

DIANE, Universität Zürich Irchel Tageslichtnutzung

Schlussbericht

Energetische Untersuchungen an drei verschiedenen Beleuchtungssteuerungen.

Zürich/Liestal, Herbst 1996

Verfasser:

R. Fasciati (Schmidiger + Rosasco AG, Zürich)

B. Brechbühl (Amt für technische Anlagen und Lufthygiene, Zürich)

M. Stalder (Dr.EICHER+PAULI AG, Liestal)

INHALTSVERZEICHNIS

Impressum	1
Zusammenfassung	2
1. Allgemeines	4
1.1 Motivation der Arbeit	4
1.2 Funktionsweise der untersuchten Lichtsteuerungen	6
1.3 Messkonzept	8
2. Benutzerverhalten	9
3. Bilanzen 2. Halbjahr 94/95	11
4. Jahreszeitliche Abhängigkeit des Verbrauchs	13
5. Tageslichtabhängige Analyse	15
5.1 Beschreibung der Auswertmethode	15
5.2 Elektroverbrauch Vergleich 2. Halbjahr 94/95	17
6. Interpretation der Ergebnisse	19
7. Verbrauchswerte für die Planung	
7.1 Betriebszeit der Beleuchtung	20
7.2 Hinweise für das Beleuchtungskonzept	21
7.3 Investitionskosten	22
7.4 Rentabilitätsberechnung	23
Anhang	25

Impressum

Auftraggeber:	Bundesamt für Energiewirtschaft Belpstrasse 3003 Bern
Projektleitung im Auftrag des BEW	Elektrowatt Ing. AG Bellerivestrasse 36 8008 Zürich Herrn M. Kiss
Realisation	Arbeitsgemeinschaft Schmidiger + Rosasco AG Ingenieure für Elektroplanung Leutschenbachstrasse 55 8050 Zürich Herrn Reto Fasciati Dr.EICHER+PAULI AG Ingenieurbüro für Energie- u. Umwelttechnik Kasernenstrasse 21 4410 Liestal Herrn M. Stalder Amt für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich Stampfenbachstrasse 12 8090 Zürich Herrn B. Brechbühl Betriebsdienst Universität Zürich-Irchel Winterthurerstrasse 190 8057 Zürich Herren W. Müller, W. Weber
Untersuchungsobjekt	Bau Nr. 17 der Universität Zürich-Irchel Geschosse J, K, L Inbetriebnahme: ab August 1993 Untersuchungsperiode: 1994 und 1995

Zusammenfassung

In Neubau- und Umbaubewilligungen für Bauvorhaben auf dem Gebiet der Stadt Zürich wird seit 1992 für neue Beleuchtungsinstallationen über 5 kVA installierte Leistung eine tageslichtabhängige Beleuchtungssteuerung vorgeschrieben.

In einem 1993 bezogenen Neubau der Universität Zürich-Irchel wurden in drei übereinanderliegenden, gleichartig genutzten Geschossen in je ca. 23 Räumen drei unterschiedliche Beleuchtungssteuerungen installiert und in bezug auf den Energieverbrauch, die Rentabilität und das Benutzerverhalten untersucht. Mit dem zentralen Gebäudeleitsystem konnten die Bewegungen in den Räumen und die Energieverbrauchszahlen täglich detailliert aufgezeichnet werden.

Im Dreibünder-Gebäude sind 35 % der Geschossflächen Dunkelzonen (Korridore und Innenräume). Die in den Räumen arbeitenden Personen wurden nicht über die vorgesehenen Untersuchungen informiert.

Im zweiten Geschoss wurde eine konventionelle Beleuchtungsanlage mit Handschalter installiert. Im ersten Geschoss sind neu entwickelte Bewegungsmelder in Serie mit Handschaltern montiert. Bei fehlender Personenanwesenheit oder bei genügend Sonnenlicht schaltet die Beleuchtung aus. Im dritten Geschoss werden die Leuchten stufenlos in Funktion des Tageslichtanteils gedimmt. Bei genügend Sonnenlicht schaltet die Beleuchtung aus und muss bei zunehmender Dunkelheit wieder von Hand eingeschaltet werden.

Trotz identischer Art der Raumnutzung (Büro und Labor gemischt) ergaben sich grosse Unterschiede im Energieverbrauch. Untersuchungen der Anwesenheit haben jedoch gezeigt, dass die effektive Benutzung in den einzelnen Geschossen sehr unterschiedlich ist. Der absolute Energieverbrauch eines Geschosses lässt also keine Rückschlüsse auf die Wirksamkeit der Beleuchtungssteuerung zu. Das Benutzerverhalten und die mittlere Dauer der Anwesenheit haben ebenfalls einen entscheidenden Einfluss auf den Energieverbrauch. Bei einer Belegung des Raumes von jährlich 2000 Stunden beträgt der Lichtstromverbrauch 15 kWh/m².

Bei einer mittleren jährlichen Raumpräsenz von ca. 2'000 Stunden wurde das Licht in der Wand- und Mittelzone während 55 %, in der Fensterzone während 25 % der Zeit benötigt. Die Aufteilung der drei Leuchtenbänder in zwei Schaltgruppen hat sich als richtig erwiesen.

Die beiden Geschosse mit einer tageslichtabhängigen Steuerung weisen einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Tageslichthelligkeit auf, während im Geschoss K mit einer konventionellen Lichtschaltersteuerung die Abhängigkeit weniger klar hervortritt. Der Lichtenergieverbrauch pro m² und Jahr bezogen auf die tatsächliche Anwesenheit ist in den beiden Geschossen mit automatischer Lichtsteuerung deutlich tiefer als im Geschoss K ohne Automatikbetrieb.

1995 wurden sowohl die Lichtregulierung im Geschoss L, wie auch die Bewegungsmeldersteuerung im Geschoss J optimiert, was zu nochmals niedrigeren spezifischen Verbrauchswerten führte.

Im Sommer 1995 wurde neu ein Bewegungsmelder eingesetzt, der nach einer automatischen Abschaltung beim erneuten Betreten des Raumes das Licht nicht wieder automatisch einschaltet, sondern bei dem das Licht bewusst von Hand angefordert werden muss (Halbautomat). Dieser führte zu einer Energieeinsparung von 30 bis 40 % gegenüber der alten, vollautomatischen Beleuchtungssteuerung. Der neue Bewegungsmelder soll mit Funktionsverbesserungen im Sommer/Herbst 1996 im Markt als Serienprodukt eingeführt werden.

Die Mehrkosten der tageslichtabhängigen Beleuchtungssteuerung betragen pro Raum mit Bewegungsmeldern ca. Fr. 250.--, mit Lichtregelung ca. Fr. 1'200.--. Für einen Raum mit ca. 50 m² ergeben die Energiekosteneinsparungen bezüglich der Energiekosten im Geschoss K (Handschtaltung) eine Verzinsung von ca. 6.6 % bei der Steuerung mit Bewegungsmeldern bzw. ca. 3.6 % bei der Lichtregelung bezogen auf die jeweilige Mehrinvestition.

Vergleicht man jedoch die Energiekosteneinsparung des Bewegungsmelders vor und nach dessen Umbau und Optimierung, so ergibt sich eine wesentlich höhere Verzinsung von 41 %.

Die beiden unterschiedlichen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zeigen, dass mit den durchgeführten Untersuchungen kein eindeutiges Einsparpotential bestimmt werden kann. Dieses hängt sehr stark vom Benutzerverhalten ab, das als Basis für die Bestimmung des Einsparpotentials angenommen wird.

1. Allgemeines

1.1 Motivation der Arbeit

Gemäss Gemeinderatsbeschluss der Stadt Zürich vom 25. September 1991 müssen Beleuchtungsanlagen mit einer Anschlussleistung von über 5 kVA mit einer tageslichtabhängigen Abschaltung oder einer gleichwertigen Bedarfsregelung versehen sein (siehe Art. 4 Abs. 1 des entsprechenden Beschlusses).

Mit der Erstellung der dritten Bauetappe für die Universität Zürich auf dem Irchelareal bot sich aus diesem Anlass die Gelegenheit, in einem Institutsbau die Wirksamkeit von intelligenten Beleuchtungsregulierungen in Bezug auf den Elektroenergieverbrauch und die Rentabilität zu untersuchen.

Stichworte:

Universität Zürich Irchel
Winterthurerstrasse 190
8057 Zürich

Institutsbau 17 (Laborgebäude, EBF 9540 m²)

Nutzung durch Pharmakologie UNI (Geschoss J) und
Pharmazie ETH (Geschosse K und L)

Geographische Ausrichtung

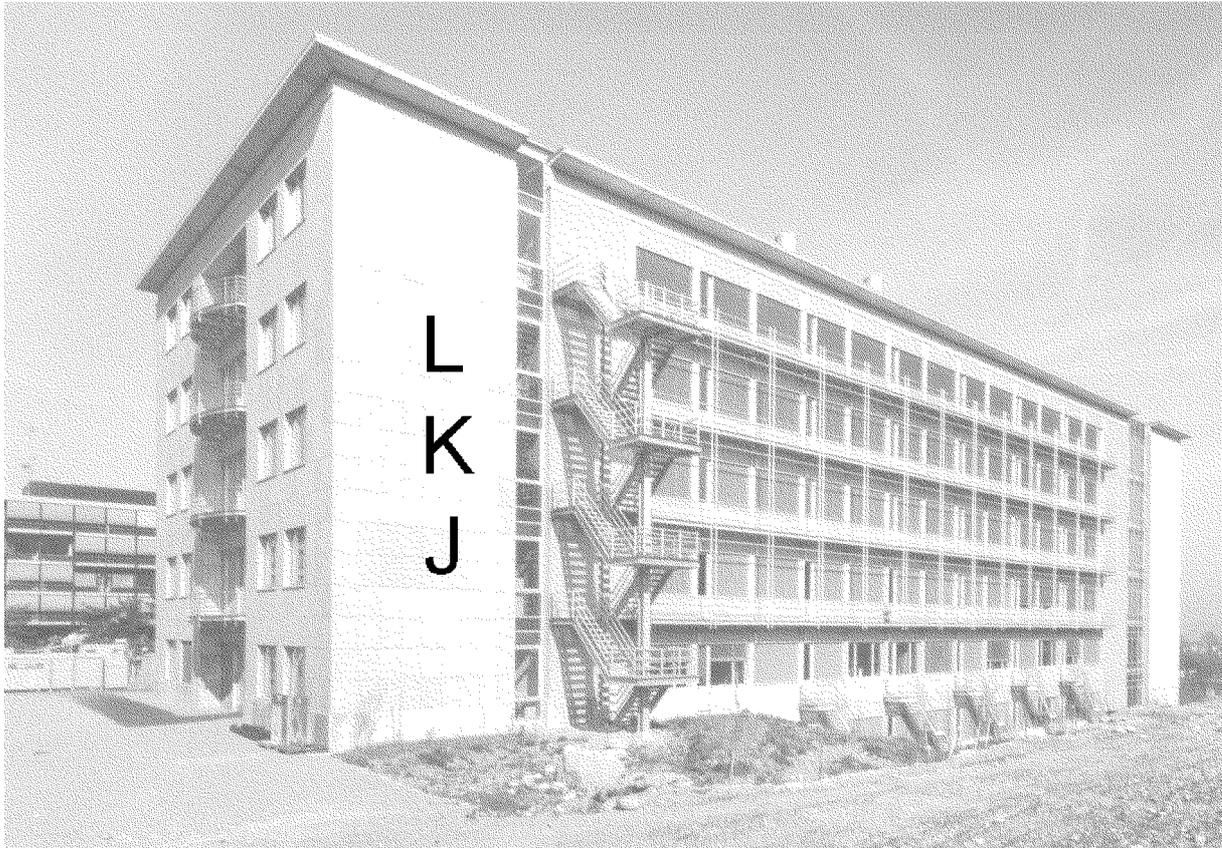
Ost / Süd / West

Geschoss	J	K	L
Höhe ü. Meer	504	508	512
Flächen			
- Ost	161.1 m ² 22%	244.1 m ² 30%	139.7 m ² 20%
- Süd	126.3 m ² 17%	126.0 m ² 16%	126.0 m ² 18%
- West	160.7 m ² 22%	160.7 m ² 20%	160.7 m ² 23%
Innenzone (dunkel)	105.1 m ² 14%	115.8 m ² 14%	103.2 m ² 15%
Korridor (dunkel)	184.3 m ² 25%	153.9 m ² 19%	177.2 m ² 25%
Erfasste Räume*	128.4 m ² 17%	139.2 m ² 17%	123.0 m ² 17%
Total	737.5 m ² 100%	800.5 m ² 100%	706.8 m ² 100%

*Zusätzliche Messung der Anwesenheit und der Beleuchtungsdauer

G:\92\84\FLAECHEN.XLS ber1

T 1.2 Flächen der gemessenen Geschosse



b 1.1 Gesamtansicht Bau 17 Uni Zürich Irchel

Beleuchtungskonzept

Büro, Labor

Installiert sind 1-flammige Decken-Einbauleuchten mit weissem Reflektor und Raster. Die Nettoraumhöhe beträgt 3,0 m. Die installierte Leistung beträgt $15,5 \text{ W/m}^2$. Die Beleuchtungsstärke gemessen 0,85 m ab Boden $E_M = 550 \text{ Lux}$.

Die Leuchten sind parallel zur Fassade in die Decke eingebaut. Der Gebäuderaster beträgt 7,2 m. Das Normlabor hat eine Breite von 3,6 m und eine Tiefe von 6 m. Der Abstand vom Fenster bis zur ersten Leuchtenreihe beträgt 0,8 m. Von der ersten Leuchtenreihe bis zur mittleren Leuchtenreihe beträgt der Abstand 1,8m. Ebenso von der mittleren Leuchtenreihe bis zur hintersten Leuchtenreihe. Die Leuchten sind mit Fluoreszenzlampen 1 x 50 W / Philips TLD 84 HF und elektronischen Vorschaltgeräten Philips BHF150H12 bzw. BHF 250H12 bestückt.

Im Normalfall wurde ein EVG für 2 Lampen eingesetzt.

(Siehe auch Grundrisse im Anhang)

Korridor

1-flammige Wandleuchten mit Direkt- und Indirektlichtanteil mit gelochtem Reflektor. Die Nettoraumhöhe beträgt 3.0 m. Die installierte

Leistung beträgt 5.5 W/m^2 bei voller Aussteuerung (100 %). Bei der eingestellten Aussteuerung (ca. 40 %) beträgt sie ca. 2.2 W/m^2 und die Beleuchtungsstärke gemessen 0.85 m ab Boden. $E_M = \text{ca. } 80 \text{ Lux}$. Die vertikale Beleuchtungsstärke beträgt 50 Lux. Die Leuchten sind mit Fluoreszenzlampen 1 x 32 W bzw. 1 x 50 W/Philips TLD 84 HF und elektronischen, regelbaren Vorschaltgeräten Philips BHF 132 D12 bzw. BHF 150 D12 bestückt.

1.2 Funktionsweise der untersuchten Lichtsteuerungen

Geschoss J

Ein Handschalter Ein/Aus für die Leuchten Fensterzone und ein Handschalter Ein/Aus für die Mittel- und Wandzone. Den Handschaltern vorgeschaltet ist ein Bewegungsmelder Fabrikat HTS High Technology System AG Typ Eco IR 360A (Abtastbereich 50 m^2 360°) mit einer einstellbaren Ausschaltverzögerung von 2 bis 15 Minuten und einer einstellbaren Tageslichtsteuerung von 50 bis 800 Lux. Der Bewegungsmelder gibt also gleichzeitig beide Handschalter zum Schalten frei. Die Bewegungsmelder wurden wie folgt eingestellt:

- Ausschaltverzögerung 2 Minuten
- Ausschaltung bei einem Tageslichtanteil von ca. 550 Lux, gemessen auf 0.85 m ab Boden.

Da die Benutzer sich an den Komfort des automatisch zuschaltenden Kunstlichtes gewöhnt haben und sehr oft die Handschalter nicht mehr betätigen, wird auch dann das Licht automatisch eingeschaltet, wenn für die momentan zu verrichtende Arbeit kein Kunstlicht notwendig wäre. In 11 Räumen mit Tageslichtanteil wurden deshalb im Juni 1995 neue Bewegungsmelder eingebaut, die nach einer automatischen Lichtabschaltung nicht mehr selbständig starten, und bei denen das Licht bewusst von Hand wieder angefordert werden muss.

Aus betrieblichen Gründen konnten die Räume J 80/82/84 nicht mit dem neuen Halbautomatik-Bewegungsmelder ausgerüstet werden.

(Siehe Schema im Anhang)



B 1.3 Labor mit Bewegungsmelder

Geschoss K

Ein Handschalter Ein/Aus für die Leuchten Fensterzone und ein Handschalter Ein/Aus für die Mittel- und Wandzone.

Der installierte Bewegungsmelder an der Decke dient zur Steuerung der Lüftung und für die Erfassung der Anwesenheit in den Räumen.

(Siehe Schema Seite)

Geschoss L

Tageslichtabhängige Lichtregulierung (Dimmung) mit Abschaltautomatik. Ein Taster Ein/Aus für die Leuchten Fensterzone und ein Taster Ein/Aus für die Mittel- und Wandzone. Ein Innen-Lichtsensoren für beide Schaltgruppen. Es wurden EVG mit einem Regelbereich von 10-100 % eingesetzt. Alle Komponenten sind Fabrikat Philips (EVG BHF 150D12 bzw. BHF 250D12).

Alle 3 Leuchtbänder werden gleichzeitig in Abhängigkeit der Tageslichthelligkeit gedimmt. Beim Überschreiten des Lichtschwellwertes schaltet die Beleuchtung aus und muss bei zunehmender Dunkelheit wieder eingeschaltet werden.

Im Juni 1995 wurden die Lichtsensoren der Lichtregulierung feiner justiert.

(Siehe Schema im Anhang)

Korridor

Bewegungsmelder ECO IR 360 A und ECO IR 180 A (Abtastbereich bis 12 m, Radius 180°) schalten die Leuchten ein. Mittels von Hand einstellbaren Potentiometern kann die Lichtmenge von 10 bis 100 % eingestellt werden. Die Potentiometer sind auf 30 - 40 % eingestellt. Das Putzteam hat die Möglichkeit, mittels Taster die Beleuchtung auf Volllicht einzuschalten.

Über das zentrale Leitsystem kann ebenfalls die Beleuchtung auf Volllicht oder reduziertem Licht ein- und ausgeschaltet werden.

(siehe Schema im Anhang)

1.3 Messkonzept

Gemessene Grössen

Gemessen wird in jedem Geschoss separat der Elektroenergie-Verbrauch für die Beleuchtung der Ost-/ Süd-/ West- und Innenzone. Der Verbrauch der Korridore wurde nicht mitgemessen.

In jedem Geschoss wurde ein Referenzraum für alle 3 Himmelsrichtungen bestimmt. In diesen Räumen werden die Betriebsstunden der Beleuchtung Fensterzone, Mittel- und Wandzone und diejenigen des Bewegungsmelders (Anwesenheit von Personen im gemessenen Raum) separat erfasst. Ebenso wird die Anzahl Schaltungen des Bewegungsmelders erfasst.

Im Raum der Innenzone werden die gleichen Parameter erfasst, abweichend ist jedoch, dass die Beleuchtung mit nur einem Schalter geschaltet wird.

Erfasst wurden zudem auf der Meteostation (Institutsbau 13, Geschoss N, 520 M.ü.M) die Beleuchtungsstärke der südlichen Himmelsrichtung (Lichteinfall auf die senkrechte Fassadenfläche). Der erfasste Tageswert ist die durchschnittliche Beleuchtungsstärke während der Hauptarbeitszeit von 07.00 bis 19.00 Uhr.

Datenerfassung

Die gemessenen Grössen werden vom ZLS (zentrales Leitsystem) als Zählwerte oder Summen im Intervall von 24 Stunden gespeichert (Tageswerte). Diese Tageswerte wurden während zweier Jahre, 1994/95 kontinuierlich erfasst.

Während drei einwöchigen Intensivmessungen wurden die Daten im Intervall von $\frac{1}{2}$ -Stunden Intervall erfasst. Diese Messungen dienen

dazu, das tageszeitliche Verhalten der Beleuchtung und der Benutzer etwas genauer zu studieren.

Auswertung

Bei der Auswertung der Messdaten wurde teilweise zwischen Arbeitstagen und Wochenende unterschieden. Wo dies der Fall ist, wird dies im Bericht entsprechend erwähnt.

Die Anwesenheit im entsprechenden Geschoss wurde aus dem Mittelwert der vier gemessenen Räume bestimmt (insgesamt ca. 17 Räume). Dabei wurde angenommen, dass die gemessenen Räume für die Präsenz repräsentativ sind. Da die Bewegungsmelder eine Nachlaufzeit aufweisen, wurden pro Schaltung des Bewegungsmelders 10 Minuten von der gemessenen Anwesenheit abgezogen.

Ausgewertete Messperioden

Wie bereits erwähnt, wurde im Juni 1995 die Beleuchtungssteuerung im Stockwerk J umgebaut und die Lichtsensoren der Lichtregelung im Geschoss L feiner justiert.

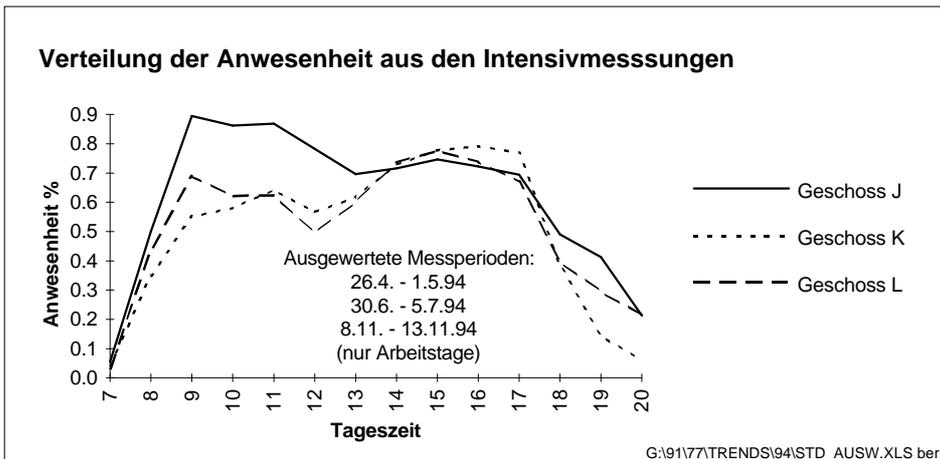
Da vor allem interessiert, was dieser Umbau bewirkt hat, wurde für die Analyse der Messungen das zweite Halbjahr 1995 (Juli bis November) mit der gleichen Periode des Vorjahres verglichen.

Besondere Vorkommnisse

Im zweiten Halbjahr 1995 wurden wegen eines Fehlers im Leitsystem im Raum 17.L.80 die Betriebsstunden des Bewegungsmelders nicht mehr erfasst. Anhand des aktuellen Zählerstandes vom 7.12.95 konnte jedoch die Summe der Betriebsstunden seit Juni 1995 rekonstruiert werden. Anhand dieser Summe wurde ein Korrekturfaktor bestimmt, mit dem der jeweilige Mittelwert der verbleibenden drei Räume des Geschosses L korrigiert wurden. Die so ermittelte Anwesenheit stimmt somit zumindest in der Summe wieder.

2. Benutzerverhalten

Während drei einwöchigen Intensivmessungen wurde die Anwesenheit der Benutzer in den Referenzräumen im Stundenschritt zwischen 07.00 und 20.00 Uhr erfasst. Bild 2.1 zeigt die durchschnittliche Anwesenheit in Funktion der Tageszeit.



B 2.1 Mittlere Verteilung der Anwesenheit, ermittelt aus den Intensivmessungen (Nur Aussenräume und Arbeitstage)

Deutlich ist eine höhere Anwesenheit im Geschoss J zu sehen. Die Anwesenheit in Geschoss K und L sind sich bezüglich Grösse und Verlauf ähnlich.

Geschoss J hat in den Morgenstunden eine besonders hohe Anwesenheit. Im Gegensatz dazu sind die Benutzer in den beiden anderen Geschossen schwergewichtig am Nachmittag anwesend.

Das tageszeitliche Schwergewicht der Anwesenheit kann auf die Benutzung der Beleuchtung einen Einfluss haben, da in den Morgenstunden, wenn es draussen noch düster ist, die Beleuchtung eher eingeschaltet wird, als am Abend, wenn das Tageslicht nur allmählich abnimmt (Gewöhnungseffekt des Auges).

Der Anwesenheitsverlauf zeigt auch die für einen Forschungsbetrieb typische, sehr individuelle Arbeitszeitgestaltung. Bei der Interpretation der Messergebnisse muss deshalb beachtet werden, dass in den gemessenen Räumen eine spezielle Nutzung vorliegt, die zum Teil stark von einem Verwaltungsbetrieb abweicht.

Insbesondere die breite zeitliche Streuung der Anwesenheit (in den Geschossen J und L ist die Anwesenheit nach 20.00 Uhr noch 25 %) bewirkt eine längere Betriebszeit der Korridorbeleuchtung. Dies kommt daher, dass nur wenige Anwesende (vor allem wenn sie oft zwischen Labor und Büro hin und her gehen) den Bewegungsmelder im Korridor immer wieder aktivieren und die Beleuchtung somit eingeschaltet bleibt.

Beobachtungen in den gemessenen Geschossen haben gezeigt, dass vor allem die Benutzer im Geschoss L das Licht sehr bewusst ein und ausschalten. Dort sind sogar Anschläge angebracht worden, die den Benutzer ermahnen, die Beleuchtung auszuschalten, wenn sie nicht mehr benötigt wird.

3. Bilanzen zweites Halbjahr 1994/95

In Tabelle 2.1 sind die wichtigsten Kenngrößen des Elektroverbrauchs für die Beleuchtung für das zweite Halbjahr 1994/95 dargestellt.

Bezeichnung Kumulierte LUX-Werte 1994= 877681LUX, 1995= 889030LUX	Einheit	Geschoss J Bewegungsmelder		Geschoss K Handscharter		Geschoss L Dimmung	
		7.-11.94	7.-11.95	7.-11.94	7.-11.95	7.-11.94	7.-11.95
EBF, Installierte Leistung	m ² / kW	553 / 9.3		646 / 10.6		530 / 8.9	
a) Elektroverbrauch Licht absolut	MWh	4.83	3.52	2.97	2.52	2.12	1.77
b) Anwesenheit	Std.	709	832	457	465	457	521
c) Anwesenheit pro Arbeitstag	Std.	6.49	7.61	4.18	4.26	4.19	4.77
d) Anzahl Licht-Einschaltungen	Stk.	1876	1543	932	1012	1010	1012
e) Beleuchtungsstunden	Std.	668	529	308	227	237	236
f) Elektroverbr. pro Std. Anwesenheit	kW	6.81	4.23	6.50	5.42	4.63	3.40
g) Elektroverbr. pro Bel. Std.	kW	7.23	6.65	9.64	11.10	8.93	7.49
h) Anwesenheit pro Einschaltung	Std.	0.38	0.54	0.49	0.46	0.45	0.52
i) Elektroverbr. pro m ² EBF	kWh/m ²	8.73	6.36	4.60	3.90	4.00	3.34
k) Elektroverbr. pro m ² EBF und Std. Anwesenheit	W/m ²	12.31	7.64	10.07	8.38	8.74	6.41

EBF ohne Korridore

G:\92\84\BIL2_945.XLS ber1

T 2.1 Bilanzen zweites Halbjahr 94/95

Generell muss bemerkt werden, dass die gemessenen Stockwerke wider Erwarten eine stark unterschiedliche Belegung aufweisen (b). Dies bedeutet, dass beim Vergleich der Werte entsprechende Korrekturen gemacht werden müssen.

Ebenfalls scheint das Benutzerverhalten in den gemessenen Geschossen sehr unterschiedlich zu sein. Ein Teil des tiefen Elektroverbrauchs in Geschoss L ist auch auf das Benutzerverhalten zurückzuführen (Siehe auch Kapitel 2. Benutzerverhalten).

Die Anwesenheit 1995 ist gegenüber der Vorjahresperiode in den Geschossen J und L etwa 10 % höher.

Der Elektroverbrauch pro Beleuchtungsstunde (g) variiert von Messperiode zu Messperiode stark. In den Geschossen J und K müsste dieser Wert jedoch immer etwa der installierten Leistung entsprechen (konstante Leistung bei eingeschaltetem Licht). Dies bedeutet, dass die aus den Referenzräumen ermittelten Beleuchtungsstunden nur bedingt repräsentativ sind.

Die kumulierten LUX-Werte sind etwa gleich hoch. Die beiden Messperioden sind bezüglich der Tageslichtnutzung vergleichbar.

Interpretation der Ergebnisse Geschoss J (Bewegungsmelder)

Gegenüber dem Vorjahr hat der absolute Verbrauch (a) um ca. 30 % und der Verbrauch pro Anwesenheit sogar um ca. 40 % abgenommen.

Die geänderte Beleuchtungssteuerung bewirkte also eine markante Reduktion des Elektroverbrauchs.

Die Anzahl Lichteinschaltungen ist gegenüber den anderen Geschossen mindestens 50 % höher. Dies deutet darauf hin, dass der Bewe-

gungsmelder dafür sorgt, dass die Beleuchtung beim Verlassen des Raumes konsequent ausgeschaltet wird.

Interpretation der Ergebnisse Geschoss L (Dimmung)

Gegenüber dem Vorjahr hat der absolute Verbrauch (a) um ca. 20 % und der Verbrauch pro Anwesenheit sogar um ca. 30 % abgenommen. Diese Reduktion ist auf die optimierte Einstellung des Lichtsensors zurückzuführen.

Eine Ergänzung der Dimmersteuerung mit einem Bewegungsmelder würde zu noch geringeren Verbrauchswerten führen.

Interpretation der Ergebnisse Geschoss K (Handschtaltung)

Obwohl die mittlere Anwesenheit pro Arbeitstag ähnlich tief liegt wie im Geschoss L, ist der spezifische Lichtverbrauch pro Stunden Anwesenheit mit 6.5 kW für 1994 bzw. 5.42 kW für 1995 deutlich über den Werten der beiden anderen, mit automatischer Lichtregulierung ausgerüsteten Geschossen.

Bei tiefen Präsenzzeiten werden die Räume tendenziell eher von 09.00 bis 16.00 Uhr, d.h. zu hellen Tageszeiten belegt. Der jährliche Lichtkonsum pro m² müsste also niedriger ausfallen als im Geschoss J, das eine um 75 % höhere mittlere Präsenzzeit aufweist. Wie der Unterschied im Verbrauch zwischen 1994 und 1995 aufzeigt, ist der Lichtverbrauch ganz wesentlich vom Benutzerverhalten abhängig.

die Anwesenheit an Arbeitstagen 1.4-mal höher als im Diagramm dargestellt.

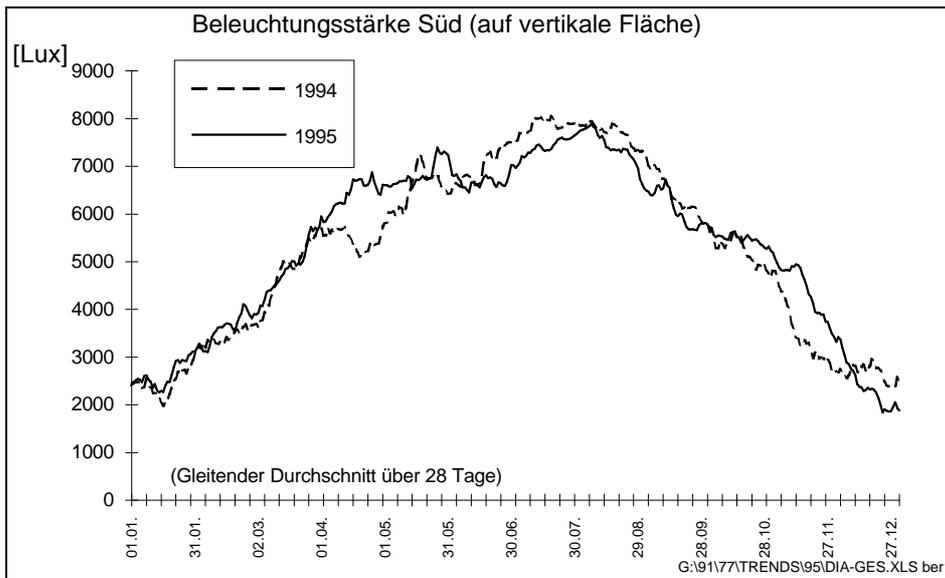
Im Diagramm ist deutlich zu sehen, dass der Strombezug der Geschosse J und L (Bewegungsmelder, Dimmung) mit abnehmender Beleuchtungsstärke zunimmt. Im Gegensatz dazu ist die Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke in Geschoss K (Handschtaltung) nicht eindeutig.

Der deutlich geringere Strombezug des Geschosses J (ca. 10 kWh/Tg) in der zweiten Messperiode wurde durch den Umbau der Beleuchtungssteuerung bewirkt. Interessant ist, dass die Reduktion des Strombezugs immer etwa konstant ist (Parallelverschiebung). Betrachtet man den anwesenheitsbereinigten Verlauf des Strombezugs, so liegt dieser nur noch gering über demjenigen von Geschoss L. Das heisst, mit dem neuen Steuerkonzept des Bewegungsmelders erreicht man ähnlich gute Energieeinsparungen wie mit einer Lichtregulierung ohne Bewegungsmelder.

Ebenfalls weist das Geschoss L gegenüber dem Vorjahr einen geringeren Verbrauch auf. Diese Reduktion ist auf eine Nachjustierung der Lichtsensoren zurückzuführen.

5. Tageslichtabhängige Analyse

In Bild 5.1 ist der jahreszeitliche Verlauf der Beleuchtungsstärke der Jahre 1994 und 1995 dargestellt. Obwohl der prinzipielle Verlauf der beiden Jahre sehr ähnlich ist, kann die Beleuchtungsstärke in einzelnen Monaten doch stark abweichen (z.B. April). Sollen Verbrauchswerte verschiedener Jahre miteinander verglichen werden, muss deshalb die Beleuchtungsstärke in die Interpretation der Messung miteinbezogen werden.



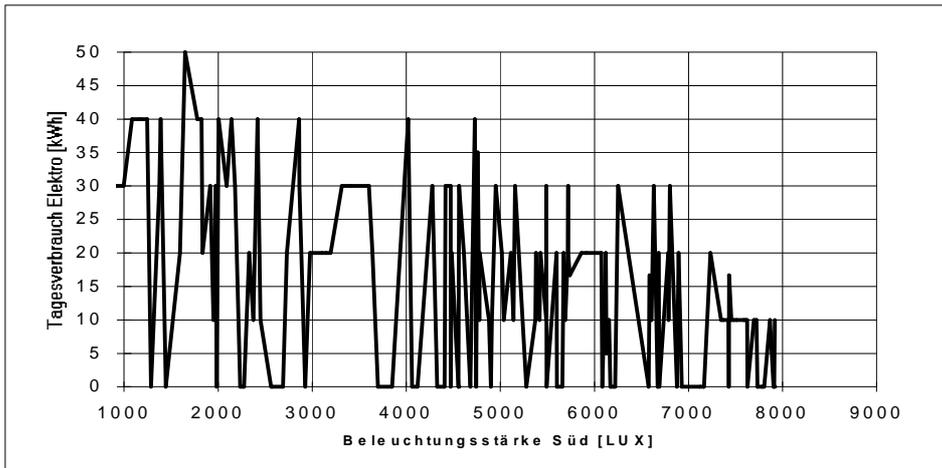
B 5.1 Jahreszeitlicher Verlauf der Beleuchtungsstärke

In dieser Forschungsarbeit soll untersucht werden, wie die einzelnen Lichtsteuerungen das einfallende Tageslicht berücksichtigen. Deshalb wurden die Messwerte in Abhängigkeit der Aussenhelligkeit untersucht. Da neben der Aussenhelligkeit andere statistisch auftretende Grössen, wie z.B. die Anwesenheitszeit der Benutzer, die Abhängigkeit des Elektroverbrauchs von der Aussenhelligkeit überlagern, wurde die nachfolgend beschriebene Auswertmethode für die Darstellung der Tageslichtabhängigkeit verwendet.

5.1 Beschreibung der Auswertmethode

In einem ersten Schritt wurden die gemessenen Werte¹ in Abhängigkeit der jeweiligen Aussenhelligkeit sortiert (Diagramm 5.2).

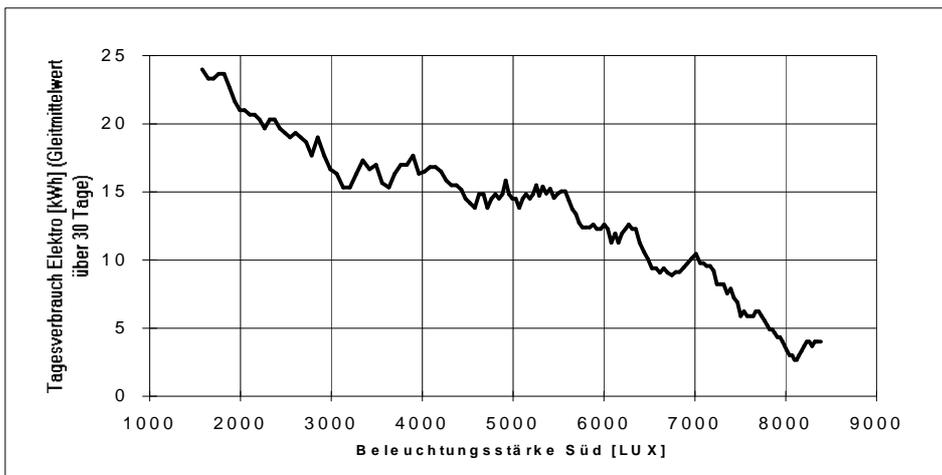
¹Messwerte wurden im Tagesschritt erfasst. Wochenend-Werte sind ausgefiltert.



B 5.2 Darstellung der Tageswerte in Abhängigkeit der Aussenhelligkeit

Wie aus Diagramm 5.1 ersichtlich ist, ergibt die Überlagerung anderer, statistisch auftretender Einflüsse eine grosse Variation der Messgrößen. Dadurch ist aus dieser Darstellung ein eindeutiger Trend nur schwer ersichtlich.

Damit nun ein Trend besser erkennbar wird, wurde die Kurve geglättet, indem für jeden Kurvenpunkt ein sogenannter gleitender Durchschnitt² gebildet wurde (Siehe Diagramm 5.3).

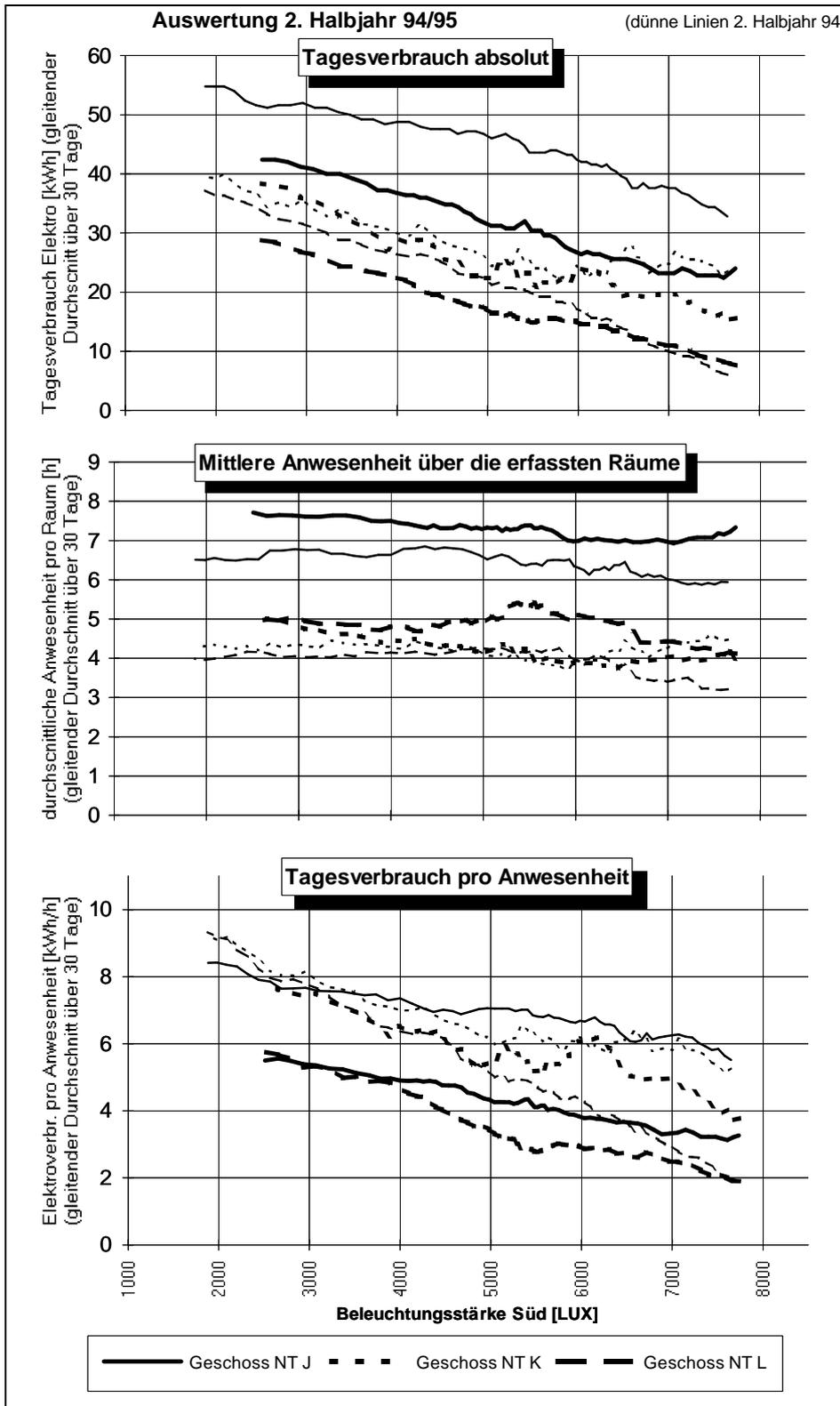


B 5.3 Geglättete Kurve durch Bildung eines gleitenden Durchschnitts über 30 Tage.

²Der Wert eines Kurvenpunktes ist der Mittelwert einer gewissen Anzahl vorausgehender Messwerte.

5.2 Elektroverbrauch Vergleich zweites Halbjahr 1994/95

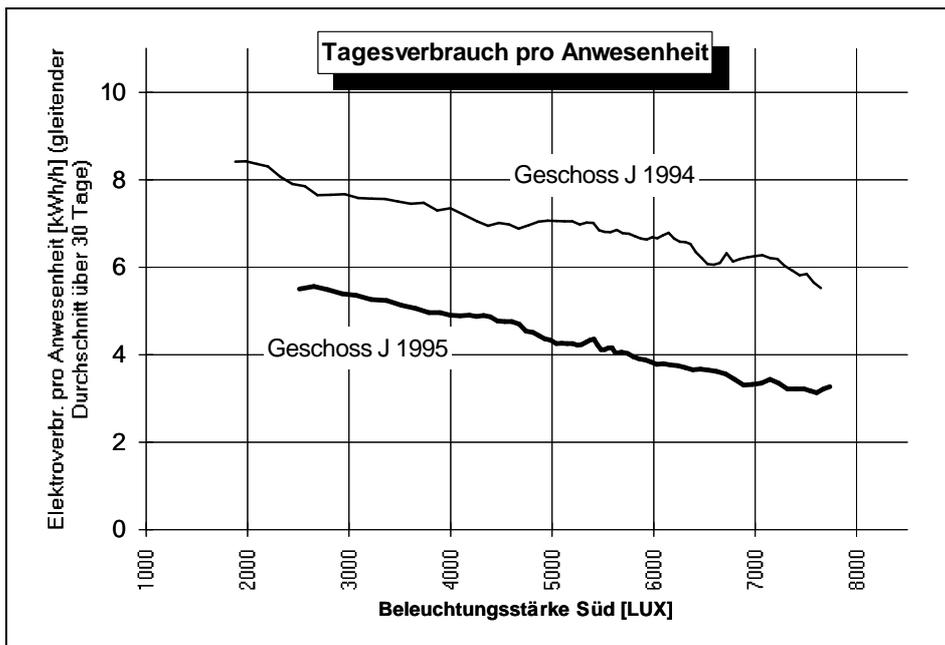
In Diagramm 5.4 ist der Elektroverbrauch in Abhängigkeit der Beleuchtungsstärke Süd dargestellt.



B 5.4 Elektroverbrauch der Nebentreppe der Geschosse J K und L (Nur Arbeitstage sind ausgewertet, 5-Tagewoche)

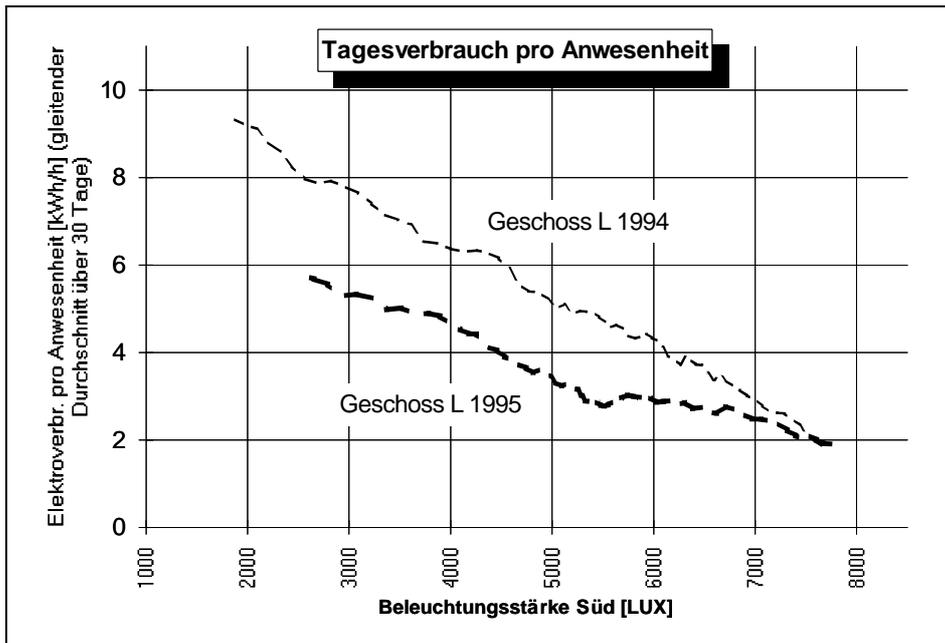
Die tageslichtabhängige Darstellung der Messwerte zeigt noch einmal die in Kapitel 4 beschriebenen Sachverhalte aus einer etwas anderen Sicht auf.

Deutlich ist zu sehen, wie der Verbrauch von Geschoss J (Bewegungsmelder) unabhängig von der Beleuchtungsstärke reduziert wurde. Dieser Sachverhalt lässt sich dadurch erklären, dass der Benutzer die Beleuchtung bei einem Tageslichtpegel wieder einschaltet, der immer etwa gleichviel unter demjenigen liegt, bei dem die Steuerung wieder automatisch eingeschaltet hätte.



B 5.5 Geschoss J, Vergleich Verbrauch 1994/95

Im Gegensatz dazu bewirkte in Geschoss L die Nachjustierung des Lux-Sensors eine Änderung des Anstiegswinkels der Kurve. Das heisst, die Dimmung oder Ausschaltung der Beleuchtung kommt auch noch bei tieferen Tageslichtwerten zum Tragen.



B 5.6 Geschoss L, Vergleich Verbrauch 1994/95

6. Interpretation der Ergebnisse

Der Vergleich des Verbrauchs der vollautomatischen Steuerung mit demjenigen der Abschaltautomatik³ zeigt deutlich, dass markant Energie eingespart werden kann, wenn der Benutzer dazu angehalten wird, selber zu entscheiden, wann er wieder Licht benötigt.

Ebenfalls zeigen die Messungen deutlich, dass eine sorgfältige Inbetriebnahme und allfällige Nachjustierung einer Beleuchtungssteuerung wichtig sind, damit ein optimaler Energiespareffekt realisiert werden kann.

Der Verbrauch der Steuerung mit Bewegungsmelder ist auch nach dessen Umbau und Optimierung immer noch höher als derjenige der Steuerung mit Dimmung. Vergleicht man jedoch die Rentabilität, so ist sie beim Bewegungsmelder eindeutig höher. Zudem ist der geringere Verbrauch der Dimmung nicht nur auf die Steuerung zurückzuführen. Das Benutzerverhalten dürfte auch einen wesentlichen Einfluss auf den Verbrauch gehabt haben.

³Licht muss vom Benutzer wieder angefordert werden, wenn die Beleuchtung ausgeschaltet wurde.

7. Verbrauchswerte für die Planung

7.1 Betriebszeit der Beleuchtung

7.1.1 Aussen- und Innenzonen

Zusammenfassung 94						
Kum. LUX	1920785.7	Aussenzonen			Innenzone	
		Anwesenheit	Bel. Wand Mittel	Bel. Fenster	Anwesenheit	Bel. Std.
Geschoss J Betriebsstunden		1910	1563	1081	1106	2484
Betriebsfaktor*			0.82	0.57		2.25
Geschoss K Betriebsstunden		1445	891	867	102	1330
Betriebsfaktor*			0.62	0.60		13.05
Geschoss L Betriebsstunden		1461	863	612	226	432
Betriebsfaktor*			0.59	0.42		1.91
Zusammenfassung Juli bis Nov 94						
Kum. LUX	877680.8	Aussenzonen			Innenzone	
		Anwesenheit	Bel. Wand Mittel	Bel. Fenster	Anwesenheit	Bel. Std.
Geschoss J Betriebsstunden		815	672	451	392	985
Betriebsfaktor*			0.82	0.55		2.52
Geschoss K Betriebsstunden		590	312	227	56	422
Betriebsfaktor*			0.53	0.38		7.58
Geschoss L Betriebsstunden		578	281	180	96	187
Betriebsfaktor*			0.49	0.31		1.95
Zusammenfassung Juli bis Nov 95						
Kum. LUX	889030.4	Aussenzonen			Innenzone	
		Anwesenheit	Bel. Wand Mittel	Bel. Fenster	Anwesenheit	Bel. Std.
Geschoss J Betriebsstunden		952	522	202	474	1043
Betriebsfaktor*			0.55	0.21		2.20
Geschoss K Betriebsstunden		609	293	199	34	67
Betriebsfaktor*			0.48	0.33		1.97
Geschoss L Betriebsstunden		653	290	123	127	247
Betriebsfaktor*			0.44	0.19		1.94

* Betriebsstunden pro Anwesenheit

G:\92\84\BIL2_945.XLS ber2

T 7.1 Betriebsstunden für verschiedene Beleuchtungszonen

In Tabelle T 7.1 sind die Betriebsstunden der verschiedenen Beleuchtungszonen der gemessenen Referenzräume dargestellt. Wie in Kapitel 3 zu sehen war, repräsentieren die in den Referenzräumen gemessenen Betriebsstunden nur bedingt das Verhalten des ganzen Stockwerks.

Trotzdem zeigen die unterschiedlichen Betriebsstunden der Beleuchtung der Wand-, Mittelzone bzw. Fensterzone deutlich auf, dass eine Aufteilung der Beleuchtung in zwei separat geschaltete Zonen bei aussenliegenden Räumen sinnvoll ist.

Auffällig ist, dass im Geschoss K je nach betrachtetem Zeitabschnitt der Betriebsfaktor bezogen auf die Anwesenheit sehr unterschiedlich sein kann. Dies zeigt deutlich, wie zufällig das Benutzerverhalten den Verbrauch der Beleuchtung beeinflusst.

Im Gegensatz dazu ergeben die Geschosse J und L ähnliche Werte für das ganze Jahr 1994 und die Messperiode Juli bis November 1994. Die Werte der Messperiode Juli bis November 95 zeigen deutlich die Reduktion der Betriebsstunden durch die bereits beschriebenen Optimierungen der Beleuchtungssteuerungen.

Als Richtwert für die Planung kann somit angenommen werden, dass bei einer gut eingestellten Beleuchtungssteuerung die Betriebszeit der Beleuchtung bei der Wand- / Mittelzone etwa die **Hälfte** und bei der Fensterzone etwa ein **Viertel** der Anwesenheitszeit beträgt.

Das heisst, bei einer **Anwesenheitszeit** von **2000 Stunden** pro Jahr beträgt die Betriebszeit der **Wand- / Mittelzone** etwa **1000 Stunden** , diejenige der **Fensterzone** etwa **500 Stunden** .

7.1.2 Korridorbeleuchtung

Zusätzlich zu den durchgeführten Messungen wurde über das zentrale Leitsystem während etwa zwei Wochen die Betriebsdauer der Korridorbeleuchtung erfasst.

Betriebsstunden Korridorbeleuchtung	Geschoss J	Geschoss K	Geschoss L
5.01.1996 14:15 (Start Messung)	0 h	0 h	0 h
31.01.96 14:15	379 h	324 h	331 h
Anz Arbeitstage: 22	17 h/Tg	15 h/Tg	15 h/Tg

(Arbeitstage: Montag bis Samstag)

G:\92\84\BIL2_945.XLS ber3

B 7.1 Betriebsstunden der Korridorbeleuchtung

In Bild 7.1 sind die Betriebsstunden der Beleuchtung pro Arbeitstag dargestellt. Weil festgestellt wurde, dass oft am Wochenende gearbeitet wird, wurde auch der Samstag als Arbeitstag angenommen.

Die relativ lange Betriebsdauer der Beleuchtung, insbesondere in Geschoss J kommt daher, dass wegen der in den Labors laufenden Versuche oft auch ausserhalb der normalen Arbeitszeiten gearbeitet wird.

Umgesetzt auf einen Betrieb in dem geregeltere Arbeitszeiten vorherrschen (z.B. Verwaltung) sind für eine Korridorbeleuchtung mit Bewegungsmelder Betriebszeiten von etwa **12 bis 14 Stunden pro Arbeitstag** zu erwarten.

7.2 Hinweise für das Beleuchtungskonzept

Im Folgenden sind einige Punkte aufgeführt, die bei der Realisierung eines Beleuchtungskonzepts zu beachten sind:

- Im selben Gebäudebereich (z.B. Stockwerk) muss eine einmal gewählte Beleuchtungssteuerung konsequent installiert werden. Eine Mischung von Räumen mit und ohne Beleuchtungssteuerung stiftet beim Benutzer Verwirrung und kann sich kontraproduktiv auf den Verbrauch auswirken.

- Eine sorgfältige Inbetriebnahme und Einjustierung, insbesondere des Beleuchtungssensors, ist entscheidend für die Energiesparende Wirkung der Beleuchtungssteuerung.
- Halbautomatische Beleuchtungssteuerungen (automatisch ausschalten, einschalten von Hand) bringen den grössten Energiepareffekt. Der Energiepareffekt von vollautomatischen Beleuchtungssteuerungen (automatisch ein- und ausschalten) ist eher fragwürdig, da ein Gewöhnungseffekt eintreten kann.

7.3 Investitionskosten

Mehrinvestitionen gegenüber Geschoss K, bezogen auf einen Raum von 50 m²

• Geschoss J mit Bewegungsmelder	
• Bewegungsmelder	Fr. 210.--
• Montage und Inbetriebsetzung	Fr. 20.--
• Installationen	Fr. 20.--
Total	<u>Fr. 250.--</u>
• Geschoss L mit Lichtregulierung	
• 6 regulierbare EVG (Berechnungsgrundlage: 2 Fluoreszenzlampen pro EVG)	Fr. 420.--
• 2 Lichtsteuersysteme (Philips Trios LRC 1020)	Fr. 400.--
• 2 Lichtsensoren (Philips LRL 8010)	Fr. 180.--
• Montage und Inbetriebsetzung	Fr. 80.--
• Installationen	Fr. 120.--
Total	<u>Fr. 1'200.--</u>

Bemerkungen zu den Investitionen:

Für die Berechnung der Investitionskosten wurden die neuesten Gerätegenerationen, -preise und Installationskosten angenommen. Die angenommenen Geräte erfüllen die gleichen Funktionen wie die untersuchten Installationen. Im besonderen ist zu beachten, dass die aktuelle Generation der Lichtregulierung mit Abschaltung (Geschoss L) kostengünstiger ist als diejenige, die für das Messprojekt installiert wurde.

7.4 Rentabilitätsberechnung

Vergleich mit Verbrauch Geschoss K

Grundlage:

- Verbrauch Geschosse J,K,L Periode Juli - November 1995
- Raum von 50 m²

Geschoss	Lichtsteuerung	Elektroverbrauch pro m ² EBF und Std. Anwesenheit W/m ²	Bezogen auf 2000 Jahresar- beitsstunden kWh/m ²	Jahres- verbrauch kWh
J	Bewegungsmelder	7.64	15.28	764
K	Handhalter	8.38	16.76	838
L	Lichtregulierung	6.41	12.82	641

- Einsparung bei Installation eines Bewegungsmelders

$$838 \text{ kWh} - 764 \text{ kWh} = 74 \text{ kWh}$$

$$74 \text{ kWh} \text{ à } 22 \text{ Rp.} = \text{Fr. } 16.--$$

Ertrag

Fr. 16.-- : Fr. 250.-- = 6.5 % (bezogen auf Mehrinvestition)
Ergibt bei einem Kapitalzinssatz von 5 % eine Amortisationsdauer von ca. 40 Jahren

- Einsparung bei Installation einer Lichtregulierung

$$838 \text{ kWh} - 641 \text{ kWh} = 197 \text{ kWh}$$

$$197 \text{ kWh} \text{ à } 22 \text{ Rp.} = \text{Fr. } 43.--$$

Ertrag

Fr. 43.-- : Fr. 1'200.-- = 3.6 % (bezogen auf Mehrinvestition)
Ergibt bei einem Kapitalzinssatz von 5 % eine Amortisationsdauer von über 50 Jahren. Das heisst, die Investition lässt sich innerhalb der Nutzungsdauer nicht amortisieren.

Die obenstehende Rentabilitätsrechnung muss jedoch vor allem in bezug auf das Geschoss J etwas relativiert werden. Wie in Kapitel 2 zu sehen war, ist die Nutzung und das Benutzerverhalten in den Geschossen J und K sehr unterschiedlich (z.B. zeitlich unterschiedliches Schwergewicht in der Anwesenheit). Wäre Nutzung und Benutzerverhalten im Geschoss K gleich wie im Geschoss J, würde im Geschoss K höchstwahrscheinlich ein höherer Elektroverbrauch für die Beleuchtung resultieren.

Aus diesem Grund ist nachfolgend eine weitere Rentabilitätsrechnung angefügt. In dieser Berechnung wird die Differenz im Verbrauch vor und nach dem Umbau der Bewegungsmelder als Basis angenommen. Der

Vorteil dieser Betrachtung ist, dass die Nutzung der gemessenen Räume sich während der verglichenen Zeiträume nicht verändert hat. Was in dieser Betrachtung nicht quantifiziert werden kann, ist die Frage, inwieweit das Benutzerverhalten durch die vollautomatische Beleuchtungssteuerung beeinflusst wurde (Gewöhnungseffekt).

Vergleich mit vor und nach Umbau Geschoss J

Grundlage:

- Verbrauch Geschoss J Periode Juli - November 1994 (Vollautomatischer Bewegungsmelder)
- Verbrauch Geschoss J Periode Juli - November 1995 (Nach Umbau des Bewegungsmelder auf Halbautomatik)
- Raum von 50 m²

Geschoss	Messperiode	Elektroverbrauch pro m ² EBF und Std. Anwesenheit W/m ²	Bezogen auf 2000 Jahresarbeitsstunden kWh/m ²	Jahresverbrauch kWh
J	Jul. - November 1995	7.64	15.28	764
J	Jul. - November 1994	12.31	24.62	1231

- Einsparung bei Installation eines Bewegungsmelders

$$1231 \text{ kWh} - 764 \text{ kWh} = 467 \text{ kWh}$$

$$467 \text{ kWh} \cdot 22 \text{ Rp.} = \text{Fr. } 103.--$$

Ertrag

$$\text{Fr. } 103.-- : \text{Fr. } 250.-- = 41.2 \% \text{ (bezogen auf Mehrinvestition)}$$

Ergibt bei einem Kapitalzinssatz von 5 % eine Amortisationsdauer von ca. 3 Jahren

Wie die beiden Rentabilitätsrechnungen zeigen, fallen die gemachten Einsparungen sehr unterschiedlich aus, je nachdem welche Basis für die Betrachtungen angenommen wird. Dies ist in sich kein Widerspruch, da bei einem extrem energiebewussten Benutzerverhalten mit einer Beleuchtungssteuerung keine weiteren Energieeinsparungen mehr erzielt werden können. In der Regel ist jedoch das Benutzerverhalten nicht so energiebewusst, so dass doch erhebliche Einsparungen gemacht werden können. Die zu erwartenden Kosteneinsparungen dürften also eher im Bereich der zweiten Rentabilitätsrechnung liegen.

Anhang

Grundrisse der gemessenen Stockwerke

Schemas der eingesetzten Beleuchtungsanlagen