

# Moderne Beleuchtungsanlagen: ein Diane-Projekt am Zentralschweizerischen Technikum Luzern

Autor(en): **Hämmerli, Bernhard M. / Brühlmeier, Josef**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **113 (1995)**

Heft 42

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78790>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

**Kennwerte einer typischen TWD-Konstruktion**

Wärmedurchgangskoeffizient k-Wert im Glasbereich	0,7 W/m <sup>2</sup> K
Wärmedurchgangskoeffizient k-Wert ganzes 1,2-m <sup>2</sup> -Modul (mit Rahmen)	0,9 W/m <sup>2</sup> K
Transmissionsgrad (Tau)	65 %
Gesamtenergiedurchlass (g)	0,65
Nettoenergiegewinn je Heizsaison	90 bis 120 kWh/m <sup>2</sup>
Verlust einer opaken Wand je Heizsaison	25 bis 30 kWh/m <sup>2</sup>
Spezifische Energieeinsparung	115 bis 150 kWh/m <sup>2</sup>

Annahmen: Wärmeleitwert des TWD-Materials 0,33 W/m<sup>2</sup> K; mit dem Transmissionsgrad (Tau) wird der Strahlungsdurchgang (von aussen nach innen) des sichtbaren Lichtes (380 bis 780 nm) bezeichnet.  
 0,1 W/m K, Bautiefe 10 cm, beidseitig verglast; Südfassade einer Wohnung; Mauer hinter dem TWD-Material: 30 cm Kalksandstein; Klima: Schweizer Mittelland; k-Wert der opaken Wand:

zwischen Absorber und Mauerwerk 15 mm. Dieser Zwischenraum gleicht Unebenheiten im Mauerwerk aus, verringert aber auch den Wirkungsgrad des TWD-Systems, weil der Wärmetransport strahlend und konvektiv und nicht leitend erfolgt. Grobe Schätzungen gehen von einer Ertragseinsparung um 10 Prozent aus. Simulationen der

Temperaturen innerhalb der TWD-Konstruktion hat Höchstwerte von 80 bis 90 °C ergeben; diese Temperaturen treten an der äusseren Oberfläche des Absorbers auf. Da der zulässige Grenzwert für das TWD-Material 110 °C beträgt, liegt die Konstruktion auch ohne Beschattungseinrichtung auf der sicheren Seite. Der Architekt und der Her-

steller der Module wollten keine Risiken eingehen und wählten eine Fassade, die ohne viel Aufwand mit einem Sonnenschutz nachgerüstet werden kann.

Die transparente Wärmedämmung halbiert den Heizenergiebedarf (nach SIA 380/1) des Wohnhauses auf der Hundwiler Höhe: Statt 200 MJ/m<sup>2</sup> sind es nur 100 MJ/m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche. Bei einer EBF von 200 m<sup>2</sup> ergibt sich ein TWD-Ertrag von 20 000 MJ oder 138 kWh/m<sup>2</sup> TWD.

Adresse des Verfassers:

Othmar Humm, Fachjournalist Technik + Energie, 8050 Zürich

**Literatur**

*Kerschberger, Alfred:* Transparente Wärmedämmung zur Gebäudeheizung. Systemausbildung, Wirtschaftlichkeit, Perspektiven. Bauök-Papiere 56 der Universität Stuttgart, 1994.

Bernhard M. Hämmerli und Josef Brühlmeier, Horw

## Moderne Beleuchtungsanlagen

Ein Diane-Projekt am Zentralschweizerischen Technikum Luzern

**Im folgenden werden die Resultate einer Untersuchung über den Energieverbrauch der Beleuchtungssysteme von drei Schulzimmern am ZTL in Horw beschrieben. Die drei Beleuchtungssysteme sind: konventionelle Leuchtstoffröhren, Spiegelrasterleuchten mit Regelung und einem Innenlichtsensor, Spiegelrasterleuchten von einem Aussenlichtsensor gesteuert. Eine umfangreiche Datenerfassungseinrichtung wurde für diese Räume konzipiert und installiert. Nach einer rund einjährigen Messperiode wurden die Messwerte interpretiert: Mit modernen Beleuchtungssystemen kann der Energieverbrauch gegenüber dem konventionell beleuchteten Zimmer bis zu 72% reduziert werden.**

**Ausgangslage und Zielsetzung**

Heute werden in der Schweiz jährlich etwa 64 GWh elektrische Energie für die Beleuchtung von Schulzimmern benötigt. Vergleichsweise erzeugt das Limmat-Kraft-

werk Wettingen rund doppelt soviel Energie (130 GWh). Der Verbrauch einer Gemeinde mit 20 000 Einwohnern ist etwa gleich gross (76 GWh). Mit modernen Beleuchtungssystemen lässt sich der Energieverbrauch erheblich reduzieren, was am ZTL verifiziert wird mit den folgenden Einrichtungen:

- Normale konventionelle Beleuchtung, dient als Referenz
- Aussenlichtgesteuerte Beleuchtung mit Präsenzföhler
- Innenlichtgesteuerte Beleuchtung mit Präsenzföhler

Als Ergebnis der Studie waren folgende Aussagen geplant (jetzt bereits mit Messwerten bestückt):

- Energieverbrauch einer normalen Beleuchtung (ZTL und ATIS etwa 1000 Betriebsstunden pro Jahr): rund 1.8 MWh.
- Energieverbrauch einer modernen Beleuchtung (neue Röhrentechnologie, Rasterleuchten) ohne Regelung ist 40 %, wenn 100% die normale Beleuchtung ist.
- jährlicher Energieverbrauch der gesteuerten Beleuchtungen (Innenlicht- [510 kWh], Aussenlicht-gesteuert [649 kWh])

- Einsparungspotential der verschiedenen Massnahmen (Präsenzmelder (11%), Regelung der gesamten Beleuchtung (Innenlichtsensor: 42%, Aussenlichtsensor: 11%), Regelung einzelner Lampenreihen (siehe Interpretation der Resultate).

**Versuchsaufbau****Planung und Bau des Messsystems**

In einem ersten Schritt wurden die Messgrössen, welche als Resultat der Studie präsentiert werden sollen, im Detail definiert. Die Evaluation eines geeigneten Messsystems, das den Rahmen des Budgets nicht sprengte, war der nächste Schritt. Die Installationen für das Messsystem im Hause wurden von einem Elektroinstallateur/-planer ausgeführt. Diese Installationen wurden überprüft und korrigiert. In Zusammenarbeit mit einer Firma wurde das Messsystem in Betrieb genommen. Ein umfassender Systemtest schloss die Inbetriebnahme ab. Aussagekräftige Kenngrössen, welche die Energieeinsparungen von modernen Beleuchtungssystemen komponentenweise beschreiben, wurden definiert. Vor der Messphase wurden Spezialuntersuchungen vorgenommen, wie z. B. das Bestimmen des Zusammenhangs zwischen der Wirk- und Blindleistung in Abhängigkeit von verschiedenen Belastungen (Teillastbetrieb), sowie das Messen des Oberwellenspektrums.

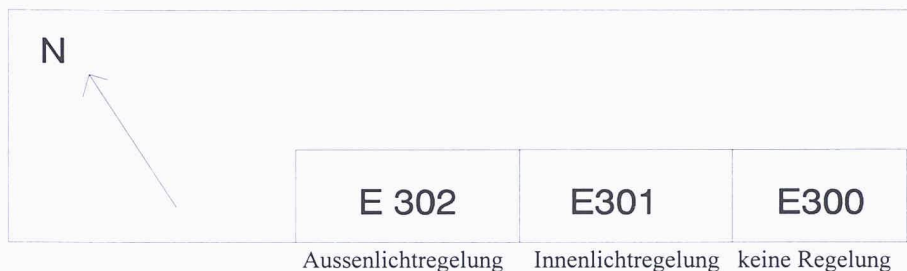


Bild 1.  
Lage der untersuchten Schulräume innerhalb  
des Gebäudes

Zur Lage der Schulräume (Bild 1): Alle Schulzimmer liegen im gleichen Stock und haben gleiche Exposition. In jedem Zimmer wurde ein Datenlogger installiert zum Aufzeichnen aller für die Auswertung relevanten Daten. Diese Daten wurden wöchentlich mit Hilfe der Software des Datenloggers über eine serielle Schnittstelle auf einen PC übertragen und archiviert.

### Betriebsorganisation

Das Betriebskonzept für das Messsystem wurde im Rahmen der Planung der Anlage erstellt. Die Daten der Datenlogger werden zyklisch auf einen PC übertragen. Von diesen Daten wird in bestimmten Abständen ein Backup erstellt. Die Anlage wurde wöchentlich zweimal auf Betriebstüchtigkeit geprüft. Nicht berücksichtigt wurden im Betriebskonzept, dass Software-Release-Migrationen des Messsystems notwendig waren. Für die Auswertung der Daten wurde eine Auswerte-Software er-

stellt, welche die definierten Kenngrößen berechnet.

Nicht berücksichtigt im Betriebskonzept war eine Benutzungsänderung des Raumes D303. Der Schulbetrieb erforderte eine Zweckänderung des Raumes D303, weshalb die Messeinrichtung aus diesem Raum in den Raum E300 gezügelt wurde. Dieser Raum ist zwar von der Exposition her ideal, die Nutzung als Sprachzimmer ist leicht unterschiedlich gegenüber der Nutzung der Räume E301 und E302, welche als Klassenzimmer benutzt werden. Trotz einer sehr sorgfältigen Planung des Betriebes konnte nicht vermieden werden, dass gewisse Datenverluste entstanden.

### Inbetriebnahme

Die Lieferfirma arbeitete mit dem ZTL bei der Inbetriebnahme eng zusammen, da es sich um eine Nullserie des Datenloggers handelte. Entsprechend dauerte die Inbetriebnahme wesentlich länger als geplant.

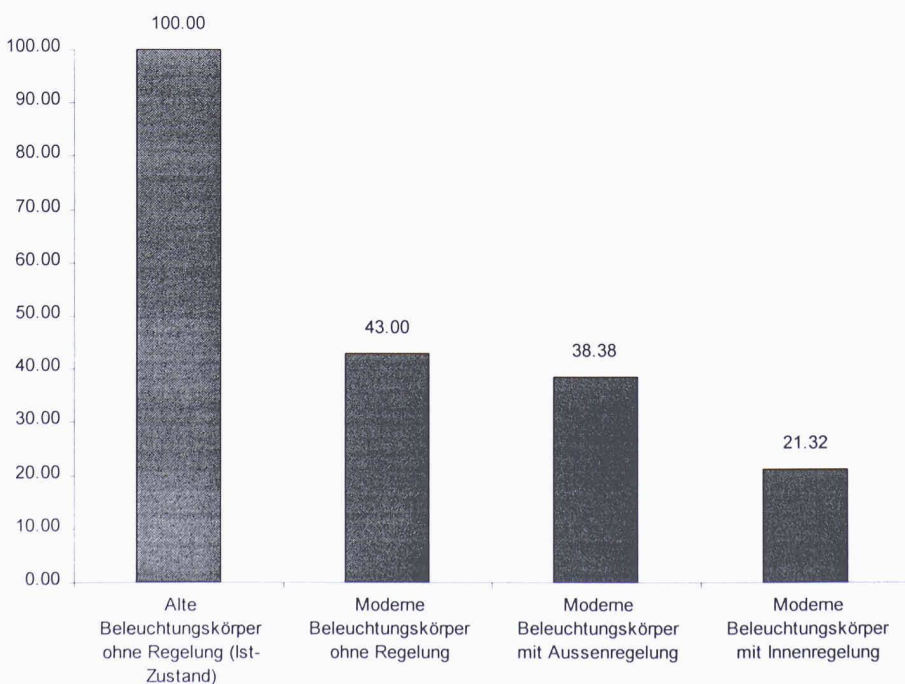


Bild 2.  
Verbleibender Energieverbrauch in Prozent

## Messresultate

### Die wichtigsten Ergebnisse im Überblick

Die Messresultate beziehen sich auf die Messperiode vom 8. November 1993 bis zum 3. Oktober 1994, wobei einige Wochen ohne Messresultate sind, teilweise wegen Minderbenutzung der Räumlichkeiten infolge Ferien, teilweise wegen technischer Pannen. Die Einsparungen sind im Sommer prozentual grösser, da die Lichtanteile von aussen grösser sind und im geregelten Fall einen Teillastbetrieb verursachen. In Bild 2 sind 100% auf ein konventionelles Schulzimmer ohne Beleuchtungssanierung bezogen (Ist-Zustand).

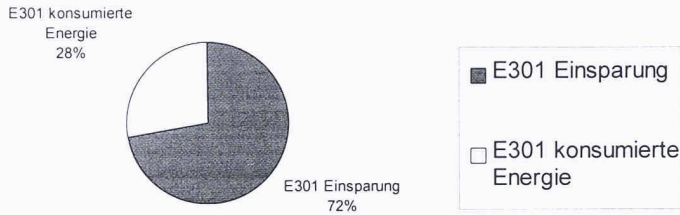
Mit modernen Beleuchtungsanlagen sollte sich gemäss ursprünglichen technischen Schätzungen der Energieverbrauch etwa auf die Hälfte reduzieren. Auf Grund der erfassten Daten in der Messperiode vom 8. November 1993 bis zum 3. Oktober 1994 ergibt sich eine höhere Einsparung von 72% bzw. 64%. Diese wird in den Bildern 3 bis 6 für die beiden Schulzimmer (E301 mit Innenlichtregelung und E302 mit Aussenlichtsteuerung) dargestellt. Die Bilder 3 und 4 zeigen eine Übersicht, in den Bildern 5 und 6 werden die Einsparungen nach Ursache aufgeschlüsselt. Die automatische Abschaltung der Beleuchtung mit dem Präsenzsensoren wird hier nicht als Einsparung ausgewiesen, da diese Einsparung nicht direkt gemessen werden kann.

### Kontrollrechnung

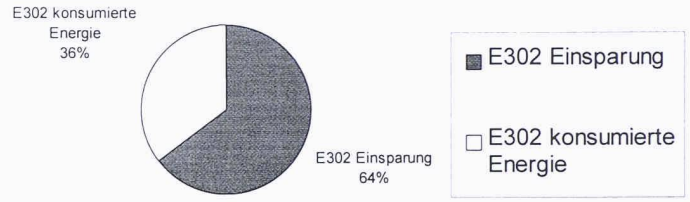
Die gemachten Aussagen werden mit einer Kontrollrechnung auf Plausibilität überprüft. Es wird die durchschnittliche Leistungsaufnahme der verschiedenen Beleuchtungssysteme bestimmt. Das konventionelle Beleuchtungssystem dient dabei als Referenz. Die anderen beiden Beleuchtungssysteme werden auf die Referenz bezogen. Aus den durchschnittlichen Leistungsaufnahmen kann über die Einschaltdauer auf die Einsparungen rückgeschlossen werden.

#### Definition:

- $P_1$  Leistungsaufnahme Referenzzimmer
- $P_2$  Leistungsaufnahme Zimmer mit Aussenlichtsensor
- $P_3$  Leistungsaufnahme Zimmer mit Innenlichtsensor
- $t_1$  Betriebszeit der Beleuchtung Referenzzimmer
- $t_2$  Betriebszeit der Beleuchtung mit Aussenlichtsensor
- $t_3$  Betriebszeit der Beleuchtung mit Innenlichtsensor
- $E_1$  Konsumierte Energie Referenzzimmer
- $E_2$  Konsumierte Energie Zimmer mit Aussenlichtsensor



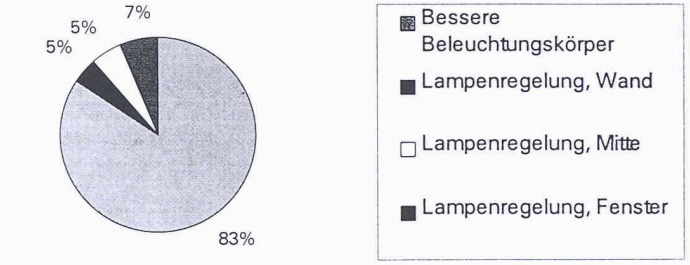
**Bild 3.**  
Messresultate Zimmer mit Innenlichtsensor



**Bild 4.**  
Messresultate Zimmer mit Aussenlichtsensor



**Bild 5.**  
Aufschlüsselung nach Ursache der Einsparungen im Zimmer mit Innenlichtregelung



**Bild 6.**  
Aufschlüsselung nach Ursache der Einsparungen im Zimmer mit Aussenlichtregelung

**E<sub>3</sub> Konsumierte Energie Zimmer mit Innenlichtsensor**

Für die durchschnittliche Leistungsaufnahme erhält man:

$$P_1 = \frac{E_1}{t_1} = \frac{229,98 \cdot 10^3 \cdot 3600}{457106} \cdot \frac{W_s}{s} = 1811,2 \text{ W}$$

(konventionell)

$$P_2 = \frac{E_2}{t_2} = \frac{294,92 \cdot 10^3 \cdot 3600}{2096840} \cdot \frac{W_s}{s} = 506,34 \text{ W}$$

(Aussenlichtsteuerung)

$$P_3 = \frac{E_3}{t_3} = \frac{308,46 \cdot 10^3 \cdot 3600}{1722380} \cdot \frac{W_s}{s} = 644,7 \text{ W}$$

(Innenlichtsteuerung)

Aus diesen Leistungen können nun auch die Einsparungen berechnet werden. Die Einsparungen beziehen sich auf das Referenz-Zimmer E300 mit alten Beleuchtungskörpern und ohne Regelung.

Zimmer mit Aussenlichtsensor:

$$\frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{1811,2 - 506,34}{1811,2} \cdot 100\% \cdot \frac{W}{W} = 72\% \text{ Einsparung}$$

Zimmer mit Innenlichtsensor:

$$\frac{P_1 - P_3}{P_1} \cdot 100\% = \frac{1811,2 - 644,7}{1811,2} \cdot 100\% \cdot \frac{W}{W} = 64\% \text{ Einsparung}$$

Zimmer mit modernen Beleuchtungskörpern, jedoch ohne Regelung, haben 60% Einsparung bezüglich dem Referenzzimmer. Dieser Wert wird im folgenden als Lampentypsparsparwert bezeichnet. In den vollständigen Projektunterlagen sind die

Einsparungen detaillierter berechnet. Für jede Ursache der Einsparung wird ein dimensionsloser Faktor als Sparwert definiert. Entsprechend des Umfangs der Sparwertrechnung wird hier auf eine Wiedergabe verzichtet.

Die Kontrollrechnung zeigt, dass die Messungen vernünftige Resultate liefern.

**Wirk-/Blindleistung**

Die Wirk- und Blindleistungen wurden für verschiedene Lastfälle gemessen. In Tabelle 1 werden diese Grössen für alle drei Zimmer bei 100% und 50% Auslastung der Anlage angegeben. Aufgrund der unterschiedlichen Bauart der Leistungselektronik ergibt sich eine beträchtliche Differenz im Blindleistungsverhalten. Speziell die Aussenlichtsteuerung erzeugt sehr viel Blindleistung, was die Elektrizitätswerke nicht sehr schätzen.

Eine weitere Untersuchung bezüglich den Oberwellen ergab, dass die zurzeit gültige Norm IEC 77A von allen Beleuchtungssystemen eingehalten wird. Die IEC 77A erlaubt für Geräte unter 15 A Anschlussstrom eine 3. Oberschwingung von 2,3 A. Da unsere Beleuchtungen kleine Anschlussströme haben, sind die 3. Harmonischen unproblematisch. In bezug auf die Grundschwingung betragen die 3. Harmonischen zwischen 12% und 23% der Stromgrundschwingung.

**Wirtschaftliche Interpretation der Messergebnisse**

Die wirtschaftliche Betrachtung der Anlage soll zuerst die Investition, dann die

Erträge aufzeigen. Anschliessend werden verschiedene Betrachtungen zur Rentabilität gemacht.

**Investition**

Die Investition pro Spiegelrasterleuchte inklusive Montage beträgt 260 Fr. für das ZTL innerhalb eines Grossauftrages. Dieser Wert kann sehr unterschiedlich sein, abhängig von den Rabatten, der Anzahl und den Installationsumständen. Die Investition für die Regelung beträgt rund 14 000 Fr./Schulraum (3 Lampenreihen mit je einer unabhängigen Steuerung, 4 Lampen pro Reihe).

**Erträge**

Die Erträge der Beleuchtungsanlage wirken sich in eingespartem Strom aus. Die Ersparnis ergibt sich aus der Benützungsdauer, dem Strompreis und der gesparten Energie.

**Benützungsdauer**

1000 Betriebsstunden pro Jahr, gemessen 20 Wochen, extrapoliert auf 38 Schulwochen

**Strompreis**

18 Rappen (Luzerner Hochtarif)

**Gesparte Energie**

72,1%	64,4%
(Innenlichtsensor)	(Aussenlichtsensor)
980 kWh	880 kWh
(Innenlichtsensor)	(Aussenlichtsensor)

11,1% (Präsenzsensoren): Die Abschaltungen durch Präsenzsensoren werden hypo-

Anlage Zimmer	Auslastung 100 %		50 %	
	P [W]	Q [VAr]	P [W]	Q [VAr]
ohne Regelung:	645,7	419,3 induktiv	—	—
mit Innenlichtregelung:	242	55,7 kapazitiv	123	73,3 kapazitiv
mit Aussenlichtsteuerung:	289,7	505,3 kapazitiv	144,7	230,7 kapazitiv

Tabelle 1.

Zimmer	Energieverbrauch (gemittelt und extrapoliert auf ein Schuljahr), -18 Fr./kWh		Energieeinsparung (gegenüber Zimmer ohne Regelung), -18 Fr./kWh		Energieeinsparung (gegenüber Zimmer ohne Regelung)
	kWh	SFr.	kWh	SFr.	[%]
ohne Regelung	1825,4	328,8 Fr.	0	0	0
mit Innenlichtsensor	510,3	91,8 Fr.	1315,1	236,7 Fr.	72,1
mit Aussenlichtsensor	649,8	116,9 Fr.	1176	211,6 Fr.	64,4
keine Regelung, nur Spiegelrasterleuchten	730,16	131,5 Fr.	1095,2	197,3 Fr.	60,0

Tabelle 2.

thetisch berechnet. Das Messverfahren des Präsenzsparwertes beruht auf einem Vergleich mit dem Referenzzimmer. In diesem Zimmer wird kontrolliert, wie lange der Raum ohne Leute beleuchtet bleibt. Die Zeit zwischen dem Infrarotsensor-Aus (Raum zwei Minuten unbewohnt) bis zur Abschaltung des Lichtes wird als gesparte Energie betrachtet.

Während der Messperiode vom 8. 11. 1993 bis zum 3. 10. 1994 sind einige Datenverluste eingetreten. Es wird jetzt linear auf ein Schuljahr extrapoliert (38 Schulwochen) und für alle drei Zimmer die gemittelten Raumbenutzungszeiten (Mittel über die Klassenzimmer E301 und E302) eingesetzt. Der Energieverbrauch präsentiert sich unter diesen Annahmen gemäss Tabelle 2.

Der Absolutwert der Einsparungen in Franken ist mit und ohne Regelung nicht sehr unterschiedlich. Daraus lässt sich ableiten, dass eine Regelung heute vorwiegend für den Komfortgewinn eingesetzt wird.

#### Aussagekraft der Messungen

Die gemachten Messungen beziehen sich auf einen Normalbetrieb eines Schulzimmers am ZTL. Jedoch sind die Messwerte als exemplarische Werte für einen generalisierbaren Fall zu verstehen. Die Bedeutung der Messergebnisse liegt im statistisch erfassten Material und nicht in der absoluten Genauigkeit. Verschiedene menschliche Faktoren sind in die Resultate eingebunden wie z.B. die Streuung im Verantwortungsbewusstsein der Benutzer der

Schulräume, Schwelle des Lichteinsatzes usw.

#### Rentabilität

Die Rentabilität wird zuerst mit der Amortisations-Rechnung (AR = Investition/Ertrag pro Jahr) untersucht. Die AR kennt keinen Kapitalzins und berücksichtigt die Geldentwertung nicht.

AR = etwa 15 Jahre (Spiegelrasterleuchten ohne Präsenz- und Lichtsensor)

In der Vorprojektphase wurde eine AR von etwa 12 Jahren erwartet (Annahme: 1200 Betriebsstunden, Fr. -18/kWh), welche sich aufgrund kleinerer gemessener Präsenzzeiten (rund 1000 Betriebsstunden) und eines höheren Strompreises (Fr. -18) im ersten Betriebsjahr gegenüber der gemachten Annahme auf rund 15 Jahre erhöht.

#### Wirtschaftlichkeit

Bei einem üblichen Kapitalzinssatz (10%) ist keine der oben genannten Massnahmen für eine Beleuchtungssanierung wirtschaftlich. In Verbindung mit einem anderen Bauvorhaben und einem allgemeinen Leuchtstoffröhrenwechsel kann eine Sanierung der Beleuchtung mit Spiegelrasterleuchten in Schulen wirtschaftlich sein. Ausserdem gewinnt man an Komfort, und die notwendigen Verbesserungen im Zusammenhang mit Bildschirmarbeitsplätzen werden auch erreicht.

Die Reglerkosten von rund Fr. 14 000.- können mit unserem Strompreis-/Investitions-Verhältnis nicht vernünftig finanziert

werden. Präsenzsensoren sind heute noch nicht marktüblich. Es ist vorstellbar, dass ein Serienprodukt mit entsprechenden Preisen rentabel eingesetzt werden kann.

Möchte man aus rein wirtschaftlicher Sicht die Investition sinnvoll (i.e. 10%) verzinsen, so kann die Anlage nicht abgeschrieben werden. Obwohl die energetischen Einsparungen die im Vorprojekt erwarteten Einsparungen übertrafen, bleibt auf Grund einer kleineren Betriebsstundenzahl die wirtschaftliche Einsparung unter den Erwartungen. Das ZTL weist mit 1000 Betriebsstunden in 38 Schulwochen eine sehr hohe Benutzungsdauer aus. Man kann nicht erwarten, dass an anderen Schulen die Benutzungsdauer der Räume grösser ist. Eine volle Wirtschaftlichkeit kann erst erfolgen, wenn das Verhältnis zwischen Energiepreis und Investition wesentlich ändert.

Der Komfortgewinn einer Regelung wird hier nicht im wirtschaftlichen Sinne berücksichtigt. Je nach Benutzergruppe und Verwendung der Räumlichkeiten ist der Komfortgewinn als nicht quantifizierbarer Faktor sehr zentral.

Fazit: Heute können nach streng wirtschaftlichen Kriterien Spiegelrasterleuchten nur in Schulneubauten eingesetzt werden. Eine Änderung des Strompreises nach oben kann Sanierungsprojekte wirtschaftlich machen. Ebenso sind Sanierungen in Räumen mit dauerndem Kunstlicht (2000 Betriebsstunden und mehr) wirtschaftlich. Kontinuierliche Regelungen sind mit den heutigen Strompreisen und Stromrichtertechnologien noch nicht wirtschaftlich.

#### Technische und benutzerorientierte Interpretation der Messung

##### Benutzeraspekte

Das Licht von den Spiegelrasterleuchten wird im allgemeinen als angenehmer empfunden als dasjenige der alten Leuchtstoffröhren und erhöht das Wohlbefinden. Die automatische und kontinuierliche Steuerung/Regelung der Beleuchtung führt zu einer sehr regelmässigen und angenehmen Ausleuchtung. Blendungen kommen praktisch keine vor. Eine einmalige Messung mit einem Lux-Meter bestätigte die Regelmässigkeit der Ausleuchtung in den Räumen. Dieser Aspekt ist speziell wichtig für Arbeitsplätze mit beinahe ständiger Präsenz (Büros, Schulen).

Nach persönlicher Ansicht der Verfasser ist die Aussenlichtsteuerung etwas angenehmer als die Innenlichtregelung. Das mag daran liegen, dass die Innenlichtregelung auf Hell- und Dunkelflächen im Sensorbereich reagiert, wogegen die Aussenlichtsteuerung den Raum neutraler beleuchtet. Mit einer guten Ausleuchtung

**Literatur**

[1]

Aus SI+A 45, 4. November 1993: Haustechnik: Diane-Projekt Tageslichtnutzung

[2]

Aus HLH, Bd. 45 (1994), Nr. 2/Februar: Erfolgsbilanz energetischer Gebäudesanierungen

[3]

Semesterarbeit «Messsystem für moderne Beleuchtungsanlagen» ZTL 1993, Grüter Markus & Gwerder Richard

[4]

Diplomarbeit «Messsystem für moderne Beleuchtungsanlagen» ZTL 1993, Grüter Markus & Gwerder Richard

kann man sich auch die Augen schonen, was sich im Alter auszahlt.

Die Verantwortlichkeit in allgemein zugänglichen Räumen für das Lichtlöschen ist klar geregelt: der Letzte, der den Raum verlässt, hat das Licht zu löschen. Leider klappt das nicht immer, weshalb die Einführung einer automatischen Löschung sinnvoll sein kann. Messung: Etwa 10% der Beleuchtungsdauer war niemand im Raum.

**Vergleich mit einer anderen Studie**

Im Bericht «Erfolgsbilanz energetischer Gebäudesanierungen» [2] ist die Energieeinsparungsbilanz von Bankgebäuden, Lebensmittelläden und Verwaltungsgebäuden beschrieben. Dieser Bericht zeigt, dass mit kleinem Aufwand mit modernen Beleuchtungsanlagen eine Energiekonsumeinsparung von mindestens 40% möglich ist. Diese Messresultate sind im Einklang mit unseren Überlegungen und Messungen.

**Empfindlichkeit des Auges, Unterschiede der Anlagen**

Die Lampenreihensparwerte von Wand zu Fenster sind in den beiden Räumen E301 und E302 stark unterschiedlich. So ist die Energieeinsparung im Zimmer

mit Innenlichtsensor an der Fensterlampenreihe zweimal grösser als jene an der Wand. Beim Zimmer mit Aussenlichtsensor ist dieser Unterschied noch 1,5mal so gross. Benutzer merken allerdings kaum einen Unterschied.

**Empfehlung für die Beleuchtungsprojektierung in Schulen****Neuinstallationen und Sanierungen von Beleuchtungen**

Die Wirtschaftlichkeit des Präsenzsensors hängt stark von der Disziplin der Benutzer ab. Mit einem Präsenzsensoren und der automatischen Abschaltung kann man sich gegen unnötige Einschaltzeiten der Beleuchtung «versichern». Diese Versicherung empfiehlt sich vor allem in Räumen, wo sich niemand für die Ausschaltung der Beleuchtung verantwortlich fühlt.

Die Montage von Sensoren und kontinuierlichem Licht müssen von Fall zu Fall genau abgeklärt werden und sind mit der heutigen Technologie unwirtschaftlich. Diese Aussage kann auf Grund der erhaltenen Messresultate (Bilder 3 und 4) einfach überprüft werden (kontinuierliche Regelungen kosten bis Fr. 14 000.-/Schulzimmer, Sanierung aller Leuchten inkl. Montage 3210 Fr./Schulzimmer).

**Neuinstallationen von Beleuchtungen**

Neue Beleuchtungsanlagen in Schulhäusern sollen aus energetischen Überlegungen mit Spiegelrasterleuchten realisiert werden. Regelungen sind nur dann vertretbar, wenn sie wegen spezieller Benützungarten der Räumlichkeiten gebraucht werden.

**Sanierung von bestehenden Beleuchtungen**

Eine Investition in neue, moderne Spiegelrasterleuchten zahlt sich nur aus, wenn die Betriebsstundenzahl sehr hoch ist

(Räume mit Dauerkunstlicht) und im Zusammenhang mit einer allgemeinen Sanierung (z.B. allgemeine Renovation, oder allgemeiner Leuchtstoffröhrenwechsel).

Eine Sanierung für einen besseren Komfort oder bessere Ausleuchtung der Räume ist sicher in vielen Fällen sinnvoll und lässt sich mit der Amortisationsrechnung (15 Jahre) sehr wohl begründen.

Der Energiepreis wird sicherlich ansteigen, womit die Ertragsseite künftig besser aussehen wird und sich die Amortisationsdauer verringert. Auch unter diesem Aspekt kann eine Sanierung vertreten werden.

Adresse der Verfasser:

Dr. *Bernhard M. Hämmerli* und Prof. *Josef Brühlmeier*, ZTL, Technikumstrasse, 6048 Horw

Die vollständigen Projektunterlagen sind bei der Bibliothek ZTL, Technikumstrasse, 6048 Horw, auszuleihen.