



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

EVALUATION UND KONZEPTION VON SYSTEMEN ZUR EINFACHEN NACHRÜSTUNG VON BELEUCHTUNGEN MIT BEDARFSSTEUERUNGEN

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Martin Stalder, Ingenieurbüro für Energietechnik
Engelgasse 22, 8911 Rifferswil, m.stalder@energienetz.ch
www.energienetz.ch/stalder

René Naef, Naef Energietechnik
Jupiterstrasse 26, 8032 Zürich, naef@naef-energie.ch
www.naef-energie.ch

Projektpartner

Bernhard Brechbühl,
Universität Zürich, Abteilung Bauten und Räume (BuR) Universitätstr. 25, 8006 Zürich

Willy Beugger, Michael Schink,
Hardmeier Electronics, Weststr. 115, 8408 Winterthur

Impressum

Datum: 27. August 2008

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm REN

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Projektleiter: Charles Filleux, Filleux.REN@bhz.ch

Projektnummer: 101479

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Abstract	3
1. Ausgangslage.....	4
2. Projektziele.....	4
3. Konzepte für die Nachrüstung von Bedarfssteuerungen	4
3.1 Ausgangslage	4
3.2 Konzeptidee.....	5
4. Feldanalyse von ausgeführten Schaltungen.....	6
4.1 Untersuchte Objekte, Vorgehen	6
4.2 Wichtigste Erkenntnisse	6
4.3 Gängige Beleuchtungsinstallationen	7
5. Neue Elektronik-Komponenten	8
5.1 Entwicklung benötigter Elektronikkomponenten.....	9
5.1.1 Fremdspeisungsfreier Präsenzmelder (PIR) mit Tageslichtsensor.....	9
5.1.2 Funk-Schaltaktor (Schaltelement)	10
P+D Anlagen	11
5.2 Attenhoferstrasse 8.....	11
5.3 Blüemlisalpstrasse 10.....	12
5.4 Rämistrasse 73.....	13
5.5 Moussonstrasse 2/4.....	15
5.6 Hirschengraben 60	16
6. Benutzerumfrage.....	18
6.1 Umfrage als Funktionskontrolle	18
6.2 Umfrageresultate	18
6.2.1 Informationen und Instruktionen	19
6.2.2 Manuelle Bedienung.....	19
6.2.3 Automatische Abschaltung	19
6.2.4 Installation des Präsenzmelders.....	20
6.2.5 Allgemeine Beurteilung der Beleuchtungssteuerung	20
6.2.6 Erkenntnisse aus den Umfrage	21
7. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen.....	21
7.1 Annahmen, Grundlagen, Berechnungsmethode	21
7.1.1 Investitionskosten	21
7.1.2 Wirtschaftlichkeitsgrenze.....	22
7.1.3 Elektrotarife.....	22
7.1.4 Unterhaltskosten.....	22
7.1.5 Berechnungsmethode	22
7.1.6 Beleuchtungssituationen	22
7.2 Sensitivitätsanalysen	22
7.2.1 Payback-Zeit in Abhängigkeit der geschalteten Anzahl Lampen oder Leistung	22

7.2.2	Payback-Zeit in Abhängigkeit der geschalteten Leistung und der eingesparten Betriebsstunden	25
7.2.3	Beurteilung der Wirtschaftlichkeit	26
7.3	Wirtschaftlichkeits-Berechnungstool.....	26
8.	Weitere Einsatzgebiete des Funk-PIR	27
8.1	Einsatz des Funk-PIR bei Stehleuchten	27
8.2	Bedeutung des Funk-PIR für Neuanlagen.....	29
8.3	Funk-PIR als Sensor in Leitsystemen	29
9.	Website.....	30
9.1	Ziel und Zweck der Website	30
9.2	Aufbau und Struktur.....	30
10.	Leitfaden.....	31
11.	Schlussfolgerungen.....	31
12.	Anhänge (siehe separates Dokument).....	33

Zusammenfassung

Die Nachrüstung von bestehenden Beleuchtungen mit Bedarfssteuerungen ist oft ästhetisch unbefriedigend und installationstechnisch aufwändig. Anhand der Analyse bestehender Beleuchtungsinstallationen wurden Sanierungskonzepte entwickelt, die eine einfache Umrüstung auf Bedarfssteuerung mit Präsenzmeldern erlauben. Auf Grund dieser Konzepte hat der Industriepartner, *Hardmeier Electronics*, ein Funk-Präsenzmelder (PIR) entwickelt, der von einer Indoor Fotozelle gespeist wird und so ohne die Installation von Versorgungsleitungen montiert und einfach versetzt werden kann.

An der *Uni Zürich* wurden verschiedene Pilotanlagen realisiert und die neu Entwickelten Komponenten und Konzepte erfolgreich getestet. Der Funk-PIR und der dazugehörige Funk-Aktor (der in der bestehenden Schaltstelle oder in einer Schlaufdose montiert werden kann) sind inzwischen im Handel erhältlich.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen haben gezeigt, dass mit den neuen Konzepten und Komponenten eine Nachrüstung von Beleuchtungen mit einer Bedarfssteuerung in vielen Fällen sinnvoll ist. Auch der Einsatz in Neuanlagen ist vielversprechend, da mit dem Einsatz der neuen Komponenten mehr Flexibilität gegeben ist.

Um die Qualität von Bedarfssteuerungen zu verbessern wurde die Website www.beleuchtungssteuerung.ch erstellt. Auf ihr werden wichtige Informationen zur Planung und Realisation von Beleuchtungsteuerungen einem breiten Publikum zur Verfügung gestellt.

Zurzeit ist ein weiterer Funk-Aktor in Entwicklung, der für Stehleuchten geeignet ist. Das hier verfolgte Steuerkonzept mit externem Funk-PIR verspricht eine zufriedenstellendere Lösung für Präsenzsteuerungen, als dies mit in der Stehleuchte montierten Präsenzmeldern möglich ist.

Abstract

The retrofit of existing lighting with demand lighting control is often esthetically dissatisfying and technically laborious. On the basis of analysis of existing lighting installations, retrofit concepts have been developed, which allows an easy refitting with demand control based on motion detectors. Based on these concepts, our industrial project partner, *Hardmeier Electronics*, has developed a radio motion detector, which is supplied by an indoor photocell. That way no installation of supply lines is necessary.

Several pilot installations with the new concept and components have been realized and tested at the *University of Zürich*. The radio motion detector and the corresponding radio switch are available on the market by now.

Economy calculations showed that with the new concepts and components the retrofit with a demand control system is reasonable in many cases. The application of the new components in new installations is also promising, because more flexibility is given with their use.

To improve the quality of demand lighting control installations the website www.beleuchtungssteuerung.ch was created. Important information for planning and realization of lighting control installations are there provided for a wide public.

At the moment a further radio switch is in development which is suitable for floor lamps. The control concept with an external radio motion detector promises a more satisfying solution than this is possible with a motion detector integrated in the floor lamp.

1. Ausgangslage

Viele Schulräume und Büros sind mit Beleuchtungen ausgerüstet, die manuell ein- und ausgeschaltet werden müssen. Gerade bei den häufig vorkommenden Deckenleuchten mit Spiegelraster realisiert man bei stetig steigendem Tageslicht nicht mehr, dass diese eingeschaltet sind. Dies führt häufig dazu, dass die Beleuchtung am Morgen eingeschaltet und bis am Abend nicht mehr ausgeschaltet wird.

In diesen Fällen würde die Nachrüstung mit einer Bedarfssteuerung erhebliche Energieeinsparungen bewirken.

Neue Produkte, wie z.B. Piezoelektrisch getriebene Funkschalter und fotovoltaisch gespeiste Präsenzmelder können ohne Batterien oder separate Speisung betrieben werden. Dies eröffnet neue Möglichkeiten für die Entwicklung von Konzepten für Bedarfssteuerungen, die mit wesentlich einfacheren Installationen auskommen.

Gelingt es, die Kosten entsprechend tief zu halten, könnten Beleuchtungen oft innerhalb eines ordentlichen Betriebsbudgets mit einer Bedarfsteuerung nachgerüstet werden. Die Finanzierung solcher Massnahmen würde dadurch wesentlich einfacher.

2. Projektziele

Das Projekt verfolgt folgende Ziele:

- Entwicklung und Konzeption von Bedarfssteuerungen für die kostengünstige Nachrüstung von bestehenden Beleuchtungen und Nachweis deren Wirtschaftlichkeit.
- Erstellen eines Katalogs der gängigsten Beleuchtungsinstallationen und deren Konzepte für eine Nachrüstung mit einer Bedarfssteuerung.
- Erstellen eines Leitfadens für die Nachrüstung von Beleuchtungen mit Bedarfssteuerungen.
- Realisation und Dokumentation von Nachrüstungen als P+D Anlagen.
- Präsentation der Steuerungskonzepte, Dokumentationen und aktuell erhältlicher Produkte im Internet.
- Aufzeigen weiterer energetisch sinnvoller Einsatzgebiete der neuen Komponenten.

3. Konzepte für die Nachrüstung von Bedarfssteuerungen

3.1 AUSGANGSLAGE

In vielen Schulhäusern, Verwaltungs- und Bürogebäuden macht die Beleuchtung einen wesentlichen Anteil des Elektroenergieverbrauches aus. In den meisten Gebäuden werden die Beleuchtungsanlagen in Arbeitsräumen und Korridoren immer noch von hand ein- und ausgeschaltet.

Mit einer Beleuchtungssteuerung, die das Licht automatisch ausschaltet, wenn es nicht mehr benötigt wird, kann der Stromverbrauch gegenüber einer von hand geschalteten Beleuchtung um 20 – 40 % gesenkt werden.

Zentrales Element für eine solche Beleuchtungssteuerung ist ein Präsenzmelder (PIR). Dieser erfasst über einen Infrarot Sensor (PIR = **P**assive **I**nfra**R**ed) kleinste Bewegungen von im Erfassungsbereich anwesenden Personen. Ebenfalls wird im PIR mit einem Lichtsensor das durch die Fenster einfallende Tageslicht gemessen. Aufgrund dieser beiden Signale wird dann die Beleuchtung automatisch ausgeschaltet, wenn entweder keine Präsenz von Personen registriert wird oder ausreichend Tageslicht vorhanden ist.

Die Nachrüstung von bestehenden Beleuchtungsanlagen mit einer solchen Beleuchtungssteuerung ist relativ aufwändig, da herkömmliche Präsenzmelder (PIR) an eine elektrische Leitung angeschlossen werden müssen, die den PIR mit Strom versorgt und über die die Beleuchtung geschaltet werden kann (entweder direkt oder über Signalleitung z.B. EIB-Bus). Dies führt zu zusätzlichen Installationskosten und führt oft zu optisch unbefriedigenden Lösungen (siehe Figur 1), zumal der PIR an einer Stelle montiert werden muss an der er die Präsenz von Personen möglichst gut erfasst.



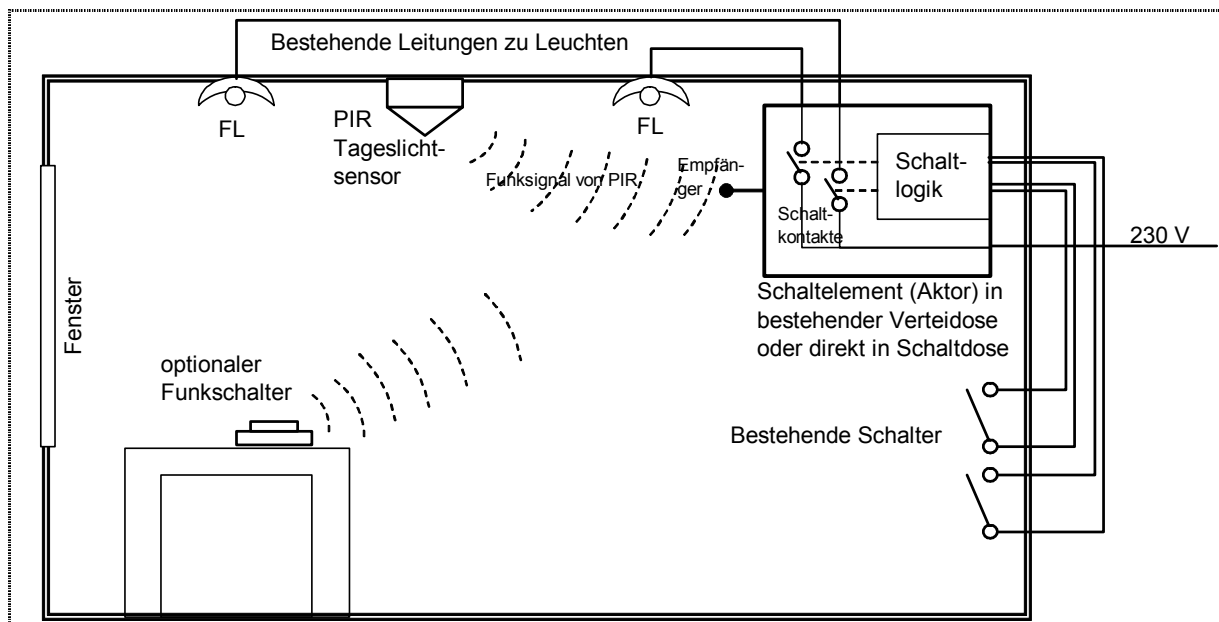
Figur 1: Nachrüstungen mit herkömmlichen Präsenzmeldern (PIR) führen neben dem zum Teil erhöhten Installationsaufwand oftmals auch zu optisch unbefriedigenden Lösungen (PIR rot eingekreist).

Aus den obengenannten Gründen wäre es für die Nachrüstung von Beleuchtungsanlagen wünschenswert ein Produkt zu haben, das folgende Randbedingungen erfüllt:

- Der Präsenzmelder funktioniert ohne Versorgungs- oder Signalleitungen
- Das Ausschalten der Beleuchtung in Abhängigkeit des PIR erfolgt über ein separates Schaltelement, das einfach in die bestehende elektrische Installation integriert werden kann.

3.2 KONZEPTIDEE

In den letzten Jahren wurden Schalter die über Funk betätigt werden immer mehr eingesetzt. Die zugrunde liegende Technologie hat entsprechende Fortschritte gemacht. Besonders herausragend ist dabei die EnOcean®-Technologie (www.enocean.de). Diese zuverlässige Funktechnologie zeichnet sich dadurch aus, dass für sie verschiedene miniaturisierte Energiewandler entwickelt wurden. Diese erlauben den Bau von Sendern, die ohne Fremdspeisung oder Batterien auskommen.



Figur 2: Prinzipschema einer nachgerüsteten Beleuchtungsanlage mit Funk-PIR (ohne fremde Stromversorgung und Funk-Schaltaktor zur Steuerung der Beleuchtung).

So wurde zum Beispiel ein Schalter (Sender) entwickelt, der nur durch die Betätigung der Schaltwippe in einem Minigenerator genügend Energie produziert, um per Funk ein Steuersignal abzusetzen. Dieses Signal wird dann von einem Schaltaktor (Funkrelais), der in der 240 V Zuleitung zum Verbraucher (z.B. Beleuchtung) installiert ist, empfangen und dann in eine Schaltaktion (Ein-, Ausschalten, Minute-rie usw.) umgesetzt.

Aufgrund der Möglichkeiten die die EnOcean®-Technologie bietet, entstand die Idee, einen Funk-Präsenzmelder zu entwickeln, der für seine Funktionsfähigkeit keine Fremdspeisung oder Batterien

benötigt. Als Energiequelle für die Versorgung des Funk-PIRs bietet sich eine Fozelle an, die im PIR integriert ist.

Als Basis für die neu zu entwickelnden Elektronikkomponenten (Funk-PIR, Funk-Schaltaktor) wurde folgendes Installationskonzept zur Nachrüstung von bestehenden Beleuchtungsanlagen mit einer Beleuchtungssteuerung entwickelt (siehe Figur 2).

Funktionsweise

Ein Funk-Präsenzmelder (Funk-PIR), der ohne fremde Stromversorgung und damit ohne entsprechende Installationen auskommt, übermittelt das Präsenzsignal und den Zustand des Tageslicht-Schaltwertes per Funk an einen Schaltaktor.

Der Schaltaktor wird an die bestehenden Schalter oder Impulstaster angeschlossen. Die Schaltlogik ist so programmiert, dass bei Betätigung der bestehenden Schalter das Licht eingeschaltet wird (Auswertung der Schaltflanke bei konventionellen Schaltern oder des Schaltimpulses bei Impulstaster).

Die Beleuchtung wird dann automatisch wieder ausgeschaltet, wenn vom Funk-PIR keine Präsenz mehr gemeldet wird oder der Tageslicht Sollwert erreicht ist. Ein manuelles Ausschalten der Beleuchtung über die bestehenden Schalter ist ebenfalls möglich. Wenn die Beleuchtung ausgeschaltet wurde muss sie wieder manuell eingeschaltet werden (Halbautomat)

Optional können weitere Funkschalter auf den Schaltaktor einprogrammiert werden. So kann auf einfache Weise die bestehende Beleuchtungsanlage mit weiteren Schaltstellen ergänzt werden.

Ebenfalls ist es möglich weitere Funk-PIR auf denselben Aktor einzuprogrammieren. Damit kann in grossen Räumen die Präsenzerfassung einfach erweitert werden.

4. Feldanalyse von ausgeführten Schaltungen

4.1 UNTERSUCHTE OBJEKTE, VORGEHEN

In erster Auswahl wurden Schulzimmer gewählt, weil in Schulzimmern oft eine Leistung der Beleuchtungskörper von ca. 700W bis 1'100W installiert sind und unsere ersten Schätzungen bei diesen elektrisch installierten Leistungen bei einer Verminderung der Betriebszeiten von ca. 40% eine Payback-Zeit von 5 bis 6 Jahren erwarteten.

Es wurden bei den folgenden Gebäuden die bestehenden Beleuchtungsinstallationen von Schulzimmern oder Büroräumen erfasst.

Baar	Primarschule Sternmatt I	Baujahr ca. 1960	(Ausweichzimmer)
Baar	Primarschule Sternmatt II	Baujahr 1995	(Zimmer 201, 213 und 318)
Baar	Primarschule Marktgasse	Baujahr ca. 1940	(Zimmer 1, 5 und 15)
Thalwil	Sekundarschule Feld	Baujahr ca. 1950	(Zimmer 13 und 20)
Zürich	Hirschengraben 60, Büros	Baujahr ca. 1750	(HIS Zimmer F5, G1, G4, G6)
Zürich	Moussonstrasse 2, Büros	Baujahr ca. 2006	(EG Whg links, B03, 05, 07)
Zürich	Bluemlisalpstrasse 10	Sanierung 2008	(1. OG Aufenthaltsraum)
Zürich	Jupiterstrasse 26, Büro	Baujahr ca. 1905	(OG Zimmer SO, Zimmer DG)

4.2 WICHTIGSTE ERKENNTNISSE

In älteren Schulhäusern wurden in der Regel die Beleuchtungsanlagen zwischen 1980 und 2000 mit Spiegelrasterleuchten erneuert. Teilweise wurden dabei auch die Schaltungen angepasst. Bei den besuchten Schulhausanlagen in Baar und Thalwil haben wir einige typische Schaltungen vorgefunden. In der Regel werden zwei bis drei FL-Bänder parallel zu den Fenstern und ein FL-Band oft mit zwei Leuchten parallel zur Tafel installiert. Bei älteren Objekten, sind noch separat geschaltete FL für die Kartenbeleuchtung (oder Leinwandbeleuchtung) neben der Wandtafel zu finden.

Üblicherweise werden die FL-Bänder separat geschaltet. Wenn das Schulzimmer über zwei innenliegende FL-Bänder verfügt werden diese auch oft mit einem eigenen Schaltkreis zusammengefasst. Im Gespräch mit den Benutzern wurde festgestellt, dass zu viele Schaltmöglichkeiten oft nicht genutzt werden. Zu viele Schaltkreise mit unklaren Bezeichnung und Anordnung der Schalter können die Benutzer auch verwirren und bringen den erhofften Komfort nicht.

Schulzimmer für ca. 25 Schüler und Büroräume für ca. 6 bis 8 Personen haben in der Regel eine Raumtiefe von 6m bis 9m und eine Fläche von ca. 50m² bis 100m².

Die spezifisch installierten Leistungsdichten reichen von ca. 8.8W/m² bis ca. 19.2W/m².

Festgestellt wurde, dass keine Standard-Lösung im Bereich der Schaltungen vorgefunden wurde. Die installierten Schaltungen sind grundsätzlich ähnlich (siehe Tabelle 1). Der SENSOLUX ist bei allen vorgefundenen Schaltungen einsetzbar.

Nachfolgend sind die vorgefundenen elektrischen Schaltungen in den betrachteten Schulhäusern grob skizziert und bildlich dargestellt.

Gebäude	Schaltkreise / Verdrahtung	Verdrahtung
Baar, Sternmatt I	5 Schaltkreise 230V direkt	mit Schlaufdose
Baar, Sternmatt II	4 Schaltkreise 230V direkt, mit Dimmer	von Schaltstelle direkt zu Leuchten
Baar, Marktgasse	4 Schaltkreise mit Taster	von Tableau mit Schrittschaltern zu Leuchten
Thalwil, Feld	6 Schaltkreise 230V direkt	von Schaltstelle direkt zu Leuchten
Zürich, Moussonstrasse	Keine Grundinstallation, nur Bodenkanal	Keine Installationen für Deckenbeleuchtung, nur Stehleuchten möglich
Zürich, Hirschengraben	1 bis 2 Schaltkreise in 1 bis 4 Personenküros	Taster mit Schrittschalter auf Stockwerkverteilung
Zürich, Blüemlisalpstrasse	1 Schaltkreis in Aufenthaltsraum	Schalter mit Funkaktor in der FL-Beleuchtungseinheit
Zürich, Jupiterstrasse	1 bis 2 Schaltkreise in 1 bis 4 Personenküros	von Schaltstelle direkt zu Leuchten, 1 bis 3 Sch3

Tabelle 1: Typisierung der elektrischen Installation der untersuchten Beleuchtungsanlagen.

Grundsätzlich kann für Schulzimmer folgendes festgestellt werden:

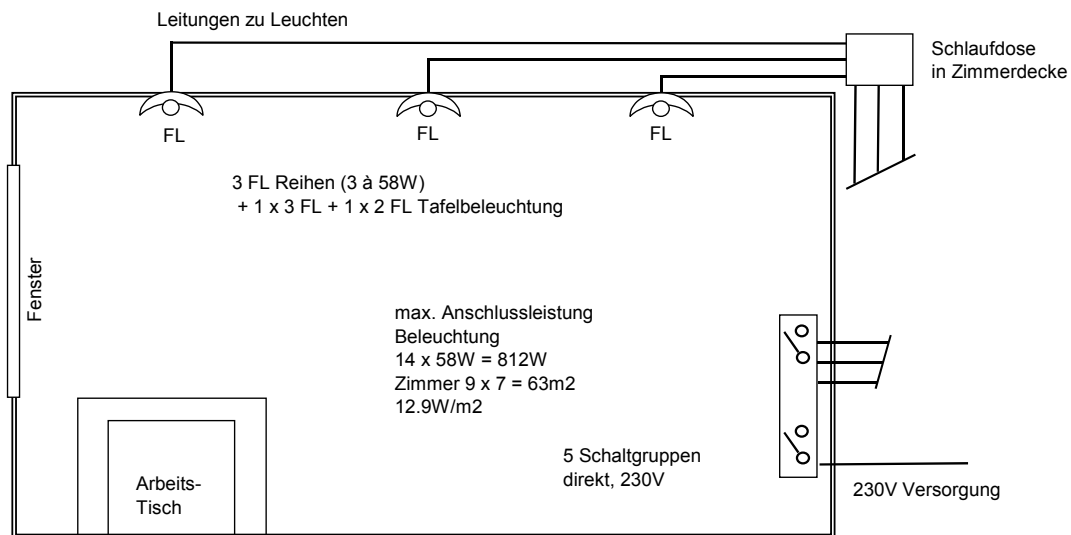
- Die Beleuchtungsanlagen oft mit drei bis sechs Schaltkreisen unterteilt.
- Die Schaltkreise werden direkt mit 230V oder über einen Taster und Schrittschalter verdrahtet.
- Der Funkaktor muss in den Lampenkreis im Schalter oder der Leuchte eingebaut werden können. In der Regel wurden keine Schlaufdosen im Schulzimmer vorgefunden. Die Schlaufdosen sind in Schulhäusern oft im Korridorbereich installiert. Teilweise werden die Schulzimmer direkt von einer Etagenverteilung versorgt.

Grundsätzlich wurden in den Büros mit 1 bis 5 Arbeitsplätzen die gleichen Installationsarten wie bei den Schulzimmern vorgefunden. In der Regeln sind aber nur ein bis drei Schaltkreise installiert.

4.3 GÄNGIGE BELEUCHTUNGSINSTALLATIONEN

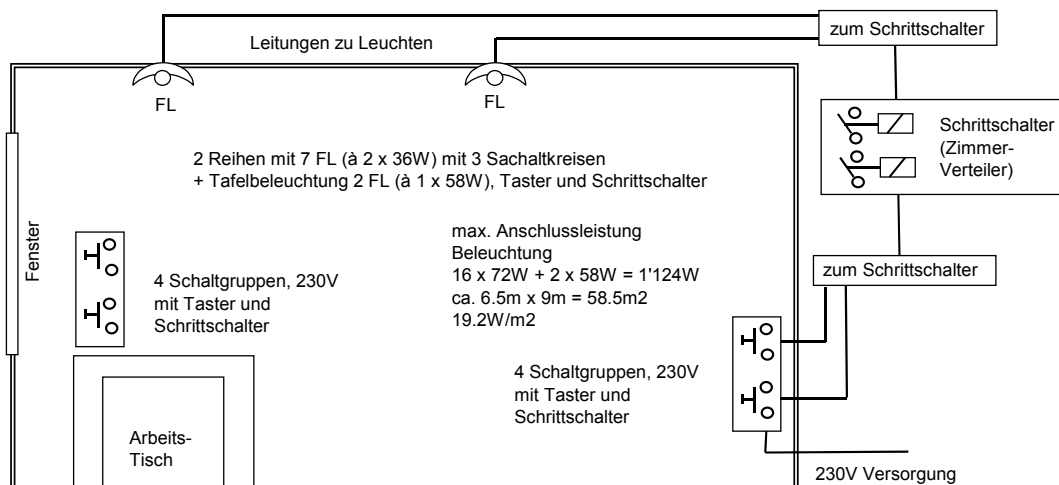
Nachfolgend sind die häufigsten von uns vorgefundenen Beleuchtungssteuerungen in Büros und Schulzimmern aufgeführt (siehe Figur 3 und Figur 4). Oft sind Schaltkreise von Leistungen bis ca. 1'000W direkt über die Schalter installiert. Ist die Leistung der Beleuchtungsanlage über 1'500 Watt, werden in der Regel Taster und Schrittschalter verwendet. Diese Schaltungsarten entsprechen unseren Erwartungen und können problemlos mit dem Sensolux-System nachgerüstet werden.

Schulhaus Sternmatt I, Baar, Ausweichzimmer



Figur 3: Schulhaus Sternmatt I ca. 1960, Baar:
5 Schaltkreise direkt 230V verdrahtet, Leitung über Schlaufdose im Korridor geführt

Schulhaus Marktgasse 2, Baar, Zimmer 15



Figur 4: Schulhaus Marktgasse ca. 1940, Baar:
4 Schaltkreise mit Taster und Schrittschalter, Leitung von Tableau zu Leuchten geführt

5. Neue Elektronik-Komponenten

Aus der Konzeptidee und den Ergebnissen der Feldanalysen bestehender Beleuchtungsinstallationen ergaben sich folgende Anforderungen an die neu zu entwickelnden Elektronikkomponenten:

Funk-Präsenzmelder

- Energieversorgung über Fotzellen reicht aus für den Betrieb des Präsenzmelders, wenn am Montageort mindestens 40 bis 50 Lux während mindestens täglich 6 Stunden vorhanden sind.
- Der voll geladene Energiespeicher ermöglicht eine Gangreserve von etwa 48 Stunden
- Bei ausreichendem Licht (mindestens 40 bis 50 Lux) ist bei leerem Energiespeicher der Präsenzmelder spätestens nach einer Viertelstunde wieder betriebsbereit.
- Der Tageslichtsensor soll das Tageslicht möglichst selektiv messen können (Selektiv gegenüber FL, LED und Energiesparlampen, Selektive Messung gegenüber Halogen und Glühlampenlicht ist aus physikalischen Gründen schwierig)

Schaltaktor

- Der Schaltaktor muss über bestehende Schalter / Taster (230V) betätigt werden können. (Manuelles Ein- und Ausschalten)

- Grösse und Form des Aktor muss so sein, dass er in einer Schaltdose hinter dem Schalter untergebracht werden kann oder in einer Verteil- oder Schlaufdose Platz findet.
- Der Schaltaktor kann zwei Lastgruppen unabhängig schalten
- Betriebsmodi und Parameter können für die zwei Schaltkanäle unabhängig voneinander programmiert werden.
- Folgende Betriebsmodi können programmiert werden:
 - Halbautomat (manuell EIN/AUS, Präsenzmelder nur AUS)
 - Vollbautomat (manuell EIN/AUS, Präsenzmelder EIN/AUS)

5.1 ENTWICKLUNG BENÖTIGTER ELEKTRONIKKOMPONENTEN

Für die Entwicklung der für die Nachrüstungskonzepte benötigten Elektronikkomponenten haben wir *Hardmeier Electronics* als Projektpartner gefunden. Diese Firma besitzt grosse Erfahrung im Bau von Präsenzmeldern und auch mit der Funktechnologie von Enocean® [2], mit der sie schon Elektronikkomponenten hergestellt hat. Zudem hatte die Entwicklungsabteilung von *Hardmeier Electronics* bereits vor Projektbeginn mit PIR experimentiert, die von einer Photozelle versorgt werden.

5.1.1 Fremdspeisungsfreier Präsenzmelder (PIR) mit Tageslichtsensor

Zentrales Element für die Nachrüstungskonzepte ist ein Funk-PIR, der ohne Fremde Energieversorgung oder Batterien auskommt. Dies ist deshalb so wichtig, weil bei bestehenden Beleuchtungen es oft sehr schwierig und aufwändig ist, die Versorgungsleitungen für den PIR optisch befriedigend zu installieren. Zudem soll der Installationsaufwand möglichst minimiert werden.

Der Firma *Hardmeier Electronics* ist es gelungen einen PIR zu entwickeln, dessen Stromverbrauch so tief ist, dass eine Indoor Photozelle (ca. 50 cm²) ausreicht um ihn mit soviel Energie zu versorgen, dass er, wenn der Speicher voll geladen ist, 2 – 3 Tage ohne Licht funktionstüchtig bleibt. Zudem ist der PIR, wenn der Speicher leer ist, bei genügend Licht (z.B. bei wieder eingeschalteter Beleuchtung) innerhalb weniger Minuten wieder einsatzbereit.

50 Prototypen des PIR, wurden hergestellt. 23 davon sind seit Februar 2007 in unserer P+D Anlage an Attenhoferstrasse 8 im Einsatz (siehe weiter unten).

In der Zwischenzeit hat die Firma *Hardmeier Electronics* den Präsenzmelder weiterentwickelt und zur Marktreife gebracht. Das Produkt hat jetzt den offiziellen Namen *SESOLUX* (siehe Figur 5).

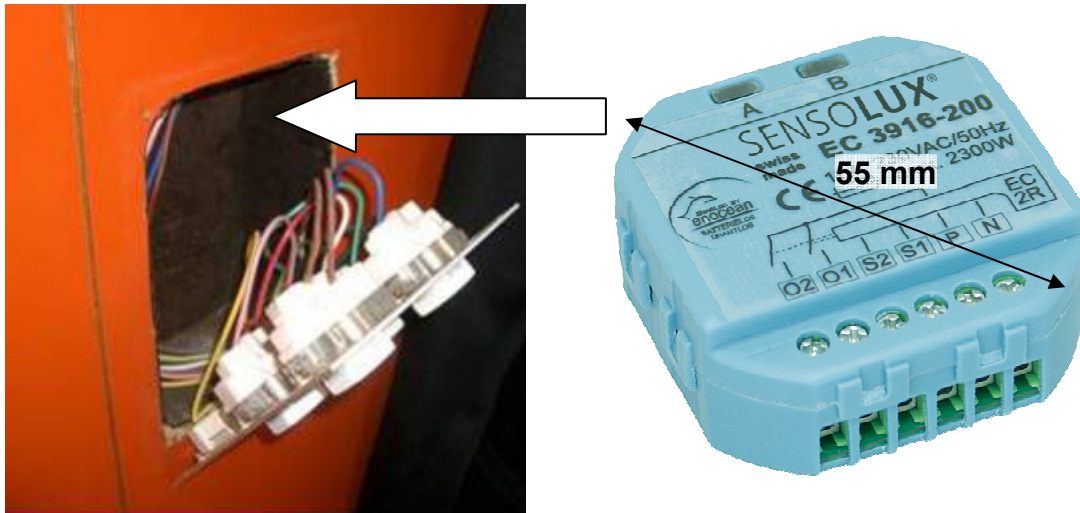


Figur 5: Der neu entwickelte SESOLUX Funk-Präsenzmelder. Zwei Indoor-Photozellen (dunkle Streifen) erzeugen die für den Betrieb des Präsenzmelders notwendige Energie.

Die Firma *Hardmeier Electronics* war an im Sommer 2007 an der Ineltec Elektronik Messe mit diesem Produkt mit einem eigenen Stand vertreten und stiess auf reges Interesse. Die Markteinführung fand Anfang 2008 statt. Vertriebswege in der Schweiz und in Deutschland sind bereits gesichert und versprechen einen breiten Absatz.

Ebenfalls wurde der *SENSOLUX* an der Light and Building 2008 in Frankfurt, einer der Wichtigsten Internationalen Messen für Beleuchtungstechnik und Gebäudeleittechnik, einem Internationalen Publikum vorgestellt.

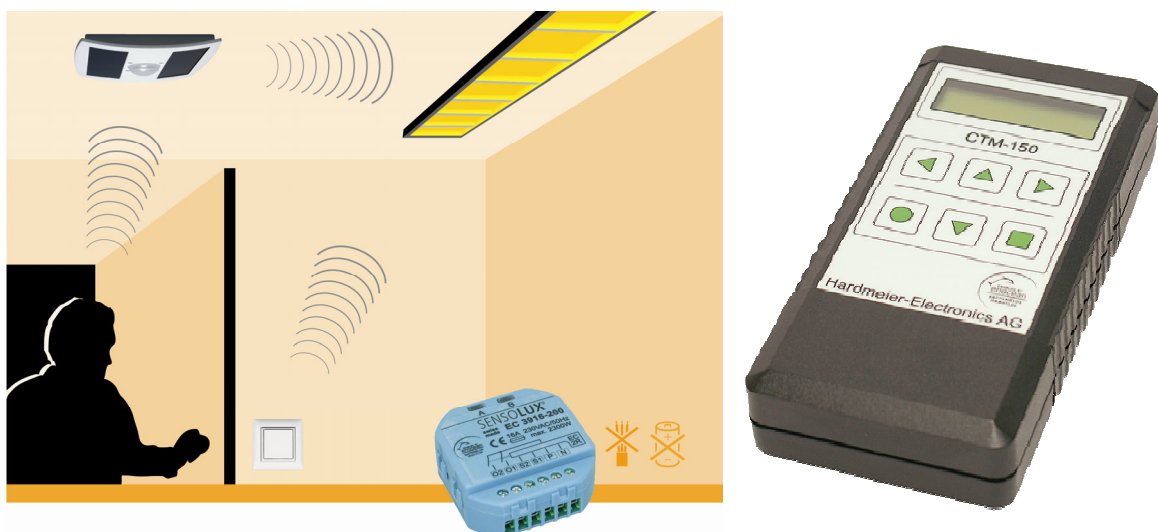
5.1.2 Funk-Schaltfaktor (Schaltelement)



Figur 6: Der neu entwickelte *SENSOLUX* Funk-Aktor. Mit einem Aktor können zwei Beleuchtungsgruppen individuell geschaltet werden. Der Aktor hat so kleine Abmessungen, dass er Bequem in einer Schalterdose hinter dem bestehenden Schalter Platz findet. Die bestehenden Schalter werden auf die Anschlüsse *S1* und *S2* geführt.

Zum *SENSOLUX*-System gehört noch ein Schaltfaktor, der die Funksignale des *SENSOLUX* PIR empfängt, auswertet und je nach dem die Beleuchtung ein- und ausschaltet. Der Funk-Aktor hat neben dem Funkempfänger noch zwei fest verdrahtete Steuereingänge. Damit ist es möglich eine Beleuchtungsanlage umzubauen, ohne dass Veränderungen an der Schaltstelle vorgenommen werden müssen. Die Drähte der Schaltgruppen müssen nur an den Aktor angeschlossen werden. Der Funk-Aktor wird dann entweder am Verteilkasten oder direkt hinter der Schaltstelle montiert (siehe Figur 6). Der Steuereingang reagiert sowohl auf Impulstaster (Schrittschaltung) als auch auf Schalter.

Die Parametrierung der Beleuchtungssteuerung (Tageslicht-Sollwerte, Nachlaufzeiten, Halb- oder Vollautomat etc.) werden im festgelegt und gespeichert.



Figur 7: Das *SENSOLUX* System kann mit batterieless betriebenen Funkschaltern ergänzt werden. Ein Handsender dient zum bequemen Einstellen der Sollwerte und Parameter der Steuerung.

Ebenfalls kann der *SENSOLUX* Funk-Aktor die Signale von verschiedenen piezoelektrisch betriebenen Funkschaltern (keine Batterie notwendig) auswerten und in Schaltaktionen umsetzen (siehe Figur 7). Damit kann eine Beleuchtungsanlage ohne Installationsaufwand mit zusätzlichen Schaltstellen erweitert werden. Eine Anwendung hierfür ist zum Beispiel ein zusätzlicher Schalter auf dem Lehrerpult oder am Arbeitsplatz.

P+D Anlagen

Partner für die Realisation der P+D war die *Universität Zürich* (Herr Bernhard Brechbühl, Abteilung Bauten und Räume). Die *Uni Zürich* hat grosse Erfahrung im Einsatz von Präsenzmeldern für die Beleuchtungssteuerung. Bis zum Ende der Projektdauer wurde in verschiedenen Gebäuden der *Universität Zürich* insgesamt etwa 100 Beleuchtungsanlagen mit einer *SENSOLUX* Beleuchtungssteuerung nachgerüstet.

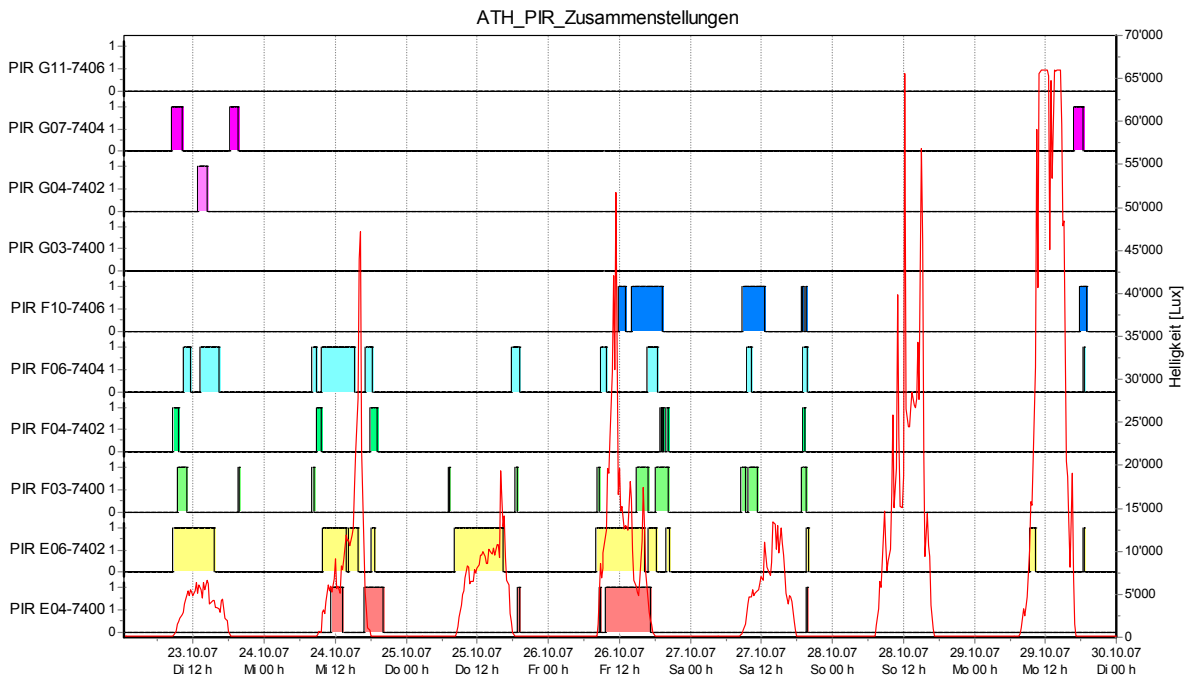
5.2 ATTENHOFERSTRASSE 8



Figur 8: Pilotanlage Attenhoferstrasse 8 Mit *SENSOLUX* (Prototyp, Pfeil) ausgerüsteter Raum. Einfache Montage des Präsenzmelders durch Anschrauben oder ankleben einer Grundplatte an der Decke. Der PIR wird dann über einen Bajonettverschluss an der an der Grundplatte befestigt.

Als erste P+D Anlagen für die Erprobung der neuen Beleuchtungssteuerungskonzepte wurden 23 Räume an der Attenhoferstrasse 8 in Zürich mit Prototypen des *SENSOLUX* Systems ausgerüstet (siehe Figur 8). Diese Räume wurden im Rahmen eines Benutzerwechsels umgebaut und im Februar 07 in Betrieb genommen.

Als Funktionsüberprüfung der Beleuchtungssteuerung wurde über das Betriebssignal der Beleuchtung von 10 Räumen aufgezeichnet (siehe Figur 9). Damit lässt sich die korrekte Funktionsweise der Steuerung indirekt überprüfen. Die untenstehende Grafik der Betriebssignale zeigt, dass die Beleuchtung ausserhalb der Betriebszeiten immer ausgeschaltet ist. Ebenfalls zeigt sich, dass die Beleuchtung an schönen Tagen deutlich weniger lang eingeschaltet ist (Tageslichtnutzung).



Figur 9: Aufzeichnung der Einschaltzeiten der Beleuchtung von 10 Räumen. Dem Diagramm überlagert ist Aussenhelligkeit (rote Kurve)

5.3 BLÜEMLISALPSTRASSE 10

Das Gebäude an der Blüemlisalpstrasse 10 in Zürich wird von der Universität Zürich belegt. Im neu sanierten Gebäude wurde im Aufenthaltsraum eine neue Beleuchtung installiert. Es zeigt auf, wie vielseitig die Montage des *SENSOLUX* sein kann. Der *SENSOLUX* wird an einem Abdeckblech eines Leuchtbandsystems installiert (siehe Figur 10). Der Standort des *SENSOLUX* kann durch das Auswechseln des Abdeckblechs mit einem sehr geringen Aufwand geändert werden.



Figur 10: Einfacher Standortwechsel des Sensolux bei der Montage an einem Abdeckblech eines Leuchtbandsystems

Mit dem Standort des Funk-Aktors unter dem Abdeckblech des Leuchtbandsystems, wird in diesem Beispiel die Montage sehr einfach (siehe Figur 11). Weil das Leuchtbandsystem aus Aluminium und es zur Lampe teilweise offen ist, wurden keine Beeinträchtigungen der Funkstrecke festgestellt. Es ist allgemein zu empfehlen, vor der Montage die Funkstrecke zu prüfen.



Figur 11: Der Aktor ist unter einem Abdeckblech des Leuchtbandsystems installiert

5.4 RÄMISTRASSE 73

Im Gebäude an der Rämistrasse 73 in Zürich wurden kleinere Büros mit bestehenden Beleuchtungen mit dem *SENSOLUX* nachgerüstet (siehe Figur 12 und Figur 14). Je nach Möglichkeit und Platzverhältnissen hat hier der Elektroinstallateur die für ihn einfachere Lösung gewählt. Meistens konnte der Funk-Aktor direkt in der Schaltdose (siehe Figur 13) oder in einer Schlaufdose (siehe Figur 14) installiert werden.



Figur 12: Im kleinen aber hohen Büroraum wurde der Sensolux an der Decke mit einem relativ geringen, aber genügend hohen Tageslichteintrag installiert



SENSOLUX Funk-Aktor

Figur 13: Der Funk-Aktor wurde bei der bestehenden Installation hinter dem Schalter in der Wand bei der Türe im den Lampenschaltkreis installiert



Figur 14: Links SENSOLUX Funk-PIR and Decke eines Einzelbüros montiert. Rechts: Platzierung des Funk-Aktors oberhalb des Schalters in der unterputz Schlaufdose



Figur 15: Platzierung des Aktors im oder auf dem Schienensystem ist prinzipiell möglich

Die Nachrüstung des neuen *ZumTobel* LED-Beleuchtungssystems mit dem *SENSOLUX* wird geprüft (siehe Figur 15). Das Beleuchtungssystem arbeitet mit einer Leitzentrale. Es wäre sinnvoll, wenn bei genügend Tageslichteinfall einzelne Strahler und Lichtkreise ausgeschaltet würden.

5.5 MOUSSONSTRASSE 2/4

Der Ausbaustandard des Neubaus an der Moussonstrasse 2/4 in Zürich für die vorgesehen Wohnungen ist gering. Es waren weder Schalter noch Lampenstellen an der Decke vorgesehen. Einzig ein Bodenkanal in Fensternähe ist als Installationszone vorhanden. Die Universität hat im Gebäude einige Wohnungen gemietet und nutzt diese für Büros. Bei den Türen wurden Funkschalter für die Stehleuchten montiert über die ein- und ausgeschaltet werden kann. Die Stehleuchten werden über den an der Decke installierten *SENSOLUX* ausgeschaltet, wenn keine Personen anwesend sind oder genügend Tageslicht vorhanden ist.



Figur 16: Büro mit Stehleuchte, ungünstig platzierter Sensolux (Beschattung durch Stehleuchte)

In Figur 16 ist ersichtlich, dass der *SENSOLUX* Präsenzmelder über der Stehleuchte montiert wurde. Die Bewegungen der Person am rechten Arbeitsplatz werden deswegen vom *SENSOLUX* nicht zufriedenstellend erfasst. Zur Verbesserung der Situation muss der *SENSOLUX* auf der gleichen Höhe näher zum Fenster versetzt werden. Dieses Beispiel zeigt die Vorteile des *SENSOLUX* gut; durch einfaches Versetzen des Präsenzmelders kann mit wenig Aufwand eine nachträgliche Optimierung der Beleuchtungssteuerung durchgeführt werden.

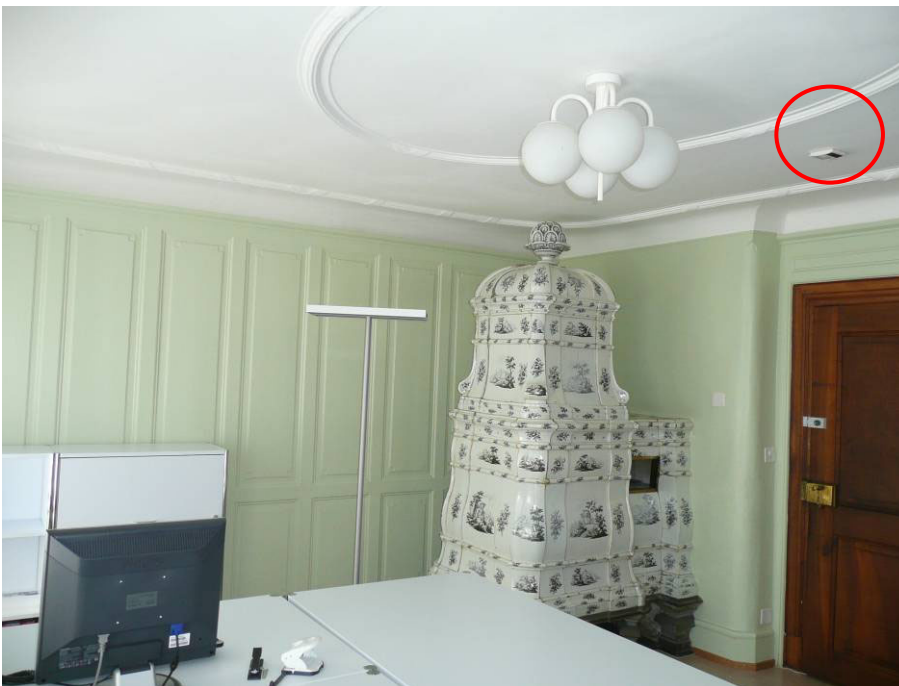
Der Kabel-Funk-Aktor, der zwischen Steckdose und Stehleuchte gesteckt wird, findet vollständig in der Bodendose platz. Der Funkempfang ist auch mit geschlossenem Deckel der Bodendose problemlos gewährleistet (siehe Figur 17).



Figur 17: Kabel-Funk-Aktor findet in der Bodendose platz. Auch bei geschlossenem Deckel ist der Funkempfang gewährleistet.

5.6 HIRSCHENGRABEN 60

Das unter Denkmalschutz stehende Gebäude wurde nur geringfügig umgebaut. Die Beleuchtungsanlagen in den Büroräumen wurden mit dem *SENSOLUX* erweitert.



Figur 18: Bestehende Beleuchtung mit *SENSOLUX* ergänzt, dieser muss aber versetzt werden

Der *SENSOLUX* über der Türe ist ungeschickt platziert (siehe Figur 18). Er muss entfernt und über dem Schreibtisch installiert werden.



Figur 19: Bestehende Beleuchtung mit Sensolux ergänzt, Sensolux gut gesetzt

Weil bei den bestehenden Schaltkreisen in (siehe Figur 18 und Figur 19) ursprünglich Schrittschalter eingesetzt wurden, konnten die Funk-Aktoren problemlos bei der Stockwerkverteilung ergänzt werden (siehe Figur 20).



Figur 20: Funk-Aktoren neben und hinter der Stockwerkverteilung montiert

Figur 20 zeigt weitere Möglichkeiten wo die Funk-Aktoren montiert werden können. Der Funkempfang von den Sensoren (SENSOLUX) der umliegenden Räumen zu den Funk-Aktoren neben der Stockwerkverteilung neben dem Treppenhaus ist in diesem älteren Gebäude ohne Repeater (Funkverstärker) gewährleistet.



Figur 21: SENSOLUX in Rosette gesetzt (vormals war der Brandmelder an dieser Stelle installiert)

Aus technischer Sicht ist die Platzierung des SENSOLUX in der Figur 21 gut, ästhetisch jedoch eher umstritten. Im vorliegenden Fall macht die Platzierung jedoch sinn, weil vormals an dieser Stelle der Brandmelder montiert war. Auf diese Weise konnte das Loch der ehemaligen Installation des Brandmelders abgedeckt werden.

6. Benutzerumfrage

6.1 UMFRAGE ALS FUNKTIONSKONTROLLE

Die Umfrage soll einen groben Überblick betreffend der Zufriedenheit der betroffenen Personen reflektieren. Mit den Fragen an die Benutzer wurde versucht das Prinzip des *SENSOLUX* und dessen Nutzen mit sehr wenig Text zu beschreiben.

Damit die Benutzerakzeptanz beurteilt werden kann wurde eine Umfrage durchgeführt. Der Fragebogen hat ebenfalls einen gewissen Informationsgehalt betreffend dem *SENSOLUX* System. Der vollständigen Umfragebogen ist im Anhang zu finden.

Von verschickten Fragebogen in drei nachgerüsteten Gebäuden der Universität Zürich wurden 12% zurückgeschickt. Die relativ tiefe Rücklaufquote lässt sich wie folgt erklären. Zum Teil wurde von einer Person summarisch für alle Anlagen in einem Gebäude der Fragebogen ausgefüllt. Zudem kann man davon ausgehen, dass Benutzer, die den Fragebogen nicht ausgefüllt haben mit der Beleuchtungssteuerung zufrieden sind oder mindestens nicht in ihrer Arbeit beeinträchtigt werden.

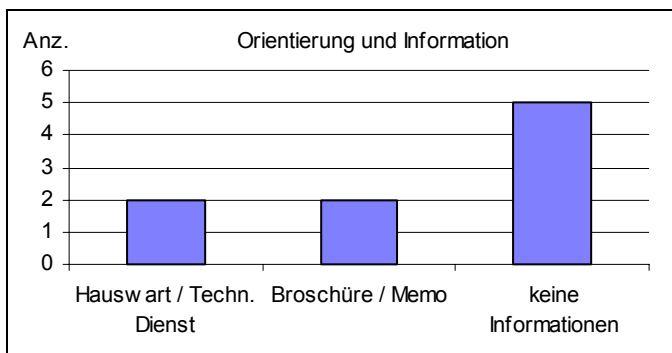
Der Fragebogen wurde in folgende Rubriken aufgeteilt:

- Informationen und Instruktionen
- Manuelle Bedienung
- Automatische Abschaltung durch die Beleuchtungssteuerung (*SENSOLUX*)
- Installation des Präsenzmelders (*SENSOLUX*)
- Allgemeine Beurteilung der Beleuchtungssteuerung

6.2 UMFRAGERESULTATE

Nachfolgend werden die Resultate der Umfrage erläutert und die wichtigsten Punkte zusammengefasst.

6.2.1 Informationen und Instruktionen



Figur 22: Orientierung betreffend der Beleuchtungssteuerung von Seiten des Arbeitgebers (Uni)

Von den Betroffenen Benutzern wurden 55% nicht informiert (siehe Figur 22).

6.2.2 Manuelle Bedienung

Die Einschaltfunktion der Beleuchtung mit dem konventionellen Lichtschalter, konnte zu 100% erfüllt werden.

6.2.3 Automatische Abschaltung

Auch die Ausschaltfunktion der Beleuchtung mit dem konventionellen Lichtschalter, konnte zu 100% erfüllt werden.

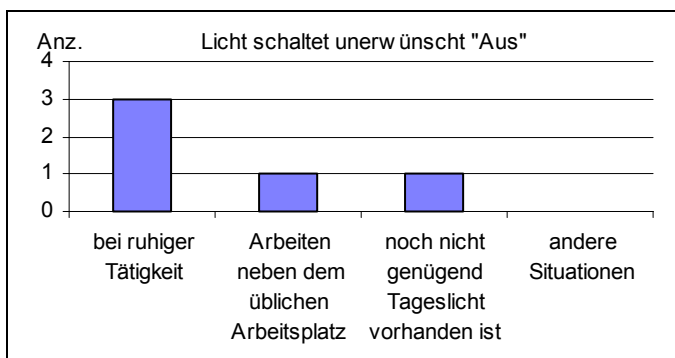
88% der Benutzer sind der Ansicht, dass der Bewegungsmelder (*SENSOLUX*) die Beleuchtung ausschaltet, wenn die eingestellte Verzögerungszeit abgelaufen ist.

55% der Benutzer ist der Ansicht, dass der Tageslichtsensor (*SENSOLUX*) die Beleuchtung ausschaltet, wenn die eingestellte Tageslichtmenge überschritten ist.

Bemerkungen:

- Es ist nie genügend Tageslicht vorhanden, weil der Raum eher dunkel ist.

Auf die Frage, ob das Licht unerwartet ausschaltet, wurden am meisten beanstandet, dass diese bei ruhiger Tätigkeit ausschaltet. Ebenfalls kam es vor, dass das Licht zu früh, bei ungenügendem Tageslicht oder bei Tätigkeiten neben dem Arbeitsplatz ausgeschaltet wurde. Diese Probleme konnten teilweise durch Anpassungen der Sollwerte behoben werden (siehe Figur 23).



Figur 23: Die Beleuchtung schaltet unerwünscht oder unerwartet ab wenn obige Bedingungen zutreffen

Bemerkungen:

- Der Sensor schaltete bei ruhiger Tätigkeit aus, jetzt besser eingestellt.
- Es ist vor allem äusserst lästig, dass die Lichter ausgehen und jedes Mal muss man zum Schalter bei der Tür laufen.
- Das Licht geht zum Teil während des Arbeitens aus, so dass man aufstehen und zum Lichtschalter gehen muss.

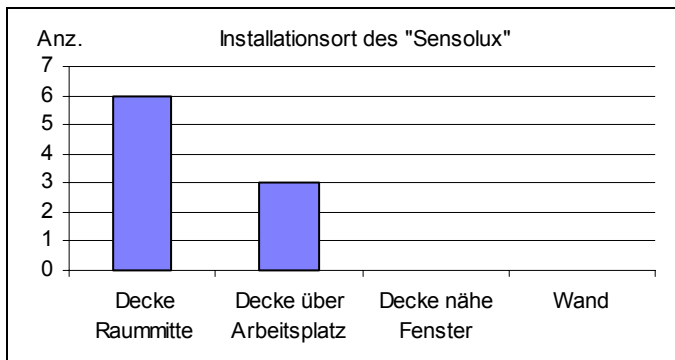
11% der Benutzer ist der Ansicht, dass es mit der Beleuchtungssteuerung sonstige Probleme gegeben hat.

Folgende Probleme sind gemäss Aussage der Benutzer aufgetreten.

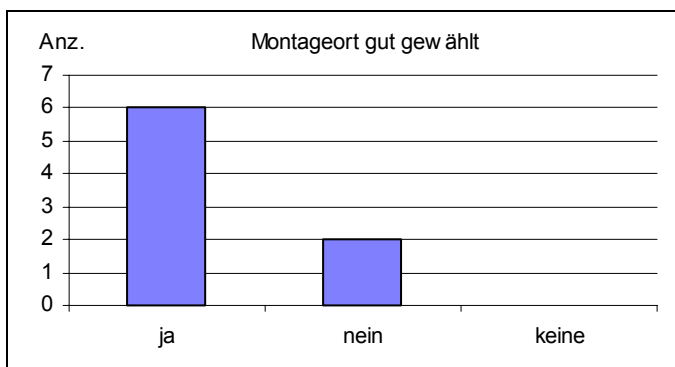
Bemerkungen:

- Sofern es keine elektromagnetische Strahlen abwirft, ansonsten ist der *SENSOLUX* zu nahe installiert.

6.2.4 Installation des Präsenzmelders



Figur 24: Montageorte des *SENSOLUX*

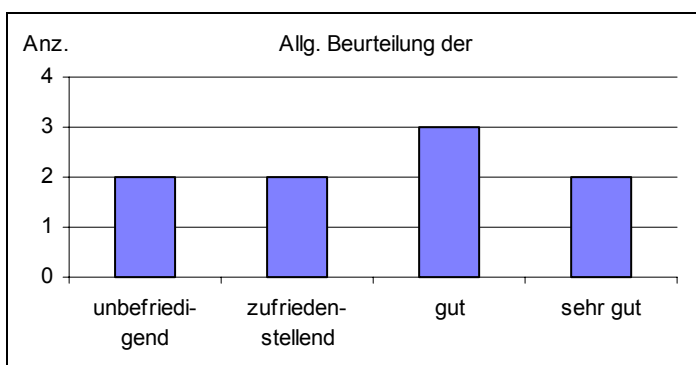


Figur 25: Frage: Ist der Montageort des Präsenzmelders Ihrer Meinung nach gut gewählt?

Folgende Bemerkung zum Installationsort (siehe Figur 24 und Figur 25) wurden von den Benutzern abgegeben.

- Es sind drei Arbeitsplätze im Raum, der Sensor deckt aber nur 1-2 Arbeitsplätze ab.

6.2.5 Allgemeine Beurteilung der Beleuchtungssteuerung



Figur 26: Beurteilung der Funktionsweise der Beleuchtungssteuerung mit dem *SENSOLUX*

Folgende Bemerkungen betreffend der Funktionsweise der Beleuchtungssteuerung (siehe Figur 26) mit dem *SENSOLUX* sind eingegangen.

- Zufriedenstellen, wenn es Strom spart finde ich es gut. Die Einstellung muss aber so sein, dass das Licht nicht einfach unerwünscht ausgeht.
- Unbefriedigend, weil das Licht ausgeht.
- Unbefriedigend, wenn das Ganze wirklich laufen würde, wäre es eine gute Sache. Es ist aber mühsam, dass wir jedes Mal zum Schalter laufen müssen.

6.2.6 Erkenntnisse aus den Umfrage

Nach einem Rundgang mit verschiedenen Benutzergesprächen kann zusammenfassend folgendes erläutert werden.

Grundsätzlich wurden die Funktion und die Anwendung des *SENSOLUX* nicht in Frage gestellt. Das Ein- und Ausschalten mit dem *SENSOLUX* hat gut funktioniert, einzig mit der nicht planmässigen Möblierung und der Platzierung des Präsenzmelders sind Probleme aufgetreten. Diese sind aber einfach lösbar, weil der *SENSOLUX* mit sehr geringem Aufwand versetzt werden kann. Im Winterbetrieb sind erst die Erfahrungen beim Objekt „Attenhoferstrasse 8“ eingeflossen. Es sind diesbezüglich keine Reklamationen eingegangen. Bei den übrigen Gebäuden konnten im Winter noch keine Erfahrungen gesammelt werden.

Für die Einführung des Produktes *SENSOLUX*, muss der Elektroinstallateur über die Funktionen und die möglichen Platzierungen des *SENSOLUX* und des Funk-Aktors besser informiert werden.

Es ist wichtig, dass die Installateure den *SENSOLUX* im Raum gut platzieren und betreffend des Tageslichtwertes (und der Nachlaufzeit) richtig einstellen. Der *SENSOLUX* hat einen etwas kleineren Erfassungsbereich (Durchmesser 5m bei Raumhöhe von 2.5m, Durchmesser 6m bei Raumhöhe von 3m) als andere handelsübliche Bewegungsmelder (z.B. Theben HTS ECO IR 360).

Personen, die dort arbeiten, wo der *SENSOLUX* eingesetzt wird sollen über dessen Funktionsweise aufgeklärt werden. Bei Sanierungen kann dies direkt vom Installateur erfolgen. Bei Neubauten soll diese Aufgabe durch das technische Personal kurz nach dem Bezug durchgeführt werden. Die Personen müssen darauf aufmerksam gemacht werden, dass sie sich bei Problemen melden sollen. Bei ungewünschten Abschaltungen während ruhiger Tätigkeiten kann in der Regel mit einer besseren Einstellung oder Platzierung des *SENSOLUX* oder einem Funkschalter auf dem Pult eine befriedigende Lösung erreicht werden.

Ebenfalls soll eine Information betreffend der geringen Strahlungsintensität der Funksignale erfolgen, da der Begriff „Funk-Präsenzmelder“ bei den Benutzern Befürchtungen bezüglich Beeinträchtigung ihrer Gesundheit auslöst.

Der im Anhang aufgeführte Fragebogen soll als Vorlage dienen um nach erfolgter Installation im realen Betrieb eine Funktionskontrolle durchzuführen. Zusätzlich soll er vom Benutzer als Rückmeldeinstrument bei unbefriedigenden Situationen angewendet werden können. Wir betrachten den Fragebogen als wichtigen Aspekt um eine hohe Akzeptanz des *SENSOLUX* und um einen Beitrag für die allgemeine Sensibilisierung der Energie-Effizienz zu erreichen.

Die Umfrage als Instrument für die Durchführung einer Funktions- und Erfolgskontrolle hat sich bewährt. Es wurden jedoch von Seiten der *Uni Zürich* noch folgende Verbesserungen für zukünftige Umfragen angeregt:

- Fragebogen noch verdichten → Ziel Umfang eine Seite
- Fragebogen als PDF Formular gestalten, der direkt am PC ausgefüllt werden kann und als Mail in elektronischer Form zurückgeschickt werden kann.

7. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Nachfolgend werden für die Nachrüstung von Beleuchtungssteuerungen mit Funk-PIR Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt, die zeigen, unter welchen Randbedingungen ihr Einsatz wirtschaftlich sinnvoll ist.

7.1 ANNAHMEN, GRUNDLAGEN, BERECHNUNGSMETHODE

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit wurden folgenden Annahmen getroffen.

7.1.1 Investitionskosten

Für die Nachrüstung einer bestehenden Beleuchtung mit dem *SENSOLUX* und dem Funk-Aktor im Lichtschaltkreis wurden für die Berechnungen folgende Investitionskosten eingesetzt (siehe Tabelle 2):

- Fr. 481.- für eine Beleuchtungssteuerung mit einem PIR und eine 1 Kanal Funk-Aktor
- Fr. 774.- für eine Beleuchtungssteuerung mit zwei PIR und einem 2 Kanal Funk-Aktor

Die Preise gelten für die Installation im Akkord. Das heisst, es werden in einem Gebäude mehrere Beleuchtungssteuerungen miteinander installiert.

Anlagenkonfiguration	1 PIR, 1 Kanal	2 PIR, 2 Kanal
SENSOLUX Funk-PIR Schaltaktor	Fr. 283.- Fr. 188.- (1 Kanal)	Fr. 566.- (2 Stk.) Fr. 208.- (2 Kanal)
Total	Fr. 481.-	Fr. 774.-

Tabelle 2: Aufteilung der Kosten für die Beleuchtungssteuerung gemäss Devis der Pilotanlage Hirschengraben 60. Die Preise wurden im Devis inklusive Installation und Inbetriebnahme angegeben. (Die Kosten für den 1 Kanal Schaltaktor wurden gegenüber dem ausgeschriebenen 2-Kanal Aktor um Fr 20.-, gemäss Differenz Katalogpreis reduziert).

7.1.2 Wirtschaftlichkeitsgrenze

Basis für die Grenze der Wirtschaftlichkeit dienen die Annahmen, die in der Energieeffizienz-Zielvereinbarung des Kantons Zürich getroffen werden. In dieser ist für die Gebäudeinfrastruktur eine Massnahme wirtschaftlich, wenn der lineare Payback (ohne Berücksichtigung des Kapitalzinses) unter 8 Jahren liegt.

7.1.3 Elektrotarife

Da die meisten der untersuchten Beleuchtungsinstallationen aus dem Kanton Zug stammen, wurden die Elektrotarife der *Wasserwerk Zug AG (WWZ)* für die Berechnung als Basis angenommen (siehe Tabelle 3)

Sommer HT	Sommer NT	Winter HT	Winter NT
Rp. 21.22	Rp. 9.90	Rp. 24.45	Rp. 13.64

Tabelle 3: Tarif WWZ ENG

7.1.4 Unterhaltskosten

Da die Beleuchtungssteuerung eine Reduktion der jährlichen Betriebsstunden bewirkt, müssen die Lampen weniger häufig gewechselt werden. Die damit erzielte Reduktion der Unterhaltskosten wurde in der Berechnung ebenfalls berücksichtigt. Für die Berechnung der Unterhaltskosten wurde ein Stundensatz von Fr. 80.- pro Stunde und ein Zeitaufwand von ¼ Stunde pro Lampenwechsel angenommen. Für die Lampe wurde ein Preis von Fr. 5.- eingesetzt.

7.1.5 Berechnungsmethode

Für die Durchführung der Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurde das im Rahmen des Projekts entwickelte Excel Berechnungstool verwendet (siehe Kapitel 7.2.3, Seite 26)

7.1.6 Beleuchtungssituationen

Es wurden folgende zwei typische Beleuchtungssituationen angenommen:

- Schule
39 Wochen Betrieb, 4 ½ Tage pro Woche.
- Büro
51 Wochen Betrieb, 5 Tage pro Woche

7.2 SENSITIVITÄTSANALYSEN

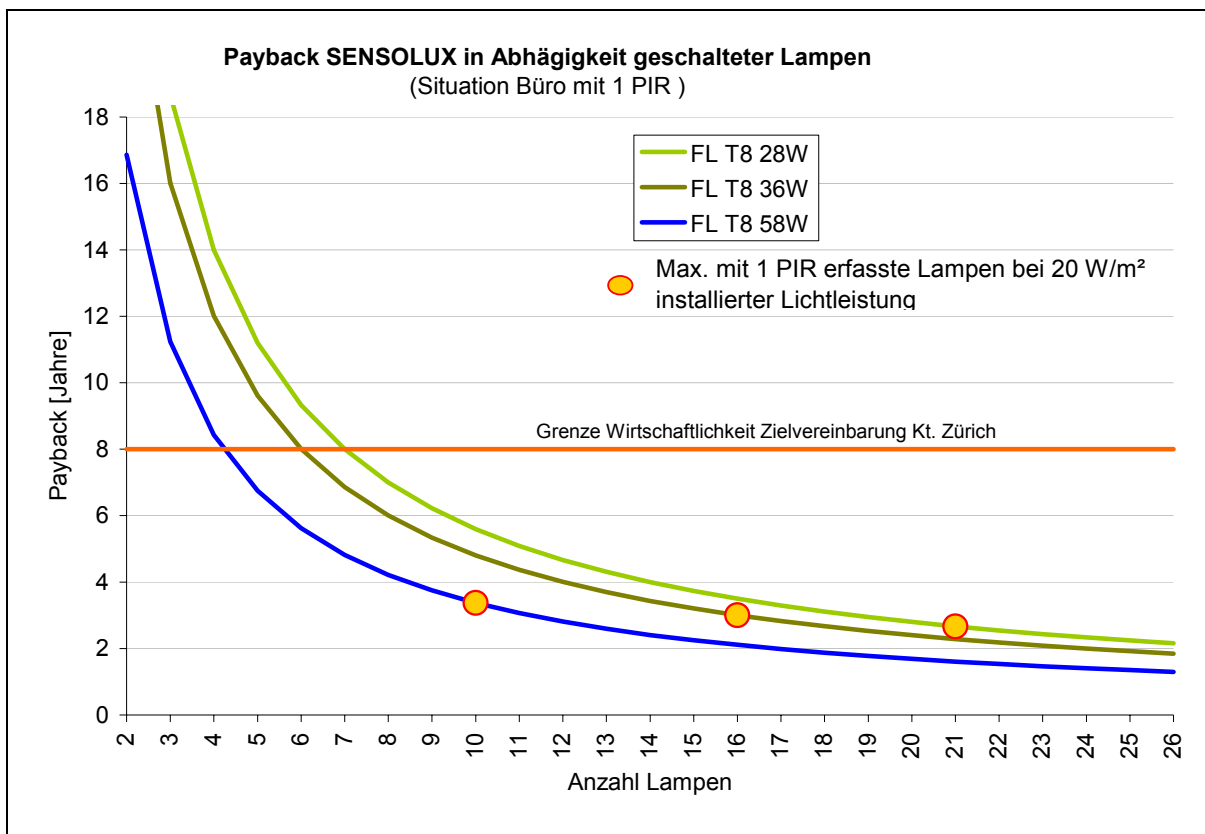
7.2.1 Payback-Zeit in Abhängigkeit der geschalteten Anzahl Lampen oder Leistung

Mit dem Wirtschaftlichkeits-Berechnungstool wurden für die Beleuchtungssituationen Schule und Büro die Payback-Zeiten in Abhängigkeit der Anzahl mit der Beleuchtungssteuerung geschalteten Lampen ermittelt. Für beide Situationen wurde angenommen, dass die Beleuchtungssteuerung eine Reduktion der Betriebszeit der Beleuchtung von täglich 3 Stunden bewirkt.

Figur 27 zeigt anhand der Situation Büro mit einem PIR die Abhängigkeit der Payback-Zeit in Funktion für verschiedene FL-Lampentypen mit konventionellem Vorschaltgerät (KVG). Für die in älteren Beleuchtungsanlagen oft eingesetzten 36W T8 FL-Lampen ist mindestens 6 mit dem *SENSOLUX* geschalteten Lampen die Wirtschaftlichkeit erreicht. Diese Situation trifft man oft auch in kleineren Büros an in denen 3 bis 4 doppelflamme Leuchten (6 bis 8 Lampen) montiert sind. Selbst bei 4 Lampen

ergibt sich noch eine Payback-Zeit von ca. 12 Jahren, was noch innerhalb der zu erwartenden Lebensdauer der Beleuchtungssteuerung liegt.

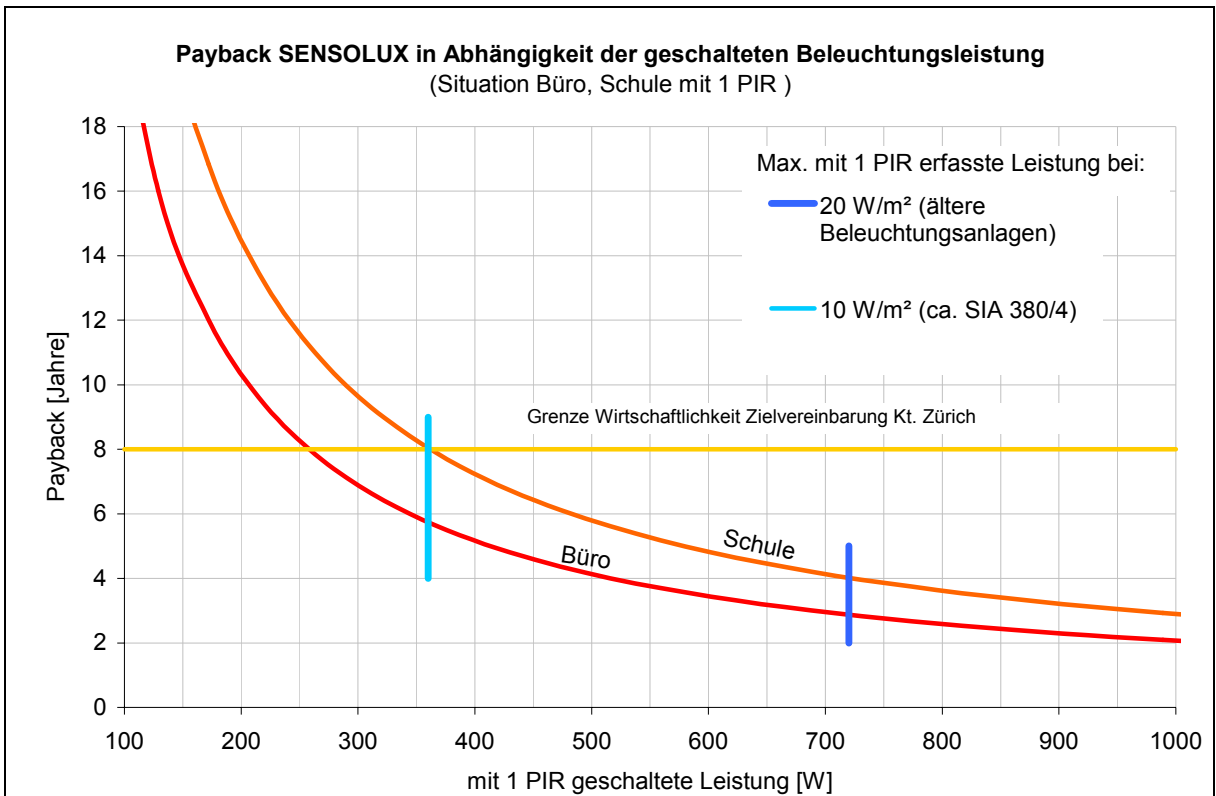
Die orangenen Punkte im Diagramm markieren, wie viele Lampen maximal im Erfassungsbereich des *SENSOLUX* liegen können, wenn man von einer installierten Beleuchtungsleistung von 20 W/m² (maximalwert bei älteren Beleuchtungsanlagen mit FL-Lampen) ausgeht. Die Punkte stellen also die minimale Payback-Zeit dar, die im dargestellten Fall mit einem *SENSOLUX* erreicht werden kann. Die leicht unterschiedlichen Payback-Zeiten bei den verschiedenen Lampentypen ergeben sich durch die unterschiedlichen Unterhaltskosten, da bei kleineren Lampenleistungen mehr Lampen ausgetauscht werden müssen.



Figur 27: Payback in Abhängigkeit der mit der Beleuchtungssteuerung geschalteten Anzahl Lampen für verschiedene FL-Lampentypen (mit KVG) für die Situation Büro mit einem PIR.

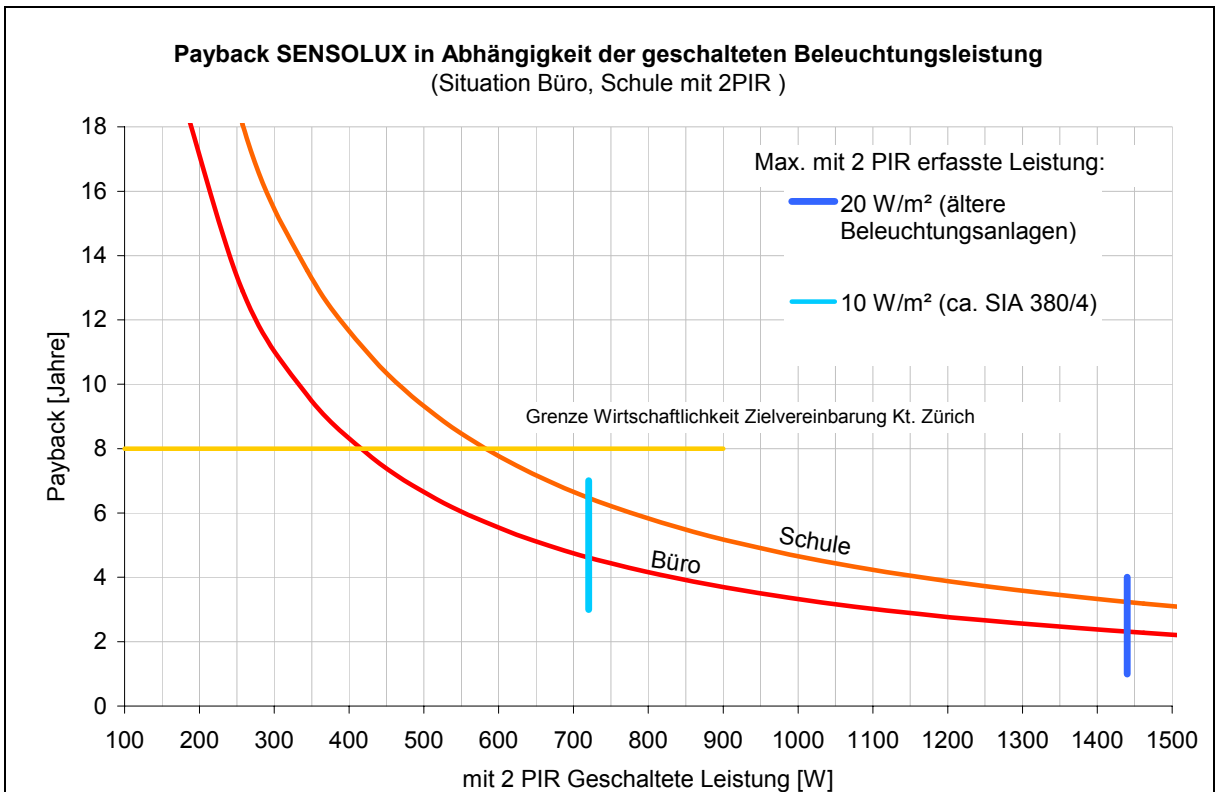
Die Darstellung von Figur 27 lässt sich noch abstrahieren, in dem die Payback-Zeit in Abhängigkeit der mit dem *SENSOLUX* geschalteten Beleuchtungsleistung dargestellt wird (siehe Figur 28). Basis für die Berechnung waren 36W T8 FL-Lampen mit KVG (Für Beleuchtungen mit anderen Lampentypen sähen die Kurven leicht anders aus). Im Diagramm sind die Situation Schule und Büro dargestellt, die sich im Wesentlichen durch verschiedene Betriebszeiten unterscheiden (Büro 51 Wochen mit 5 Arbeitstagen, Schule 39 Wochen mit 4½ Arbeitstagen). Ebenfalls sind die Leistungen eingezeichnet, die der *SENSOLUX* maximal erfassen kann wenn man eine installierte Beleuchtungsleistung von 10 W/m² für moderne, energieeffiziente Beleuchtungen und 20 W/m² für ältere Beleuchtungen annimmt.

Für die im Diagramm dargestellten Situationen sind im Idealfall bei Büros Payback-Zeiten von 3 bis 6 Jahren und in Schulen 4 bis 8 Jahren zu erwarten.



Figur 28: Payback in Abhängigkeit der mit der Beleuchtungssteuerung geschalteten Leistung für die Situationen Büro und Schule mit einem SENSOLUX Präsenzmelder.

Eine weitere Situation, die oft vorkommen kann ist die Installation von 2 SENSOLUX Präsenzmeldern und einem 2-Kanal Schaltaktor. Diese Installation ist Typisch für grössere Räume wie Grossraumbüros und Schulzimmer, in denen der Erfassungsbereich eines SENSOLUX nicht ausreicht. Figur 29 zeigt die Payback Diagramme für diesen Steuerungstyp. Da der 2-Kanal Aktor nur wenig teurer ist als der 1-Kanal Aktor verbessert sich die Wirtschaftlichkeit in Bezug auf die mit dem SENSOLUX erfasste und geschaltete Leistung leicht.



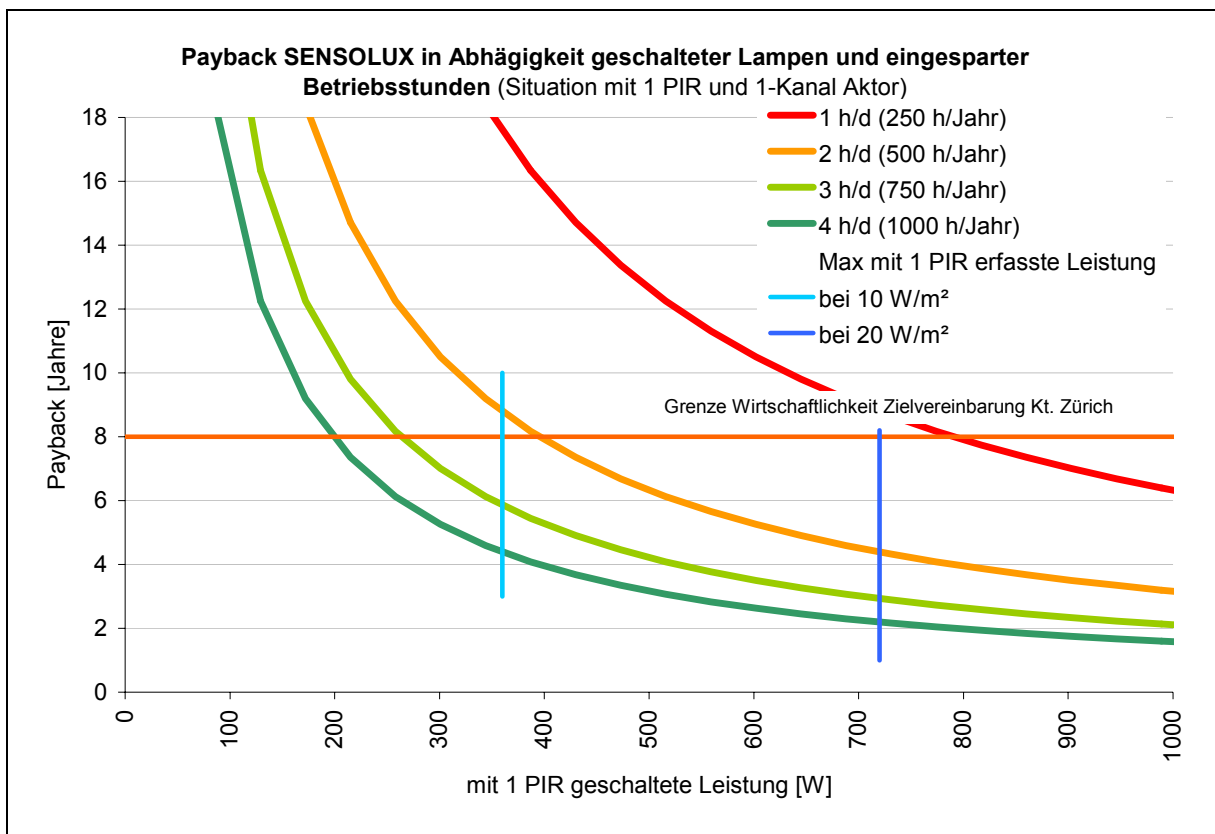
Figur 29: Payback in Abhängigkeit der mit der Beleuchtungssteuerung geschalteten Leistung für die Situationen Büro und Schule mit zwei SENSOLUX Präsenzmelder.

7.2.2 Payback-Zeit in Abhängigkeit der geschalteten Leistung und der eingesparten Betriebsstunden

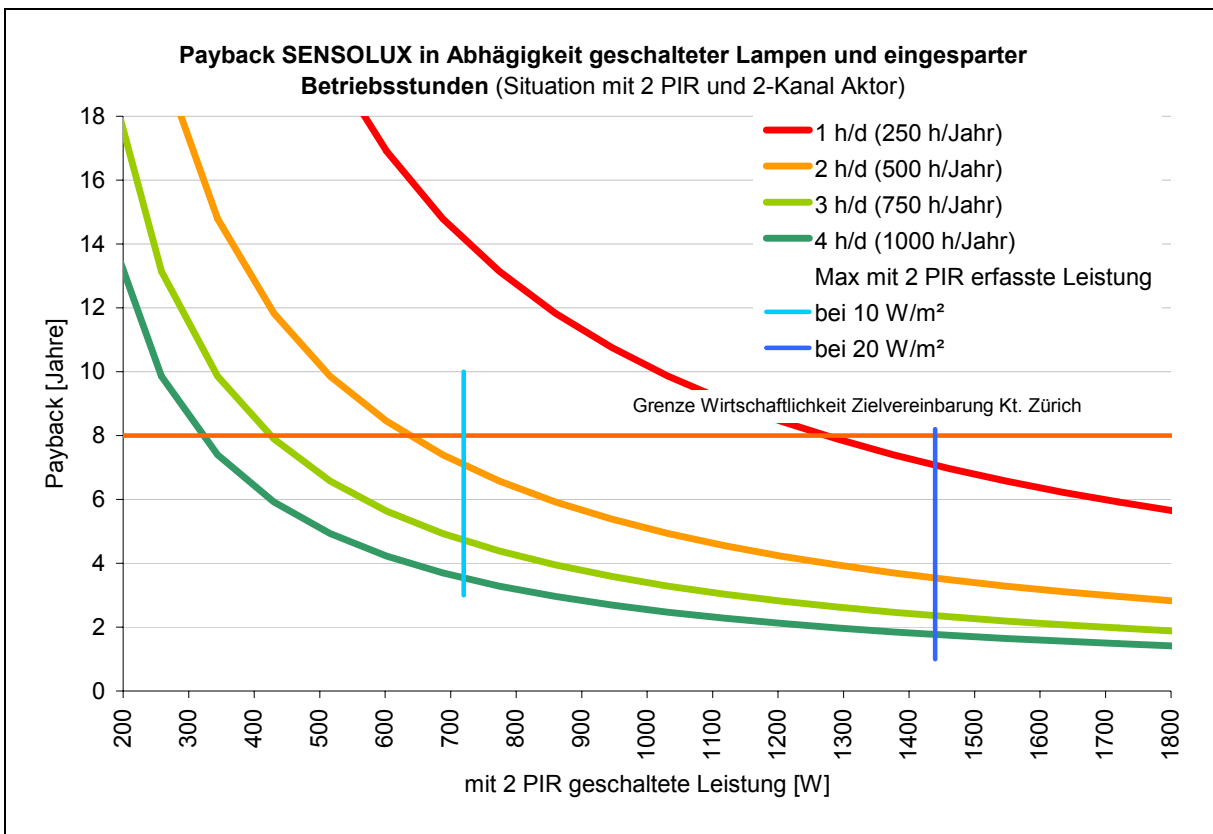
Für den allgemeinen Fall und als Hilfsmittel für die Planung wurde ein Diagramm entwickelt, in der die die Payback-Zeit in Abhängigkeit der mit dem *SENSOLUX* geschalteten Leistung für verschiedene Reduktionen der Betriebszeit der Beleuchtung durch die Beleuchtungssteuerung dargestellt ist (Siehe Figur 30 und Figur 31). Diese Darstellung ist neutral und unabhängig von der Beleuchtungssituation. Sie kann deshalb gut verwendet werden um schnell abzuschätzen, wie der Payback für eine konkrete Situation sein könnte.

Die beiden Diagramme zeigen deutlich, dass ab einer jährlichen Einsparung von jährlich 400 bis 500 Betriebsstunden (ca. 2 Stunden pro Arbeitstag) ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist.

Für die in der Feldanalyse untersuchten Schulzimmer (siehe Kapitel 4.1, Seite 6) beträgt z.B. installierte Beleuchtungsleistung etwa 650 bis 1100 W. Für eine Beleuchtungssteuerung mit zwei *SENSOLUX*-PIR würde somit bei einer Einsparung von 500 Betriebsstunden ein Payback von 5 bis 8 Jahren resultieren (Siehe Figur 31). Eine Installation eines *SENSOLUX* wäre in diesen Fällen also durchaus sinnvoll.



Figur 30: Payback in Abhängigkeit der mit der Beleuchtungssteuerung geschalteten Leistung und der eingesparten Betriebsstunden für eine Beleuchtungssteuerung mit einem SENSOLUX Präsenzmelder und einem 1-Kanal Aktor.



Figur 31: Payback in Abhängigkeit der mit der Beleuchtungssteuerung geschalteten Leistung und der eingesparten Betriebsstunden für eine Beleuchtungssteuerung mit zwei SENSOLUX Präsenzmeldern und einem 2-Kanal Aktor.

7.2.3 Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Die Sensitivitätsanalyse hat gezeigt, dass in vielen Fällen der Einsatz eines SENSOLUX wirtschaftlich ist (gemäss Definition der Zielvereinbarung Kt. Zürich). Es ist jedoch oft nicht einfach, zu beurteilen, wie die Beleuchtung ohne Bedarfssteuerung betrieben wird und wie oft das Licht eingeschaltet bleibt, wenn niemand im Raum anwesend ist oder genügend Tageslicht vorhanden wäre.

Eine Reduktion der Betriebszeit von Jährlich 500 bis 750 Stunden ist gemäss den bisher mit Beleuchtungssteuerungen gemachten Erfahrungen realistisch (sorgfältige Inbetriebnahme und Einjustierung vorausgesetzt).

Dabei sind folgende Situationen für den Einsatz von Beleuchtungssteuerungen besonders günstig:

- Räume mit Spiegelrasterleuchten und hohem Tageslichtanteil → Hier wird oft vergessen, wenn genügend Tageslicht vorhanden ist, das Licht auszuschalten, da man bei Spiegelrasterleuchten nicht mehr realisiert, dass die Beleuchtung eingeschaltet ist.
- Grössere Büros → In Büros mit mehr als einem Arbeitsplatz fühlen sich die Mitarbeiter für das Ein- und Ausschalten der Beleuchtung oft nicht verantwortlich.
- Beleuchtung von Korridoren zwischen Regalen (Lager, Bibliotheken usw.) → Ohne Beleuchtungssteuerung brennt das Licht den ganzen Tag, obwohl nur gelegentlich jemand anwesend ist.
- Korridorbeleuchtungen → Lange Betriebszeiten am frühen Morgen und am Abend, auch wenn niemand anwesend ist. Das Licht brennt auch tagsüber, obwohl evtl. genügend Tageslicht vorhanden wäre.

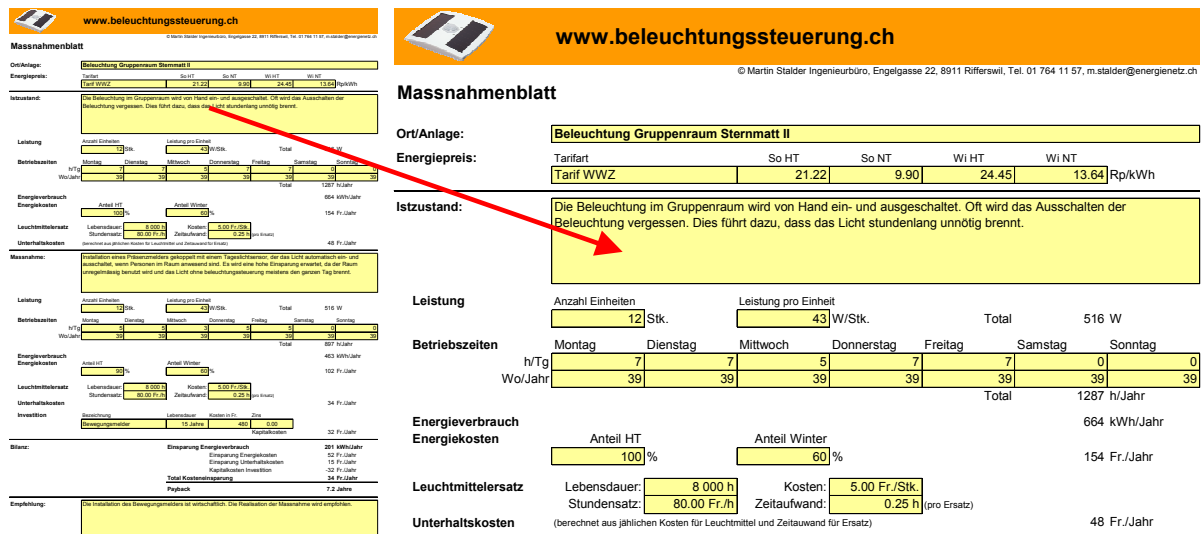
In Zukunft ist noch eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Beleuchtungssteuerungen zu erwarten, da mit der Ölpreisteuerung langfristig auch generell die Energiepreise, das heisst auch Elektrizitätskosten steigen werden.

7.3 WIRTSCHAFTLICHKEITS-BERECHNUNGSTOOL

Für eine objektspezifische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde auf Excel Basis ein Berechnungs-Tool entwickelt. Dieses kann auf der Website www.beleuchtungssteuerung.ch gratis heruntergeladen werden. In diesem Tool wird ein Ist-Zustand mit einem Soll-Zustand nach der Durchführung einer Mass-

nahme (z.B. Nachrüstung mit einer Beleuchtungssteuerung) verglichen. Mit dem Energieverbrauch der jeweiligen Zustände werden die Energie- und Betriebskosten ermittelt.

Aufgrund der Differenz der jährlichen Kosten zwischen Ist- und Soll-Zustand wird zusammen mit den Investitionskosten die Wirtschaftlichkeit einer Massnahme in Form einer Payback-Zeit berechnet.



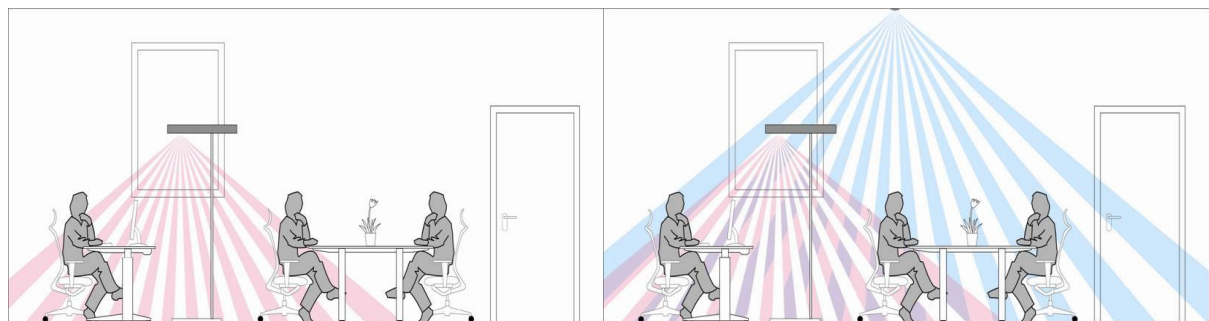
Figur 32: Eingabemaske des Excel-Tool für die Wirtschaftlichkeitsberechnung von Beleuchtungssteuerungen (www.beleuchtungssteuerung.ch)

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit müssen die folgenden Eingaben im Berechnungstool gemacht werden.

- Elektrizitäts-Tarife für Hochtarif (HT) und Niedertarif (NT) im Winter und im Sommer
- Anzahl Leuchten mit der entsprechenden Lampenleistung in W
- Abschätzung der IST-Betriebszeiten gemäss „Fahrplan“ Montag ... Sonntag in Std./Tag (h/Tg)
- Angabe der Anzahl Arbeitswochen pro Jahr in Wochen/Jahr (Wo/Jahr)
- Anteil des Energieverbrauchs im Hochtarif (HT) und Anteil des Verbrauchs im Winter in %
- Angabe für Leuchtmittlersatz: Lebensdauer, Kosten, Zeitaufwand und Stundenansatz
- Annahme der neuen Tages-Betriebszeiten „Fahrplan“ Montag ... Sonntag in Std./Tag (h/Tg)
- Investitionskosten für die Massnahme.

8. Weitere Einsatzgebiete des Funk-PIR

8.1 EINSATZ DES FUNK-PIR BEI STEHLEUCHTEN

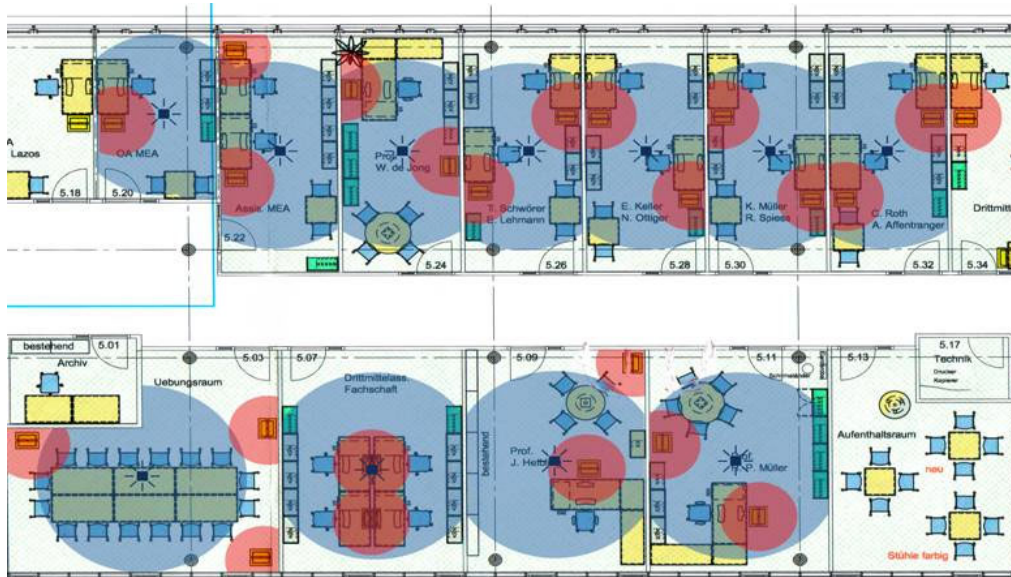


Figur 33: In Stehleuchte eingebaute Präsenzmelder haben einen kleinen Erfassungsbereich. Von der Stehleuchte ausgeleuchtete Randbereiche wie z.B. eine Sitzungsecke werden vom Präsenzmelder ungenügend erfasst (Grafik links). Mit einem an der Decke montierten Funk-PIR, kann ein grösserer Bereich detektiert werden. Mit einem in der Zuleitung der Stehlampe angeschlossenen Aktor kann damit das Schaltverhalten deutlich verbessert werden.

Zurzeit gibt es diverse Stehleuchten, die mit einem Präsenzmelder ausgerüstet sind. Dieser hat die Aufgabe, die Stehleuchte auszuschalten, wenn keine Präsenz mehr am jeweiligen Arbeitsplatz regist-

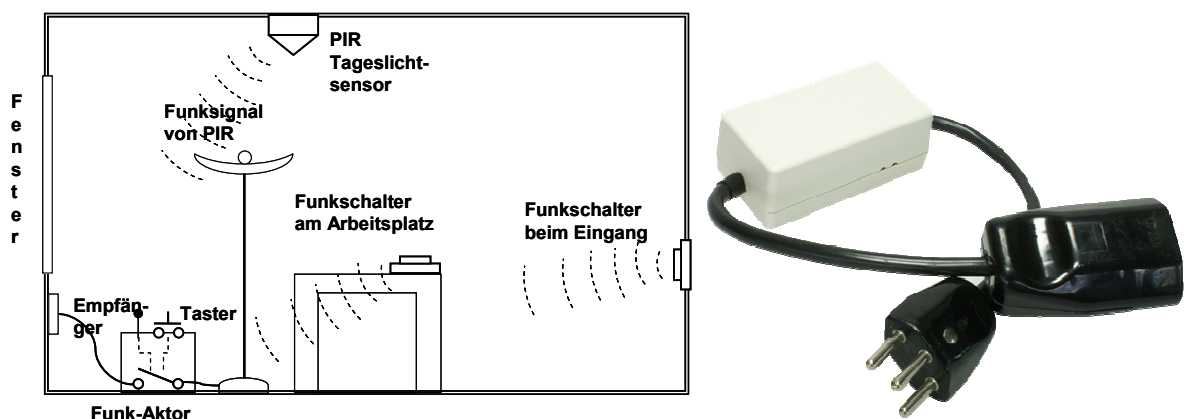
riert wird, oder wenn das Tageslicht ausreichend ist. Da der Präsenzmelder in der Leuchte integriert ist hat dies gewisse Einschränkungen für Funktion der Steuerung zur Folge (siehe Figur 33).

- Der Erfassungsbereich des Präsenzmelders ist klein und nicht immer ideal auf den Arbeitsplatz ausgerichtet (siehe Figur 34). Er muss nachjustiert werden wenn die Stehleuchte verschoben wird.
- Üblicherweise funktioniert die Steuerung vollautomatisch (Automatisch ein- und ausschalten), da im Dunkeln nur schwer der Schalter an der Leuchte gefunden werden kann. Der Benutzer wird entmündigt, weiteres Energiesparpotential wird nicht genutzt. Zudem schalten vorbeigehende Personen die Beleuchtung automatisch ein, auch wenn dies nicht gewünscht ist.
- Das Einschalten von einem Schalter am Eingang des Büros ist nicht möglich.



Figur 34: Beispiel eines Büroplans in dem die Räume mit Stehleuchten ausgerüstet sind. Rot (kleine Kreise:) Erfassungsbereich des Stehleuchten-PIR, blau (grosse Kreise): Erfassungsbereich Funk-PIR. In den meisten Möblierungssituationen ergeben sich mit dem Funk-PIR bessere Situationen für die Erfassung der Präsenz.

Mit dem **SENSOLUX** Funk-PIR und einem entsprechenden Aktor, der in der Zuleitung zur Stehleuchte angeschlossen wird, können die oben erwähnten Probleme gelöst werden. Zugleich kann der Funk-Aktor auch über einen Funkswitcher von einem beliebigen Ort im Raum ein- und ausgeschaltet werden.



Figur 35: Links: Prinzipielle Funktionsweise Stehleuchte mit an der Decke montiertem Funk-PIR. Rechts: Prototyp des Funk-Aktors für Stehleuchten.

Um das oben beschriebene Konzept zu testen, hat die Firma **Hardmeier Electronics** einen Funk-Aktor Prototyp für Stehleuchten entwickelt, der einfach zwischen Lampe und Steckdose gesteckt werden kann (siehe Figur 35). Dieser neue Aktor wird zurzeit in einer weiteren Pilotanlage Gebäude „Careum“ an der Uni Zürich getestet.

8.2 BEDEUTUNG DES FUNK-PIR FÜR NEUANLAGEN

Es hat sich gezeigt, dass das Konzept mit dem fremdspannungsfreien Funk-PIR auch beim Einsatz in Neuanlagen Vorteile bringt. Diese sind:

- Die Platzierung und somit der Erfassungsbereich des PIR kann einfach und ohne Installationsaufwand an eine geänderte Benutzung angepasst werden.
- Reicht der Erfassungsbereich eines PIR nicht aus, kann dieser einfach durch weitere PIR's ergänzt werden.
- Es müssen keine Installationsleitungen in die Decke eingezogen werden (vorteilhaft bei Sichtbetondecken oder TABS Systemen)
- Da nur noch eine spannungsführende Leitung vom Schaltaktor zum Verbraucher geführt werden muss, braucht es für die Installation weniger spannungsführende Leitungen. Dies bedeutet auch weniger Elektromog.
- Insgesamt müssen für die Elektroinstallationen weniger Leitungen verlegt werden. Dies bedeutet weniger Arbeitsaufwand und geringerer Verbrauch an wertvollem und immer teurer werdendem Kupfer.
- Da auch bis zu 8 batterie lose Funkschalter auf einen *SENSOLUX* Funk-Aktor eingelernt werden können, kann man auch Anlagen mit vielen Schaltstellen einfach realisieren oder zusätzliche Schaltstellen später ergänzen. Die Installation ist insgesamt flexibler und kann besser an zukünftige Bedürfnisse angepasst werden.
- Funkschalter brauchen keine Zuleitungen und können auch optisch befriedigend auf Glas montiert werden.
- Batterie lose Funkschalter können flach auf beliebigen Oberflächen montiert werden. Insbesondere bei der Montage von Schaltern an Aussenwänden hat dies den Vorteil, dass die Bauhülle durch Installationen verletzt wird und so Undichtigkeiten entstehen.

Die obengenannten Punkte zeigen, dass auch bei Neubauten ein grosses Marktpotential für die Funk-PIR Technologie und insgesamt für die Funktechnologie besteht.

Beispiel

Nachfolgend ein Beispiel wo der Einsatz eines Funk-PIR's gegenüber einer konventionellen Installation mit Präsenzmeldern vorteilhaft gewesen wäre:

In einem neu gebauten Schultrakt wurden in den Klassenzimmern konventionelle Präsenzmelder installiert. Im normalen Schulbetrieb hat die Beleuchtungssteuerung gut funktioniert. Jedoch fanden in einer Ecke der Schulzimmer, die ausserhalb des Erfassungsbereichs der PIR lag, regelmässig Elterngespräche statt. Dies hat dazu geführt, dass während den Sitzungen regelmässig das Licht von der Beleuchtungssteuerung ausgeschaltet wurde. Eine Nachrüstung mit einem weiteren PIR war technisch und finanziell aufwändig.

Bei einer Installation, die mit dem neuen Funk-PIR durchgeführt worden wäre, hätte man diese Nachrüstung mit einem zweiten PIR mit wesentlich weniger Aufwand durchführen können.

8.3 FUNK-PIR ALS SENSOR IN LEITSYSTEMEN

Bereits heute gibt es für diverse SPS Steuerungen und Leitsysteme Empfänger für *Enocean*[®] Funk-signale (siehe Figur 36).



Figur 36: links: Externe Antenne für den Empfang von Enocean Signalen für Leitsysteme, Enocean Com-Server, Empfänger für die Anbindung der Enocean Technologie an LON-Bus Systeme

Da über die *Enocean Alliance* (www.enocean-alliance.org) die Funkprotokolle des *SENSOLUX* (und auch anderer Enocean Produkte) offengelegt werden, können die Signale des *SENSOLUX* für die Steuerung von Anlagen in Leitsystemen verarbeitet werden.

Dies eröffnet für den *SENSOLUX* weitere Anwendungsgebiete:

- Lüftungssteuerung:
Räume werden nur mit Frischluft versorgt oder stärker belüftet, wenn der PIR Präsenz registriert.
- Storensteuerung:
Im Sommer werden die Storen automatisch heruntergelassen, wenn niemand mehr im Raum anwesend ist. Auf diese Weise können unnötige Kühllasten vermieden werden.

Längerfristig ist vorgesehen, im *SENSOLUX* zusätzlich noch einen Temperatursensor einzubauen. Dies eröffnet für den *SENSOLUX* noch weitere Einsatzmöglichkeiten im Zusammenhang mit Leitsystemen. Z.B. Regelung der Raumtemperatur in Abhängigkeit der Präsenz (Heizen und Kühlen).

9. Website

9.1 ZIEL UND ZWECK DER WEBSITE

Beleuchtungssteuerungen haben das Ziel die Betriebszeiten von Beleuchtungen zu optimieren. Dies erreichen sie, in dem sie dafür sorgen, dass die Beleuchtung automatisch ausgeschaltet wird, wenn im beleuchteten Bereich keine Personen mehr anwesend sind oder ausreichend Tageslicht vorhanden ist.

In der Praxis trifft man jedoch oft Beleuchtungssteuerungen mit Präsenzmeldern an, die nicht optimal konzipiert oder nicht korrekt in Betrieb genommen wurden. Dies hat dann zur Folge, dass mögliche Einsparpotentiale nicht voll ausgeschöpft werden können.

Mit der Webseite **beleuchtungssteuerung.ch** (siehe Figur 37) werden konkrete Informationen vermittelt, wie Beleuchtungssteuerungen geplant und realisiert werden können, die dann effektiv einen optimalen Betrieb der Beleuchtung erlauben.

9.2 AUFBAU UND STRUKTUR

Die Website ist folgendermassen strukturiert:

- Planung und Betrieb
 - Allgemeines (Allgemeine Informationen zum Thema Beleuchtungssteuerung)
 - Glossar
 - Planungsregeln (Hinweise wann welche Steuerkonzepte sinnvoll eingesetzt werden)
 - Regeln für die Inbetriebsetzung (Vorgehen, Hilfsmittel für die Funktionskontrolle)
 - Konkrete Beispiele (konkrete Beleuchtungssituationen und realisierte Beleuchtungssteuerungen)
- Neuen Konzepte und Technologien
 - Funk-PIR
 - Funkadapter für Stehleuchten
 - Weiter Einsatzgebiete der Funk-Technologie
- Produkte (Vorstellen konkret am Markt erhältlicher Produkte)
 - *SENSOLUX*
 - *Omnio* Solar-Funk-PIR
 - ...
- BfE Forschungsprojekt
 - Projektziel
 - Arbeitsplan
 - Resultate, Berichte
- Links, Publikationen

Die Website ist unter **www.beleuchtungssteuerung.ch** zu finden.



Figur 37: Erscheinungsbild der Homepage von beleuchtungssteuerung.ch

10. Leitfaden

Ergänzend zur Website wurde ein Leitfaden erstellt. Darin werden in kurzer Form wichtige Hinweise für die Konzeption, Planung, Umsetzung und Inbetriebsetzung von Beleuchtungssteuerungen aufzeigt.

Eine Anzahl von Beispielen zeigen im zweiten Teil des Leitfadens wie in konkreten Situationen die Beleuchtungssteuerung realisiert wurde (siehe Figur 38).

Der Leitfaden kann als PDF-Datei von der Website www.beleuchtungssteuerung.ch heruntergeladen und ausgedruckt werden.



Figur 38: Titelseite Leitfaden und Seite mit Beispiel

11. Schlussfolgerungen

Die im Projekt entwickelten Konzepte und Elektronikkomponenten haben sich im Einsatz in den Pilotanlagen weitgehend bewährt.

Es hat sich aber auch gezeigt, dass die Platzierung des Präsenzmelders und eine sorgfältige Inbetriebnahme und Parametrierung des Tageslicht-Sollwertes und der Nachlaufzeiten entscheidend für das gute Funktionieren der Steuerung sind. Dabei sollte am besten direkt vor Ort, auf Grund der aktuellen Möblierung entschieden werden, wo der Präsenzmelder am besten zu platzieren ist.

Hier zeigt sich auch ein wesentlicher Vorteil des Solar-Funk-Präsenzmelders gegenüber einem konventionellen, verdrahteten Präsenzmelder. Dieser kann an einen besser geeigneten Ort versetzt werden, ohne dass eine Verdrahtung angepasst werden muss. Ein nachträgliches optimieren des Erfassungsbereichs kann deshalb mit dem Funk-PIR mit wenig Aufwand durchgeführt werden,

Es hat sich im Laufe der Arbeiten gezeigt, dass das neu entwickelte *SENSOLUX* System wegen seiner hohen Flexibilität auch für Neuinstallationen gegenüber konventionellen Beleuchtungssteuerungen Vorteile bringt. Für den *SENSOLUX* wird deshalb ein grosses Marktpotential erwartet.

Wirtschaftlichkeitsberechnungen haben gezeigt, dass der *SENSOLUX* bereits heute in vielen Fällen wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden kann. Es ist zu erwarten, dass die Preise für Elektrizität in naher Zukunft noch steigen werden. Damit erschliessen sich noch weitere wirtschaftlich sinnvolle Einsatzgebiete für den *SENSOLUX*.

Wie die Erfahrungen aus den Pilotanlagen gezeigt haben, besteht vor allem für Elektroinstallateure und Elektroplaner ein grosser Informationsbedarf, wie eine Beleuchtungssteuerung gut geplant und realisiert wird. Die im Rahmen des Projekts erstellte Website www.beleuchtungssteuerung.ch und der Leitfaden sollen hierfür wichtige Informationen zum Thema einem breiten Publikum zugänglich machen. Im Anschluss des Projekts soll noch abgeklärt werden, in welcher Form die entsprechenden Kreise auf dieses Informationsangebot aufmerksam gemacht werden können. So könnte z.B. Anbietern von Präsenzmeldern der Leitfaden gratis zur Verfügung gestellt werden. Diese könnten ihn dann als Dokumentation an ihre Kunden abgeben.

12. Anhänge (siehe separates Dokument)

Anhang A) Katalog gängiger Beleuchtungsinstallationen

Anhang B) Details Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Anhang C) Leitfaden

Anhang D) Datenblätter Sensolux

Anhang E) Fragebogen Benutzerumfrage