13 Planung einer neuen Beleuchtungsanlage

Aufgrund der ermittelten Einsparpotentiale und der neu zu installierenden Leistung P_{neu} kann nun mit der Planung und Dimensionierung einer neuen Beleuchtungsanlage begonnen werden. Wie aus dem letzten Kapitel ersichtlich, beruht diese Planung auf einer verfeinerten Grobanalyse und stellt noch keine ingenieurmäßige Projektierung dar.

Die Anpassung der Leuchten an das vorgegebene Raster wird aufgegeben, da die 36 W- und 58 W-Lampen der handelsüblichen Leuchten länger als eine Rastereinheit sind und ein 1:1 Austausch aus den oben beschriebenen Gründen sowieso nicht in Frage kommt. Stattdessen werden Tragschienen verwendet.

Ziel sollte sein, die Gesamtkosten (Investitions- und laufende Kosten) zu minimieren. Insbesondere eine mögliche Energiesteuer könnte die Strompreise merkbar steigen lassen, so daß bei einer Standzeit der Beleuchtungsanlage von 15 Jahren längerfristig kalkuliert werden muß (siehe Kapitel 6.2). Um in Zukunft laufende Kosten zu sparen, müssen daher evtl. höhere Investitionskosten in Kauf genommen werden.

Zur Auswahl stehen Kombinationen von 1-flammigen und 2-flammigen Leuchten mit 36 W- und 58 W-Lampen. Bei der Auswahl muß beachtet werden, daß es billiger ist, eine 2-flammige anstatt zwei 1-flammige Leuchten zu kaufen; zwischen Leuchten mit 36 W-Lampen und solchen mit 58 W-Lampen gibt es jedoch praktisch keinen Preisunterschied. Das billigste wäre es daher, nur 2-flammige Leuchten mit 58 W-Lampen zu kaufen. Das bringt aber Schwierigkeiten mit der Aufteilung der Leuchten in bestimmten Räumen mit sich, so daß die spezifische Leistung zu hoch werden kann.

13.1 Auswahl der Leuchten

Die benötigte Anzahl der neuen Leuchten wird berechnet, indem die ermittelte neue Leistung P_{neu} [W] durch die gewünschte Lampenleistung [W] geteilt wird. Als Leuchtentypen wurden *Parabol-Spiegelrasterleuchten* ausgewählt, die zur »anspruchsvollen, reflexblendfreien Beleuchtung von Arbeitsplätzen mit Bildschirmunterstützung« gedacht sind. Anstatt vorher 3.114 Leuchten mit 5.608 Lampen bei einer Gesamtleistung von 308,44 kW werden jetzt nur noch 1.072 Leuchten mit 1.618 Lampen bei einer Leistung von 76,50 kW benötigt. Dabei ist zu beachten, daß dieses Verfahren noch keine Feinanalyse darstellt und wegen der relativ kleinen Büroräume evtl. mehr Leuchten vorgesehen werden müssen als rechnerisch über die gesamte Fläche gemittelt (bei berechneten 1,4 Leuchten müssen z.B. zwei Leuchten installiert werden).

13.2 Investitionskosten der neuen Anlage

Grundlage für die Berechnung der Investitionskosten sind nur grobe Daten. Bei einer konkreten Durchführung dieser Maßnahme muß daher eine genauere Kostenrechnung durchgeführt werden. Die Installation verläuft über Tragprofile, die von Wand zu Wand gelegt werden. Sie werden in die bisher schon vorhandenen Schienen des Rasters montiert. An diese Tragprofile werden die Leuchten angeschraubt.

Die Kosten für EVGs wurden unterteilt in EVGs für 1- und 2-flammige Leuchten. Die Stadt Georgsmarienhütte mußte für die EVGs ihrer 1-flammigen Leuchten 75 DM pro Stück bezahlen (GMH 1993, S. 16). Nach Angaben in SWH 1993a, S. 46 kosten EVGs für 2-flammige Leuchten ca. 45 DM pro Stück zusätzlich.¹³ Beide Werte wurden hier um fünf DM niedriger angesetzt, da die Universität bei der großen Stückzahl Rabatte bekommen dürfte.

In GMH 1993 werden 400 DM für eine Regelungseinheit der TAR berechnet. Der Wert wird hier übernommen und für alle 10 Kursräume, die beiden Hörsäle und die vier Flügel der Bibliothek eine tageslichtabhängige Regelung vorgesehen. Alle noch vorhandenen PCB-haltigen Kondensatoren sowie evtl. durch PCB verseuchte Leuchten müssen als Sondermüll entsorgt werden (siehe Kapitel 1.3.1).

Insgesamt fallen *Investitionskosten* K_{inv} von ca. 562.000 DM an.

Hinzu kommen noch Planungskosten (Kosten der Feinanalyse, der konkreten Planung und der Vorplanung durch diese Arbeit). Berechnet wurden die Kosten der Gesamtinvestition (zum Unterschied zu den energiebedingten Investitionskosten siehe Kapitel 3.1). In dieser Arbeit wurde auf eine Trennung der Investitionen verzichtet, da keine geeignete Datengrundlage zur Verfügung stand; außerdem ist aufgrund der finanziellen Situation des Landes weder die eine noch die andere Investition ohne ein Contracting-Verfahren möglich.

14 Einsparung an Betriebskosten

Im folgenden wird analog zu den Kapiteln 6.2–6.4 berechnet, welche Einsparungen sich durch die neue Beleuchtungsanlage bei den einzelnen Betriebskosten ergeben. Die Stromkosteneinsparung wird aufgrund der erwähnten Unsicherheiten nicht über den Weg der Mittelwertfaktoren errechnet. Stattdessen wird anhand der Stromrechnung aus 1994 verglichen, wie hoch die Rechnung ausgefallen wäre, wenn die Einsparungen schon 1994 eingesetzt hätten,

¹³ Leuchten werden bisher in der Regel mit eingebauten verlustarmen Vorschaltgeräten geliefert. Die genannten Preise beziehen sich auf den Zukauf der EVGs, die nachträglich eingebaut werden müssen.

und die so berechnete Stromkosteneinsparung als Grundlage genommen. Dafür muß jedoch zunächst der aktuelle Stromvertrag erläutert werden.

14.1 Erläuterung des Stromvertrages

Der gesamte von den Stadtwerken gelieferte Strom wird über einen Hauptzähler in die benachbarte Fachhochschule eingespeist und von dort weiterverteilt. Die FH, die auch die Energiekosten für die Uni abrechnet, hat mit den Stadtwerken einen *leistungsfreien Zonenpreisvertrag* (sog. *Z-Vertrag*) abgeschlossen, der seit dem 1.7.90 gilt. Wie der Name schon sagt, braucht die Universität nicht den sonst üblichen Leistungspreis zu bezahlen; die Jahreshöchstleistung fließt allerdings in einen Rabatt mit ein (siehe unten). Ebenso wird der Stromverbrauch zwar nach Hoch- (HT) und Niedertarif (NT) getrennt erfaßt, aber es wird nur ein einheitlicher Arbeitspreis berechnet.

Die *Stromrechnung* setzt sich folgendermaßen zusammen:¹⁴

	Arbeitspreis	siehe unten
-	Gesamtnachlaß	siehe unten
+	Verrechnungspreis Zähler	35 DM/Monat
+	Ausgleichsabgabe	9%
+	MWSt	15%
=	Gesamtbetrag	

Die *Arbeitspreise* werden nach Zonen gestaffelt erhoben; seit 1.3.1994 betragen die Brutto-Arbeitspreise für die bezogene elektrische Leistung für

- die ersten 204.000 kWh/a 27,35 Pf/kWh,
- die weiteren 780.000 kWh/a 25,14 Pf/kWh,
- alle weiteren kWh/a 22,61 Pf/kWh.

Der *Gesamtnachlaß* setzt sich aus drei verschiedenen Rabatten zusammen:

a) Benutzungsdauerrabatt

Beträgt in einem Abrechnungsjahr die Benutzungsdauer der Jahreshöchstleistung mehr als 1.000 Stunden, wird ein Benutzungsdauerrabatt R_H gewährt (max. 9%):

$$R_H = 4,4 * (H - 1.000) / 1.000$$

Dabei bedeutet H die Benutzungsdauer der Jahreshöchstleistung in [h/a]; sie wird durch Division der im Abrechnungsjahr bezogenen Arbeit [kWh] durch die Jahreshöchstleistung [kW] ermittelt und auf volle Stunden/Jahr gerundet. Als Jahreshöchstleistung gilt das Mittel aus den beiden höchsten im Abrechnungsjahr aufgetretenen Monatshöchstleistungen. Als Monatshöchstleistung gilt der höchste innerhalb eines Monats in Anspruch genommene Mittelwert der Wirkleistung.

¹⁴ Bis Februar 1994 wurde noch zusätzlich ein Umweltschutzkosten-Aufschlag von 1,07 Pf/kWh erhoben. Die Ausgleichsabgabe (Kohlepfennig) fällt ab 1.1.1996 weg.

Bei konstantem Stromverbrauch wird R_H um so größer, je kleiner die Jahreshöchstleistung ausfällt (Anreiz zur Reduzierung der Jahreshöchstleistung). Andererseits steigt R_H auch um so mehr an, je mehr Strom insgesamt verbraucht wird.

b) Niedertarifrabatt

Der Niedertarifrabatt R_{NT} errechnet sich aus

$$R_{NT} = 0,32 * Na$$

Darin bedeutet Na der Strombezug während der Niedertarifzeit in Prozent des gesamten Strombezuges im Abrechnungsjahr. Je größer Na wird, um so größer wird auch der Rabatt, was einen Anreiz darstellt, die Spitzenlast am Tage zu reduzieren.

c) Jahreszeitenausgleich

Bei einem Strombezug mit einem Sommeranteil von mehr als 40% wird folgender *Sommer-rabatt* R_{SO} gewährt:

$$R_{SO} = 12 * (1 - 40 / So)$$

mit So = Strombezug im tariflichen Sommer in Prozent des gesamten Strombezuges im Abrechnungsjahr.

Bei einem Strombezug mit einem Winteranteil von mehr als 60 Prozent wird folgender *Winterzuschlag* Z_{WI} berechnet:

$$Z_{WI} = 6 * (Wi - 60)/(Wi - 40)$$

mit Wi = Strombezug im tariflichen Winter in Prozent des gesamten Strombezuges im Abrechnungsjahr.

Mit steigendem Sommeranteil steigt der Jahreszeitenausgleich an; mit steigendem Winteranteil verringert er sich, was zusammen genommen einen Anreiz darstellt, die Spitzenlast im tariflichen Winter abzubauen.

Als Tarifzeiten werden angesetzt:

	<i>tariflicher Sommer</i> (März – September)	<i>tariflicher Winter</i> (Oktober – Februar)
<i>Hochtarifzeit</i> (HT)	7 Uhr – 18 Uhr	6 Uhr – 21 Uhr
<i>Niedertarifzeit</i> (NT)	18 Uhr – 7 Uhr	21 Uhr – 6 Uhr

14.2 Stromkostensparnis durch die neue Beleuchtungsanlage

In der folgenden Tabelle wird dargestellt, wie sich eine Einsparung der potentiellen $V_{ein} = 379.968$ kWh schon 1994 auf die Gesamtrechnung ausgewirkt hätte. Da die Grundlagen der verschiedenen Rabatte von den einzelnen Einsparmengen abhängen, ist es nicht einfach mög-

lich, die eingesparten Stromkosten $k_{\text{strom,ein}}$ [DM/a] über das Produkt aus V_{ein} [kWh/a] und dem (Durchschnitts-)Preis einer Kilowattstunde p_k [DM/kWh] zu berechnen. Vielmehr müssen zunächst die einzelnen Rabatte ausgerechnet werden.

Dazu werden auch der Nacht- und Sommeranteil der Einsparung benötigt. V_{ein} setzt sich zusammen aus 4,8% Nachtanteil (NT) und 95,2% Taganteil (HT) sowie aus 51,6% Sommer- und 48,4% Winteranteil. Weiterhin muß berücksichtigt werden, daß die neue Jahreshöchstleistung nicht gleich der alten Jahreshöchstleistung minus der eingesparten Leistung P_{ein} ist. Dies wäre nur dann der Fall, wenn alle Leuchten zum Zeitpunkt der Höchstlast angeschaltet wären. Das ist jedoch nicht so, vielmehr gilt für die eingesparte Jahreshöchstleistung $P_{\text{ein,max}}$

$$P_{\text{ein,max}} = P_{\text{ein}} * GF$$

mit dem *Gleichzeitigkeitsfaktor* GF , $0 < GF < 1$. Der GF besagt, wieviel Prozent der Lampenleistung gleichzeitig mit der Hauptlast auftritt. Nach dem Leistungsverlauf des AVZs wird die Hauptlast kurz nach 12 Uhr erreicht (zu dem Zeitpunkt wird die große Spülmaschine der Mensa eingeschaltet). Es muß daher berechnet werden, wieviel Prozent der Leuchten gegen 12 Uhr in Betrieb sind.

Aus Tabelle 12.2 ist ersichtlich, daß 20–30% der Leuchten den ganzen Tag lang brennen (Betriebseinheit 1a, 1b, 2, 3, 4, 6 und 5 teilweise). Dazu kommen die Büroräume, in denen nur zum Teil mittags die Beleuchtung eingeschaltet sein dürfte, so daß in Übereinstimmung mit dem Technischen Dienst ein Gesamtwert von 60% angenommen wird, d.h. $GF = 0,6$.

Daher beträgt

$$P_{\text{ein,max}} = 233,23 \text{ kW} * 0,6 = 140 \text{ kW.}$$

Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle dargestellt:

Verbrauchs-Einsparung	379.969 kWh, davon			
Nachtanteil	18.238 kWh = 4,8 %			
Taganteil	361.730 kWh = 95,2 %			
Sommeranteil	196.064 kWh = 51,6 %			
Winteranteil	183.905 kWh = 48,4 %			
Leistungs-Einsparung	233 kW, davon			
auf Jahreshöchstleistung anrechenbar	140 kW = 60 %			
		1994	1994 mit Einsparung	
			Veränderung	
Benutzungsdauer der Höchstleistung [h]		3.055	3.080	25
Nachtanteil [%]		34,23	36,12	1,89
Sommeranteil [%]		62,40	63,09	0,69
>				
Benutzungsdauerrabatt [%]		9,00	9,10	
Niedertarifrabatt [%]		10,90	11,50	
Jahreszeitenausgleich [%]		4,30	4,30	
Gesamtnachlaß [%]		24,20	24,90	0,70
Jahreshöchstleistung [kW]		2.063	1.923	-140
HT-Jahresverbrauch [kWh]		4.145.200	3.783.470	-361.730
NT-Jahresverbrauch [kWh]		2.157.400	2.139.162	-18.238
Gesamtjahresverbrauch [kWh]		6.302.600	5.922.631	-379.969
Gesamtkosten [DM]		1.385.166,51	1.291.386,49	-93.780
Durchschnittspreis [Pf/kWh]		21,98	21,80	

Tab. 14.1: Berechnung der 1994 möglich gewesen Stromkosteneinsparung

1994 wurden 6.302.600 kWh über diesen Zähler verbraucht. Der durchschnittliche Strompreis betrug somit nach 25 Pf/kWh in 1990 wie auch in den letzten vier Jahren 22 Pf/kWh. Der niedrige Strompreis ergibt sich durch die große Abnahmemenge aller Gebäude am Westerberg zusammen. Durch die eingesparte Strommenge von $V_{\text{ein}} = 379.968 \text{ kWh}$ sinkt die Stromrechnung um $k_{\text{strom,ein}} = 93.780 \text{ DM}$. $k_{\text{strom,ein}}$ setzt sich zusammen aus

$$k_{\text{strom,ein}} = k_{\text{strom,ein,k}} + k_{\text{strom,ein,rab}} = 83.508 \text{ DM} + 10.272 \text{ DM}$$

$k_{\text{strom,ein,k}}$ sind die direkt eingesparten Stromkosten (berechnet über den alten Durchschnittspreis $p_{\text{kalt}} = 22 \text{ Pf/kWh}$, multipliziert mit der eingesparten Strommenge V_{ein}). $k_{\text{strom,ein,rab}}$ ist der Einfluß der Rabatte. Die Höhe ergibt sich aus der verringerten Jahreshöchstleistung von 1.923 kW anstatt 2.063 kW, dem höheren Nachtanteil von 36,1% anstatt 34,2% und dem höheren Sommeranteil von 63,1% anstatt 62,4%. Der Gesamtnachlaß hat sich entsprechend von 24,2% auf 24,9% erhöht.

Als Ergebnis bleibt festzuhalten:

$$\begin{aligned} k_{\text{strom,ein}} &= 93.780 \text{ DM/a,} \\ k_{\text{strom,neu}} &= V_{\text{neu}} * p_{\text{kalt}} = 32.854 \text{ DM/a,} \\ \Rightarrow k_{\text{strom,ist}} &= k_{\text{strom,ein}} + k_{\text{strom,neu}} = 126.634 \text{ DM/a} \end{aligned}$$

14.3 Leuchtmittel-Austauschkosten

Alte Leuchten:

Der Preis der bisher im AVZ verwendeten 38 W-Lampen beträgt *10,50 DM je Lampe*. Für die Entsorgung als *Sondermüll* müssen *2,50 DM je Lampe* kalkuliert werden, so daß sich als Gesamtpreis ergibt

$$Plampe,alt,1 = 13 \text{ DM/Lampe.}$$

Nach Gleichung 6.1 gilt

$$Ppers,alt,1 = 2,45 \text{ DM/Lampe.}$$

Aus Gleichung 6.2 und 6.3 folgt

$$\begin{aligned} Plampe,neu,1 &= Plampe,alt,1 * 1,22 = 13 \text{ DM/Lampe} * 1,22 = 15,86 \text{ DM/Lampe} \\ Ppers,neu,1 &= 3,70 \text{ DM/Lampe.} \end{aligned}$$

Neue Leuchten:

Der Preis einer neuen Lampe beläuft sich auf *4,50 DM*, die *Entsorgungskosten* betragen weiterhin *2,50 DM/Lampe*. Der Gesamtpreis beträgt somit

$$Plampe,alt,2 = 7 \text{ DM/Lampe.}$$

Nach Gleichung 6.4 gilt

$$Ppers,alt,2 = 1,30 \text{ DM/Lampe,}$$

so daß aus Gleichung 6.5 und 6.6 folgt

$$\begin{aligned} Plampe,neu,2 &= Plampe,alt,2 * 1,22 = 7 \text{ DM/Lampe} * 1,22 = 8,54 \text{ DM/Lampe} \\ Ppers,neu,2 &= 1,96 \text{ DM/Lampe.} \end{aligned}$$

Nach Gleichung 12.1 werden zur Zeit $r_{alt} = 1.283$ bzw. $aus_{alt} = 22,9 \%$ aller Lampen pro Jahr ausgetauscht. Die neue Anzahl Lampen wurde in Kapitel 13.1 mit $R_{neu} = 1.617$ Stück ermittelt. Nach Gleichung 6.7 ergibt sich als Anzahl jährlich auszutauschender Lampen

$$r_{neu} = \frac{R_{neu} * aus_{alt} * 7500}{12000} = \frac{1617 * 0,229 * 7500}{12000} = 232 \text{ Lampen/a.}$$

Die alten und neuen jährlichen Austauschkosten k_{aus} belaufen sich somit nach Gleichung 6.8–6.10 auf

$$\begin{aligned} k_{aus,ist} &= r_{alt} * (Plampe,neu,1 + Ppers,neu,1) = 1.283 \text{ Lampen/a} * 19,56 \text{ DM/Lampe} \\ &= 25.095 \text{ DM/a,} \\ k_{aus,neu} &= r_{neu} * (Plampe,neu,2 + Ppers,neu,2) = 232 \text{ Lampen/a} * 10,50 \text{ DM/Lampe} \\ &= 2.436 \text{ DM/a,} \\ k_{aus,ein} &= k_{aus,ist} - k_{aus,neu} = 22.659 \text{ DM/a} = 90,3\% \end{aligned}$$

Die Einsparung im 1. Jahr (Rechnung mit Mittelwertfaktoren=1) beträgt 17.897 DM. Rechnet man nur die wirklich meßbaren Beschaffungs- und Entsorgungskosten der Lampen (ohne Personalaufwand), ergeben sich folgende Werte:

$$\begin{aligned} k_{aus,ist,teil} &= r_{alt} * Plampe,neu,1 = 1.283 \text{ Lampen/a} * 15,86 \text{ DM/Lampe} \\ &= 20.348 \text{ DM/a,} \\ k_{aus,neu,teil} &= r_{neu} * Plampe,neu,2 = 232 \text{ Lampen/a} * 8,54 \text{ DM/Lampe} \\ &= 1.981 \text{ DM/a,} \\ k_{aus,ein,teil} &= k_{aus,ist,teil} - k_{aus,neu,teil} = 18.367 \text{ DM/a} = 90,3\% \end{aligned}$$

14.4 Wartungskosten

Zur Berechnung der alten und neuen jährlichen Wartungskosten k_{wart} werden die in Gleichung 6.11 – 6.14 angegebenen Wartungskosten pro Leuchte in Gleichung 6.15 und 6.16 eingesetzt. Mit der alten und neuen Leuchtenzahl ($L_{alt} = 3.114$ Leuchten, $L_{neu} = 1.071$ Leuchten) belaufen sie sich somit auf

$$\begin{aligned} k_{wart,ist} &= L_{alt} * p_{wart,neu,1} = 3.114 \text{ Leuchten/a} * 9,51 \text{ DM/Leuchte} \\ &= 29.614 \text{ DM/a,} \\ k_{wart,neu} &= L_{neu} * p_{wart,neu,2} = 1.071 \text{ Leuchten/a} * 5,89 \text{ DM/Leuchte} \\ &= 6.308 \text{ DM/a,} \\ k_{wart,ein} &= k_{wart,ist} - k_{wart,neu} = 23.306 \text{ DM/a} = 78,7\% \end{aligned}$$

Die Einsparung im 1. Jahr (Rechnung mit Mittelwertfaktor=1) beträgt 15.434 DM.

14.5 Zusammenfassung

In folgender Tabelle sind alle in den vorherigen Kapiteln berechneten jährlichen Betriebskosten zusammenfassend dargestellt:

Kostenart	ist	neu	Einsparung	Einsparung 1. Jahr
Stromkosten	126.634	32.854	93.780	93.780
Austauschkosten	25.095	2.436	22.659	17.897
Wartungskosten	29.614	6.308	23.306	15.434
Summe	181.343	41.598	139.745	127.111

Tab. 14.2: Jährlich anfallende Betriebskosten (in [DM])

In der Realität kann jedoch mit dieser Aufstellung nicht gerechnet werden, da bisher die in den Austauschkosten enthaltenen Personalkosten nicht getrennt berechnet wurden. Wartungskosten fielen zudem nicht an, da die bisherigen Leuchten sich selbst überlassen blieben. Von den Wartungskosten her dürften daher bei einer neuen Beleuchtungsanlage eher zusätzliche Kosten auf die Universität zukommen, da Spiegelrasterleuchten auf jeden Fall gereinigt werden sollten.

Weitere jährliche Kosten fallen mit der Rückzahlung der Investition an, auf die im folgenden eingegangen wird.

15 Kapitaldienst

Ausgehend von den in Kapitel 13.2 angegebenen Investitionskosten K_{inv} und der in Kapitel 14.2 errechneten Stromkosteneinsparung $k_{strom,ein}$ wird im folgenden nach den Formeln 7.3 und 7.4 der nötige Kapitaldienst ermittelt. Die Rechnung wird durchgeführt für die beiden Fälle, daß entweder der gesamte Einspargewinn (15.1) oder nur 80% (15.2) für die Rückzahlung zur Verfügung stehen.

15.1 Rechnung mit gesamtem Einspargewinn

$$\begin{aligned}
 K_{inv} &= 562.000 \text{ DM} \\
 K_{ein} = k_{strom,ein} &= 93.780 \text{ DM} \\
 i &= 8\% \\
 \Rightarrow j &= 1,08 \\
 A = K_{ein} / K_{inv} &= 0,1669
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Aus Gleichung 7.3 folgt die Laufzeit} & \quad n = 8,48 \text{ Jahre,} \\
 \text{aus Gleichung 7.4 der Kapitaldienst} & \quad Kap_{100} = 795.263 \text{ DM.}
 \end{aligned}$$

15.2 Rechnung mit 80% des Einspargewinns

$$\begin{aligned}
 K_{inv} &= 562.000 \text{ DM} \\
 K_{ein} = 0,8 * k_{strom,ein} &= 75.024 \text{ DM} \\
 i &= 8\% \\
 \Rightarrow j &= 1,08 \\
 A = K_{ein} / K_{inv} &= 0,1335
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Aus Gleichung 7.3 folgt die Laufzeit} & \quad n = 11,9 \text{ Jahre,} \\
 \text{aus Gleichung 7.4 der Kapitaldienst} & \quad Kap_{80} = 892.786 \text{ DM.}
 \end{aligned}$$

Aufgrund der im Vergleich zum ersten Fall längeren Laufzeit müssen somit bei einer Aufteilung von 20:80 um 97.523 DM höhere Kapitalkosten bezahlt werden. Es könnte daher der Einwand gemacht werden, zunächst den gesamten Einspargewinn zur Rückzahlung zu verwenden, um so Kapitalkosten zu sparen, und der Universität ihren Anteil erst nach Ablauf des Contractings zuzuteilen. Der Vorteil der frühen Beteiligung der Universität an dem Einspargewinn ist jedoch, daß über die Zweckbindung der Gelder für Energiesparmaßnahmen auch schon in den ersten 8,5 Jahren *jährlich* weitere und jedes Jahr höhere finanzielle Einsparungen entstehen. Dadurch dürfte der zunächst recht hoch erscheinende Verlust mehr als aufgehoben werden.

16 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Die folgenden Berechnungen basieren auf den *Gesamtinvestitionen*. Von ihnen müßten vorher die Investitionen abgezogen werden, die sowieso nötig wären, um die vorgeschriebenen Normen, Richtlinien und die Arbeitsstätten-Verordnung einzuhalten. Die Energiekosteneinsparung sollte dann nur mit den tatsächlich für Verbesserungen der Energieeffizienz nötigen Investitionen verrechnet werden, so daß sich günstigere Werte ergäben. Wie in Kapitel 13.2 erwähnt, konnte dies wegen fehlender Daten nicht durchgeführt werden.

Jede der Kenngrößen wird für die drei Fälle

- $K = K_{inv}$
- $K = Kap_{100}$
- $K = Kap_{80}$

ausgewertet, um die Unterschiede deutlich zu machen.

Anmerkung: In Fall c) wird im folgenden nicht berücksichtigt, daß der Uni bei Aufteilung der Einsparung jedes Jahr 18.756 DM ($= 0,2 * k_{strom,ein}$) für weitere Energiesparmaßnahmen zur Verfügung stehen und somit die im folgenden verwendeten Werte für K_{ein} und V_{ein} zu niedrig angesetzt sind. Die entsprechenden Kenngrößen werden bei längerfristiger Betrachtungsweise daher günstiger ausfallen.

16.1 Amortisationszeit (t_A)

Aufgrund der in den Kapiteln 14.2 und 15 ermittelten Daten ergibt sich mit Formel 8.1:

K	[DM]	K_{inv} 562.000	Kap_{100} 795.263	Kap_{80} 892.786
K_{ein}	[DM]	93.780	93.780	93.780
$t_A = \frac{K}{K_{ein}}$	[a]	6,0	8,5	9,5

Im Fall c) wird für K_{ein} ebenfalls der volle Wert angesetzt, da die restlichen 20% trotzdem, nur für andere Zwecke, zur Verfügung stehen (siehe Kapitel 11). Die geforderte Amortisationszeit (3–10 Jahre) wird somit eingehalten.

16.2 Kosten pro eingesparter Kilowattstunde ($K_{spez,kwh}$)

Als Nutzungsdauer (Standzeit) von Beleuchtungsanlagen werden im allgemeinen 15 Jahre angenommen (HMUEB 1993, S.145), so daß sich nach Formel 8.3 folgende Aufstellung ergibt:

K	[DM]	K_{inv} 562.000	Kap₁₀₀ 795.263	Kap₈₀ 892.786
V _{ein}	[kWh]	379.968	379.968	379.968
V _{ein,15} =V _{ein} * 15	[kWh]	5.699.520	5.699.520	5.699.520
$K_{spez,kwh} = \frac{K}{V_{ein,15}}$	[Pf/kWh]	9,9	14,0	15,7

Unsere Werte liegen somit in dem ermittelten Rahmen von 9,0 bis 14,8 Pf/kWh (bzgl. des *einsparbedingten* Kostenanteils, einer Nutzungsdauer von 15 Jahren und Fall b : K = Kap₁₀₀); sie sind weit niedriger als der zur Zeit von der Universität zu zahlende Strompreis von pk = 22 Pf/kWh.

16.3 Kosten pro eingesparter Tonne an CO₂-Emissionen (K_{spez,CO₂})

Die jährlich vermiedenen CO₂-Emissionen C_{ein} wurden in Kapitel 12.2.3 schon berechnet (C_{ein} = 328,29 t mit c = 0,864 t/MWh), so daß sich nach Formel 8.4 folgende Werte ergeben:

K	[DM]	K_{inv} 562.000	Kap₁₀₀ 795.263	Kap₈₀ 892.786
C _{ein}	[t]	328,29	328,29	328,29
C _{ein,15} = C _{ein} * 15	[t]	4.924,35	4.924,35	4.924,35
$K_{spez, CO_2} = \frac{K}{C_{ein,15}}$	[DM/t]	114	162	181

Als Vergleichswert (bzgl. des *einsparbedingten* Kostenanteils) wird in MEIXNER 1994 217 DM/t bzgl. eines Faktors c = 0,784 t/MWh angegeben. In unserem Beispiel ergäben sich mit diesem Faktor 4.468 vermiedene Tonnen CO₂ und spezifische Werte von 126 über 178 bis 200 DM/t.

Geht man von den Berechnungen in HMUEB 1994e, S. 57 aus, kann man aus den Tabellen einen Faktor c = 0,604 t/MWh ermitteln. Mit diesem Faktor ergäben sich für unser Beispiel K_{spez,CO₂}-Werte von 163 über 231 bis 259 DM/t bei 3.443 vermiedenen Tonnen CO₂. Für die untersuchten kommunalen Gebäude werden Werte von 165 bis 246 DM/t (bzgl. des *einsparbedingten* Kostenanteils, einer Nutzungsdauer von 15 Jahren und Fall b : K = Kap₁₀₀) angegeben, so daß unser Wert (umgerechnet 231 DM/t) noch in dem Rahmen liegt.

16.4 Nutzen/Kosten-Verhältnis (NK)

Aus unseren Werten folgt mit Gleichung 8.5 (Vergleichswerte hierzu sind nicht angegeben):

K	[DM]	K_{inv} 562.000	Kap₁₀₀ 795.263	Kap₈₀ 892.786
Kosten	[DM]	–	93.780	75.024
Nutzen	[DM]	139.745	139.745	139.745
$NK = \frac{Nutzen}{Kosten}$	[-]	–	1,49	1,85

16.5 Zusammenfassung

In der folgenden Tabelle werden die vier Kriterien noch einmal auf einen Blick dargestellt:

Wirtschaftlichkeit der neuen Anlage				
K	[DM]	K _{inv} 561.852	Kap100 795.263	Kap80 892.786
t _A	[a]	6	8,5	9,5
K _{spez,kwh}	[Pf/kWh]	9,9	14	15,7
K _{spez,CO2}	[DM/t]	114	162	181
NK	[-]	-	1,49	1,85

Tab. 16.1: Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Wie in Kapitel 8.5 schon erwähnt, galt zur Einschätzung der Wirtschaftlichkeit bei den hessischen Modelluntersuchungen der Grundsatz: »Jede Maßnahme, die die gewünschte Energiedienstleistung zu geringeren Kosten erbringen kann als der Energiebezug, ist wirtschaftlich.« (HMUEB 1994e, S. 66) Wie oben dargestellt, trifft dies auch auf die neue Beleuchtungsanlage zu, deren Einsparkosten mit $K_{\text{spez,kwh}} = 14$ Pf/kWh um ca. ein Drittel niedriger liegen als der Energiebezug. Die Amortisationszeit von $t_A = 8,5$ Jahren ist ebenfalls günstig, insbesondere wenn man berücksichtigt, daß die elektronischen Vorschaltgeräte mit einbezogen sind. Bezüglich der CO₂-Einsparkosten liegt der Wert $K_{\text{spez,kwh}} = 162$ DM/kWh im Rahmen vergleichbarer Sanierungen.

Alle Kennwerte müssen unter dem Aspekt gesehen werden, daß sie bezüglich der *Gesamtinvestition* gelten, wogegen man unter Einsparkosten nur diejenigen Kosten berücksichtigen dürfte, die direkt als Zusatzkosten für die effizientere Beleuchtung der Energieeinsparung zuzurechnen sind. Von daher fallen die Werte bei realistischer Betrachtung noch günstiger aus.

Es kann daher folgendes Fazit gezogen werden:

Die Sanierung der Beleuchtungsanlage ist, allein unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten gesehen, zu empfehlen.

17 Zusammenfassender Vergleich alte/neue Anlage

Im folgenden werden noch einmal die wichtigsten Daten bezüglich der alten und neuen Beleuchtungsanlage zusammengefaßt.

		alte Anlage	Einsparung		neue Anlage
			absolut	prozentual	
1. Energieverbrauch, CO2-Emissionen:					
Anschlußwert gesamt	[kW]	308,44	231,94	75,20	76,5
spezifische Leistung	[W/m ²]	26,39	19,99	75,75	6,4
Jahresstromverbrauch	[kWh]	529.305	379.968	71,79	149.337
CO2-Emissionen	[t]	457,32	328,29	71,79	129,03
2. Jährliche Betriebskosten:					
Stromkosten	[DM]	126.634	93.780	74,06	32.854
Austauschkosten	[DM]	25.095	22.659	90,29	2.436
Wartungskosten	[DM]	29.614	23.306	78,70	6.308
SUMME	[DM]	181.343	139.745	77,06	41.598
3. Jahresbeleuchtungskosten (während der Contracting-Laufzeit):					
Betriebskosten	[DM]	181.343	139.745	77,06	41.598
Kapitalkosten (Fall c)	[DM]	0	-75.024		75.024
SUMME	[DM]	181.343	64.721	35,69	116.622

Tab. 17.1: Bilanz der Erneuerung der Beleuchtungsanlage

Als Ergebnis bleibt festzuhalten:

- Berücksichtigt man bei den jährlichen Kosten auch den Kapitaldienst, fallen selbst im Fall c (nur teilweise Rückzahlung) immer noch 64.721 DM (35,69%) weniger an jährlichen Kosten an als vor der Sanierung. Rechnet man neben dem Kapitaldienst nur mit den eingesparten *Strom- und Lampenkosten* (da die Personalkosten bisher nicht gemessen wurden), fallen mit 108.859 DM anstatt 145.982 DM immer noch 25,43% weniger Kosten als vorher an.
- Aufgrund der jahrelangen Untätigkeit der verantwortlichen Akteure entstanden dem Land Niedersachsen in den letzten zehn Jahren vermeidbare Kosten von 1.397.450 DM. Davon wurden allein 937.800 DM durch die Stromverschwendung verursacht. Rechnet man die Lampenkosten hinzu, sind es 1.121.470 DM zusätzliche Kosten.

Die berechneten Ergebnisse beruhen auf verschiedenen Annahmen, die hier noch einmal zusammenfassend dargestellt werden:

- Nacht-/Taganteil der Einsparung in der Betriebseinheit Büroräume ($N_a = 0\%$, $S_o = 49\%$),
- Lebensdauer der Lampen ($r = 7.500$ h),
- Gleichzeitigkeitsfaktor ($GF = 0,6$),
- Betriebsdauer der ständigen Verbraucher (Flure, Sanitärräume),
- Kosten der EVG/TAR, da keine Ausschreibungsdaten,
- Kapitaldienst nur Investitionen plus Zinsen, bisher keine Planungskosten.

Weitere Verbesserungen der Arbeit wären

- genaue Lichtplanung,
- Überprüfung des Investitionskostenansatzes (erst nach Ausschreibung möglich),
- Energiesparanteil der Investition (dann andere Wirtschaftlichkeitsergebnisse),
- Prüfung, inwieweit eine tageslichtabhängige Regelung für Büros möglich ist (z.B. eine Regelungseinheit pro Flügel),
- Wirtschaftlichkeitsberechnung für den Fall, daß ein Teil des Einspargewinns in weitere Sparmaßnahmen investiert wird.

IV Literaturverzeichnis

ALTNER, GÜNTER ET AL 1995: Zukünftige Energiepolitik, Bonn

AMEV 1989 (Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen): Beleuchtung von Arbeitsplätzen mit Bildschirmgeräten in öffentlichen Gebäuden (BelBildschirm 89), 2. Auflage, Bernhard, Bonn

AMEV 1992: Hinweise für die Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht in öffentlichen Gebäuden (Beleuchtung 92), Bernhard, Bonn

ASEW 1995 (Arbeitsgemeinschaft kommunaler Versorgungsunternehmen zur Förderung rationeller, sparsamer und umweltschonender Energieverwendung und rationeller Wasserverwendung im VKU): Reader zur Fachtagung »Integrierte Ressourcen-Planung, eine Strategie für Europa?« vom 2./3. Mai 1995, Hannover

BEDOCS, LOU 1991: Lightning Electronics, in: ÖKO 1994, S. 27

BMF 1990 (Finanzministerium Baden-Württemberg): PCB-Kondensatoren – Handlungsempfehlung für den Austausch und die Entsorgung, Karlsruhe

ENQUETE 1995 (Enquete-Kommission »Schutz der Erdatmosphäre« des 12. Deutschen Bundestages): Mehr Zukunft für die Erde, Bonn

FGL 1992 (Fördergemeinschaft Gutes Licht): Gutes Licht für Büros und Verwaltungsgebäude, Frankfurt

FR 1993 (Frankfurter Rundschau): Wie sich Energie sparen läßt – aber mit Pfiff, Nr. 293 vom 17.12.1993

GMH 1993 (Stadt Georgsmarienhütte): Der Stromverbrauch muß nicht steigen! Maßnahmen zur Reduzierung des Stromverbrauchs am Beispiel der Hauptschule mit Orientierungsstufe Kloster Oesede, Georgsmarienhütte

HENNICKE, PETER 1995: Stand und Entwicklungsperspektiven von IRP-Aktivitäten in Dtschld., in: ASEW 1995

HERBST, CARL-HEINZ 1992: Beleuchtung – Systeme und ihre Komponenten, in: RAVEL 1992, S. 201–215

HMI 1989 (Hessisches Ministerium des Innern): Erlaß zum Austausch von PCB-haltigen Kondensatoren in Leuchtstofflampen, Wiesbaden

HMUEB 1993 (Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten): Energie im Hochbau (Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung LEG), 4. Auflage, Wiesbaden

HMUEB 1994a: Anhang zum Leitfaden Elektrische Energie, Wiesbaden

- HMUEB 1994b: Anlagen zum Pflichtenheft, Wiesbaden
- HMUEB 1994c: Elektrische Energie im Hochbau (Leitfaden Elektrische Energie LEE), Darmstadt
- HMUEB 1994d: Energiesparende Beleuchtungsanlagen, Wiesbaden/Frankfurt
- HMUEB 1994e: Modelluntersuchungen zur Stromeinsparung in kommunalen Gebäuden, Wiesbaden
- HMUEB 1994f: Pflichtenheft zur Erstellung von Gutachten zur rationellen Elektrizitätsverwendung, Wiesbaden
- MEIXNER, HORST 1994: Möglichkeiten für Kommunen zur Schaffung monetärer Anreize für energiesparende Maßnahmen, Wiesbaden
- ÖKO 1993 (Öko-Institut Freiburg): Einspar-Contracting – Leitfaden für ein neues Instrument zur Energieeinsparung, Freiburg
- ÖKO 1994: Stromeinsparung bei Beleuchtungsanlagen in Industrie, Gewerbe und Dienstleistungsunternehmen, Freiburg
- ÖKO 1996: Vortrag im Rahmen der utech-Veranstaltung »Kostensenkung durch Stromsparen« in Berlin am 27.2.1996
- OSNABRÜCK 1992 (Stadt Osnabrück): CO₂-Reduktionskonzept für die Stadt Osnabrück
- PHILIPS 1994: Elektronische Vorschaltgeräte '94/95, Hamburg
- RAVEL 1992 (Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, Impulsprogramm RAVEL): Strom rationell nutzen, RAVEL-Handbuch, Zürich
- RAVEL 1993: Materialien zu RAVEL: Beleuchtung – Pilotprojekte, Fallstudien, Bern
- RAVEL 1994: Grundlagen der Beleuchtung, Bern
- SWH 1993a (Stadtwerke Hannover): Least-Cost Planning – Fallstudie Hannover, Zwischenbericht, Freiburg/Darmstadt/Wuppertal
- SWH 1993b (Stadtwerke Hannover): Least-Cost Planning – Fallstudie Hannover, Anlagen zum Zwischenbericht, Freiburg/Darmstadt/Wuppertal
- SWH 1995a: Nachfrage-Management-Pilotprojekte mit Gewerbe-/Industriebetrieben (Redemanuskript Bernd Hagenberg), Hannover
- SWH 1995b: Integrierte Ressourcenplanung – Die LCP-Fallstudie der Stadtwerke Hannover AG, Ergebnisband, Hannover
- SWK 1994 (Städtische Werke Kassel): Kosten senken – mit Energie, Kassel
- TRILUX o.J.: Innenraumleuchten 900, Arnsberg
- WEIZSÄCKER, ERNST U. VON 1992: Erdpolitik – Ökologische Realpolitik an der Schwelle zum Jahrhundert der Umwelt, 3. aktualisierte Auflage, Darmstadt